



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Swiss Confederation

Energieforschung 2010

Überblicksberichte

Recherche énergétique 2010

Rapports de synthèse



Allgemeine Auskünfte über Forschung und Entwicklung (F&E) und Pilot- und Demonstrationsprojekte (P&D) im Energiebereich:

Renseignements généraux sur la recherche et le développement (R&D) et sur les projets pilotes et démonstrations (P&D) dans le domaine de l'énergie :

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

www.energieforschung.ch / www.recherche-energetique.ch

31.05.2011

Energieforschung 2010

Recherche énergétique 2010

Vorwort / Avant-propos3

Überblicksberichte / Rapports de synthèse

Effiziente Energienutzung/ Utilisation efficace de l'énergie

Energie in Gebäuden	7
Rationelle Energienutzung im Verkehr & Akkumulatoren	15
Elektrizitätstechnologien und -anwendungen	25
Netze	35
Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte	45
Verbrennung	55
Kraftwerk 2020 & Carbon Capture & Storage (CCS)	65
Brennstoffzellen	75
Industrielle Prozesse	83

Erneuerbare Energien / Sources d'Énergie Renouvelables

Chaleur solaire et Stockage de chaleur	95
Photovoltaik	105
Solaire industriel à haute température	115
Biomasse und Holzenergie	123
Wasserkraft	133
Geothermie	143
Wasserstoff	151
Wind	161

Kernenergie / Énergie Nucléaire

Kerntechnik und Nukleare Sicherheit	171
Regulatorische Sicherheitsforschung	185
Fusion thermonucléaire contrôlée	193
Radioaktive Abfälle	203

Querschnittsprogramme / Programmes Transverseaux

Energie – Wirtschaft – Gesellschaft	213
---	-----

Anhang / Annexe

Laufende und 2010 abgeschlossene Projekte / Projets en cours et terminés en 2010	221
Energieforschungskommission / Commission pour la recherche énergétique (CORE)	297
BFE-Forschungs- und Marktbereiche / Domaines de l'OFEN pour la recherche et le marché	298
Adressen / Adresses	299

Vorwort

Die Energieforschung der öffentlichen Hand der Schweiz richtet sich nach dem Konzept der Energieforschung des Bundes. Für die Umsetzung des Konzepts ist das Bundesamt für Energie (BFE) zuständig. Es verfügt dafür über eigene Fördermittel, die subsidiär zu den Anstrengungen der privaten und öffentlichen Forschungsstellen eingesetzt werden. Die Betreuung der verschiedenen Forschungs- und Entwicklungsprogramme sowie der Pilot- und Demonstrationsprogramme erfolgt durch die Bereichs- und Programmleiter des BFE. Für die Umsetzung der Ergebnisse in den Markt werden sie unterstützt durch das Forschungsprogramm Wissens- und Technologietransfer und die Bereichsleiter des Programms EnergieSchweiz.

Die im Mai 2011 erschiene Projektliste der Energieforschung des Bundes 2008/2009 gibt Auskunft über die Aufwendungen der mit öffentlichen Mitteln finanzierten Energieforschung sowie eine detaillierte Zusammenstellung der Geldflüsse. Zur Erinnerung: 2009 kamen rund 54 % der von der öffentlichen Hand aufgewendeten 213,5 Mio. Franken aus dem ETH-Bereich. Das BFE war mit einem Anteil von 16 % noch vor der EU (11 %) zweitgrösster Finanzgeber. Die meisten Geldmittel kamen dem Bereich Effiziente Energienutzung zugute (77,8 Mio. Franken), 54,3 Mio. flossen in den Bereich Kernenergie und 67,1 Mio. in den Bereich Erneuerbare Energien. Für den Bereich Energiewirtschaftliche Grundlagen wurden 14,4 Mio. Franken aufgewendet.

Die im vorliegenden Band publizierten Überblicksberichte der Programmleiter des BFE zeigen die Fortschritte derjenigen Projekte auf, die durch das BFE mitfinanziert worden sind. Daneben sind aber auch Hinweise auf andere, mit öffentlichen und privaten Mitteln durchgeführte Forschungsarbeiten aufgeführt. Der detaillierte Fortschritt einzelner Projekte kann in den entsprechenden Jahres- und Schlussberichten verfolgt werden, die auf der Website www.energieforschung.ch publiziert werden. Das Reproduzieren von einzelnen Beiträgen ist unter Angabe der Quelle gestattet.

Juni 2011

Bundesamt für Energie (BFE)

Titelbild: Schmelzen von leicht radioaktiven Abfällen im CARLA-Schmelzbetrieb (Quelle: Siempelkamp Nukleartechnik, www.siempelkamp.com)

Avant-propos

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 en Suisse. Sa mise en pratique incombe à l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) qui dispose, à cette fin, de moyens propres engagés de façon subsidiaire à ceux des institutions de recherche tant privées que publiques. L'accompagnement des divers programmes de recherche et de développement est pris en charge par les chefs de domaine et de programme à l'OFEN. Pour la transposition des résultats vers le marché, ceux-ci sont appuyés par le programme de Transfert scientifique et technologique et par les responsables de domaine du programme SuisseEnergie.

La Liste des projets de la recherche énergétique de la Confédération 2008/2009, parue en mai 2011, renseigne sur les dépenses des pouvoirs publics au titre de la recherche énergétique, ainsi que sur la composition des flux de financement. Rappelons que, en 2009, près de 54 % des 213,5 MCHF déployés par les collectivités publiques étaient issus du Domaine des EPF. Avec une part de 16 %, l'OFEN occupait encore le deuxième rang des bailleurs de fonds, devant l'UE (11 %). La plus grande part des moyens financiers étaient inscrits au titre de l'utilisation efficace de l'énergie (77,8 MCHF), alors que 54,3 MCHF étaient attribués à l'énergie nucléaire et 67,1 MCHF aux sources d'énergie renouvelables. 14,4 MCHF étaient consacrés aux fondements de l'économie énergétique

Le présent volume rassemble les rapports de synthèse annuels des chefs de programme de l'OFEN. On y trouvera décrits les progrès obtenus dans le cadre des divers projets cofinancés par l'OFEN. Il y est également fait mention des travaux de recherche accomplis grâce à d'autres moyens publics et/ou privés. Le progrès détaillé des projets est documenté dans les rapports annuels et finaux spécifiques qui peuvent être télé-chargés du site www.recherche-energetique.ch. La reproduction d'extraits du présent document est autorisée, à condition d'en indiquer la source.

Juni 2011

Office fédéral de l'énergie (OFEN)

Page de titre : La Fusion de déchets nucléaires de faible activité dans l'installation CARLA (source : Siempelkamp Nukleartechnik, www.siempelkamp.com)



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



Energie in Gebäuden

Charles Filleux



Die «Tours Cayla» in Genf: Eingriffe in die Fassade überzeugend gelöst

Innen- oder Aussendämmung? Die «Tours Cayla» vor der Sanierung (links), nach der Sanierung mit Innendämmung (Mitte) bzw. Aussendämmung (rechts). Die Tours Cayla mit Baujahr 1954 gehören zum Inventar geschützter Bauten der Stadt Genf. Die Forscher des CUEPE an der Universität Genf konnten die Behörden davon überzeugen je mindestens ein Gebäude mit Aussen- bzw. Innendämmung zu sanieren. Durch architektonisch und bauphysikalisch überzeugende Lösungen konnte der Heizenergiebedarf auf die Hälfte reduziert werden.

Einleitung

In den vergangenen Monaten ist die Fachwelt im Bereich Energie in Gebäuden durch einen Vorstoss aus der Academia aufgeschreckt worden. Was ist geschehen? Das Departement für Architektur der ETH Zürich fordert einen Paradigmenwechsel: Weg vom reinen Energiesparen hin zur Emissionsfreiheit von Gebäuden. Die Reaktion des Vereins Minergie war entsprechend vehement. In wissenschaftlichen Kreisen ist eine anfängliche Abwehr bei einem Paradigmenwechsel nichts Aussergewöhnliches, wie man bei Thomas S. Kuhn in «The Structure of Scientific Revolutions» [1] nachlesen kann. Handelt es sich tatsächlich um einen Paradigmenwechsel? In einem gewissen Sinn schon, denn im Forschungsprogramm Energie in Gebäuden hat man sich bereits seit 2009 mit der Frage der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden beschäftigt. Erwähnt sei hier die Studie Gesamtenergieeffizienz von Wirtschaftsbauten der Hochschule Luzern und von Lemon Consult. Deren wesentliche Ergebnisse wurden in der Fachzeitschrift Tec21 für ein allgemeines Publikum treffend zusammengefasst [2]. Es stellte sich heraus, dass die Wahl des Niedertemperaturheizsystems und des eingesetzten Energieträgers oft die grössere Hebelwirkung

haben auf den Primärenergieeinsatz und die Treibhausgasemissionen als Massnahmen zur Verbesserung der Qualität der Gebäudehülle. Im Rahmen des Forschungsprogramms Energie in Gebäuden werden auch neue Techniken für emissionsfreie Gebäude im Rahmen eines Pilot- und Demonstrationsprojekts in einem Wohnhaus im Universitätsquartier in Zürich erprobt und auf seine Zielerreichung hin überprüft werden.

Die Bilanzierung der Energien und die Emissionssituation während der Lebensdauer eines Gebäudes werden in zwei Projekten der Internationalen Energieagentur mit Schweizer Beteiligung untersucht. Es ist in der Forschungswelt ein Gebot, neuen Ideen nachzugehen, ohne bewährte Konzepte über Bord zu werfen. In der Umsetzung gilt vorerst noch das Prinzip einer Sowohl-als-auch-Strategie. Eine Angleichung der Standpunkte findet ohnehin bereits statt, indem der Verein Minergie mit der Schaffung des Labels Minergie-A die Bilanzierung der grauen Energie thematisiert. Dasselbe gilt für die Definition der Systemgrenze bei Nullenergie-Gebäuden im Rahmen des Projekts IEA ECBCS Annex 52/IEA SHC Task 40 «Towards Net Zero Energy Solar Buildings».

IEA-Klassifikation: 1.2 Residential and commercial

Schweizer Klassifikation: 1.1 Energie in Gebäuden

Programmschwerpunkte

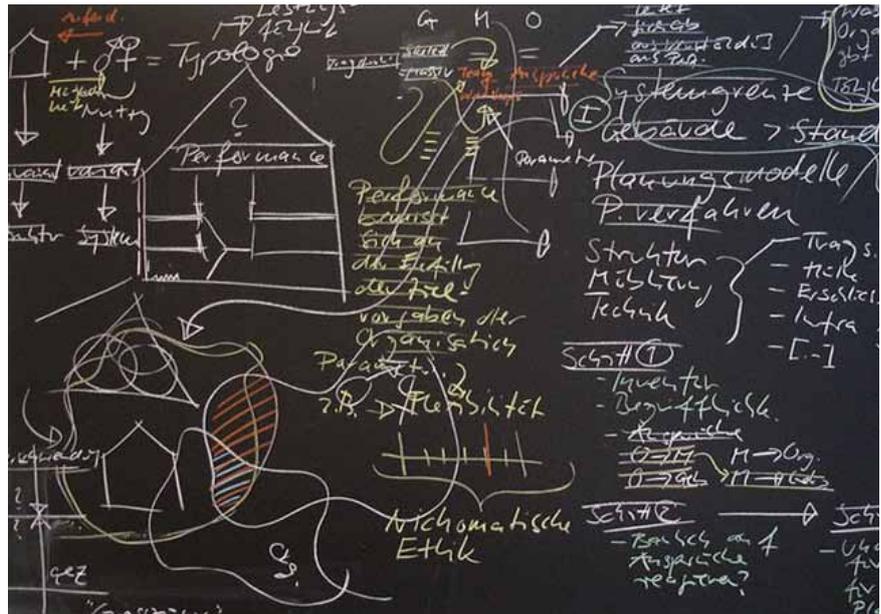
Gestützt auf das Energieforschungskonzept der Eidgenössischen Energieforschungskommission CORE [3] wurden für das Forschungsprogramm Energie in Gebäuden 2008 bis 2011 fünf Schwerpunkte mit folgenden Zielsetzungen definiert [4]:

- Entwickeln einer ganzheitlichen, d. h. Diszipline übergreifende Strategie sowie eine technologische Basis für das «Gebäude als Gesamtsystem», unter besonderer Berücksichtigung der grauen Energie und der standortinduzierten Mobilität.
- In Zusammenarbeit mit Industriepartnern sollen Konzepte, Technologien und Planungswerkzeuge für Gebäudeerneuerungen unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen in bestehenden Bauten (technisch, ökonomisch, konstruktiv) entwickelt werden.
- Entwickeln einfacher Gebäudetechnikkonzepte für Neubauten sowie für die Erneuerung des Gebäudebestands, welche auf Verzicht fossiler Brennstoffe und Integration erneuerbarer Energien bauen.
- Es sind Technologien zu entwickeln, welche zu wesentlichen Verbesserungen der elektrischen Effizienz von Geräten in Gebäuden und der vermehrten Integration der Tageslichtnutzung im Gebäude führen.
- Nutzen von Synergien aus Materialwissenschaften, Chemie, Physik und Nanotechnologie, um neuartige Baustoffe und Komponenten zu entwickeln.

Pilot- und Demonstrationsprojekte: Förderung von Leuchtturmprojekten zur Demonstration von Schlüsseltechnologien mit Fokus auf die Gebäudesanierung sowie Erstanwendungen neuer Technologien und Systeme in Neubauten und Bestandsbauten.

Rückblick und Bewertung 2010

Die Zusammenarbeit mit den einzelnen Kompetenzzentren im Gebäudebereich ist gut etabliert und konnte gefestigt werden. Der Anteil der an Fachhochschulen angesiedelten Projekte hat weiter zugenommen. Aufgrund der angespannten Budgetsituation konnten im Berichtsjahr nur wenige neue Projekte gestartet werden. Das



CO₂-minimiertes Bauwerk (Grafik Prof. Dr. Peter Schwehr)

Qualitätsniveau der Forschung ist nach wie vor beachtlich und wird im In- und Ausland anerkannt.

Erfreulich ist, dass in vielen Projekten die Industrie eingebunden werden konnte und diese bereit ist, sich mit einem substantiellen Beitrag zu beteiligen. Der Wissens- und Technologietransfer sowie die Umsetzung am Markt erfolgen so auf direkte und unkomplizierte Weise.

Inhaltlich lagen im Berichtsjahr die Schwerpunkte bei «Gebäude- und Siedlungskonzepte für eine 2000-Watt-kompatible Bauwerksentwicklung», «Konzepte, Technologien und Planungswerkzeuge für die energetische Gebäudesanierung», und in geringerer Masse bei «Heizen, Kühlen und Lüften im 2000-Watt-kompatiblen Gebäude». In den Schwerpunkten «Effizienzsteigerung beim Stromverbrauch in Gebäuden» und «Innovative Materialien und Komponenten für den Gebäudebereich» sind unterdurchschnittlich viele Projekte zu verzeichnen. Die Anzahl der P&D-Projekte konnte gehalten werden.

Ausblick 2011

In Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Energieforschungskommission CORE [3] wird das neue Konzept «Auf dem Weg zum energieautarken und emissionsfreien Gebäudepark» entwickelt. Wohnen und arbeiten soll

in Zukunft energieautark und frei von Schadstoff- und Treibhausgasemissionen erfolgen. Um die genannten Ziele zu erreichen sind von der Forschung und Entwicklung neue Lösungen bereit zu stellen, so dass der Schweizer Gebäudepark in den nächsten Jahrzehnten schrittweise transformiert werden kann.

Kosten-Nutzen Betrachtungen führen bei bestehenden Gebäuden zu unterschiedlichen Lösungen als bei Neubauten. Dies stellt die Forschung vor folgende Herausforderungen:

- Bestehende Gebäude müssen in ihrem Endenergieverbrauch (gelieferte Energie) stark reduziert und CO₂-frei betrieben werden.
- Neue Gebäude sollen im Betrieb keine die Umwelt belastenden Emissionen generieren. Die durch die Erstellung und den Rückbau verursachten Emissionen sollen um den Faktor 10 gegenüber heute reduziert werden.

Es gilt, die dafür nötigen Technologien und Konzepte zur intelligenten Energiegewinnung, -umwandlung und -nutzung im Gebäudebereich zu erforschen und das gewonnene Wissen zur Anwendung im Markt bereit zu stellen. Genau hier wird das Forschungsprogramm Energie in Gebäuden auch in Zukunft ansetzen.

Highlights 2010

Schliessen sich Denkmalschutz und energetische Gebäudesanierung aus? Nein, denn mit ambitionierten und innovativen Lösungen kann auch bei historischer Bausubstanz ein zeitgemässer energietechnischer Standard erreicht werden, welcher im Einklang mit der Denkmalpflege steht. Zwei Projekte aus dem Forschungsprogramm Energie in Gebäuden zeigen exemplarisch Lösungswege.

Was für neue Standards brauchen wir? Zwei neue Projekte der Internationalen Energieagentur IEA mit Schweizer Beteiligung befassen sich mit der Erarbeitung von Grundlagen für Standards im Bereich Nullenergie-Gebäude und neu auch für Bestandsbauten.

Sanierung historischer und geschützter Bausubstanz

Angesichts der knapper werdenden Energieressourcen und der CO₂-Problematik gewinnt die nachhaltige Sanierung auch bei historischen Gebäuden an Bedeutung. Als historische Bauten werden üblicherweise Gebäude aus der Bauperiode zwischen 1848 und 1918 bezeichnet, die durch Aussenwände mit hohen Wandstärken, aufwändig gestaltete Strassenfassaden, grosse Geschosshöhen und Holzbalkendecken bzw. massive Gewölbedecken über dem Keller charakterisiert werden können. Die konventionelle Sanierung eines historischen Wohngebäudes umfasst ein breites Spektrum von unterschiedlichen Massnahmen

von der Instandsetzung der Fassaden, der Sanierung oder Erneuerung der Gebäudetechnik bis zur Erneuerung der Steigleitungen für Wasser, Strom und Gas, zunehmend auch die Errichtung eines Aufzugs. Vielfach werden im Zuge einer Gesamtsanierung auch wohnungsseitige Massnahmen ergriffen. Der Ausbau des Dachgeschosses stellt genau genommen keine Sanierungsmassnahme dar, vielfach werden aber Sanierungsmassnahmen im Bestand zeitgleich mit einem solchen Ausbau vorgenommen, wodurch technisch-wirtschaftliche Synergien genutzt werden können. Bei der energetischen Sanierung historischer und geschützter Bauten erweisen sich oftmals grössere Eingriffe an der Fassade als heikel, weil sie das Gesamtbild des Gebäudes verändern.

Das erste der beiden Beispielgebäude wurde 1877 erstellt und ist Teil der von 1873 bis 1889 in vier Etappen erstellten Aktienbausiedlung Sonnenbergquartier in Zürich; die Siedlung ist städtebaulich und denkmalpflegerisch wertvoll. Daher ist zwingend notwendig, dass das Erscheinungsbild nicht zu stark durch Sanierungsmassnahmen beeinträchtigt wird. Trotzdem ist eine gute Energiebilanz und vor allem die CO₂-Freiheit im Betrieb des Gebäudes angestrebt. Über «klassisches» Dämmen der Fassade ist dies nicht zu erreichen. Aus diesem Grund wurde folgendes Vorgehen für sinnvoll erachtet: Eine dünne aber leistungsfähige Dämmung der Aussenhaut mit 2 cm Aerogel ermöglicht die Bewahrung des bestehenden Erscheinungsbildes

bei Verringerung der Wärmeverluste auf ca. einen Drittel des ursprünglichen Wertes. Die erste Lage der Aerogel-Wärmedämmung wurde mit einem Mineralkleber vollflächig auf das bestehende Mauerwerk geklebt, dabei spielte es keine Rolle, dass das Mauerwerk Unebenheiten aufwies. Die zweite Lage wurde mit versetzten Stössen punktuell mit Baukleber fixiert. Das geschweisste Drahtnetz als Putzträger wurde mit Dämmplattendübeln befestigt. Danach wurde der Wärmedämmputz aufgetragen. Der U-Wert der Aussenwand wird durch die Aussendämmung von 1,89 W/m²K auf 0,41 W/m²K reduziert. Das Gebäude erfüllt den SIA-Standard. Die Behaglichkeit im Inneren wird gegenüber dem ursprünglichen Zustand deutlich gesteigert. Der Restbedarf an Heizenergie wird durch Ersatz der Ölheizung mittels einer Wärmepumpe, welche an das Erdreich gekoppelt ist, bereitgestellt.

Eine zweite vom Bundesamt für Energie unterstützte Forschungsarbeit zeigt den Vergleich zwischen Innen- und Aussendämmung: Die «Tours Cayla» aus dem Jahr 1954, welche günstigen Wohnraum im Zuge der Urbanisierung Genfs zur Verfügung stellten. Die drei Cayla-Türme, benannt nach dem gleichnamigen Flüsschen des Ortes, gehören zwar noch nicht zum Inventar geschützter Bauten der Stadt Genf, stehen aber unter Beobachtung der zuständigen kantonalen Denkmalschutzbehörde (Service des Monuments et des Sites de Genève). Rund 30 Prozent der Gebäude in Genf sind geschützt, die Rhône-Stadt liegt damit über dem Schnitt anderer Schweizer Städte.

Die Sanierung der drei Gebäude erfolgte 2003. Im Zentrum stand die thermische Verbesserung der Gebäudehülle. Relativ einfach gestalteten sich die zusätzliche Isolation von Dach und Boden sowie der Ersatz der Fenster. Auch der Einbau einer Zentralheizung und der Anschluss ans Erdgasnetz war keine grössere Hürde. Als Crux erwies sich hingegen die Fassade. Sie ist bei geschützten Gebäuden der entscheidende Faktor, weil es hier um das architektonische Gesicht des Gebäudes geht. Zwei Varianten sind möglich: Die Innen- und die Aussendämmung. Die Innendämmung hat kaum Einwirkung auf das Erscheinungsbild, wird aber durch die Etagenböden unterbrochen,



Figur 1: Denkmalpflegerisch wertvolle Siedlung im Sonnenbergquartier in Zürich.



Figur 2: Das Gebäude an der Fichtenstrasse im Sonnenbergquartier vor der Sanierung mit Aerogel-Dämmstoff (Photo: Martin Wenger, Architekt).



Figur 3: Das Gebäude an der Fichtenstrasse im Sonnenbergquartier nach der Sanierung mit Aerogel-Dämmstoff (Photo: Martin Wenger, Architekt).

wo Wärmebrücken entstehen können. Zudem nimmt sie den oftmals schon knapp bemessenen Räumen wertvollen Platz weg. Die Aussendämmung hingegen leistet eine kontinuierliche und optimale Dämmung, greift jedoch unter Umständen zu stark in das Erscheinungsbild ein.

Bei der Sanierung der Cayla-Türme wurde diese Frage lange diskutiert. Dies auch deshalb, weil das Denkmalschutzamt schliesslich die Energiebehörde sowie die Bauherrschaft davon überzeugen konnte, zumindest einen der Türme unter Schutz zu stellen. In der Folge wurde eines der Gebäude mit sechs Zentimetern Dämmmaterial inwendig isoliert, zwei mit einer externen Wärmedämmung von vier bis acht Zentimetern versehen. «Eine solche Dimensionierung der Wärmedämmung, auf welcher direkt der Verputz erfolgte, erlaubte, die Proportionen der verschiedenen Elemente zu erhalten, welche den architektonischen Ausdruck der Fassade ausmachen», heisst es in der Studie. Einzig kleine Aluminium-Elemente unter den Fenstern mussten angebracht werden, um die Isolation vor Regen zu schützen. Das Ergebnis ist eindrücklich: Der Unterschied im Erscheinungsbild der beiden Varianten ist erst bei genauerem Hinsehen feststellbar. Die Sanierung ist ein intelligenter Kompromiss zwischen der Verbesserung der thermischen Qualität der Gebäudehülle und dem Schutz des historischen Werts des Gebäudes [5].

Nullenergie-Gebäude und Standards für Bestandsbauten

Der Begriff Nullenergie-Haus oder Nullenergie-Gebäude ist in den letzten Jahren national und international zum Inbegriff für die konsequente Zusammenführung von Massnahmen zur drastischen Energieeinsparung und optimierter dezentraler Nutzung erneuerbarer Energien geworden. Dabei geht es nicht um energieautarke Gebäude und die damit verbundene grosse Herausforderung der saisonalen Energiespeicherung, sondern um netzgebundene Gebäude, deren ins Netz eingespeiste Energiemenge in der Jahresbilanz mindestens dem Energiebezug für den Betrieb entspricht. Die Energieproduktion sollte möglichst vor Ort erfolgen und dem Eigenbedarf angepasst sein.

Im Rahmen des IEA-Projekts «Towards Net Zero Energy Solar Buildings» werden mit Schweizer Beteiligung verschiedene Niveaus von Nullenergie-Gebäuden diskutiert: Null-Wärme(-energie)-Gebäude mit der Bilanzgrenze Heizung, Warmwasser, Lüftung/Klima, Null-Betriebs(-energie)-Gebäude mit zusätzlicher Bilanzierung von Haushaltsstrom, EDV, Beleuchtung, etc. und Null-Life-Cycle-Gebäude inkl. Bilanzierung der Grauen Energie [6]. Ein Nullenergie-Gebäude resultiert aus einer Bilanz über einen bestimmten

Zeitraum. Aus diesem Grund müsste von einem Netto-Nullenergie-Gebäude gesprochen werden. Auf den Zusatz Netto wird jedoch zu Gunsten einer einfachen Kommunikation verzichtet. Im März 2011 wurde der neue Standard Minergie®-A lanciert. Dieser Standard entspricht nach obgenannter Definition einem Null-Wärmeenergie-Gebäude.

Eine Zusammenstellung der Daten über Nullenergie-Gebäude in der Schweiz zeigt, dass schon einige Gebäude das ambitionierte Ziel der Kompensation von Betriebsenergie inkl. Haushaltsstrom durch den Einsatz von regenerativen Energiequellen umgesetzt haben. Eine Rahmendefinition für Nullenergie-Gebäude wurde geschaffen, detaillierte Anforderungen müssen noch festgelegt werden. Für eine Definition eines Nullenergie-Gebäudes sind noch einige Parameter zu untersuchen. So ist z. B. zu klären, ob die jährliche Nullbilanz auf Stundenwerten oder auf den üblichen Monatsmittelwerten basieren soll. Hierzu werden Vergleichsrechnungen durchführt. Ein weiteres wichtiges Thema ist die Graue Energie. Es muss geprüft werden, ob und wie die Graue Energie in die Nullbilanz einfließen kann. Das Projekt wird sich auch mit der integralen Betrachtung der Gebäudehülle und -technik befassen, um dort Möglichkeiten und Grenzen auszuloten. Ziel ist es, einen zukunftsweisenden Nullenergiestandard zu definieren, der nicht nur für In-sellösungen konzipiert, sondern auch im verdichteten Bauen umsetzbar ist.

Nationale Zusammenarbeit

Die Kontakte mit Forschungsteams der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (Prof. Dr. Hj. Leibundgut, Prof. Dr. H. Wallbaum, Prof. Dr. L. Guzzella), sowie mit dem Forschungsteam von Prof. Dr. J. L. Scartezzini an der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) sind weiter verstärkt worden. Im Berichtsjahr sind insbesondere die Kontakte mit der Fachhochschule HEIG-VD in Yverdon intensiviert worden: Laborbesuch beim Institut de Micro et Nano Techniques (Prof. Dr. Mirko Croci, Dr. Gilles Courret), sowie auslösen von zwei neuen Forschungsaufträgen auf dem Gebiet der Gebäudesanierung bzw. Bewertung und Vergleich der Treibhausgasemissionen bei Sanierungen und Ersatzbauten am LESBAT (Prof. Dr. S. Citherlet).

Regelmässige Kontakte werden zum nationalen Kompetenznetzwerk Brenet (Building and Renewable Energies Network of Technology, www.brenet.ch) wahrgenommen, insbesondere zum «Building Integrated Solar Network (BiSol)».

Unter der Federführung des Bereichsleiters Gebäude beim BFE, Andreas Eckmanns fand Ende 2010 ein Ko-

ordinationstreffen mit den Programmleitern der Forschungsprogramme WP/Kälte/WKK und Solarwärme/Wärmespeicherung statt. Die Koordination unter den verschiedenen Forschungsprogrammen im Gebäudebereich hat durch die Arbeit am neuen CORE-Konzept an Profil gewonnen.

Eine erfolgreiche Zusammenarbeit besteht mit dem Verein Energie-Cluster (www.energie-cluster.ch) im Rahmen der Innovationsgruppen Hochleistungswärmedämmung und Komfortlüftung. Seit 2009 ist eine Innovationsgruppe Plusenergiehaus ins Leben gerufen worden, an deren Workshops die Programmleitung vertreten ist.

Die Programmleitung vertritt das BFE in der Begleitgruppe des Projekts Use of Weather and Occupancy Forecasts for Optimal Building Climate Control (OptiControl) der ETHZ, MeteoSchweiz, Empa und der Industrie, welches durch Swisselectric Research unterstützt wird. Auf Programmebene werden unregelmässige Kontakte zu KTI, BAFU und Swisselectric Research gepflegt.

Internationale Zusammenarbeit

Die Projektnehmer des Forschungsprogramms Energie in Gebäuden sind international gut vernetzt und die Bereitschaft, in führenden Funktionen mitzuwirken, ist gross. Internationale Kontakte werden sowohl in direkter Zusammenarbeit in Projekten, in Netzwerken wie auch durch Teilnahme an internationalen Konferenzen wahrgenommen. Die bisherigen Erfahrungen und der Nutzen dieser Zusammenarbeit für die Schweiz können allgemein als sehr gut eingestuft werden.

Auf der Ebene Projektarbeit findet eine intensive Zusammenarbeit mit den IEA-Programmen Energy Conservation in Buildings and Community Systems ECBCS und Solar Heating and Cooling SHC statt. Die Schweiz ist im Rahmen des BFE-Forschungsprogramms Energie in Gebäuden in mehreren Projekten engagiert. Empa Building Technologies und HSLU CCTP vertreten die Schweiz als Operating Agent im IEA ECBCS Annex 50 Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings / die ETHZ ITA vertritt die Schweiz im Projekt IEA ECBCS Annex 49 Low Exergy Systems for High Performance Buildings and Communities / die Schweizer Vertretung im IEA SHC Task 41 Solar Energy and Architecture wird durch die HSLU CCTP und das SUPSI ISAAC-DACD wahr genommen / die FHNW ist am kombinierten IEA ECBCS Annex 52 / IEA SHC Task 40 Nullenergie-Gebäude – Die nächste Generation Energieeffizienter Bauten beteiligt / das LESO-PB vertritt die Schweiz im IEA ECBCS Annex 51 Energy Efficient Communities: Case Studies and Strategic Guidance for Urban Decision Makers.

Das Forschungsprogramm Energie in Gebäuden ist im ERA-Net Eracobuild im Rahmen des EU Framework Programme 7 (FP7) vertreten.

Das Ende 2008 gestartete Eracobuild ERA-Net dient der Vernetzung und dem Informationsaustausch der Programmverantwortlichen aus den verschiedenen Mitgliedstaaten und verfolgt das Ziel, die Zusammenarbeit zwischen den nationalen Programmen zu fördern. Neun Mitgliedstaaten haben im Dezember 2009 eine gemeinsame Ausschreibung (Joint Call for Proposals) zum Thema «Sustainable Renovation of Buildings» mit einem Budget von € 4 Mio. lanciert. Aus dieser Ausschreibung sind drei Projekte mit Schweizer Beteiligung entstanden, wovon zwei im Rahmen des Forschungsprogramms Energie in Gebäuden abgewickelt werden. Im Projekt INSPIRE werden «Integrated strategies and policy instruments for retrofitting buildings to reduce primary energy use and GHG emissions» entwickelt, im Projekt School vent cool wird das Thema «Ventilation, cooling and strategies for high performance school renovations» bearbeitet. Das dritte Projekt mit Schweizer Beteiligung «RE_CO_RE: Resource Conserving Renovation – Energy efficient, resource conserving and differentiated renovation of historic European building stocks» wird vom BFE-Forschungsprogramm EWG gefördert.

Schweizer Beteiligung in den IEA Implementing Agreements Energy Conservation in Buildings and Community Systems ECBCS und Solar Heating and Cooling SHC

www.ecbcs.org, www.iea-shc.org

Annex / Task	Schweizer Delegierter (Institution)
Towards Net Zero Energy Solar Buildings	FHNW, IEBAU
Energy Efficient Communities: Case Studies and Strategic Guidance for Urban Decision Makers	EPFL, LESO-PB
Solar Energy and Architecture	HSLU, CCTP / SUPSI, ISAAC-DACD
Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings	Empa, Building Technologies / HSLU, CCTP / FHNW, IEBAU
Energy and GHG Optimised Building Renovation	Econcept AG
Low Exergy Systems for High Performance Buildings and Communities	ETHZ, ITA / Basler & Hofmann AG

Referenzen

[1] Thomas S. Kuhn: *Th Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press 3. A., Dezember 1996.

[2] Othmar Humm: *Hülle gut, alles gut?* SIA Tec21 36/2010.

[3] Eidgenössische Energieforschungskommission CORE: *Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011*, Bundesamt für Energie, 2007.

[4] Charles Filleux, Andreas Eckmanns: *Konzept des Energieforschungsprogramms Energie in Gebäuden 2008–2011*, Bundesamt für Energie, 2008.

[5] Matthias Kägi, Charles Filleux: *energeia*, Ausgabe 4/2010.

[6] Karsten Voss, Eike Musall, Markus Lichtmess: *Vom Niedrigenergie- zum Nullenergiehaus: Standortbestimmung und Entwicklungsperspektiven*, Bauphysik 32 (2010), Heft 6.

BFE Forschungsprogramm Energie in Gebäuden

Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Dr. Charles Filleux, Basler & Hofmann AG, Ingenieure, Planer und Berater (Charles.Filleux@baslerhofmann.ch)

Bereichsleiter BFE:

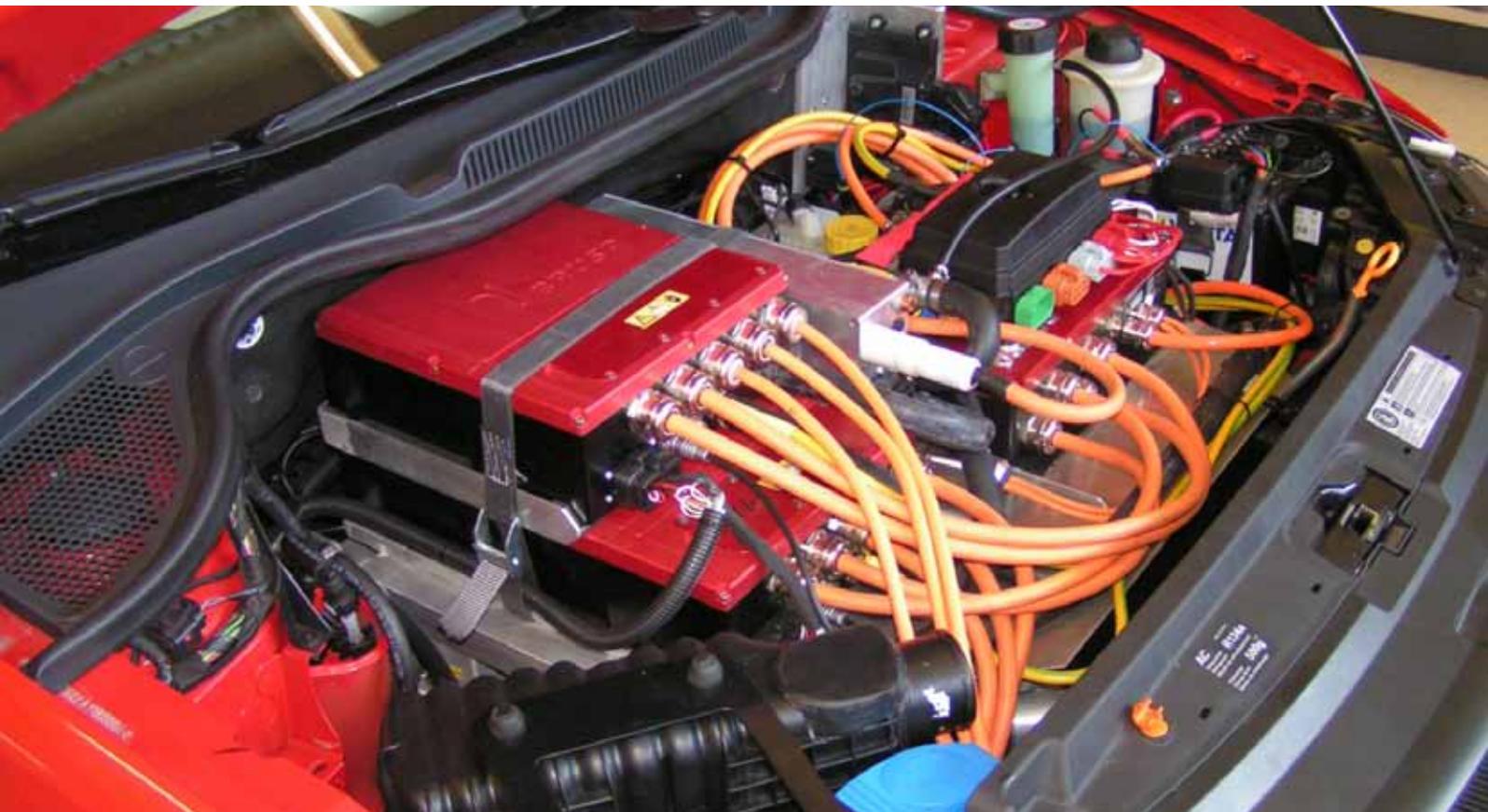
Andreas Eckmanns (andreas.eckmanns@bfe.admin.ch)

www.bfe.admin.ch/forschunggebaeude

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Rationelle Energienutzung im Verkehr & Akkumulatoren

Martin Pulfer



REX – ein sehr sparsames Elektromobil mit Reichweitenverlängerung durch einen hoch effizienten, kleinen Verbrennungsmotor

Die Burgdorfer Firma Swissauto entwickelte für einen VW Polo ein Antriebskonzept mit einem elektrischen Antrieb der Firma Brusa, Sennwald. Der in Serie geschaltene 1-Zylinder-4-Takt-Verbrennungsmotor, mit einem Hubraum von weniger als 300 cm³ wurde speziell für das Projekt entwickelt. Neben diesen motorischen Hauptmassnahmen wurde u.A. auch der Luftwiderstandsbeiwert des Fahrzeugs deutlich verbessert.

Einleitung

Der Verkehr ist mit 33,4 % 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, komfortableren Personenwagen;
- die steigende Verkehrsleistung bei praktisch allen Verkehrsmitteln;
- die vermehrte Staubildungen;
- die verlängerte Freizeit und dadurch ein erhöhter 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 Grössen sind jedoch stark konkurrenzierend. Gleichzeitig neigt das Kaufverhalten der 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 Jahre 2000 auf 6,62 l/100 km im Jahr 2010.

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, wie z. B. E-Bikes.

Das Forschungsprogramm verfolgt als Hauptziel die längerfristige Absenkung des Energieverbrauchs des Verkehrs. Dabei hält er sich an die vom Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) vorgegebene Nachhaltigkeitsstrategie. 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 und die zeitliche Reichweite desselben verlängert;

Daneben werden aber auch die folgenden Ziele verfolgt:

- generell sämtliche Emissionen inkl. Lärm des motorisierten Individualverkehrs (MIV) senken;
- die Sicherheit trotz reduzierter Fahrzeugmasse verbessern;
- den Raumbedarf des MIV mindern;
- den Industriestandort und Bildungsstandort Schweiz stärken.

Wieso Energieforschung im Verkehr und wieso in der Schweiz?

- Der Verkehr ist im Vergleich zu den andern 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 neue Wege beschreiten.
- Der Verkehr setzt in der Schweiz pro Jahr ca. 6 Mio. Tonnen Erdölprodukte, entsprechend einem Importwert von ca. 6 Mrd. CHF, mit einem bescheidenen Wirkungsgrad um. Bei einer Wirkungsgradverbesserung von nur 10 % würde sich die Handelsbilanz der Schweiz um 600 Mio. CHF verbessern. Eine weitere Verbesserung in der gleichen Grössenordnung könnte zusätzlich durch ein konsequentes Fahren im Eco-Drive-Fahrstil erzielt werden.
- Die Reduktion der Fahrzeugmassen besitzt durch den «Schneeball-effekt» eine gute Hebelwirkung: leichteres Fahrzeug ergibt leichteren Motor, leichtere Bremsen, leichtere Reifen, etc.
- Verkehr erzeugt immense externe Kosten.
- Die Kapazität des Schweizer Strassennetzes stösst an ihre Grenzen. Energieverpuffende Staus sind eine der ungeliebten Folgen.
- 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 Mitarbeiter beschäftigt (z. B. bei Carrosserie Hess und Stadler Rail Mitarbeiter).

- Die Schweiz, die bekanntlich keinen Automobilhersteller beheimatet, verfügt dank dem Automobilsalon in Genf immer noch eine gute Signalwirkung.

Das angrenzende und sehr kleine 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 ansässigen Akku-System 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 eine sehr kleine Industrie für Lithium-Akkumulatoren, dem Hauptthema in der Akkuforschung, verfügt und das mit einem marginalen Forschungsbudget die Forschung in wichtigen Industrienationen wie Japan, USA, China, Korea, BRD und Frankreich (je mit Mia.-Budget) nicht erfolgreich konkurrenzieren kann.

Highlights 2010

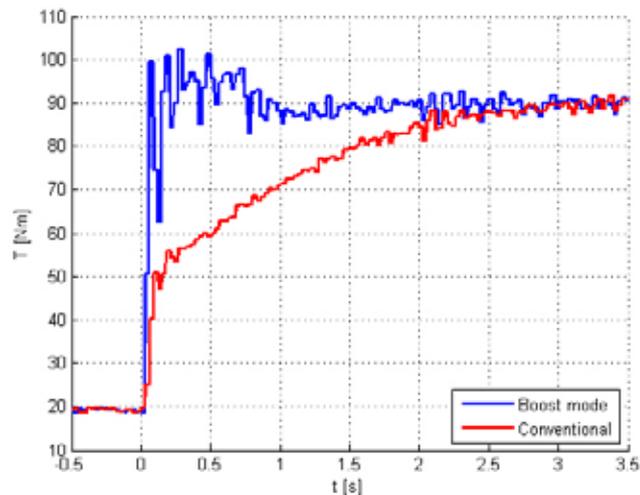
Pneumatischer Hybrid der ETH Zürich: Effizienzsteigerung durch Downsizing, Agilität durch pneumatische Unterstützung

Die ETH Zürich entwickelt am Institute for Dynamic Systems and Control (IDSC) einen pneumatischen Hybridantrieb. Der stark verkleinerte Verbrennungsmotor wird mit einem Turbolader aufgeladen. Zur Überbrückung des sogenannten Turbolochs wird Druckluft verwendet. Auf dem dynamischen Prüfstand konnten Einsparungen von bis zu 35 % gegenüber ca. 5 Jahre alten Antriebskonzepten und ca. 25 % gegenüber aktuellen Antrieben (Modelljahr 2008 resp. 2009) nachweisen.

Die Anstrengungen der Forschungsgruppe um den pneumatischen Hybridmotor lagen im Berichtsjahr in der Untersuchung und Verbesserung des dynamischen Ansprechverhaltens mittels des Boost-Modus.

Hubvolumen-Reduktion bei gleichzeitiger Aufladung mit einem Turbolader ist ein bekanntes Konzept, um den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren. Kleine aufgeladene Verbrennungsmotoren haben bei tiefen Drehzahlen einen verzögerten Drehmomentaufbau, das sogenannte Turboloch. Dieses verzögerte Ansprechverhalten ist äusserst unbeliebt beim Kunden und führt zu einer geringen Marktakzeptanz von kleinen aufgeladenen Verbrennungsmotoren. Ursache für das Turboloch ist das temporäre Fehlen von Luft auf der Einlassseite. Aufgrund der Trägheit des Turbolader-Rotors kann der Einlassdruck und demzufolge auch das Drehmoment nicht verzögerungsfrei erhöht werden. Der Boost-Modus löst dieses Problem durch zusätzliches Einbringen von Luft in den Zylinder über das Ladeventil. Nur dank diesem Modus ist ein starkes Downsizing ohne Einbussen der Fahrdynamik erst möglich.

Bis anhin wurde angenommen, dass das Ladeventil vollvariabel sein muss. Einem vollvariablen Ventil stehen Fahrzeughersteller aber aufgrund der hohen Kosten und der Komplexität sehr skeptisch gegenüber. Im Berichtsjahr konnte sowohl theoretisch als auch experimentell gezeigt werden, dass mittels eines nockenwellen-getriebenen Ladeventils sowohl Boost-Modus als auch andere Modi realisiert werden



Figur 1: Turbolochüberbrückung durch Pneumatik im Boost-Modus: Drehmoment vs. Zeit. Innerhalb weniger als 0,1 s und somit mit einer für den Fahrer nicht mehr merkbaren Verzögerung, ist das volle Drehmoment und damit die volle Leistung verfügbar.

können. Damit ist es nun möglich, mittels bereits existierender Ventiltriebs-Technologien den pneumatischen Hybridmotor zu realisieren, ohne dabei grosse Abstriche bei der Kraftstoffersparnis zu machen.

Der Fokus der theoretischen Untersuchung lag auf der notwendigen Ventilauslegung und der Erarbeitung von Regelstrategien. Es konnte ein Auslege-Framework erstellt werden, welches die wichtigsten Parameter miteinander in Verbindung setzt und die vorhandenen Limiten berücksichtigt. Die Realisierung des Boost-Modus mittels Nockenwellen-getriebener Ladeventile wurde zum Patent angemeldet. In Figur 1 sind für eine konstante transferierte Luftmasse verschiedene Parameterkombinationen aufgeführt.

Des Weiteren wurden zwei Regelstrategien entwickelt: Eine für minimalen Zusatz-Luftverbrauch, eine zweite für minimalen Zusatz-Kraftstoffverbrauch. Für die experimentelle Realisierung des Boost-Modus wurde das Verhalten des nockenwellen-getriebenen Ladeventils mit dem vollvariablen Ventil emuliert. Dabei wird das vollvariable Ventil so angesteuert, dass die gleiche Luftmasse transferiert wird, wie beim Nockenwellen-getriebenen Ventil. Es wurde eine Ventilansteuerung entwickelt, welche aus der gewünschten Systemzuständen (Temperaturen und Drücke) die entsprechenden Ventilan-

steuersignale berechnet. Zudem wurde eine Online-Luftmassenschätzung realisiert, welche für die Regelung und die Datenerfassung verwendet wird.

Mittels der Ventilemulation konnten beide oben erwähnten Regelstrategien erfolgreich experimentell bestätigt werden. Nicht nur die Nockenwellen-getriebene Variante profitiert von der neuen Luftmassen-basierten Ansteuerung. Auch die Regelung für den Fall eines vollvariablen Ventiltriebs konnte verbessert werden. Im Vergleich zum Vorjahr konnte der Anwendungsbereich des Boost-Modus deutlich vergrössert werden.

Da mit dem im Vorjahr eingebauten Abgasturbolader bei kleinen Motordrehzahlen stationär nur sehr geringe Drehmomente erzielt werden konnten, wurde die Turbine verkleinert. Im Rahmen dieser Anpassung wurde auch ein neuer Auslasstrakt konstruiert und gefertigt, welcher kürzer ist (weniger Wärmeverluste im Abgas), und bei welchem die Druckluftleitungen besser isoliert sind. Mittels dieser beiden Massnahmen konnte das stationär maximal erreichbare Drehmoment bis auf 8 % den Werksangaben angenähert und somit die nötigen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Realisierung des Boost-Modus geschaffen werden. Figur 2 zeigt die erfolgreiche Turbolochüberbrückung mit dem Boost-Modus bei 2'000 U/min. Das bei einem gewünschten Drehmoment von 90 Nm



Figur 2: Die effiziente und kompakte Antriebskette des REX besteht aus Elektromotor, Verbrennungsmotor und einem kleinen Ottomotor. Der Akku ist zur besseren Schwerpunktsverteilung nicht in der Frontpartie eingebaut, sondern im Boden des Fahrzeug-Hecks. Diese Masseverteilung verbessert zusätzlich die Fahrzeugsicherheit.



Figur 3: In Anlehnung an die Bionik entwickelt Georg Fischer AG, Schaffhausen, Leichtbaumodule für den Fahrzeug-Leichtbau. Obwohl das R&D-Projekt erst 2008 gestartet worden ist, erzielte GF mit Komponenten, die mit dem Verfahren entwickelt worden sind, im Jahr 2010 bereits einen wesentlichen Anteil am Umsatz.

zwei Sekunden dauernde Turboloch konnte eliminiert werden.

Im Berichtsjahr wurde das Team für seine Ergebnisse mit dem «Watt d'Or» in der Kategorie Mobilität ausgezeichnet. Weiter erhielt das Team den Inspiration Grant der Firma KPMG. Diese Auszeichnungen führten zu einem grossen Interesse von Industriefirmen und Medien.

VW Polo REX: 100 km-Autonomie durch den Li-Ion-Akku, weitere Distanzen mit dem Range Extender (REX)

Mit dem Projekt «Range Extender» hat sich Swissauto aus Burgdorf das Ziel gesetzt, ein optimales und nachhaltiges Antriebskonzept für den stadtnahen Bereich darzustellen, welches den Nutzer möglichst wenig im Alltagsbetrieb einschränken soll. Es wurde nach einer Lösung gesucht, welche ergänzend zum Elektroantrieb die Speicherproblematik der Batterie deutlich reduziert und trotzdem die gesamten Vorteile des reinen Elektroantriebs vollumfänglich nutzen kann.

Das Fahrzeug soll eine ausgezeichnete Energiebilanz aufweisen und mit bestmöglichen Wirkungsgraden betrieben werden können, um gesamthaft die Ressourcen zu schonen und die CO₂ Problematik entschärfen zu können.

Für den Agglomerationsbereich ist der Elektroantrieb aufgrund seines sehr hohen Wirkungsgrades und des

optimalen Drehmoment-Charakters bei tiefen und mittleren Geschwindigkeiten kaum von anderen Konzepten zu schlagen. Erst bei höheren Fahrgeschwindigkeiten wird ein rein mechanischer Antrieb mit Verbrennungsmotor effizienter. Da aber die meisten Strecken im Stadtbereich mit Geschwindigkeiten von durchschnittlich weniger als 35 km/h zurück gelegt werden, stellt die Elektrifizierung des Antriebs die beste, rasch am Markt in Verkaufsvolumen umsetzbare Antriebslösung dar.

Trotz intensiver Forschung auf dem Bereich der Energiespeicher kann bis heute elektrische Energie noch nicht kostengünstig in ausreichender Menge im Fahrzeug gespeichert werden. Das Ziel war es daher, die beste Möglichkeit zu suchen, den Strom nach Bedarf im Fahrzeug zu erzeugen und die Batterie Netzunabhängig nachladen zu können. Aus Sicht von Swissauto ist ein Range Extender die ideale Lösung, um dem elektisch angetriebenen Auto den Markteinstieg zu ermöglichen, zumindest bis im Bereich der Batterie neue Lösungen bezüglich Kosten, Gewicht und Energiedichte gefunden werden.

Heute befinden sich weltweit bereits verschiedene Lösungsansätze in Entwicklung. Diese werden aber wenig konsequent verfolgt und umgesetzt. In den meisten Konzepten werden aufgrund des Zeithorizonts und der Entwicklungsaufwendungen zu grosse Kompromisse eingegangen, und die Vorteile dieser Antriebssysteme werden nicht genügend genutzt.

Wie im heutigen Motorenbau bereits intensiv verfolgt und teilweise umgesetzt, spielt auch beim Range Extender (REX) die Hubraumreduktion eine wichtige Rolle. Nur so kann der Motor über weite Betriebsbereiche in seinen besten Wirkungsgraden betrieben werden.

Aus diesen Gründen hat sich Swissauto für einen Einzylinder-Verbrennungsmotor entschieden, welcher mit speziellen Massnahmen auf die Anwendung im REX optimiert wurde. Beim Elektroantrieb hat Swissauto ein als Prototyp bestehendes System der Firma Brusa gewählt, welches für seine guten Wirkungsgrade bekannt ist. Der Antrieb besteht aus einem 85 kW starken Elektromotor mit einem Untersetzungsgetriebe und einem Differential, welches mit den Antriebswellen auf die Vorderräder gekoppelt ist. Der Generator wurde ebenfalls von Brusa in Zusammenarbeit mit Swissauto entwickelt und an den Verbrennungsmotor direkt angebaut. Die Batterie besteht aus 96 Lithium-Ionen-Zellen von Kokam, welche von Brusa konfektioniert und mit einem Batteriemanagement versehen wurde. Das Paket verfügt eine Kapazität von nutzbaren 12 kWh, was eine Reichweite von ca. 100 km für einen Kompaktwagen der Polo-Klasse ermöglicht. Das Versuchsfahrzeug selber wurde aerodynamisch überarbeitet und der Fahrwiderstand wurde gegenüber dem Originalfahrzeug deutlich reduziert. Für den effizienten Betrieb des REX und des Gesamtfahrzeugs wurde eine Betriebsstrategie entwickelt, aus welcher ein möglichst hoher Kunden-



Figur 4: Das Forschungsprojekt E'Scooters der IKAÖ der Uni Bern, in Zusammenarbeit mit der EMPA, dem PSI und e'mobile erforscht das Umfeld dieser Mobilitätsform und arbeitet erfolgreich mit NewRide zusammen. Für die nähere Zukunft ist für die E'Scooters ein Markterfolg zu erhoffen. Vom Volumen wird dieser aller Wahrscheinlichkeit nicht so bedeutsam sein, wie der, der E-Bikes. Immerhin wurden in der Schweiz aber 2010 ca. 900 E-Scooters abgesetzt, die Mehrheit dabei an den Flottenbetreiber Mobility Solutions, dem Flottenbetreiber der Post. Quantya SA, Paradiso, TI, konnte 2010 bereits mehrere 100 qualitativ hochstehende und damit teure E-Scooters ins Ausland exportieren.

nutzen resultierte. Diese beinhaltet eine einfache Bedienstrategie für den Fahrer und eine effiziente Nutzung der Brems-Rekuperation bis zu einer Leistung von 32 kW.

Leichtbau durch Bionik-Simulation

Georg Fischer AG, Schaffhausen, erforscht im Projekt «Leichtbau im Automobil mit Hilfe von Bionik-Simulation» Ansätze und Methoden die Konstruktion von Baugruppen mit reduzierter

Masse. Die Gewichtsreduktion gegenüber Fahrzeugkomponenten in Guss war auch im Jahr 2010 das treibende Thema für das Forschungsprojekt. Nach wie vor zeigen sich in den Lastenheften der Entwicklungsprojekte wachsende Ansprüche in Richtung Steifigkeit und Festigkeit. Gleichzeitig sinken jedoch die Zielgewichte der Komponenten. Dieser Zielkonflikt kann mittels der Bionik zumindest entschärft und die generelle Machbarkeit in einer frühen Phase geprüft werden.

Nachdem 2009 diverse neue Verfahren erprobt und validiert wurden, war es das Ziel, diese Methodik nachhaltig in Projekten weiter zu entwickeln. Es zeigt sich, dass die verschiedenen Ansätze spezialisiert auf bestimmte Problemstellungen angewendet werden müssen. Ein einzelnes Standardprogramm für alle Aufgaben wird nicht zielführend sein.

Es haben sich weiterhin die Parameter freien Optimierungswerkzeuge als nützliches Hilfsmittel am Beginn der Bauteil-Entwicklung bewährt. Dieses Hilfsmittel ermöglicht es, die besten Lastpfade in einem vorgegebenen Bauplan zu identifizieren und hilft somit die leichtest-möglichste Struktur für eine Komponente schnell zu finden. Da in dieser Phase der Raum nur sehr grob beschrieben ist und damit die genaue Architektur des Bauteils noch unklar ist, können über das Parameter freie Verfahren sehr einfach und effek-

Motor	: 1 Zylinder 4 Takt mit einer Ausgleichswelle
Kühlung	: Wasser-gekühlt mit integrierter Wasserpumpe
Motorengehäuse	: Druckguss Aluminium
Zylinder	: Aluminiumguss mit Nikasil-Beschichtung
Bohrung/Hub	: 77 / 64 mm
Hubraum	: 300 cm ³
Verdichtung	: 13 : 1
Leistung	: 26 kW bei 7'500 RPM
Spezifischer Verbrauch	: Bestpunkt bei 230 g/kWh; < 255 g/kWh in allen Betriebspunkten
Zylinderkopf	: 4 Ventile pro Zylinder mit zwei oben liegenden Nockenwellen
Kurbelwelle	: Stahl-geschmiedet, Rollen-gelagert
Kolben	: Aluminium-geschmiedet
Pleuel	: Stahl geschmiedet, rollengelagert
Schmiersystem	: integrierter Trockensumpf, drucklos mit Gehäusemembranpumpe
Motorsteuerung	: Saugrohreinjection mit elektronischer Drosselklappe
Abmessungen	: L/B/H = 465/165/430 mm
Gewicht Rumpfmotor	: 18 kg
Generator	: integrierter Permanentmagnet Motor mit 30 kW
Wirkungsgrad	: Generatorwirkungsgrad = 96 %
Gewicht REX-System	: 38 kg
Antriebsmotor	: IPM Synchronmotor mit 87 kW
Getriebe	: Getrag, 2-stufig, Gesamtübersetzung 8:1
Batterie	: Li-Ion, Kokam-Zellen, Brusa Managementsystem
Kapazität	: 14 kWh, davon Nutzbereich von 12 kWh
Spannungsbereich	: 315 bis 395 Volt
Gewicht	: 135 kg
Demonstratorfahrzeug	: 2010 VW Polo
Beschleunigung 0-100	: Sportmodus: 8 s; Eco Modus: 12,5 s
Höchstgeschwindigkeit	: 160 km/h
Gewicht	: 1'245 kg
C _w -Wert	: 0,28 (durch diverse Massnahmen optimiert) (Polo orig: 0,32)

Tabelle 1: Systemmerkmale und technische Daten des VW Polo REX.

tiv neue Strukturen gefunden werden. Durch Ausbau der Methodik gelang es, die Parameteroptimierung auch für komplexere CAD-Strukturen anzuwenden.

Die regler- und sensitivitätsbasierte Topologie- und Shapeoptimierung erlaubt in einer zweiten Phase bereits entwickelte CAD-Geometrien weiter zu optimieren. Hierbei können Teilbereiche einer Komponente – wie zum Beispiel Hohlbereiche oder Anbindungen – im Detail optimiert werden. Somit kann zum Beispiel sehr effektiv die Lebensdauer kerbspannungsbehafteter Bauteile schnell und ohne wesentliches Mehrgewicht erhöht werden. Ist eine vorgegebene Steifigkeit das Ziel, so lässt sich auch dies mit minimalem Zeitaufwand erreichen. Nichtlineare Problemstellungen können nun durch die Strukturoptimierung ebenfalls bearbeitet werden.

Auch die Parameteroptimierung ist als dritte Methode ein sehr gutes Werkzeug, um bereits bestehende Strukturen zu verbessern. Dabei können bevorzugt überschaubare Teilbereiche, welche sich durch eine begrenzte Anzahl von Parametern beschreiben lassen, optimiert werden. Hieraus können Lösungen gefunden werden, welche sonst mittels der kontinuierlich ablaufenden Strukturoptimierung nicht zu entdecken gewesen wären. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass das Ergebnis bereits als fertige CAD-Geometrie vorliegt. Die Struktur muss also nicht wie bei der Strukturoptimierung nachmodelliert werden.

Durch weitere interne Schulungen konnte die bereits erarbeitete Methodik und Herangehensweise an die Mitarbeiter der Abteilung Produktentwicklung weitergegeben werden. Diese wird weiterhin in breiter Anwendung in Entwicklungsprojekten durchgängig eingesetzt und genutzt.

E-Scooter

Das interdisziplinäre Forschungsprojekt «E-Scooter» der Arbeitsgemeinschaft Uni Bern/IKAÖ, Empa und e'mobile 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. Das Pro-

jekt wird von den beiden UVEK-Ämtern ASTRA (Strassen) und BFE unterstützt.

Im September 2010 fand der erste Workshop des Forschungsprojekts «E-Scooter» in St. Gallen statt. Den rund 50 Fachleuten wurden im Rahmen von vier Sessions erste Zwischenergebnisse aus den Themenbereichen Ladeinfrastruktur, Sicherheit, Verbrauchsmessungen und Ökobilanzierung präsentiert. Ergänzt wurde der Workshop mit einer E-Scooter-Ausstellung und einem Schaulaufen für die Öffentlichkeit, sowie mit der Einweihung einer solaren Ladestation bei der Empa.

Die Analyse der Marktentwicklung zeigt, dass die Absätze der Schweizer Anbieter 2010 hinter den Erwartungen zurückblieben, abgesehen von 1'000 Cargo-Scootern, welche die Schweizer Post beschafft hat. Dies hat diverse Gründe: hohe Anschaffungskosten, ungenügende Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h, Lieferschwierigkeiten, mangelndes Engagement der Wiederverkäufer. Die empirische Forschungsliteratur bestätigt, dass die Diffusion von E-Scootern, neben dem höheren Kaufpreis, auf zahlreiche weitere Hindernisse stösst (u. A. Reichweite, Akkulebensdauer, rare öffentliche Ladestationen und Image). Die Erfahrungen aus anderen Ländern deuten darauf hin, dass beispielsweise Subventionen alleine keine ausreichende Markteinführungsstrategie für E-Scooter sein dürften.

Im Bereich «Ladestationen» wurden 2010 weitere Fortschritte erzielt: verschiedene Städte haben gedeckte Zweirad-Abstellplätze bei Gemeindegemeinschaften mit einfachen Aussensteckdosen installiert. In diesem Jahr wurden auch die Arbeiten zum Thema «Sicherheit» aufgenommen und dabei E-Scooter-spezifische Aspekte (z. B. Geräuschlosigkeit, elektrotechnische Gefahren) definiert und untersucht.

2010 wurden verschiedene Fördermassnahmen analysiert: An der Sonderschau «E-Scooter» der Swiss-Moto 2010 wurde eine Befragung der Aussteller während und nach der Messe durchgeführt. Die Empfehlungen des Evaluationsberichts sind bereits in die Vorbereitung der Swiss-Moto 2011 eingeflossen. In einer gesonderten Befragung wurden die Langzeitwirkungen einer Probefahrt mit einem E-Scooter analysiert. 86 % der 86 Befragten glauben, dass E-Scooter in den nächsten fünf bis zehn Jahren den

Durchbruch auf dem Markt schaffen werden. Weiter wurde ein Papier über Erfahrungen mit finanziellen Anreizen im Verkehr und in verwandten Bereichen im In- und Ausland fertig gestellt. Dabei wurden die Wirkungsmechanismen verschiedener Arten von finanziellen Anreizen analysiert und ihre Vor- und Nachteile erörtert. Aus der Literaturanalyse konnten Empfehlungen für die weitere E-Scooter-Förderung abgeleitet werden.

Das Öko-Inventar für eine moderne Lithium-Batterie wurde erstellt und publiziert. Eine typischerweise in Elektrofahrzeugen eingesetzte Batterie wurde detailliert analysiert bezüglich Materialien und Herstellungsprozessen während des gesamten Lebenswegs. Das Inventar konnte in der weltweit grössten Ökoinventar-Datenbankecoinvent v2.2 integriert werden und steht so einem breiten Publikum zur Verfügung. Im Arbeitspaket «Verbrauchsmessung» wurde eine einfache, kostengünstige und allgemein anwendbare Methode entwickelt. Sie verzichtet auf die Verwendung von Rollenprüfständen und ist mit einer minimalen, temporären Nachrüstung für elektrische Messtechnik in kurzer Zeit durchführbar. Die Methode erlaubt es, E-Scooter in ihrer Fahrleistung und Reichweite zu vergleichen.

2010 wurde die Detailplanung des Querschnittspakets «Nutzerbefragung» ausgearbeitet, die Befragungstools (Fragebogen und Tagebuch) erstellt und mit der Untersuchung der Käufer begonnen. Die Untersuchung der E-Scooter-Nutzer kommt nur zögerlich voran, da zurzeit trotz der finanziellen Fördermassnahmen von sieben Schweizer Städten nur wenige E-Scooter gekauft werden. Das Forschungsteam ist nun daran, gemeinsam mit den verschiedenen Akteuren weitere Massnahmen für die Diffusion von E-Scootern zu formulieren und im kommenden Jahr umzusetzen.

Akkumulatoren

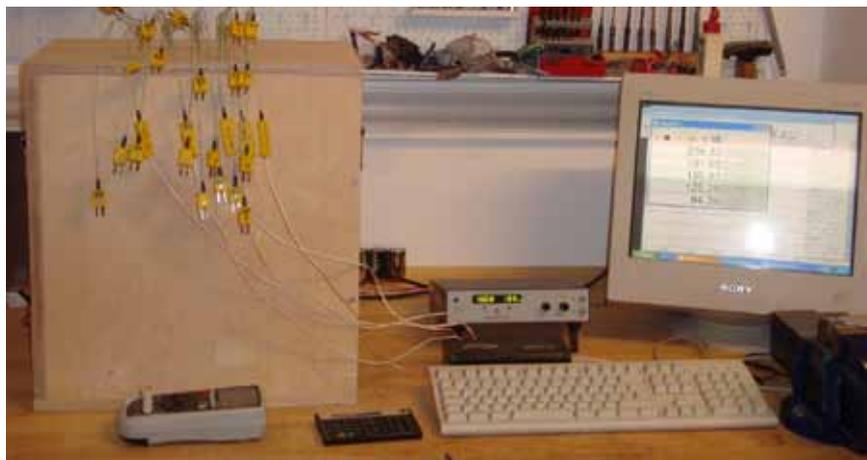
Im Projekt ABLIM der KWO mit den Projektpartnern HTI Bern, ABB, Supsi und Battery Consult wird ein Lebensdauermodell für NaNiCl-Zellen (ZEBRA) aufgestellt. Mit diesem Modell sollte es möglich werden, die Lebensdauer von ZEBRA-Batterien in Elektroautos besser vorhersagen zu können und Hinweise zu erhalten, wie solche Zellen weiter

entwickelt werden sollen, damit sie eine höhere Lebenserwartung erreichen. Das wiederum soll die ZEBRA-Batterien wirtschaftlicher und zuverlässiger machen.

Aktuell sind 8 Modulteststände in Betrieb: Einer bei der BFH-TI Biel, 3 bei der KWO und weitere 4 bei der ABB in Dättwil. Der Einbezug von ABB hat das Projekt positiv belebt und die gemeinsamen Diskussionen haben wesentliche Verbesserungen der Testprozedur zur Folge gehabt. Das (noch nicht fertig entwickelte) Lebensdauermodell wird mit Messdaten aus den mittlerweile 8 Zelltestständen gespeist. Weil nun acht Module unter 80 % Energiekapazität (=Grenzwert für die Nutzung im Automobil) gefallen sind, kann das theoretische Lebensdauermodell mit den Laboraten kalibriert werden.

Ab nächstem Jahr kann das Lebensdauermodell mit Daten aus dem Betrieb von Elektroautos kalibriert werden. Die dafür notwendigen CAN Data Logger (CDL) wurden bestellt, können aber wegen Lieferverzögerungen (Chips) erst Mitte Januar 2011 geliefert werden. Die CDL werden dann sofort in die Autos mit Mietbatterien eingebaut.

Battery Consult GmbH erstellte eine Potenzialstudie für Zebra-Akkus. Batterien für Elektrofahrzeuge werden durch spezifische Leistung (Ziel: 500 W/kg) und spezifischen Energieinhalt (Ziel: >200 Wh/kg) charakterisiert. Diese Zielwerte können zur Zeit mit NaNiCl₂-Batterien (ZEBRA) nicht erreicht werden, wodurch die anderen günstigen Eigenschaften wie Sicherheit, Potenzial für niedrige Kosten von 150 €/kWh und das einfache Recycling in den Hintergrund geraten sind. Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass diese Zielwerte mit der gegenwärtigen Zellkonstruktion in der Tat nicht erreichbar sind. Die theoretische spezi-



Figur 5: Anordnung zur Messung der thermischen Leitfähigkeit von Batterie-Zellen Typ ML3, jede der 5 thermisch in Serie angeordneten Zellen ist mit 5 Thermoelementen ausgestattet, so dass ein 2-dimensionales Temperaturprofil gemessen werden kann.

Table 2 Chemistry Data	unit	LiCoO ₂	LiFePO ₄	Na ₂ S ₅	NaNiCl ₂	Comments
Anode Material		Li	Li	Na	Na	
Anode Standard Potential	V	3.01	3.01	2.71	2.71	
Anode Mat. Spec. Energy	Wh/g	11.7		3.16		
Anode Material Cost	€/kg	35		0.53 ¹	0.12 ²	¹ metal, ² salt
Theoretical Specific Energy	Wh/kg	647	375	542	790	C included
		1122	543			C not included
Practical Specific Energy 25% of theoretical assumed	Wh/kg	162/280	94/136	136	198	C incl./not incl.
Open Circuit Voltage	V	4.1	3.2	2.08	2.58	
Mol Weight	g	169.9	229.7	206.3	175.6	C included
		97.9	157.8			C not included
Abundance Earth	ppm	Li 17	Fe 56000	Na 23600	Ni 84	
		Co 25	P 1050	S 350	Cl 145	

Figur 6: Vergleich des Potenzials des ZEBRA-Akkus mit dem anderer moderner Akkumulatoren. Augenfällig ist, dass die ZEBRA-Technologie auf seltene Rohstoffe verzichten kann.

fische Energie dieses chemischen Systems ist jedoch mit 760 Wh/kg hoch genug und vergleichbar mit den entsprechenden Werten von Li-Systemen, so dass die Zielwerte mit einer Zellkonstruktion mit flachen, dünnen Kathoden in bipolarer Anordnung und mo-

difizierter Kathodenrezeptur erreichbar sind. Auf die zur Realisierung erforderliche Forschungsthemen wurde ebenso hingewiesen wie auf die erforderlichen Verbesserungen bei der thermischen Auslegung der Batterie.

Nationale Zusammenarbeit

Zwischen den Bundesämtern, insbesondere jenen des Departements UVEK, wie auch den Forschungsorganen des Schulrats, 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, wesentlich mitverantwortlich für die Verbreitung der E-Bikes und den Verkauf von ca. 40'000 E-Bikes im Jahr 2010 in der Schweiz.

- e'mobile, dem Förderer der elektrischen und hybriden Fahrzeuge.
- Gasmobil, dem Promotor der Erd- und Biogasfahrzeuge und Auftraggeber des Fiat 500 1.4 Natural Power Turbo mit Erdgasmotor. Dieses Fahrzeug wurde vom VCS neben dem Lexus 200h zum umweltfreundlichsten PW gekürt und kann in der Zwischenzeit bestellt werden. Die Entwicklung dieses Antriebs wurde auch vom BFE (EnergieSchweiz) unterstützt.
- Mit der Interessensgemeinschaft V2G konnte von 2009 bis 2010 eine nationale Zusammenarbeit und ein Netzwerk von über 50 Teilnehmern aus der Automobil- und Elektronikindustrie, der Energietechnik, den Behörden und weiteren Partnern aufgebaut werden.

Internationale Zusammenarbeit

IEA Implementing Agreement (IA) Advanced Motor Fuels: (www.iea-amf.vtt.fi): Gegenwärtig sind in diesem IA folgende Annexe mit den entsprechenden Themen aktiv: Information Service & AMF Website (AMFI), Algae as a Feedstock for Biofuels, Particle Measurements: Ethanol and Butanol in DISI Engines, Fuel and Technology Alternatives for Buses, Environmental Impact of Biodiesel Vehicles, Enhanced Emission Performance and Fuel Efficiency for HD Methane Engines, Life Cycle Analysis of Transportation Fuel Pathways, Alternative Fuels for Marine Applications – Future Marine Fuels Study, Toxicity of Exhaust Gases and Particles from IC-Engines – International Activities Survey, und Performance Evaluation of Passenger Car Fuel and Powerplant Options.

IEA Implementing Agreement Hybrid & Electric Cars (www.ieahev.org/): Hier sind gegenwärtig Annexe zu folgenden Themen aktiv: Information Exchange, Hybrid Vehicles, Clean City Vehicles, Electrochemical Systems, Electric Cycles, Heavy-Duty Hybrid Vehicles, und Fuel Cells for Vehicles.

Die EU fördert in vielen Fachgebieten mit Finanzbeiträgen die Zusammenarbeit nationaler Forschungsförderstellen und den Erfahrungsaustausch. Die entsprechenden Projekte tragen den Namen Era-Net (European Research Area Network). Ihr wichtigstes Ziel ist die Koordination und die gegenseitige Öffnung der nationalen Forschungsförderprogramme.

Era-Net Transport (ENT) gehört zu diesem Era-Net-System und ist ein zeitlich befristetes Konsortium zur Förderung der Zusammenarbeit zwischen staatlichen Forschungsförderstellen im Bereich Verkehr. Mitglieder von ENT sind Verkehrs- oder Forschungsministerien europäischer Länder, z. B. von Frankreich, Deutschland, Grossbritannien, Spanien, Österreich, Polen, Schweden, Norwegen, Dänemark, Finnland. Seit Anfang 2007 arbeitet auch das eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Ener-

gie und Kommunikation UVEK in dieser Organisation mit. Die Bundesämter des UVEK mit eigenen Programmen zur Förderung von Forschung und technologischer Entwicklung sind Partner in Era-Net Transport:

- das ASTRA: Forschung im Strassen-, Brücken- und Tunnelwesen;
- das BFE: Energieforschung, Schwerpunkt «Effiziente Energienutzung» – Bereiche «Verkehr» sowie «Akkumulatoren».

Era-Net Transport wird ähnlich wie ein Forschungsprojekt eines internationalen Konsortiums aus Mitteln der Forschungsrahmenprogramme der EU finanziell unterstützt.

ENT Action Groups

Eine der Massnahmen zur Förderung der Zusammenarbeit der nationalen Forschungsförderstellen sind die Action Groups. Diese bestehen aus den Forschungsförderstellen mehrerer Länder, die Ausschreibungen für Forschungsprojekte in einem definierten Bereich durchführen. Die Projekte müssen gemeinsam von Forschungsstellen aus mindestens zwei Partnerländern des Era-Net Transport eingereicht werden. Die Auswahl der zu unterstützenden Projekte erfolgt gemeinsam durch die Vertreter dieser Länder. Jedes Land finanziert den Partner aus seinem Land.

Die Schweiz ist an der Action Group 16 Intermodal Freight Transport beteiligt. Aufgrund einer Ausschreibung wurden mehrere Projekte mit Schweizer Partnern eingereicht. Das Evaluationsgremium der Action Group 16 hat 2008 alle eingereichten Gesuche geprüft und die Projekte bestimmt, die realisiert werden sollen. Seit 2009 sind aus dieser Evaluation 2 Projekte in der Schweiz, beim IVT der ETHZ resp. bei Rapp Transport Zürich in Arbeit.

Referenzen

[1] Eidgenössische Energieforschungskommission CORE: Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011, Bundesamt für Energie, 2007.

[2] BFE Forschungskonzept Verkehr 2008–2011, Bundesamt für Energie 2008

[3] BFE Forschungskonzept Akkumulatoren 2008 - 2011, Bundesamt für Energie 2009

BFE Forschungsprogramme Rationelle Energienutzung im Verkehr & Akkumulatoren

Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Martin Pulfer, Bundesamt für Energie (martin.pulfer@bfe.admin.ch)

Bereichsleiter BFE:

Martin Pulfer (martin.pulfer@bfe.admin.ch)

www.bfe.admin.ch/forschungsverkehr ; www.bfe.admin.ch/forschungakkumulatoren

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Elektrizitätstechnologien und -anwendungen

Roland Brüniger



Frau Bundesrätin Doris Leuthard lässt sich den A++-Kühlschrank mit knapp 30 % weniger Stromverbrauch erklären.

Die energiesparendsten Kühlschränke sind heute mit einem A++ ausgezeichnet und benötigen nur rund halb so viel Strom wie Kühlschränke der Energieklasse A. In einem ambitionierten und herausfordernden Forschungsprojekt konnte nachgewiesen werden, dass ein A++-Serienmodell mit einer einfachen technischen Modifikation um knapp ein Drittel sparsamer wird. Dazu wurde ein Kompressor mit variabler statt konstanter Drehzahl eingesetzt. Dieser kann mit wesentlich tieferen Drehzahlen betrieben werden, läuft dafür aber während 90 % der Zeit. Tests haben gezeigt, dass die Energieeinsparung umso grösser ist, je länger der Kompressor läuft. Hochgerechnet auf alle Schweizer Kühl- und Gefriergeräte könnten auf diese Weise etwa 400 GWh/Jahr eingespart werden.

Einleitung

In der Vergangenheit ist national und international eine stetige Zunahme des Strombedarfs zu verzeichnen. Zwar sank 2009 in der Schweiz der Bedarf – primär wirtschafts- und witterungsbedingt – um 2,1 %, ein längerfristiger Rückblick in der schweizerischen Elektrizitätsstatistik zeigt jedoch ein klares Wachstum von etwa 52 TWh im Jahr 2000 auf knapp 57,5 TWh im Jahr 2009. Moderne, innovative Technologien sowie effiziente Anwendungen sind die wesentlichen Komponenten, um diesen Trend zu brechen oder zumindest erheblich zu dämpfen.

Im Jahr 2010 wurden in der Schweiz erstmals Verbrauchsvorschriften für Elektrogeräte erlassen. Dieser regulative Schritt geht mit den seit einiger Zeit erlassenen EU-Vorschriften einher und ist der Anfang eines andauernden Prozesses. In der EU basieren diese regulatorischen Aktivitäten auf der Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG, auch ErP-Richtlinie genannt (ErP = Energy related Products), die der Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte dient. Da gemäss bisherigen Erkenntnissen primär der Strombedarf während der Lebensdauer die entscheidende Einflussgrösse darstellt, werden durch die EU sukzessive energetische Mindestanforderungen für die einzelnen Produkte definiert. Einbezogen sind dabei grundsätzlich alle energieverbrauchsrelevanten Produkte mit einem jährlichen EU-Verkaufsvolumen von mindestens 200'000 Stück, die gemäss strategischen Prioritäten der EU (Beschluss Nr. 1600/2002/EG) erhebliche Umweltauswirkungen aufweisen und über ein substantielles Potenzial für eine Verbesserung der Umweltverträglichkeit zu vertretbaren Kosten verfügen.

Obwohl Mindestanforderungen ihre Berechtigung haben und ein wichtiges Element der Effizienzsteigerung darstellen, dürfen und können sie nicht für sich allein bestehen, denn der Regulator kann sich nur am heute tech-

nisch Machbaren orientieren. Zukünftige Entwicklungen neuer, innovativer Effizienzmassnahmen können deshalb kaum einbezogen werden. Innovationen – basierend auf Forschungsanstrengungen – stellen deshalb einen entscheidenden Pfeiler der Energieeffizienz dar. Innovationen können sowohl durch die Entwicklung neuer als auch durch die geschickte Modifikation bestehender Technologien einen Beitrag zur Effizienzsteigerung leisten.

Obwohl viele Erkenntnisse für eine rationelle Elektrizitätsverwendung in unterschiedlichsten Bereichen verfügbar sind, liegen diese oft brach und werden nicht oder nur zögerlich aufgenommen. Deshalb sind intensive Aufklärungsarbeiten erforderlich. Informationen und eine transparente Darlegung von verfügbarem Fachwissen sind somit wichtige Grundlagen, damit Entscheidungsträger, sei dies im privaten Umfeld oder in der Industrie, sich zu Gunsten effizienter Technologien und Anlagen entscheiden können. Im Haushaltsbereich leistet die seit längerem eingeführte Energieetikette einen massgeblichen Beitrag. Das Aktionsprogramm des Bundes «EnergieSchweiz» umfasst weitergehende Aktivitäten (z. B. Topmotors) zur flächendeckenden Verbreitung zusätzlicher Informationen. Diese gehen einher mit einer Vielzahl von internationalen, ähnlich gelagerten Programmen. Topten (www.topten.ch), EnergyStar (www.eu-energystar.org), Top-Runner und andere Programme und Initiativen sollen stellvertretend für derartige Aktivitäten erwähnt sein.

Forschung, Regulierung und Informationsvermittlung sind ineinander greifende Massnahmen, die sich ergänzen und die alle ihre Berechtigung haben, um die effiziente Energieanwendung zu fördern. Mit dem vorliegenden Programm wird einerseits Grundlagenwissen für die Regulierung und die Wissensvermittlung bereitgestellt, andererseits werden unter Einbezug der Industrie neue Technologien entwickelt und erforscht.

IEA-Klassifikation: 1.1 Energy efficiency – Industry;
1.2 Energy efficiency – Residential 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 nutzbare Energie gewandelt werden kann, stellt die Thermoelektrizität einen wesentlichen Schwerpunkt dar. Mit der *magnetokalorischen Konversion* steht einerseits eine neuartige Kühltechnik zur Verfügung, und andererseits kann damit bei einem Temperaturgefälle Strom erzeugt werden. Diverse Untersuchungen sollen das technische Potenzial aufzeigen. Da dank der *Hochtemperatursupraleitung* Motoren, Generatoren, Kabel, etc. effizienter betrieben werden können, werden diese internationalen Aktivitäten beobachtet und in spezifischen Anwendungen geprüft. Die *Druckluftspeicherung* könnte sich zu einer effizienten Speichertechnologie entwickeln, weshalb entsprechende Untersuchungen unterstützt werden.

Motoren stellen die grösste Verbraucherkategorie dar. Gemeinsam mit der einschlägigen Industrie werden deshalb in diversen Anwendungsgebieten Optimierungen erforscht. Aufzüge oder Pumpen für die Wasserversorgung seien hierfür exemplarisch erwähnt. Da *Haushaltsgeräte* einen relevanten Verbrauchsanteil ausmachen, werden in diesem Bereich neuartige Technologien entwickelt und Optimierungsarbeiten

durchgeführt. Die Vakuumin-Isolation stellt dabei eine erfolgversprechende Möglichkeit dar.

Durch die unvermindert rasant fortschreitende Technologieentwicklung werden im Bereich der *Informations- und Kommunikationstechnik* Grundlagen und Erkenntnisse bezüglich dem Thema Smart Metering und Smart Home bearbeitet. Schliesslich werden durch Fortführung der internationalen Aktivitäten im Rahmen des IEA Implementing Agreements Energy Efficient End Use Equipment (4E) neues und bestehendes Wissen zur Energieeffizienz aufbereitet und verbreitet.

Rückblick und Bewertung 2010

An der ETH werden in einem neu gestarteten Projekt spezifische Grundlagen für ein neues, kosteneffektives Produktionsverfahren thermoelektrischer Materialien geschaffen. Leider verzögerten sich die Arbeiten des isothermen Druckluftspeichers an der EPFL und erste Ergebnisse sind frühestens im 2011 zu erwarten.

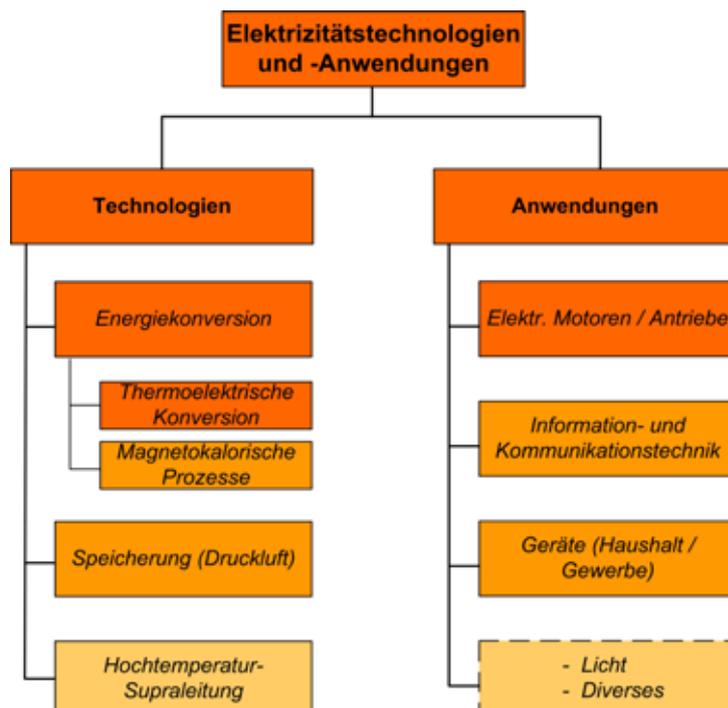
Bei den Anwendungen hat ein Forschungsprojekt aufgezeigt, dass mit der Modifikation des Kühlkreislaufs bei einem A+++-Kühlschrank der Verbrauch um knapp 30 % reduziert werden kann. Zudem ist erfreulich, dass meh-

rere Projekte im Bereich der Vakuumin-Isolationstechnik gestartet werden konnten, ist dies doch eine Erfolg versprechende Zukunftstechnologie. Im Bereich der Motoren konnten Grundlagen für eine Effizienzsteigerung bei Aufzügen erarbeitet werden, und die Arbeiten zum Thema Oberwellen aufgrund vermehrt eingesetzter Umrichter wurden gestartet. Der im Rahmen des 4E Motoren-Annex in der Schweiz durchgeführte internationale Motor Summit war gut besucht und erfolgreich. Zudem führten weitere Aktivitäten im Rahmen von 4E im Jahr 2010 zu ersten Ergebnissen im Bereich Standby von Geräten.

Ausblick 2011

Der Abwärmenutzung wird auch zukünftig grosse Bedeutung beigemessen. In Ergänzung zum ETH-Projekt zur thermoelektrischen Nutzung von Abwärme in Kühlkreisläufen wird in einem neu gestarteten Projekt die warme Abluft eines Schwerindustriewerks mittels Thermoelektrik genutzt. Zudem wird erwartet, dass der Prototyp des isothermen Druckluftspeichers fertiggestellt wird und damit die Technologie auf deren Umsetzungspotenzial eingeschätzt werden kann.

Im Anwendungsbereich darf erwartet werden, dass bei der Vakuumin-Isolation erste Ergebnisse für die Marktumsetzung zur Verfügung stehen werden. Durch zusätzliche Publikationen wird 2011 die Industrie motiviert, die Erkenntnisse des um 30 % sparsameren A+++-Kühlschranks zu kommerzialisieren. Auch dürften erste Aussagen über die Auswirkungen von Oberwellen bei verstärkter Nutzung von Umrichtern bei elektrischen Antrieben gemacht werden können. Das Ende 2009 unterzeichnete, länderübergreifende Memorandum of Understanding zur Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Erforschung und Entwicklung von IKT-basierten Energiesystemen wird 2011 Pate für spezifische Forschungsaktivitäten sein. Home Automation, Smart Metering und im weitesten Sinn Smart Grids werden anzugehende Themenbereiche sein.



Highlights 2010

>> Projektliste

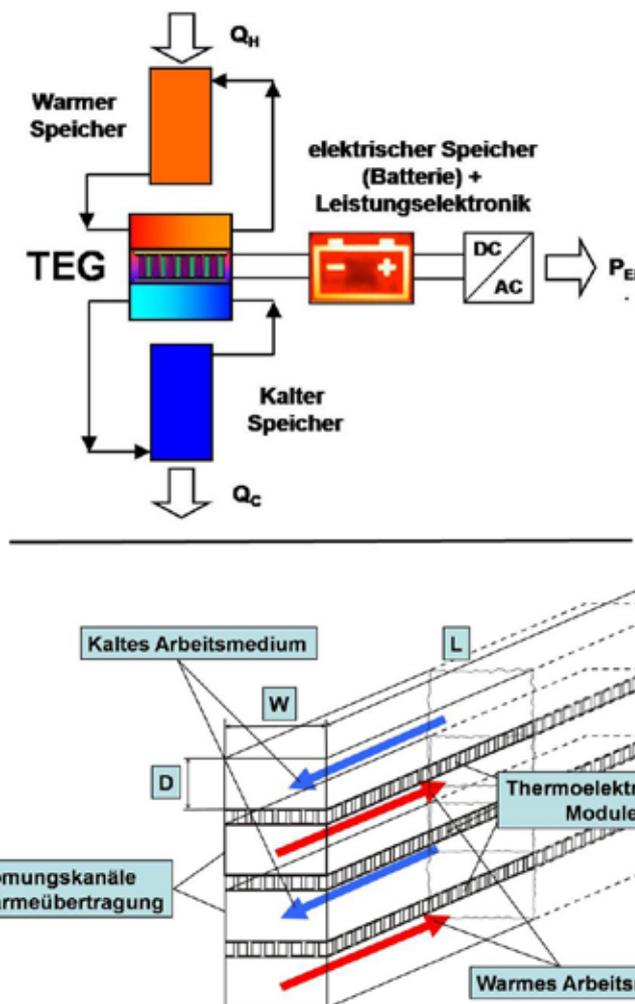
Nachdem in den letzten Jahren im Bereich der Thermoelektrik primär die Materialforschung im Vordergrund stand, konnten nun mehrere Umsetzungsprojekte zur konkreten Nutzung von Abwärme lanciert werden. Diese ersten Erfolge werden nachfolgend als technologieorientierte Highlights ausführlich erläutert.

Die Vakuum-Isolation sowie gezielte technische Optimierungen zeigen bei verschiedenen Haushaltsgeräten grosse Effizienzpotenziale auf.

Abwärmenutzung durch thermoelektrische Anlagen

Bei vielen Prozessen in der Wirtschaft, in der Industrie, bei der Energieumwandlung und bei der Mobilität fallen grosse Mengen an ungenutzter Abwärme an. Diese Energie kann aufgrund der niedrigen Temperatur und der geringen Energiedichte meist nur schwer genutzt bzw. in elektrische Energie umgewandelt werden [1]. Die Erzeugung von elektrischer Energie auf Basis Thermoelektrik hat deshalb breites Interesse bei der akademischen Forschung und bei diversen Entwicklungsabteilungen der Industrie geweckt. In spezifischen Nischen wie z. B. der Automobilindustrie existieren mit der Nutzung der Abwärme der Motorenabgase sogar bereits erste Produkte.

Ziel des Projektes «Realisierung eines thermoelektrischen Generators für die Stromerzeugung aus Niedertemperaturenergie» [2] ist die Entwicklung und der Aufbau eines thermoelektrischen Generators für die Nutzung der Abwärme in Kühlkreisläufen (Niedertemperaturbereich). Das System umfasst alle notwendigen Komponenten zwischen den thermischen Quellen bis zur Einspeisung ins elektrische Netz. Mit diesem Demonstrator soll die grundsätzliche Machbarkeit der thermoelektrischen Energiegewinnung gezeigt und durch experimentelle Untersuchungen Leistungscharakteristika und Effizienz betrachten bei verschiedenen Betriebsweisen beurteilt werden. Zudem soll in konkreten Anwendungsfällen aufgezeigt werden, dass die Abwärmenutzung von Rechenzentren sowie die Nutzung der Wärme aus geothermischen Quellen möglich sind.



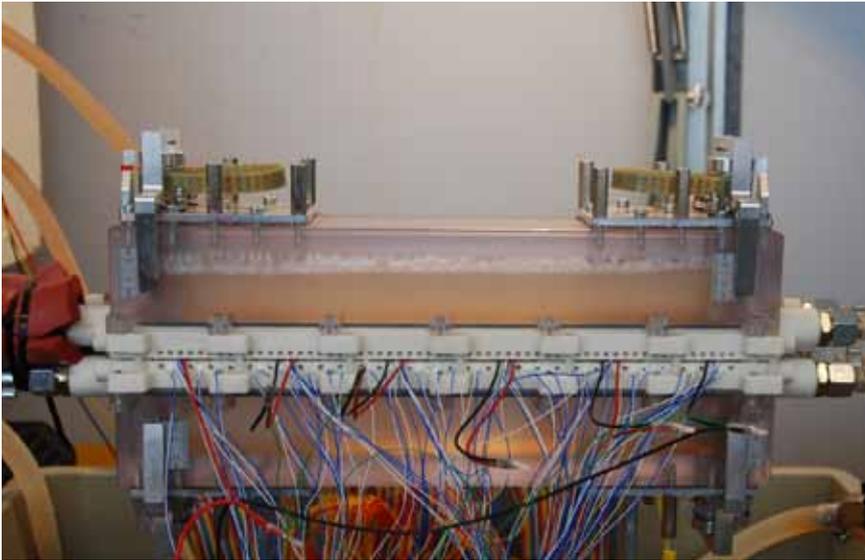
Figur 1: Gesamtsystemkonfiguration (oben) sowie Prinzip der «Stack»-Struktur (unten) des thermoelektrischen Generators (Quelle: ETH Zürich).

Zuerst wurde für die Gesamtsystemkonfiguration das detaillierte Design des thermoelektrischen Generators (TEG) entwickelt (Figur 1). Der TEG im Leistungsbereich von etwa 1 kW bei Temperaturdifferenzen von 100 K wird als sogenannter Stack aufgebaut, was bedeutet, dass mehrere Lagen von thermoelektrischen Modulen zwischen Strömungskanälen eingebettet werden. Die Strömungskanäle werden abwechselnd von einem warmen und einem kalten Fluid im Gegenstrom durchströmt. Die Wärmezufuhr bzw. Wärmeabfuhr erfolgt in geschlossenen Kreisläufen. Dazu stehen je separate Flüssigkeitsspeicher zur Verfügung (warm und kalt), die auf ein jeweiliges Temperaturniveau geregelt werden und damit eine definierte Temperaturdifferenz ermöglichen. Die erzeugte elektrische Energie wird mit Leistungselektronik für die Speicherung in einer

Batterie konditioniert. Für die Versorgung von Wechselstromlasten bzw. die Einspeisung ins elektrische Netz ist zusätzlich ein DC-/AC-Wandler vorgesehen. Für die Überwachung und Steuerung der Betriebsparameter werden verschiedene Sensoren in den Aufbau integriert und über ein Interface an einen Mess- und Steuercomputer angeschlossen (Figur 2).

Die bis anhin durchgeführten Tests und Messungen bestätigten die erwarteten Ergebnisse aus den theoretischen Untersuchungen. Sowohl der thermoelektrische Teil bezüglich Leistungscharakteristik als auch die hydraulische Komponente können als Entwicklungs- und Designgrundlage für thermoelektrische Energiekonversionssysteme verwendet werden.

Mit dem oben beschriebenen Demonstrator erfolgt der Wärmetransport



Figur 2: Prototyp des, thermoelektrischen Generators (Quelle: ETH Zürich).

mittels einer Flüssigkeit (z. B. Wasser). Grosse Teile von Abwärme fallen in der Industrie jedoch in Form von warmer oder heisser Luft an. Um auch in diesem Bereich Untersuchungen anzustellen und erste Erfahrungen zu sammeln, wurden gemeinsam mit der EMPA und dem Schwerindustriekonzern von Roll Vorbereitungen getroffen, um in einem gemeinsamen Projekt einen thermoelektrischen Generator von einigen 100 W zu bauen.

Diese beiden umsetzungsorientierten Projekte ergänzen die Materialforschung der EMPA, welche im Projekt «Effiziente, direkte Umwandlung von Wärme in Strom durch innovative Schichtstrukturen (LTEC)» [3] weitergeführt wird. Die Neuentwicklung verbesserter thermoelektrischer Materialien in Kombination mit einem neuen Designkonzept soll dabei die optimale Nutzung unterschiedlicher Temperaturgradienten ermöglichen und somit Verluste minimieren. Dazu werden neue Synthese- und Strukturierungsmethoden verifiziert, weiterentwickelt und eingesetzt.

Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang schliesslich das Projekt «Mikrostrukturierung von Hochleistungspolymeren für thermoelektrische Generatoren (TEG) mittels Laser» [4] der ETHZ und der Fachhochschule Nordwestschweiz. Die grossflächige Mikrostrukturierung von Polymerfolien ist ein essentieller Schritt auf dem Weg zur wirtschaftlichen Produktion neuartiger thermoelektrischer Generatoren. In diesem Projekt soll die Eignung modernster Picosekunden-Lasertechnolo-

gie für eine derartige Herausforderung überprüft werden. In einem ersten Schritt wurden die Prozessparameter zur Laserstrukturierung verschiedener Polymere ermittelt und die Qualität mittels elektronenmikroskopischer Aufnahmen beurteilt. In weiteren Tests wurden verschiedene Strategien zur Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit eruiert. Durch den Übergang von Flächenabtragung zum Konturschneiden kann die Produktionszeit pro TEG um 40 % reduziert werden. Dieses Ergebnis ermöglicht den Schritt auf eine Fabrikationsgrösse von 10 x 10 cm², was einer Verhundertfachung der Fläche entspricht. Die zuverlässige Herstellung von Polymermatrizen mit ca. 7'000 Löchern konnte erfolgreich nachge-

wiesen werden. Zusätzlich wurde die Technologie auf Nickel-Metallfolien angewendet, die für den nächsten TEG-Produktionsschritt benötigt werden.

Effizienzsteigerung von Haushaltgeräten durch Vakuum-Isolation

Die Schweizer Haushalte beanspruchen mit etwa 30 % (18'000 GWh/Jahr) der gesamten Elektrizitätsnachfrage einen hohen Anteil. Davon entfallen etwa 8'000 GWh/Jahr auf Haushaltsgeräte. Aufgrund dieser Grösse und der gemäss verschiedenen Studien abgeschätzten Einsparpotenziale ist es entscheidend, im Bereich der Haushaltsgeräte brach liegende Effizienzpotenziale zu erschliessen.

Sowohl für Kaffeemaschinen als auch für Kühlschränke wurden deshalb Lösungsansätze für eine hocheffiziente thermische Isolation im Projekt «Hoch effiziente Isolation für Haushaltsgeräte» [5] untersucht. Die Arbeiten konzentrierten sich dabei auf Strukturen mit Vakuum-Spalt ohne Kernmaterialien.

Kaffeemaschinen

Eine Isolation kann auf kostengünstige Art mittels eines Stahlbauteils mit Vakuum-Spalt ausgeführt werden. Das Funktionsmuster eines derart isolierten Geräts zeigt ein wesentlich langsames Abkühlen. Während ein nicht



Figur 3: Funktionsmuster einer Platte mit Vakuum-Isolation mit 0.5 mm dicken Blechen und 50 µm dickem Randband aus Edelstahl (Quelle: Helbling Technik AG).



Figur 4: Funktionsmuster eines mit Vakuum-Spalt isolierten zylindrischen Kühlschranks (Quelle: Helbling Technik AG).



Figur 5: Referenzkühlschrank (links) und modifizierter Kühlschrank (rechts), eingebaut in das gleiche Möbel, um identische äussere Bedingungen zu ermöglichen. Im Gehäuse oben befindet sich die Messelektronik (Quelle: awtec AG für Technologie und Innovation).

isoliertes Vergleichsgerät nach ca. 1,5 Stunden wieder Raumtemperatur erreicht, verbleibt das Funktionsmuster bei 70 °C und nach weiteren 2 Stunden noch bei 65 °C. Eine mathematische Modellierung zeigt, dass das Abkühlverhalten noch deutlich verbessert werden kann (nach 2 Stunden ca. 75 °C). Zusammen mit einer «Null Stand-by»-Strategie resultieren daraus erheblich reduzierte Wartezeiten bis zur Betriebsbereitschaft und im Mittel eine Einsparung von 25 bis 30 % Energie zur Herstellung einer Tasse mit 120 g Kaffee.

Kühlschränke

Es wurden die beiden Ansätze eines traditionell kubischen und eines neuartigen zylindrischen Kühlschranks untersucht.

Ein neuer Ansatz für die bei einem kubischen Kühlschrank benötigten Distanzhalter im Vakuum-Spalt wurde erarbeitet, bei welchem die hohen Druckkräfte in Zugkräfte umgewandelt werden. Dies war notwendig, weil bei einem

Funktionsmuster die auf Druck belasteten Distanzhalter schon bei geringen zusätzlichen Querkräften brachen (Figur 3). Berechnungen mittels analytischen und FEM-Modellen zeigten, dass sich mit geeigneten Zugelementen Kühlschränke aufbauen lassen, bei denen die spezifische Verlustleistung auf 40 bis 50 % derjenigen eines mittleren A++-Kühlschranks gesenkt werden kann und die darüber hinaus bei identischen Aussenabmessungen ein um ca. 40 % grösseres Nutzvolumen aufweisen.

Daneben wurde ein Funktionsmuster eines zylindrischen Kühlschranks im Massstab 1:2 mit Vakuum-Isolation aufgebaut und ausgemessen (Figur 4). Die auf der Basis dieser Messungen erstellten mathematischen Modelle zeigen, dass zylindrische Kühlschränke mit \varnothing 600 mm machbar sind, bei denen die spezifische Verlustleistung durch die Isolation auf 35 bis 40 % derjenigen eines mittleren A++-Kühlschranks gesenkt werden kann. Zu beachten ist dabei, dass das Nutzvolumen eines vergleichbaren A++-Kühlschranks mit

einer Grundfläche von 60 x 60 cm² mit einem derartigen zylindrischen Kühlschrank mindestens beibehalten werden kann.

Aufgrund der bis anhin erfolgversprechenden Ergebnisse, des grossen Einsparpotenzials sowie der Tatsache, dass bei einem Erfolg derartige hoch effiziente Isolationen in anderen Geräten wie z. B. Warmwasserboiler eingesetzt werden können, werden die Arbeiten der Vakuum-Isolation in mehreren Folgeprojekten fortgesetzt.

Effizienzsteigerung von A++-Kühlschränken durch Optimierung des Kühlkreislaufs

Spätestens seit der Einführung der Energieetikette weiss der Konsument, dass es – auch innerhalb einer Effizienzklasse – effizientere und weniger effiziente Geräte gibt. Im Projekt «Modifizierter A++-Kühlschrank mit 30 % Verbrauchsreduktion» [6] wur-



Figur 6: Drehzahl geregelter Kompressor Embraco VCC3 VEM X5C mit Befüllsystem, eingebaut in einem modifizierten Kühlschrank (Quelle: awtec AG für Technologie und Innovation).

de der Frage nachgegangen, ob die heute auf dem Markt angebotenen A++-Kühlschränke auch wirklich energieeffizient gemäss heutigem Stand der Technik sind oder ob noch weitere Einsparungen mit heute verfügbaren Technologien möglich sind. Diese Frage hat eine zentrale energetische Bedeutung, benötigen doch Kühl- und Gefriergeräte in der Grössenordnung von 2'500 GWh/Jahr, was ca. 14 % der elektrischen Energie in Haushalten oder 4 % des gesamten Elektrizitätsbedarfs entspricht. Schon eine geringe Effizienzsteigerung kann deshalb global gesehen einen signifikanten Einfluss auf die Umwelt haben.

Im Projekt wurde in einer ausgedehnten Analyse und mit einem Funktionsmuster bewiesen, dass durch einfache Modifikationen am Kühlkreislauf eines handelsüblichen Kühlschranks der zurzeit höchsten Energieklasse A++ bis zu 27 % der elektrischen Energie zusätzlich eingespart werden kann. Der modifizierte Kühlschrank wurde dabei im Direktvergleich gegen ein baugleiches Seriengerät getestet (Figur 5). Mit zusätzlichen Massnahmen könnte die Effizienz sogar noch weiter erhöht werden.

Handelsübliche Kühlschränke arbeiten üblicherweise mit einem Kompressor, der bei einer konstanten Drehzahl läuft und über einen Thermostat ein- oder ausgeschaltet wird. Bei Raumtempe-

ratur und stets geschlossenem Kühlschrank läuft der Kompressor während etwa eines Viertels der Zeit. Diese Betriebsart ist aufgrund der vielen Anlaufzyklen und den hohen Temperaturgradienten, die zwischen dem Kühlraum und dem Kältekreislauf entstehen, ineffizient. Der modifizierte Kühlschrank wurde mit einem drehzahlgeregelten Kompressor ausgestattet, der bei wesentlich tieferen Drehzahlen betrieben werden kann und während bis zu 90 % der Zeit durchläuft (Figur 6). Durch Messung verschiedener Temperaturdaten konnte der Kompressor über einen externen Rechner gesteuert werden. Die verwendeten Komponenten (Kompressor, Inverter) sind im Markt erhältlich und seit mehreren Jahren bekannt, werden aber leider durch die Kühlgeräte-Industrie nur selten eingesetzt. Dies kommt daher, dass die Energieklasse A++ bis anhin durch günstigere Methoden (verbesserte Isolation, etc.) erreicht werden kann; die Motivation, ein noch effizienteres Gerät herzustellen, war leider bisher bei den Kühlschrankherstellern nicht vorhanden oder zumindest nicht erkennbar.

Eine Auswechslung aller Schweizer Kühl- und Gefriergeräte der Energieklasse A zu A++ würde eine Einsparung von 1'250 GWh/Jahr bewirken. Zahlreiche A++-Geräte sind heute erhältlich. Wird der Energieverbrauch der Kühl- und Gefriergeräte durch effi-

enzsteigernde Massnahmen nochmals um etwa einen Drittel reduziert, könnten weitere knapp 400 GWh/Jahr eingespart werden, was dem jährlichen Verbrauch von ca. 90'000 Haushalten entspricht.

Für die anstehende Umsetzung im Markt wird eine Kooperation mit einem Kühlschrankhersteller angestrebt. 2011 werden deshalb verschiedene Kontakte geknüpft und in Ergänzung zu den Aktivitäten im Jahr 2010 spezifische Publikationsaktionen lanciert, um die einschlägige Branche zur Umsetzung zu motivieren. Die grösste Herausforderung bei der breiten Umsetzung dürften die Herstellungskosten darstellen, da im Markt ein enormer Preisdruck besteht.

Nationale Zusammenarbeit

Mit periodischen Treffen der etablierten BFE-Trendwatching-Gruppen zu den Themen Informatik/Kommunikation (IKT), elektrische Antriebe sowie Hochtemperatursupraleitung (HTSL) werden nationale Diskussionsplattformen für Fachleute aus Industrie, Hochschule und Forschungsstätten durch die Programmleitung zur Verfügung gestellt.

Beide Eidg. Technischen Hochschulen in Zürich und Lausanne sowie mehrere Fachhochschulen werden immer wieder in Forschungsvorhaben einbezogen. So haben die Fachhochschulen Westschweiz (Sion), Nordwestschweiz (Brugg-Windisch), Chur und Luzern (Horw) in den Bereichen Motoren, Leistungselektronik, Smart Metering und Thermoelektrik diverse Projektarbeiten geleistet.

Das etablierte Kompetenzzentrum Energie- und Informationstechnik der ETHZ fördert die nationale und internationale Zusammenarbeit in diesem Gebiet. Das iHomeLab mit dem Swiss Research Center for Smart Living (CEESAR) der Hochschule Luzern leistet diverse Arbeiten im Bereich Home Automation.

Die Erforschung neuer Materialien im Bereich der Hoch-

temperatursupraleitung ist im dritten 4-Jahreszyklus des Projekts Materials with Novel Electronic Properties (MANEP) des schweizerischen Nationalfonds mit eingeschlossen. 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. Durch die gemeinsame Finanzierung werden Kontakte zu Förderinstitutionen wie dem Energiesparfonds der Stadt Zürich, dem Stromsparfonds Baselstadt und der KTI gepflegt. Zudem bestehen gute Kontakte zu Elektrizitätswerken und zu Swisselectric Research.

In diversen Projekten wird ein enger Kontakt zu den schweizerischen Energieagenturen EnAW, eae und S.A.F.E [7] gepflegt und es werden, soweit zweckmässig, Branchenverbände wie z. B. swissT.net, Swissemem, Swico oder FEA eingebunden.

Zur Sicherstellung einer Umsetzung des gewonnenen Wissens wird ein enger Kontakt mit dem Programm EnergieSchweiz [8] gepflegt.

Internationale Zusammenarbeit

Durch die Teilnahme am IEA Implementing Agreement Assessing the Impact of High Temperature Superconductivity on the Electric Power Sector 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, in der man sich mit der Charakterisierung von Leitern für die 12-Tesla-SULTAN-Spulen beschäftigt. 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 Efficient Electrical End Use Equipment (4E) international stark vernetzt und hat mit der Leitung des Motoren-Annex zudem fachliche Verantwortung übernommen. Wichtigster Anlass in diesem Zusammenhang war der Motor Summit vom 27./28. Oktober 2010 in Zürich mit

160 Teilnehmern aus 20 Ländern. Zudem sind eine Reihe von Fragen in Bezug auf Motorentest- und Effizienzklassenstandards sowie Normen in den massgeblichen internationalen Standardisierungsgruppen der International Electrotechnical Commission (IEC) diskutiert worden.

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

Auch zum EU-Programm Intelligent Energy Europe (IEE) hat die Schweiz B. rührungspunkte. So begleitet sie als assoziiertes Teammitglied das Projekt Stand-by Energy Losses in new Appliances measured in Shops (SELINA).

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 wurde in einem Gemeinschaftsprojekt des BFE (Schweiz) und des BMVIT (Österreich) die Ermittlung des Eigenenergiebedarfs von Smart Meters lanciert.

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 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 konnten interessante Kontakte zum europäischen Entwicklungszentrum in Ispra und zur einschlägigen, europäischen Industrie aufgebaut und gepflegt werden. Speziell im USV-Bereich bringt sich die Schweiz aufgrund des bestehenden Fach-

wissens aktiv und kompetent ein, was interessante Kontakte zum europäischen Verband European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics (CEMEP) ermöglicht. 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.

Schweizer Beteiligung im IEA Implementing Agreement High Temperature Superconductivity (HTSC)

www.superconductivityiea.org

Annex / Task	Schweizer Delegierter (Institution)
Assessing the Impact of High Temperature Superconductivity on the Electric Power Sector (HTSL)	University of Geneva

Schweizer Beteiligung im IEA Implementing Agreement Efficient Electrical End Use Equipment (4E)

www.iea-4e.org

Annex / Task	Schweizer Delegierter (Institution)
4E / Mapping & Benchmark (M&B)	R. Brüniger AG
4E / Electric Motor Systems (EMSA)	A+B International
4E / Stand-by Power	R. Brüniger AG
4E / Solid State Lighting (SSL)	-

Referenzen

[1] A. Bitschi, K. Fröhlich: *Thermoelektrische Systeme in der Stromerzeugung*, Electrosuisse VSE, Bulletin 7 (2010).

[2] A. Bitschi: *Realisierung eines thermoelektrischen Generators für die Stromerzeugung aus Niedertemperaturenergie*, Jahresbericht (2010).

[3] A. Weidenkaff: *Effiziente, direkte Umwandlung von Wärme in Strom durch innovative Schichtstrukturen (LTEC)*, Jahresbericht (2010).

[4] W. Glatz, A. Stumpp, B. Lüscher: *Mikrostrukturierung von Hochleistungspolymeren für thermoelektrische Generatoren (TEG) mittels Laser*, Jahresbericht (2010).

[5] H. Tischhauser, G. Staufert: *Hocheffiziente Isolation für Haushaltsgeräte*, Schlussbericht (2010).

[6] M. Sigrist, S. Stahl: *Modifizierter A+++-Kühlschrank mit 30 % Verbrauchsreduktion*, Schlussbericht (2010).

[7] Energieagenturen (www.energieagentur.ch, www.energie-agentur.ch, www.eae-geraete.ch).

[8] EnergieSchweiz (www.energie-schweiz.ch).

BFE Forschungsprogramm Elektrizitätstechnologien und -anwendungen

Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Roland Brüniger, R. Brüniger AG (roland.brueeniger@r-brueniger-ag.ch)

Bereichsleiter BFE:

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

www.bfe.admin/forschungelektrizitaet/

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich die Autorin dieses Berichts verantwortlich.

Netze

Michael Moser



Pilotprojekt «Swiss2G» (Quelle: Protoscar SA)

Im Rahmen des 2010 gestarteten Pilotprojekts «Swiss2G» (Swiss-to-Grid) werden in Mendrisio verschiedene Haushalte mit dezentralen Erzeugungsanlagen, Smart Metering sowie stationären und mobilen (Elektrofahrzeuge) Speichern ausgerüstet. Basierend auf lokalen Messungen der Netzfrequenz und -spannung wird ein «Smart Grid»-Konzept (Swiss2G-Algorithmus) zur weitgehend dezentralen, verteilten Steuerung der Erzeugungs-, Speicher- und Verbrauchseinheiten entwickelt und erprobt. Erkenntnisse aus Messkampagnen in Mendrisio und Meiringen fliessen in die laufenden Arbeiten ein.

Einleitung

Elektrizität ist das Rückgrat von Wirtschaft und Gesellschaft. Steigende Nachfrage, die Rohstoffverknappung und der Klimawandel stellen das Energiesystem vor grosse Herausforderungen. Sie verlangen neue Weichenstellungen. Beschleunigt müssen neue Lösungen gefunden werden, die den Anforderungen des Wandels an liberalisierte Märkte und dezentrale Erzeugungsstrukturen sowie an volatile erneuerbare Energien und der Elektromobilität Rechnung tragen und ausserdem ein Höchstmass an Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit sicherstellen.

Viele der diesbezüglichen Initiativen und Aktivitäten werden unter dem Begriff «Smart Grids» zusammengefasst. «Smart» steht in diesem Zusammenhang für die intelligente Nutzung aller zur Verfügung stehenden Ressourcen, sowie für die Optimierung und Integration des Gesamtsystems der Elektrizitätsversorgung. Den Informations- und Kommunikationstechnologien kommt durch das Bedürfnis eines bi-direktionalen Informationsaustauschs zwischen Erzeuger und Verbraucher eine Schlüsselrolle.

Es ist Aufgabe des Bundes, die Voraussetzungen für eine sichere Energieversorgung zu schaffen, und sich für eine effiziente Energienutzung, die Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energien sowie die Senkung der CO₂-Emissionen einzusetzen. Da «Smart Grids» ein zentrales Instrument zur Erreichung dieser Ziele darstellen, müssen die entsprechenden Rahmenbedingungen geschaffen und die dafür notwendigen Aktivitäten koordinierend und unterstützend vorangetrieben werden. Im Rahmen seines 2010 erarbeiteten Positionspapiers zu «Smart Grids» [1] identifiziert das Bundesamt für Energie für die nächsten Jahre vier Aktionsfelder.

(1) Ein «Impact Assessment» für die Schweiz soll zeigen, ob und unter welchen Bedingungen der volkswirtschaftliche Nutzen bei einer Einführung von «Smart Metering» gegeben ist. Es wird insbesondere aufzeigen,

welcher Durchdringungsgrad bei welchen Kundengruppen notwendig ist, und welche minimale Funktionalität vorhanden sein muss, damit «Smart Metering» auch als nutzbringender Bestandteil resp. nutzbringende Erweiterung eines künftigen «Smart Grids» dienen kann. Nach dessen Vorliegen sowie aufgrund des Ausgangs der laufenden Energieverhandlungen mit der EU kann anschliessend der zusätzliche Bedarf an gesetzlichen Vorgaben abgeleitet werden.

(2) Im Anschluss soll im Rahmen einer «Smart Grids Roadmap» analysiert werden, zu welchem Zweck und wie «Smart Grids» in der Schweiz funktionell ausgestaltet werden müssen, um nachhaltig betrieben werden zu können. Im Rahmen eines abgestimmten Zeitplans sollen die notwendigen regulatorischen Rahmenbedingungen erarbeitet werden, um einerseits die Investitionssicherheit der Unternehmen langfristig sicherzustellen und damit Anreize für Investitionen zu schaffen, und andererseits der Gesellschaft auch künftig eine sichere, effiziente und kosteneffektive Elektrizitätsversorgung garantieren zu können.

(3) Nebst den für die Schweiz meist spezifischen, wirtschaftlichen und sozio-ökonomischen Aspekten bleibt eine Vielzahl offener Fragestellungen im technischen, rechtlichen oder auch interdisziplinären Bereich weiterhin unbeantwortet. Das BFE-Forschungsprogramm Netze soll gestärkt werden, um so künftig einen wesentlichen Beitrag zu diesen Fragestellungen leisten zu können. Im Bereich der Pilot- und Demonstrationsprojekte wird die bisherige Schwerpunktsetzung beim BFE beibehalten und gegebenenfalls in Richtung «Smart Cities» ausgebaut.

Im Rahmen der Weiterführung des Programms EnergieSchweiz 2011 – 2020 [3] und den wettbewerblichen Ausschreibungen [4] werden vermehrt nationale bzw. regionale Umsetzungsprojekte gefördert, wobei der Schwerpunkt vor allem auf der Steigerung der Energieeffizienz von und durch «Smart Grids» liegen wird.

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 Netzinfrastrukturbereich bei:

- Fortschreitende Durchdringung dezentraler und/oder stochastischer 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, langfristigen 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] etc.).

Rückblick und Bewertung 2010

Die Projekte und Aktivitäten im Forschungsprogramm Netze haben auch im Jahr 2010 dazu beigetragen, verschiedene Konzepte für Energiesysteme der Zukunft weiter voranzutreiben und entsprechende Kompetenzen in der Schweiz zu fördern.

Im Bereich «Elektrizitätsnetze» bestand die Zielsetzung darin, verschiedene Konzepte für die erfolgreiche Systemintegration dezentraler Erzeugungsanlagen und Speichertechnologien zu erarbeiten, zu evaluieren und in der Praxis anzuwenden. Es wurden wichtige Beiträge zur nachhaltigen Investition in Erzeugungs- und Übertragungskapazitäten sowie zur Sicherheit des Übertragungsnetzes geleistet.

Im Bereich «Multienergieträgernetze» konnte die Anwendbarkeit neuer Konzepte und Umsetzungsstrategien im Rahmen von Fallstudien getestet werden.

Die internationalen Aktivitäten haben diese Schwerpunkte ergänzt und die Koordination der Forschungsaktivitäten unterstützt. Im Rahmen einer ersten internationalen Ausschreibung des «SmartGrids ERA-Net» [7] wurden denn auch drei länderübergreifende Projekte mit Schweizer Beteiligung bewilligt.

Ausblick 2011

Die Aktivitäten in den verschiedenen technischen Bereichen sowie im internationalen Bereich werden 2011 weiter fortgesetzt.

Aufgrund der im BFE-Positionspapier zu «Smart Grids» [1] identifizierten Wissenslücken wird 2011 ein grösseres Projekt zur volkswirtschaftlichen Folgeabschätzung einer Einführung von «Smart Metering» gestartet.

Weiterhin besteht dringender Bedarf an grösseren Demonstrationsprojekten, in denen verschiedenste Aspekte untersucht und entsprechende Lösungsansätze entwickelt werden können. Aufgrund der beschränkten Möglichkeiten des Forschungsprogramms können weiterhin nur Teilaspekte im Rahmen kleinerer Projekte betrachtet werden. Es ist deshalb umso wichtiger, die bestehenden internationalen Beziehungen, z. B. zum EU SET-Plan [6] oder innerhalb der Kooperation D-A-CH Smart Grids [7] weiter auszubauen und Synergien zu nutzen. Zu diesem Zweck wird 2011 ausserdem eine weitere Ausschreibung des «SmartGrids ERA-Net» [8] mit Schweizer Beteiligung folgen.

Die 2010 gegründete «Forschungsstelle Energienetze» an der ETH Zürich wird in der ersten Hälfte 2011 ihren operativen Betrieb aufnehmen und einen wichtigen Beitrag zum Ausbau der interdisziplinären Forschungsressourcen und -kompetenzen in der Schweiz leisten.

Einspeiseprognosen für neue erneuerbare Energien

Im Rahmen eines Projekts [9] wurde das Potenzial von verbesserten Einspeiseprognosen für neue erneuerbare Energien (NEE) unter Berücksichtigung der Besonderheiten des Schweizer Energiemarktes bestimmt. Ausserdem wurden Nutzen und Optimierungsmöglichkeiten aufgezeigt und Empfehlungen für weitere Handlungsfelder abgegeben.

Einspeiseprognosen für NEE haben in der Schweiz bisher nur geringe Bedeutung, da aufgrund fehlender Marktmechanismen keiner der Akteure monetären Nutzen aus verbesserten Prognosen zieht. Eine Analyse der Nutzenaspekte (Figur 1) zeigt, dass Verbraucher und volkswirtschaftliche Zielsetzungen Intentionen die wesentlichen Profiteure einer verbesserten Prognose sind (Figur 2).

Der aktuelle Stand von Einspeiseprognosen für Windenergieanlagen, Solaranlagen und Kleinwasserkraftwerke ist, dass für alle Bereiche Vorhersagesysteme zur Verfügung stehen. Diese sind im Bereich Windenergie sehr ausgereift, während im Bereich Solar- und Kleinwasserkraft noch Potenzial zur Verbesserung besteht. Es wurden idealisierte Studien zum Portfolioeffekt

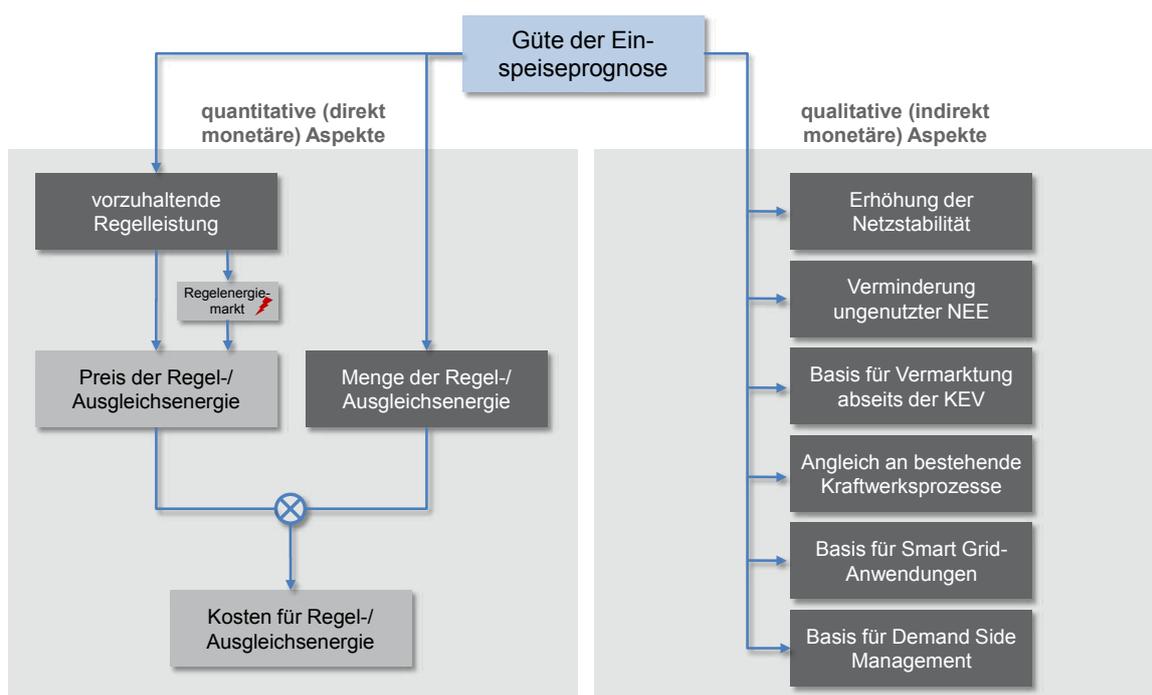
durchgeführt. Diese zeigen, dass durch eine Bündelung verschiedener, räumlich verteilter NEE die Variabilität der Energieproduktion reduziert und die Prognosequalität deutlich erhöht wird. Darüber hinaus führt ein verkürzter Vorhersagehorizont (z. B. 2 bis 3 Stunden statt 24 bis 48 Stunden im Voraus) zu einer deutlichen Verbesserung der Vorhersagequalität.

Im Rahmen der Untersuchung wurde ein Business-Case entwickelt, um den Nutzen verbesserter Einspeiseprognosen zu quantifizieren. Es zeigte sich jedoch, dass die Datengrundlage für eine belastbare Aussage ein Jahr nach Start der ersten Marktöffnungsphase und der Einführung der Kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) noch nicht gegeben ist. Dennoch lassen sich zum jetzigen Zeitpunkt qualitative Aussagen ableiten. Die Kosten für Regel- und Ausgleichsenergie liegen in der Schweiz heute im Bereich zweistelliger Millionenbeträge. Das Potenzial zur Verbesserung der Prognosegüte liegt besonders in der Nutzung von Portfolioeffekten, verkürzten Vorhersagehorizonten und verbesserten Vorhersagemodellen. Bei Nutzung dieser Potenziale können ein- bis zweistellige Millionenbeträge eingespart werden. Das grösste Einsparpotenzial liegt heute im Bereich der Kleinwas-

serkraft. Die NEE werden zur Zeit mit verteilter Verantwortung und uneinheitlich abgewickelt. Auch werden im heutigen Bilanzmodell Einspeiser ohne Lastgangmessung nicht berücksichtigt. Eine Harmonisierung dieser Abläufe birgt weiteres Einsparpotenzial.

Die Zunahme dezentraler Einspeiser hat zur Folge, dass die angeführten Schlussfolgerungen in Zukunft an Bedeutung gewinnen werden. Die Ergebnisse der Untersuchung führen zu folgenden Handlungsempfehlungen:

- Ergänzung des Schweizerischen Bilanzierungsmodells um nicht-lastganggemessene Einspeiser;
- Verantwortungs-Zentralisierung und Prozess-Standardisierung der Abwicklung NEE in der Bilanzgruppe erneuerbare Energien;
- Untersuchung der Verbesserungsmöglichkeiten der Prognosegüte im Bereich Kleinwasserkraftwerke;
- Analyse energiewirtschaftlicher Marktmodelle unter Berücksichtigung der Subventionierung NEE.



Figur 1: Nutzenaspekte der Einspeiseprognose.



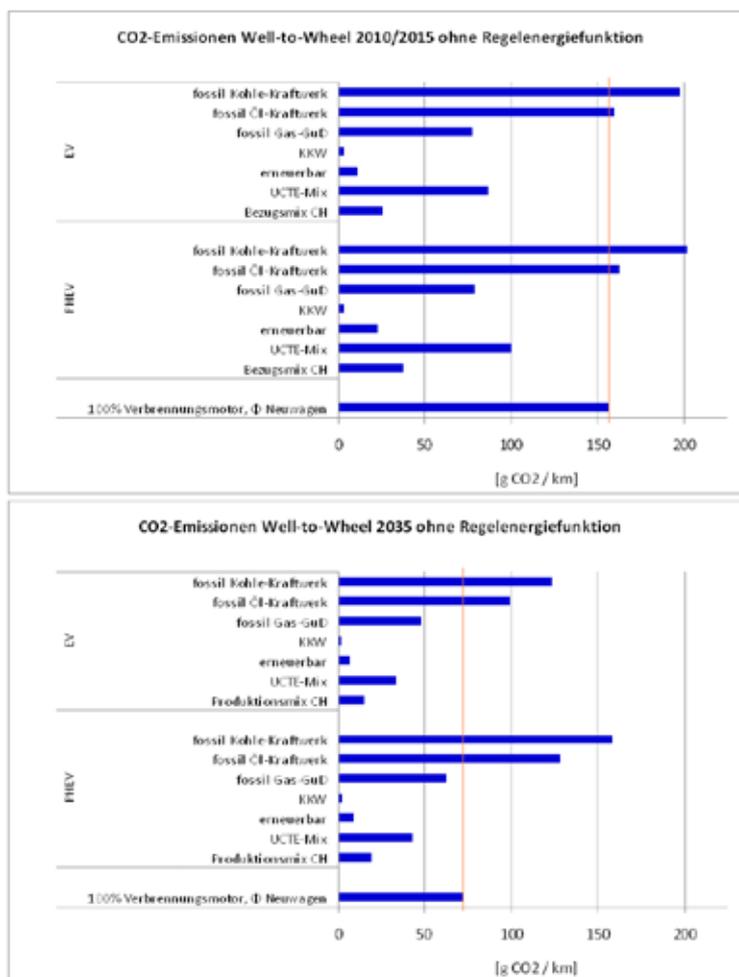
Figur 2: Ergebnis- und Nutzencluster der Nutzenanalyse.

Auswirkungen der Markteinführung von Elektrofahrzeugen und Plug-in-Hybrids auf die Energieträger und das Elektrizitätsnetz

Heutige Hybridfahrzeuge weisen wie Elektrofahrzeuge (EV) gegenüber konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor niedrigere Energieverbrauchswerte auf und haben deshalb im Rahmen der aktuellen Energie- und Klimadiskussionen eine grosse Bedeutung erlangt. Während beispielsweise die CO₂-Emissionen der Haushalte oder der Wirtschaft einen neutralen oder leicht sinkenden Trend aufweisen, steigen die Treibstoffemissionen des Strassenverkehrs immer noch an [10,11]. Dies erfordert neue Ansätze im Mobilitätsbereich.

Da für das Nachladen der Batterien häufig eine gewisse zeitliche Flexibilität besteht und die Batterien während des Parkierens zur Bereitstellung von Regelenergie genutzt werden können, sind weitere Vorteile durch sogenannte Plug-in-Hybrid Vehicles (PHEV) und EV bei einer weiter verstärkten Nutzung von Solar- und Windenergie möglich. So zeigt z. B. die Vorstudie «Integration von Plug-in-Hybrid Cars zur Förderung intelligenter Verteilnetzstrukturen» [12] erhebliche Potenziale von Fahrzeugbatterien für die Deckung des zukünftigen Regelenergiebedarfs.

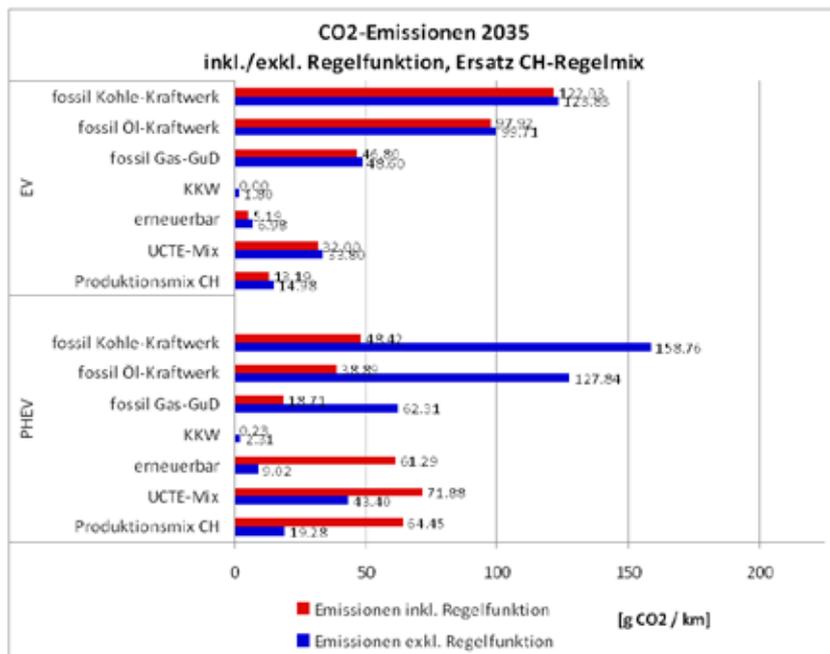
Während die Vorteile von PHEV und EV für die Energieversorgung potenziell Vorteile aufweisen, gibt es bei den



Figur 3: CO₂-Emissionen Well-to-Wheel je nach Stromherkunft im Jahr 2010, 2015 bzw. 2035.

möglichen ökologischen Auswirkungen zahlreiche Varianten. Je nach Herkunftsart der eingesetzten Elektrizität können PHEV und EV verglichen mit

konventionellen Fahrzeugen (100 % Verbrennungsmotor) in Bezug auf den Energiebedarf und die CO₂-Emissionen (Figur 3) Vorteile oder Nachteile auf-



Figur 4: Auswirkungen der Regelfunktion auf die CO₂-Emissionen pro Fahrzeug 2035, wenn die Fahrplanenergie von der angegebenen Technologie bezogen und Regelfunktion im Schweizerischen Kraftwerkspark ersetzt wird.

weisen. Dabei ist zu beachten, dass die PHEV und EV mit reinen Verbrennungsmotoren verglichen werden, welche die CO₂-Zielwerte der EU erreichen.

Stammt die eingesetzte Elektrizität aus erneuerbaren Energien, so ergeben sich – unter Betrachtung der gesamten Vorkette (Well-to-Wheel) – sehr grosse Vorteile. Mit Strom aus Kernkraftwerken können zwar die CO₂-Emissionen stark reduziert werden, aber es ergeben sich durch den geringen Wirkungsgrad deutliche Nachteile bezüglich Primärenergie. Während sich bei der fossilen Stromerzeugung für Gaskombikraftwerke nur geringe Unterschiede gegenüber konventionellen Fahrzeugen ergeben, sieht die Bilanz für Kohle- oder Ölkraftwerke global gesehen negativ aus.

Ob ein verstärkter Einsatz von PHEV und EV aus energie- und klimapolitischer Sicht forciert werden soll und entsprechend förderungswürdig ist, bedingt die Betrachtung der gesamten, globalen Energiekette und hängt somit entscheidend von der Herkunft des Stromes bzw. der Produktionsart ab. Es gilt, für die eingesetzte Elektrizität die richtigen Rahmenbedingungen zu setzen und entsprechend die Deklaration des Energieverbrauchs festzulegen (Tank-to-Wheel vs. Well-to-Wheel).

Während durch die Einführung von

PHEV und EV der Elektrizitätsbedarf steigt, sinkt der Benzinbedarf. Bei einem Ersatz von einem Viertel der Flotte durch PHEV und EV werden bis zu 3 % des heutigen Strombedarfs zusätzlich benötigt, der Benzinbedarf reduziert sich damit gleichzeitig um ca. 25 %. Im Vergleich dazu werden die Einsparpotenziale durch parallele Entwicklungen wie die Markteinführung von «Smart Grids» und begleitende Dienstleistungen zur Nachfragesteuerung auf 5 % geschätzt [13]. Ein stark funktionell ausgeprägtes «Smart Grid» kann den Strom-Mehrbedarf durch eine verstärkte Elektromobilität also bis zu einem recht bedeutenden Masse durch parallele Effizienzsteigerungsmassnahmen kompensieren.

Das Potenzial der Erbringung von Regeldienstleistungen erreicht zwischen 2020 und 2035 die Grösse der heutigen Regelleistungsreserven. Durch die Ausschreibungsbedingungen oder das Pooling mit anderen Erzeugungstechnologien ist ein Einsatz bereits vor 2020 in relevantem Mass denkbar. Als Einstieg scheint Tertiärregelung geeignet, da sie am seltensten tatsächlich abgerufen und damit die Batterie nur selten beansprucht wird. Ausserdem ist ein Einsatz innerhalb von Bilanzgruppen näher zu betrachten, womit kostspielige Fahrplanabweichungen vermieden werden können.

Die ökologischen Auswirkungen der Regeldienstleistungen sind unter verschiedenen Gesichtspunkten zu diskutieren:

- Der Einsatz von EV als Regelkraftwerke bringt Einsparungen sowohl bei der Energie als auch bei den CO₂-Emissionen (Well-to-Wheel, Figur 4) unabhängig davon, woher die Fahrplanenergie bezogen wird.
- Mit den Annahmen bezüglich Batteriekapazitäten, Ausschreibungsbedingungen und Fahrverhalten muss bei PHEV beim Angebot von Regeldienstleistungen in Kauf genommen werden, dass häufiger im Benzin- und Hybridmodus und weniger rein elektrisch gefahren wird. Dies bedeutet, dass zwischen dem Nutzen der Regeldienstleistungen und dem Nutzen der Benzineinsparung bei PHEV abzuwägen ist. Einsparungen bei Energie und CO₂-Emissionen (Well-to-Wheel) werden erreicht, solange fossile oder nukleare Elektrizität eingesetzt wird.
- Die ökologischen Verbesserungen durch den Einsatz von Fahrzeugbatterien sind in Bezug auf den Schweizer Regelmix nur minim, für den Ersatz des UCTE-Regelmixes hingegen kann ein Vielfaches des durch den Strombezug benötigten Primärenergiebedarfs, resp. der verursachten CO₂-Emissionen, eingespart werden. Setzt man EV gezielt zum Ersatz von Regeldienstleistungen aus fossilen Quellen ein, wird ein Vielfaches der benötigten Primärenergie, resp. der CO₂-Emissionen eingespart. Bei den PHEV wird ebenfalls eine Einsparung erzielt, wenn PHEV fossile Regelkraftwerke entlasten, die Einsparungen liegen in der Grössenordnung der verbrauchten Energie, resp. der produzierten CO₂-Emissionen.

Durch die Bereitstellung von Regeldienstleistungen sowie durch die in vielen Situationen bestehende zeitliche Flexibilität beim Laden der Batterien (z. B. nachts) können PHEV und EV in Zukunft – unter Berücksichtigung der Weiterentwicklung v.a. der Batterien – ein wesentliches Element bilden, um hohe Anteile an stochastisch anfallender Wind- und Solarenergie ins Elektrizitätssystem zu integrieren.

Nationale Zusammenarbeit

Im Zusammenhang mit dem Elektrizitätsmarktliberalisierung und der wachsenden Zahl dezentraler Erzeugungsanlagen und Speichersystemen stellen sich künftig viele Fragen nicht nur rein technischer sondern auch ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Natur. Das Bundesamt für Energie und die ETH Zürich haben sich deshalb über die Schaffung der «Forschungsstelle Energienetze» (FEN) verständigt, welche für die Branche und die breite Bevölkerung unabhängige Kommentare und Antworten zu den wichtigsten interdisziplinären Fragestellungen im Bereich der elektrischen Netze erarbeiten wird. Ein inhaltliches und organisatorisches Konzept wurde unter Einbezug der interessierten Stakeholder 2010 weiter entwickelt, so dass im März 2010 der Förderverein «Schweizerische Gesellschaft für Netzinfrastrukturforschung» (SGN) gegründet werden konnte. Die Mitglieder setzen sich aus Bund, Energiewirtschaft und Industrie zusammen, wobei eine wesentliche Erweiterung angestrebt wird. Nach einer notwendigen Vorbereitungsphase kann die operative Arbeit der Forschungsstelle 2011 aufgenommen werden.

In der Berichtsperiode wurden zwei weitere Workshops der «Interessensgemeinschaft Vehicle-to-Grid» (IG V2G) durchgeführt [14], jeweils unter aktiver Mitwirkung zahlreicher Vertreter von Energieversorgern, Behörden, NGOs, Investoren, Dienstleistern und Forschungsinstitutionen. Schwerpunktmässig behandelt wurden Fragen zu Finanzierung und Investitionen, die Energieforschungsstrategie des Bundes, der Zusammenhang zwischen erneuerbaren Energien und Elektromobilität sowie der Informationsaustausch mit Pilot- und Demonstrationsprojekten.

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) [15] oder des vom BFE und Swisselectric Research [16] unterstützten Projekts «Swiss2G» [17].

Internationale Zusammenarbeit

Die Schweizer Aktivitäten im Rahmen des IEA Implementing Agreement on Electricity Networks, Analysis, Research and Development (Enard) [18] wurden weitergeführt. In zwei Workshops des Annex I «Information Collation and Dissemination» wurde auf die Themen «Electricity Grids – a key enabler in the delivery of a sustainable energy policy» sowie «Markets and Regulation – Financing the Smart Grid» vertieft eingegangen. Verschiedene Schweizer Vertreter seitens der EVU, der Industrie sowie der Verwaltung haben daran teilgenommen. Um einen Überblick über die aktuellen technischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen zur Integration dezentraler Erzeugungsanlagen zu erhalten, wurde im Annex II «Distributed Generation – System Integration in Distribution Networks» eine entsprechende europaweite Analyse durchgeführt und es wurden verschiedene Handlungsoptionen abgeleitet [19]. Die Präsentation der Ergebnisse erfolgt 2011 im Rahmen von öffentlichen Workshops. Zur Erarbeitung einer langfristigen Vision für die Entwicklung der Übertragungsnetze hat Annex IV «Transmission Systems» [20] seine Arbeit mit Fokus auf Netzausbau und -erneuerung, Integration erneuerbarer Energien und Ausfallsicherheit fortgeführt, die ebenfalls 2011 abgeschlossen wird.

Für die Leitung des SET-Plans [6] wurde unterdessen eine Steuerungsgruppe etabliert, worin die EU-Mitgliedstaaten sowie die assoziierten Länder und die Europäische Investitionsbank (EIB) vertreten sind. Die Schweiz wird durch das BFE mit beratender Stimme vertreten. Das Hauptinstrument des SET-Plans sind die acht so genannten «European Industrial Initiatives» (EII), von der Indus-

trie getriebene Massnahmenpläne. Die Initiativen sind durch die Kommission angeregt und von den entsprechenden Industrien ausgearbeitet worden. Im Bereich der Netze sind dies die «European Electricity Grid Initiative» (EEGI) [21], die auch die nötigen Schnittstellen zu den anderen relevanten technologischen EII (z. B. Wind, PV, CSP) sicherstellt, sowie die «Smart Cities Initiative» (SCI) [2], die sich auf die breite Umsetzung erneuerbarer Energien sowie die Förderung der Energieeffizienz in Städten konzentriert. Für jede Industrieinitiative wurde ein so genanntes «EII-Team» eingerichtet, in welches die interessierten EU-Mitgliedstaaten, die assoziierten Länder, die betroffene Industrie, die Geldgeber und die Forschungsgemeinde Einsitz nehmen können. Das Forschungsprogramm Netze ist ebenfalls aktiv beteiligt. Die ebenfalls darin vertretene «Europäische Technologie Plattform (ETP) SmartGrids» wurde bereits 2009 umstrukturiert. In der Berichtsperiode wurde nun auch die «Mirror Group» aufgelöst, womit die direkte Einbindung des Forschungsprogramms Netze entfällt.

Im Rahmen des «SmartGrids ERA-Net» [7] wurde 2010 ein erster Workshop zum Thema «National Pictures and European Dynamics of Smart Grids» erfolgreich durchgeführt. Zusammen mit den Erfahrungen aus der ersten länderübergreifenden Ausschreibung für Projekte, die im Frühling 2010 stattgefunden hatte und bei der auch drei Projekte mit Schweizer Beteiligung bewilligt worden sind, konnte bis Ende 2010 eine weitere Ausschreibung ausgearbeitet werden, die im Frühjahr 2011 veröffentlicht werden wird. Dabei wird sich das ERA-Net künftig auch auf den SET-Plan stützen und ihn durch geeignete

weitere Aktivitäten aktiv mitunterstützen; verschiedenste Grundlagen wurden in den vergangenen drei Jahren bearbeitet.

Die 2009 geschlossene «Kooperation D-A-CH Smart Grids» [8] wurde in der Berichtsperiode entscheidend weiter entwickelt. Insbesondere konnten drei länderübergreifende «Task Forces» zu den wichtigen Querschnittsthemen Normierung und Standardisierung, Ge-

schäftsmodelle sowie Daten aufgebaut werden, die nun 2011 ihre Konzepte erstellen und die operative Arbeit aufnehmen werden. Die Federführung der «Task Force Daten» obliegt Schweizer Branchenvertretern. Die Teilnahme in den Task Forces steht allen Interessierten offen. Ausserdem hat ein erster gemeinsamer Workshop im Rahmen der «Smart Grids Week 2010 Salzburg» [22] stattgefunden, an dem auch zahlreiche Schweizer Teilnehmer vertreten waren.

Schweizer Beteiligung im IEA IA on Electricity Network Analysis, Research and Development (Enard)

www.iea-enard.org/

Annex / Task

Information Collation & Dissemination
Distributed Generation System Integration
Transmission Systems

Schweizer Delegierter

SFOE / Bacher Energie AG
Bacher Energie AG
Swissgrid AG

Referenzen

[1] Bundesamt für Energie BFE: Positionspapier zu «Smart Grids» (2010).

[2] Smart Cities Initiative: www.smartcities.at/set-plan

[3] Bundesamt für Energie BFE: EnergieSchweiz 2011-2020, Detailkonzept, Entwurf (2010).

[4] Wettbewerbliche Ausschreibungen: www.prokilowatt.ch

[5] International Energy Agency (IEA): www.iea.org/

[6] EU SET-Plan: ec.europa.eu/energy/technology/set_plan/set_plan_en.htm

[7] SmartGrids ERA-Net: www.eranet-smartgrids.eu

[8] Kooperation DACH Smart Grids: www.smartgrids-dach.eu

[9] METEOTEST, enersis suisse: Einspeiseprognosen für neue erneuerbare Energien, Schlussbericht (2010).

[10] ENCO AG: Auswirkungen der Markteinführung von Elektrofahrzeugen und Plug-In-Hybrids auf die Energieträger und das Elektrizitätsnetz, Schlussbericht (2010).

[11] Bundesamt für Umwelt BAFU: Zustandsbericht Klima (2010).

[12] ENCO AG: Integration von Plug-In-Hybrid Cars zur Förderung intelligenter Verteilnetzstrukturen (2008).

[13] Econcept AG: Smart Metering für die Schweiz – Potenziale, Erfolgsfaktoren und Massnahmen für die Steigerung der Energieeffizienz (2009).

[14] ENCO AG: IG Vehicle To Grid, Jahresbericht (2010).

[15] Konsortium VEiN: VEiN – Verteile Einspeisung in Niederspannungsnetze, Jahresbericht (2010).

[16] Swiss Electric Research: www.swisselectric-research.ch/

[17] SUPSI, Bacher Energie AG: Swiss2G – Pilot- and Demonstration Project, Jahresbericht (2010).

[18] IEA IA Enard: www.iea-enard.org/

[19] Bacher Energie AG: IEA Implementing Agreement ENARD – Annex II: Distributed Generation – System Integration in Distribution Networks, Jahresbericht (2010).

[20] Swissgrid AG: IEA Implementing Agreement ENARD – Annex IV: Transmission Systems, Jahresbericht (2010).

[21] European Electricity Grid Initiative (EEGI): www.smartgrids.eu/?q=node/170

[22] Smart Grids Week 2010 Salzburg: www.energiesysteme-derzukunft.at/results.html/id5911

BFE Forschungsprogramm Netze

Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Dr. Michael Moser, Bundesamt für Energie (michael.moser@bfe.admin.ch)

Bereichsleiter BFE:

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

www.bfe.admin.ch/forschungnetze

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Wärmepumpen, Wärme- Kraft-Kopplung, Kälte

Thomas Kopp



Expansionsmaschine zur Nutzung der Druckdifferenz zwischen Hoch- und Niederdruck in einer weltweit ersten, kommerziellen Pluskühlanlage mit CO₂ als Arbeitsmedium (R.Gerber, Frigo-Consulting AG, Gümligen)

Einleitung

Das Forschungsprogramm Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte fördert gemäss dem Energieforschungskonzept des Bundes [1] und dem dazugehörigen Detailkonzept [2] die Entwicklung von modernen Heiz- und Kühlsystemen. Eine kurzfristige Reduktion des CO₂-Ausstosses um 50 % im Bereich Gebäudeheizung ist möglich, indem der von mittleren und grösseren Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen (WKK-Anlagen) produzierte Strom in dezentralen Wärmepumpen aller Leistungsklassen eingesetzt wird, die dann in den Gebäuden Niedertemperaturheizwärme erzeugen. Mittelfristig soll keine fossile Energie mehr direkt für Heizzwecke eingesetzt werden. Heute wird im Sektor Haushalte immer noch rund 60 % fossile Energie eingesetzt, die vor allem für Heizzwecke dient [3]. Erst ca 15 % des Energieverbrauches der Haushalte stammt aus erneuerbarer Energie. In der Kälteerzeugung und -anwendung ist eine Energieeinsparung von ca. 25 % möglich [4]. Diese Ziele können über eine verbesserte Effizienz der Komponenten und eine optimierte Systemintegration erreicht werden. Kostenre-

duktionen sind Voraussetzungen um eine rasche Marktpenetration zu erreichen. Diese können durch Standardisierung der Komponenten und Systeme erreicht werden.

Die Forschungsschwerpunkte 2008 bis 2011 des Programmes sind:

- Verbesserung der Komponenten und der thermodynamischen Kreisprozesse bei Wärmepumpen und Kälteanlagen;
- Effizienzverbesserungen bei WKK-Anlagen und Reduktion der Schadstoffemissionen;
- Ganzheitliche Systemoptimierung von Wärmepumpen - WKK - Kälte - Speicherung;
- Hocheffiziente Systeme für Warmwasseraufbereitung;
- Miniaturisierung und neue Wege für den Einbau von Heiz- und Kühlsystemen mit Wärmepumpen (plug and play);
- Umweltverträgliche Arbeitsmedien für Wärmepumpen und Kältemaschinen.

IEA-Klassifikation: 3.7 Other Renewables

Schweizer Klassifikation: 2.3 Umgebungswärme

Programmschwerpunkte

Gemäss den Programmschwerpunkten wurden im Berichtsjahr sieben Projekte abgeschlossen, sechs sind weiter in Bearbeitung und fünf neue Projekte konnten gestartet werden.

Im Bereich «Verbesserung der Komponenten und der thermodynamischen Kreisprozesse bei Wärmepumpen und Kälteanlagen» wurden Untersuchungen an drehzahlgeregelten Kompressoren und Ventilatoren [5] durchgeführt, die im Abschnitt Highlights dargestellt sind. Im Sektor Kälteanlagen konnte an einer gewerblichen Kälteanlage mit CO₂ als Kältemittel eine mechanische Expansionsmaschine [6] in Betrieb genommen und deren Wirkungsweise mit Messungen dokumentiert werden. Auch diese sehr interessante Anwendung ist im Abschnitt Highlights näher vorgestellt.

Im Bereich «Effizienzverbesserungen bei WKK-Anlagen und Reduktion der Schadstoffemission» wurde die Zusatznutzung des Abgases eines Dieselmotors durch Umwandlung der Abgaswärme in mechanische Energie untersucht [7].

Unter dem Arbeitstitel «Ganzheitliche Systemoptimierung von Wärmepumpen – WKK – Kälte – Speicherung» darf von einem neu gestarteten IEA-HPP Annex «Solar and Heat Pump Systems» berichtet werden [8]. Zur erfolgreichen internationalen Kooperation tragen auch die 2 Projekte «SOFO-WA – Kombination von Solarthermie, Fotovoltaik und Wärmepumpen» [9] und «Optimierung der Einbindung eines 28-m³-Wasserspeichers in die Beheizung und Warmwasser-Versorgung eines Einfamilienhauses mit W/W-Wärmepumpe und Solarkollektoren» [10] bei.

Im Zuge der Erneuerung des Gebädeparks mit besser isolierten Gebäuden erhält der Bereich «Hoch effiziente Systeme für Warmwasseraufbereitung» eine erhöhte Wichtigkeit, die mit dem Projekt «Zirkulationsverluste in Brauchwarmwasseranlagen» [11] bearbeitet wurde.

Das abgeschlossene Projekt «SEK – Standardlösungen zum energieeffizienten Heizen und Kühlen mit Wärmepumpen» [12] beleuchtete den Aspekt «Miniaturisierung und neue Wege für den Einbau von Heiz- und Kühlsystemen mit Wärmepumpen».

Unter dem Arbeitstitel «Umweltverträgliche Arbeitsmedien für Wärmepumpen und Kältemaschinen» wird die Entwicklung eines Turbokompressors für eine Trinkwasser-Wärmepumpe mit CO₂ und Leistungen im Bereich 100 kW gefördert [13].

Rückblick und Bewertung 2010

Im Berichtsjahr 2010 konnten interessante Projekte erfolgreich abgeschlossen werden. Speziell zu erwähnen sind die Projekte «SEK – Standardlösungen zum energieeffizienten Heizen und Kühlen mit Wärmepumpen» [12] und «Dynamischer Wärmepumpentest - Phasen 3 und 4» [14].

Leider wurden die Erwartungen im Forschungsprojekt Magnetische Wärmepumpen [15] nicht erfüllt und es konnte kein funktionierender Prototyp gebaut und ausgemessen werden. Somit muss als Zwischenfazit festgestellt werden, dass das Prinzip der magnetischen Wärmepumpe zwar interessant ist, dass aber ein Markteintritt dieses Prinzips noch in weiter Ferne liegt. Es werden zwar im Bereich der magnetischen Materialien ständig Fortschritte verzeichnet, die Umsetzung in eine funktionierende Wärmepumpe konnte aber nicht bewiesen werden. Die anvisierte konstruktive Lösung ist auch eher kompliziert und wahrscheinlich in der gewählten Art nicht optimal im Hinblick auf Herstellungsprozess und Kosten.

Auch das Projekt «Heizen mit der erdgekoppelten Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe (DAWP) und Direktkühlung im Kundenzentrum IWB Steinenvorstadt Basel» [16] ergab leider nicht die erwünschten Ergebnisse, da der Wärmepumpenteil des gasgefeuerten DAWP-Aggregates nie funktionierte.

Ausblick 2011

Das Projekt «Effiziente L/W-Wärmepumpen durch kontrollierte Leistungsregelung» [5] soll 2011 abgeschlossen werden, nachdem es durch zusätzliche Untersuchungen an einer von Emerson gelieferten 2. Generation eines Inverter-Scroll-Kompressors verzögert wurde. Auch Abtauverhalten und Teillast werden zusätzlich untersucht.

Auch vom Projekt «Zirkulationsverluste in Brauchwarmwasseranlagen – Phase 1: Analyse» [11] werden praxisgerechte Resultate erwartet. Verschiedene bekannte, aber auch neuartige Konzepte werden verglichen. Warmwasser-Bereitung wird einen zunehmenden Anteil des Energiebedarfs von modernen Gebäuden einnehmen.

Der Beweis der apparativen Funktion des Turbokompressors im Projekt «Ölfreier CO₂-Kompressor für Grosswärmepumpen zur Warmwassererzeugung» [13] und erste Messresultate werden mit Spannung verfolgt.

Die IEA Heat Pump Programme Annex-Projekte 37 «Demonstration of Field Measurements on Heat Pump Systems in Buildings» [17], 38 «Solar and Heat Pump Systems» [8] und 39 «A Common Method for Testing and Rating of Residential Heat Pumps and Air Conditioners Annual/Seasonal Performance (SPF)» [18] werden nun konkret starten.

Highlights 2010

>> Projektliste

Turbokompressor und Expansionsmaschine für Wärmepumpen und Kältemaschinen mit CO₂: Das Arbeitsmedium CO₂ ist ein natürliches, umweltfreundliches Kältemittel. Es benötigt aber für Anwendungen im Bereich Wärmepumpen und teilweise auch für Kälteerzeugung sehr hohe Arbeitsdrücke.

Kombination von Solarenergienutzung und Wärmepumpen: Die Kombination von Solarthermie und Wärmepumpe wird von umweltbewussten Bauherrschaften häufig nachgefragt. Die Kombination ist aber technisch nicht einfach.

Heizwärmebedarfsabhängige Regelung bei Wärmepumpen: Moderne Wärmepumpen sollen immer die gefragte Heizleistung abgeben.

Turbokompressor und Expansionsmaschine für WP und Kältemaschine mit CO₂

Das Arbeitsmedium CO₂ ist ein natürliches, umweltfreundliches Kältemittel. Es benötigt aber für Anwendungen im Bereich Wärmepumpen und teilweise auch für Kälteerzeugung sehr hohe Arbeitsdrücke von bis zu 110 bar. Der thermodynamische Kreisprozess wird auf der Wärmeabgabeseite überkritisch gefahren. Die Überwindung der hohen Drücke erfordert eine hohe Kompressionsenergie. In klassischen Wärmepumpen- oder Kältemaschinen-Anwendungen erfolgt die Expansion des Arbeitsmediums vom hohen Druck im Kondensator oder hier eben im Gaskühler zum tiefen Verdampferdruck durch eine Drossel. Eine Drossel vernichtet Druckdifferenzen in nicht-nutzbare, unwillkommene Reibungsenergie. Nur eine Expansionsmaschine, die aus der Druckdifferenz eine nutzbare Arbeit gewinnen kann, erhöht theoretisch den Gesamtprozess-Wirkungsgrad bei Wärmepumpen um 47,4 % und bei Kältemaschinen um 66,7 % [19]. Dieses Verbesserungspotenzial ist bei CO₂ besonders hoch, weshalb sich eine apparative Nutzung lohnt.

Im Projekt «Effiziente Kälteerzeugung – Integration einer Expansionsmaschine in ein CO₂-Kältesystem» [6] wurde in Zusammenarbeit mit der

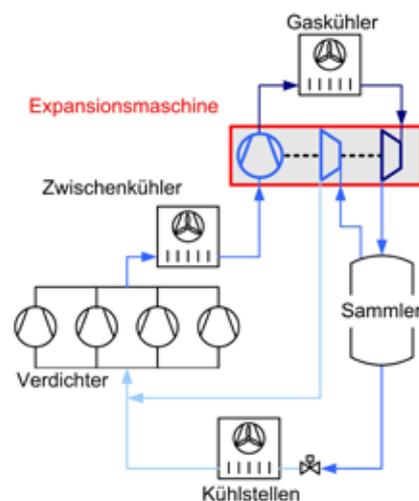
Technischen Universität Dresden eine Expansionsmaschine auf dem Prinzip eines Zylinder-Kolben-Systems entwickelt und in einer kommerziellen Kälteanlage in Zusammenarbeit mit den Firmen FRIGO-CONSULTING AG, Prodega AG und ALPIQ eingebaut. Das System kann wahlweise zugeschaltet oder überbrückt werden, sodass Leistungszahlen mit und ohne Expansionsmaschine ermittelt werden können. Die Projektbeschreibung und die bisher erhaltenen Resultate werden im Projekt-Jahresbericht 2010 [6] geschildert (teilweise zitiert):

«Das Kältemittel CO₂ kommt in stationären Kälteanlagen vermehrt zum Einsatz. Die relativ schlechte Leistungszahl des teilweise transkritischen Kältdampfprozesses mit CO₂ kann durch Minimierung der Drosselverluste mit einer arbeitsleistenden Entspannung thermodynamisch verbessert werden. In einer realen Anlage im Feld ist eine Expansions-Kompressions-Maschine in eine CO₂-Kälteanlage integriert und in Betrieb genommen worden.

Bei der zu integrierenden Maschine handelt es sich um eine Hubkolbenmaschine mit Verdichtungs- und Expansionssteilen und variabler Förderleistung. Die anhand eines Lastprofils dimensionierte Expansions-Kompressions-Maschine wurde an der Technischen Universität Dresden entwickelt, konstruiert, hergestellt und in die transkritische CO₂-Anlage eingebaut.

Um die Maschine in die Kälteanlage zu integrieren war es nötig, die Kälteanlage der Prodega in Basel mit den nötigen Komponenten zu erweitern. Dazu sind die evaluierten Teile Zwischenkühler, Ölrückführsystem, Rohrleitungen und Armaturen sowie entsprechende Regelkomponenten installiert und in Betrieb genommen worden.

Die Inbetriebnahme der Expansions-Kompressions-Maschine und der zugehörigen Komponenten konnte erwartungsgemäß erfolgen. Technische Probleme in Bezug auf die Regeldynamik, Regelstrategie, Flussverhalten und Vibrationen konnten bereits fast vollständig gelöst werden. Erste Messdaten zeigen die Übertragung der Expansionsarbeit in den Verdichtungsprozess in einzelnen Betriebszuständen.



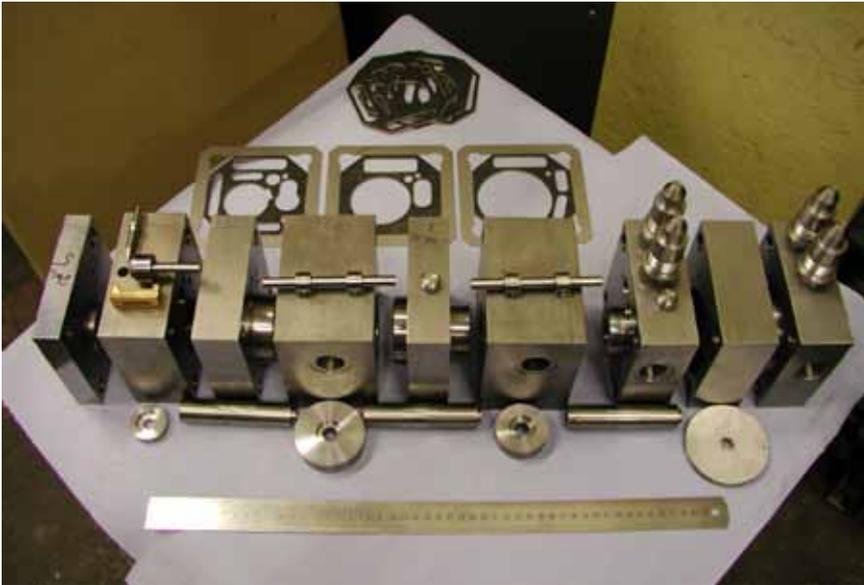
Figur 1: CO₂-Kälteanlage mit integrierter Expansionsmaschine [6].

Basierend auf den Anforderungen des Konstrukteurs der Maschine ist eine Regelstrategie und das Konzept zur Integration in die Hauptanlage realisiert worden und muss nach nächsten Betriebserfahrungen noch leicht angepasst und optimiert werden. Anschließend kann anhand von aufgezeichneten Messdaten das Betriebsverhalten untersucht und ausgewertet werden.

Mit dem Projekt wird sich zeigen, ob die Integration einer solchen Maschine zur Effizienzsteigerung bei gewerblichen Kälteanlagen einfach realisierbar und wirtschaftlich ist und für zukünftige oder bestehende Kälteanlagen eine anwendbare Option darstellt».

Das Projekt wird 2011 die ersten zahlenmässigen Resultate liefern und auch einem Dauertest ausgesetzt. Die Resultate werden dann an der 10th Internationalen Wärmepumpenkonferenz Heat Pump Conference im Mai 2011 und an der 17. BFE-Wärmepumpentagung am 29.6.2011 in Burgdorf präsentiert.

Im Projekt «Ölfreier CO₂-Kompressor für Grosswärmepumpen zur Warmwassererzeugung» [13] wird der Kompressionsschritt des Kreisprozesses Wärmepumpe oder Kältemaschine apparativ verbessert. Das Projekt zielt auf die spezielle Anwendung in Trinkwasser-Wärmepumpen im Leistungsbereich von ca. 100 kW. Dieser Leistungsbereich ist in Hotels, Grosswäschereien oder in Sportanlagen gefragt. Als apparatives Konzept wurde ein Turbokompressor gewählt, der von



Figur 2: Einzelteile der Expansions-Maschine vor dem Zusammenbau (TUD) [6].

einem vollgekapselten Elektromotor angetrieben wird. Die hohe Drehzahl erforderte ein hoch stehendes Engineering. Die Projektfortschritte und Resultate sind im Projektjahresbericht 2010 dargestellt (Zitat Zusammenfassung [13]):

«Die vorliegende Arbeit beschreibt die Fortschritte in der Entwicklung eines Verdichters für das natürliche Kältemittel CO_2 , welcher in Grosswärmepumpen eingesetzt werden soll. Aus Gründen der erforderlichen Lebensdauer soll der Kompressor schmierstofffrei ausgeführt werden, wozu sich ein Turbokompressor aufgrund der geringen Querkräfte in den Rotorlagern anbietet. Weitere Vorteile der Ölfreiheit sind die daraus resultierende Vereinfachung des Systems sowie die potentiell höheren Wirkungsgrade in den Wärmetau-

schern. Die Spanne zwischen Grundlagenforschung und angewandter Entwicklung macht eine Aufteilung der Arbeit in verschiedene Technologieträger zur gesonderten Untersuchung der Teilkomponenten nötig. Diese Teilarbeiten beinhalten unter anderem die Entwicklung eines Elektromotors, welcher hermetisch in den Verdichter mit eingebaut wird, sowie die numerische und experimentelle Bestimmung der Rotordynamik. In beiden Feldern wurden im vergangenen Jahr signifikante Fortschritte erzielt. Als Ergebnis dieser Arbeiten wird momentan ein erster Verdichter aufgebaut, welcher ausreichend mit Sensorik versehen ist, um die aerodynamische sowie konstruktive Auslegung zu verifizieren.»

Als weiteren Vorteil dieses Konzepts ist die Ölfreiheit zu nennen. Falls ein



Figur 3: Milchtransporter-Auflieger-Tank als Wärme-Speicher für ein EFH [21].

ölfreier Betrieb möglich wäre, könnte das Arbeitsmedium CO_2 auch direkt in der Erdsonde eingesetzt werden, und es würde die Wärmeübertragung zwischen Sondenfluid und Verdampfer und die damit verbundene Wirkungsgradabnahme wegfallen.

Kombination von Solarthermienutzung und Wärmepumpen

Die Kombination von Solarthermie und Wärmepumpe wird von umweltbewussten Bauherrschaften häufig nachgefragt. Die Kombination ist aber technisch nicht einfach umsetzbar. So wurden in Einzelfällen auch ineffiziente Anlagen gebaut, die wegen einer schlechten Regelung in der Nacht mit der Wärmepumpe Wärme auf die Solarkollektoren geführt hatten, die dann den Nachthimmel «erwärmte». Selbstverständlich wurden auch gut funktionierende Anlage-Kombinationen gebaut. Die Problematik stiess international auf grosses Interesse. Deshalb wurde in den beiden IEA-Implementing Agreements SHC (Solar Heating and Cooling) und HPP (Heat Pump Programme) ein gemeinsames internationales Projekt «Solar + Heat Pump Systems» [8] gestartet. Daran beteiligen sich mehr als 10 Länder mit 30 Forscherteams. Aus der Schweiz werden im Forschungsprogramm Wärmepumpen, WKK, Kälte zwei Projekte beigesteuert.

Das Projekt «Optimierung der Einbindung eines 28-m^3 -Wasser-Speichers in die Beheizung und die Warmwasserversorgung eines Einfamilienhauses mit Wasser/Wasser-Wärmepumpe und Solarkollektoren» [10] untersucht die Kombination Wärmepumpe und Solarthermie unter Einbezug einer Wärmespeicherung in einem grossen Tank. Der Tank stammt in dieser Anlage von einem ausrangierten Sattelschlepper-Auflieger, der für Milchtransporte eingesetzt wurde. Er wurde vom Auflieger abmontiert und noch während der Rohbauphase im Keller des Hauses installiert. Es entstehen durch die Anzahl der Komponenten dieser Anlage nun natürlich viele Regelungsmöglichkeiten, die im Projekt optimiert werden sollen. Auch wenn das Grundkonzept dieser Anlage etwas aussergewöhnlich ist, werden doch klare Aussagen zum Wiederholungspotenzial dieses Konzepts erwartet. Die Kernfrage ist,

in wie weit sich grössere Speicher-möglichkeiten energetisch aber auch kommerziell lohnen. Der Projektfortschritt wird im Jahresbericht 2010 dokumentiert (Zitat Zusammenfassung [10]):

«Simulationen an einem Pilotobjekt (EFH mit 185m² EBF, gebaut nach SIA380/1:2009) mit Solarkollektoren (4m²), einer W/W Wärmepumpe (6.4kW) mit einer Erdsonde (150m) sowie zwei thermischen Speicher mit Wasser (1: ungeschichtet, 28m³, 2: geschichtet, 1,65m³) sollen die Schwachstellen der konventionellen, heute üblichen Systemsteuerungen verdeutlichen.

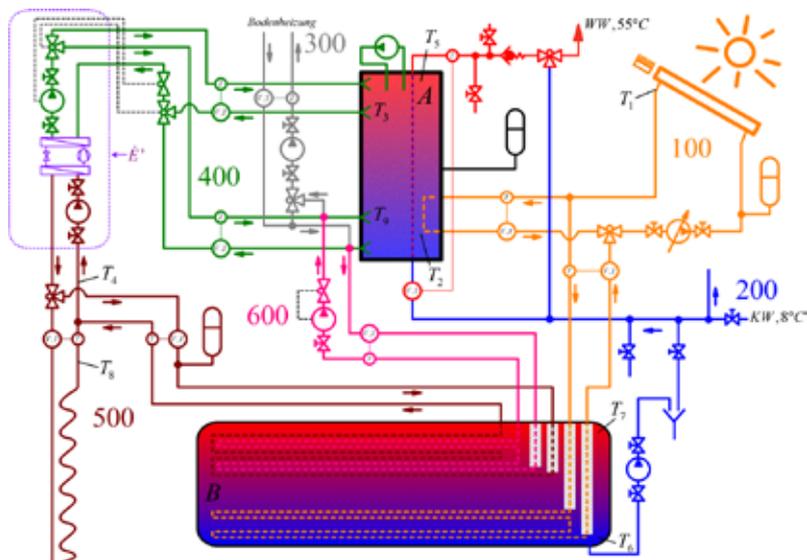
In der ersten Phase dieses Projekts wurde das Gebäude, welches gleichzeitig das Versuchslabor für die Thermik Abteilung der Hochschule für Technik und Architektur Freiburg (EIA-FR) ist, eine Simulation vom jährlichen Energieverbrauch gemacht. Anschliessend wurden die technischen Einrichtungen, darunter der «saisonale» 28m³ Speicher, der Nutzspeicher und die Solar Kollektoren während mehreren Tagen mit und ohne Heizlast simuliert und mit realen Messdaten validiert.

Die Resultate der ersten Simulationen zeigen gute Übereinstimmungen mit der Wirklichkeit, und werden die Optimierung der Ansteuerungsparameter ermöglichen, sobald die restlichen Bauteile vollständig modelliert und validiert wurden.

Die Gesamtbilanz nach den ersten Monaten Betrieb (ohne Optimierungen) zeigt, dass das berechnete Potential des Gesamtsystems (solar und WP) bei weitem nicht ausgeschöpft wurde. Für den berechneten jährlichen Heizwärmebedarf von 10800 kWh und den WW-Wärmebedarf von 3400 kWh wurden 3730 kWh Elektrizität verbraucht, was einer JAZ von 3,8 entspricht. Erfahrungsgemäss wird das Gebäude nach der Trocknungsphase seiner Betonstruktur weniger Wärme benötigen, und eine höhere JAZ (mit Optimierungen JAZ>8) wird erwartet.»

Das Projekt wird 2011 fortgeführt und verschiedene Regelstrategien werden erprobt.

Ein weiteres Projekt ist das kürzlich gestartete Projekt «SOFOWA – Kombination von Solarthermie, Fotovoltaik und Wärmepumpen» [9]. Es ist auf Gebäude mit geringem Energiebedarf ausgerichtet, untersucht aber generell die



Figur 4: Anlageschema mit Erdsonden-Wärmepumpe, Solarkollektoren und 28m³-Wasserspeicher [10].

Vor- und Nachteile von Kombinationen verschiedener Energiesysteme. Es ist zum Beispiel schon lange bekannt, dass gekühlte PV-Kollektoren einen besseren Wirkungsgrad aufweisen. Welches ist nun die geschickteste Art der Kühlung und wohin soll die Kühlwärme optimal geleitet werden? Der bisherige Projektfortschritt und die Ziele sind im Projektjahresbericht 2010 präsentiert (Zitat Zusammenfassung [9]):

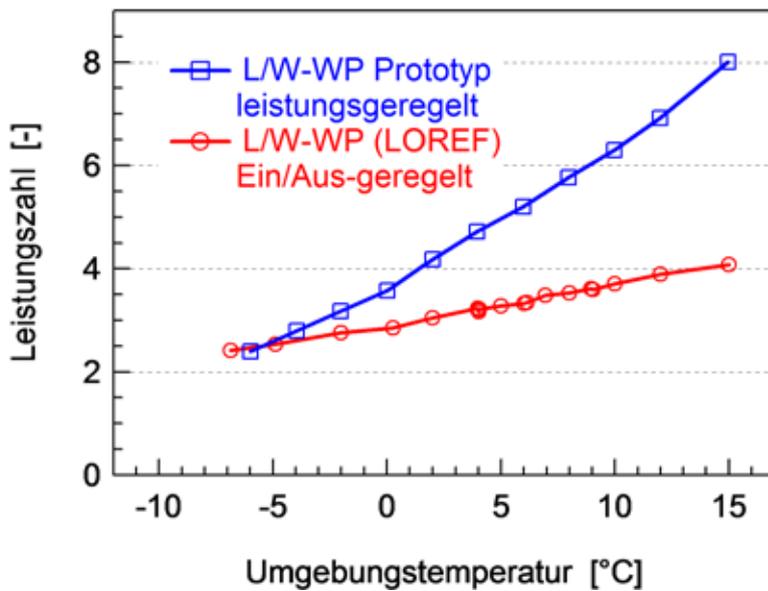
«Niedrigenergiehäuser sind durch die Verschärfung der Energievorschriften zum Standard für Neubauten geworden. Nach gängiger Definition gehen

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 Leitfaden zu erstellen.

Im Berichtszeitraum konnten ökologische und ökonomische Grundlagen für die weitere Analyse erarbeitet respektive übertragen werden. Die Zusammenarbeit sowohl national wie auch international wurde etabliert. Für die



Figur 5: Inverter-Scroll Kompressor der 1. Generation mit aufgebautem Inverter im Luft/Wasser-Wärmepumpen-Prototyp [5].



Figur 6: Leistungszahl COP (inkl. Ventilator) für Heizkurve «sanierter Altbau» von leistungsgeregelter Wärmepumpe im Vergleich zu ON/OFF-Betrieb in Funktion der Aussentemperatur [5]

Simulationsstudie wurden Klimadaten und Referenzgebäude definiert. Ein Systemtest und die Übertragung auf Altbauten sind in späteren Projektphasen geplant.

Für die weiteren Untersuchungen tragen zwei Vorstudien Grundlagen bei; eine über die vollständig solare Energieerzeugung für und an einem Einfamilienhaus sowie eine weitere über den ökologischen und ökonomischen Vergleich von Wärmepumpen-Systemkombinationen mit Fotovoltaik oder solarthermischen Systemen zur Warmwasser-Bereitung mit erneuerbaren Energien. Die Kombination PVI Wärmepumpe führt zu den insgesamt geringsten Energiekosten, wobei dies vor allem darauf zurückzuführen ist, dass keine längerfristige Energiespeicherung im Gebäude erfolgt. Die Kombination PVI/Solarthermie führt zum höchsten Eigenversorgungsgrad, da die Wärme saisonal gespeichert wird, allerdings auch zu den höchsten Kosten. Die Integration der Strom- und Wärmeerzeugung in PVI/T-Kollektoren führt zum kleinsten in der Gebäudehülle benötigten Flächenbedarf bei mittleren Kosten und mittlerem Eigenversorgungsgrad. Aufgrund der Preisentwicklung von Photovoltaikanlagen sind zum heutigen Zeitpunkt thermische und photovoltaische Anlagen, welche auf eine 50 % Deckung der Warmwasserenergie mit erneuerbaren

Energien ausgelegt sind, etwa gleich teuer und ökologisch ebenbürtig.

Für die Simulationsstudie im Projekt werden Klimadaten der Station Basel-Binningen, für einen Vergleich der international entwickelten Systeme untereinander die Klimadaten für die Standorte Helsinki, Strassburg und Athen verwendet werden. Es wurde ein Referenzgebäude in drei Ausführungen gemäss Minergie-P, gesetzlichem Neubaustandard und als Altbau definiert.

Das Projekt stellt einen Beitrag zum IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38 «Solar and Heat Pump Systems» dar».

Heizwärmebedarfsabhängige Regelung bei Wärmepumpen

Moderne Wärmepumpen sollten immer die gefragte aussentemperaturabhängige Heizleistung abgeben. Wärmepumpen mit ON/OFF-Regelung können das aber aus technischen Gründen nicht. Wenn eine Wärmepumpe im ON-Modus arbeitet, dreht der Kompressor mit einer fixen Drehzahl. Das angesaugte Arbeitsmedium hat dabei eine Dichte, die von der Verdampfer-temperatur abhängt. Diese wiederum hängt bei Luft/Wasser-Wärmepumpen von der Aussentemperatur ab. Je tie-

fer die Aussentemperatur, desto tiefer der Verdampfendruck und damit desto tiefer die Dichte. Damit fördert der Kompressor weniger Arbeitsmedium. Zudem wird das Fördervolumen bei Kolbenkompressoren noch einmal durch höhere Rückexpansion verkleinert. Die Wärmepumpe kann also bei tieferen Aussentemperaturen und konstanter Drehzahl weniger Wärme abgeben. Das Gebäude, das sich wie ein grosser Wärmetauscher verhält, benötigt aber bei tieferen Aussentemperaturen eine höhere Heizleistung. Dieses Dilemma wurde bisher so gelöst, dass die Wärmepumpe auf die tiefste Aussentemperatur dimensioniert wurde und bei höheren Aussentemperaturen im ON/OFF-Modus taktweise arbeitete. Dadurch fördert sie aber im Teillastbereich immer höhere Wärmeströme, als das Gebäude effektiv im Zeitmoment verlangt. Diese höheren Wärmeströme führen zu höheren Temperaturdifferenzen in den Wärmetauschern und verringern dadurch die Effizienz. Eine technisch saubere Lösung liegt in der Regelung der Drehzahl des Kompressors und bei Luft/Wasser-Wärmepumpen (L/W-WP) auch vom Ventilator, der die Aussenluft durch den Verdampfer fördert. Die Umsetzung dieses Konzepts wird im Projekt «Effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpe durch kontinuierliche Leistungsregelung» [5] untersucht. Bei der Verwendung effizient regelbarer Kompressoren und Ventilatoren liegen die erreichbaren Jahresarbeitszahlen leistungsgeregelter L/W-WP im Bereich von heutigen Ein/Aus-geregelten Sole/Wasser-Wärmepumpen.

Nationale Zusammenarbeit

Durch die Mitarbeit von privaten Firmen in den meist sehr anwendungsnahe Projekten beteiligt sich die Privatwirtschaft intensiv an der Forschungstätigkeit. Das Engagement reicht dabei von der Mitarbeit in einer Begleitgruppe bis zur Beisteuerung erheblicher finanzieller und personeller Beiträge. Da die Projektleiter häufig in einer Hochschule oder Fachhochschule tätig sind, besteht zu diesen Institutionen eine besonders intensive Beziehung. Die Projektthemen wirken sich dabei auch auf den Unterricht aus, denn innerhalb der Projekte können auch kostengünstige Studienarbeiten integriert werden. Viele Institute an den Fachhochschulen bilden eigentliche Kompetenzzentren, auch wenn sie im Sinne der offiziellen Bezeichnung für Kompetenzzentren zu klein sind. Dafür wird an diesen Instituten ohne grossen Overhead sehr effizient gearbeitet.

Nebst dem BFE engagieren sich im Programmbereich Wärmepumpen, WKK, Kälte auch andere Förderorganisationen. So bestehen Kontakte zum Foga (www.erdgas.ch), dem Axpo Naturstromfonds (www.axpo.ch),

dem Swisselectric-Research (www.swisselectric-research.ch) und zu verschiedenen kantonalen und städtischen Ämtern. Mit den Branchenverbänden besteht ein institutionalisierter Informationsaustausch, denn alle wesentlichen Verbände sind in der Programm-Begleitgruppe vertreten. Dies sind der FWS (Fachverband Wärmepumpen Schweiz), der WKK-Fachverband der SVK (Schweizerischer Verein für Kältetechnik) und der SWKI (Schweizerischer Verein der Gebäudetechnik). Kontakt besteht auch zum V3E (Verein Effiziente Energie-Erzeugung).

Mit den BFE-Programmen «Solarwärme und Wärmespeicherung» sowie «Energie in Gebäuden» besteht eine intensive Zusammenarbeit, da diese Programme ebenfalls vom gleichen Bereichsleiter (Andreas Eckmanns) geleitet werden. Mit den Programmen «Biomasse (ohne Holz)», «Holzenergie», «Geothermie» und «Elektrizitätstechnologien und -anwendungen» wird auf Projektebene ebenfalls zusammengearbeitet.

Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit erfolgt vor allem durch eine aktive Mitarbeit im Heat Pump Programme HPP (www.heatpumpcentre.org) der IEA. 2010 konnte der IEA-HPP-Annex 38 «Solar and Heat Pump Systems» als gemeinsamer Annex des Implementing Agreement «Heat Pumping Technologies HPP» und «Solar Heating and Cooling SHC» [8] gestartet werden. Operating Agent für diesen Joint-Annex ist Jean-Christophe Hador, Base Consultants in Genf. Im HPP-Annex arbeiten die Länder Deutschland, Finnland, United Kingdom und die Schweiz zusammen, die Schweiz steuert je ein Projekt der FHNW und der FH Fribourg bei. Im Gemeinschaftsprojekt IEA-HPP-Annex 32 «Economical Heating and Cooling for Low Energy Houses» [20] stellte die Fachhochschule Nordwestschweiz ebenfalls den Operating Agent (Carsten Wemhöner, Institut für Energie am Bau, FHNW) und steuerte ein nationales Projekt bei. In diesem Annex bearbeiteten Forscherteams aus 10 Ländern die Entwicklung von multifunktionalen Wärmepumpen mit einer Leistung zwischen 3 und 5 kW, den dazugehörigen Feldtests und der Ableitung von Empfehlungen für die Praxis (www.annex32.org).

Das IEA Heat Pump Programme organisiert verschiedene internationale gemeinsame Aktivitäten im Rahmen von Annexen. Ende 2010 konnten die Annexe IEA-HPP-Annex 37 «Demonstration of Field Measurements on Heat Pump Systems in Buildings» [17] und IEA-HPP-Annex 39 «A Common Method for Testing and Rating of Residential Heat Pumps and Air Conditioners Annual and Seasonal Performance (SPF)» [18] mit aktiver Beteiligung der Schweiz gestartet werden.

Im Berichtsjahr 2010 nahm auch die Vorbereitung der 10th International Heat Pump Conference vom 17. bis 19. Mai 2011 in Tokyo einen wesentlichen Anteil ein, ist doch der Programmleiter der Chairman des internationalen Konferenzkomitees IOC. Die Schweiz wird diese Konferenz als Country-Sponsor unterstützen und ist deshalb im IOC mit einem Mitglied vertreten. Bis Jahresende 2010 wurden über 300 Papers aus der ganzen Welt eingereicht, wobei 22 Abstracts aus der Schweiz stammten.

Referenzen

- [1] Eidgenössische Energieforschungskommission CORE: Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011, Bundesamt für Energie (2007).
- [2] T. Kopp und A. Eckmanns: Detailkonzept des Forschungsprogramm Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte für die Jahre 2008 bis 2011 (Detailkonzept), Bundesamt für Energie (2009).
- [3] Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2009: Bundesamt für Energie (2009).
- [4] Thomas Lang, Basler & Hofmann, Zürich: «Workshop Lücken zwischen den Gewerken», Kälte-Forum 2008.
- [5] L. Gasser, I. Wyssen und B. Wellig, «Effiziente Luft/Wasser-Wärmepumpen durch kontinuierliche Leistungsregelung (BFE-Jahresbericht 2010).
- [6] Raphael Gerber, «Effiziente Kälteerzeugung – Integration einer Expansionsmaschine in ein CO₂-Kältesystem (BFE-Jahresbericht 2010).
- [7] M. Schmid und M. Vögeli, «Xhost Harvester – Mehr Effizienz» (BFE-Jahresbericht 2010).
- [8] IEA-HPP-Annex 38 «Solar and Heat Pump Systems» (www.heatpumpcentre.org and www.iea-shc.org/task44).
- [9] R. Dott und T. Afjei, «SOFOWA – Kombination von Solarthermie, Fotovoltaik und Wärmepumpen» (BFE-Jahresbericht 2010).
- [10] P. Kurmann, T. Ursenbacher und A. Tenconi, «Optimierung der Einbindung eines 28-m³ Wasser-Speichers in die Beheizung und die WW-Versorgung eines EFH mit WW-Wärmepumpe und Solarkollektoren» (BFE-Jahresbericht 2010).
- [11] S. Bertsch, «Zirkulationsverluste in Brauchwarmwasseranlagen – Phase 1: Analyse (BFE-Jahresbericht 2010).
- [12] R. Dott, C. Wemhöner und T. Afjei, «SEK – Standardlösungen zum energieeffizienten Heizen und Kühlen mit Wärmepumpen» (BFE-Schlussbericht).
- [13] D. Uhlenhaut, D. Frehner und J. V. Völk, «Ölfreier CO₂-Kompressor für Grosswärmepumpen zur Warmwassererzeugung - Funktionsmuster» (BFE-Jahresbericht 2010).
- [14] M. Uhlmann und S. Bertsch, «Dynamischer Wärmepumpentest, Phase 3 und 4» (BFE-Schlussbericht 2010).
- [15] P. W. Egolf, A. Kitanovski, C. Gonin, D. Vuarnoz, M. Diebold, T. Swinnen, B. Yu, M. Liu, P. Repetti, A. Orita und J.-L. Beney, «Magnetische Wärmepumpe mit Erdwärme-Quelle – Optimierter Prototyp» (BFE-Schlussbericht 2010).
- [16] D. Mollet, R. Dott und T. Afjei, «Heizen mit der erdgekoppelten Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe und Direktkühlung im Kundenzentrum IWB Steinenvorstadt Basel» (BFE-Schlussbericht).
- [17] IEA-HPP-Annex 37 «Demonstration of Field Measurements on Heat Pump Systems in Buildings» (www.heatpumpcentre.org).
- [18] IEA-HPP-Annex 39 «A common method for testing and rating of residential heat pumps and air conditioners annual/seasonal performance (SPF)» (www.heatpumpcentre.org).
- [19] R. Heidelk, FKW GmbH Hannover, «Expansionsmaschinen für CO₂ auf Basis von modifizierten Hubkolbenmaschinen», DKV-Tagung 2000 in Bremen.
- [20] C. Wemhöner und T. Afjei, «Economical Heating and Cooling Systems for Low Energy Houses» (BFE-Schlussbericht 2011).
- [21] O. Zürcher, EIA-FR Ecole d'ingénieurs et d'architectes Fribourg).

BFE Forschungsprogramm Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte
Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Prof. Dr. Thomas Kopp, HSR Hochschule für Technik Rapperswil (tkopp@hsr.ch)

Bereichsleiter BFE:

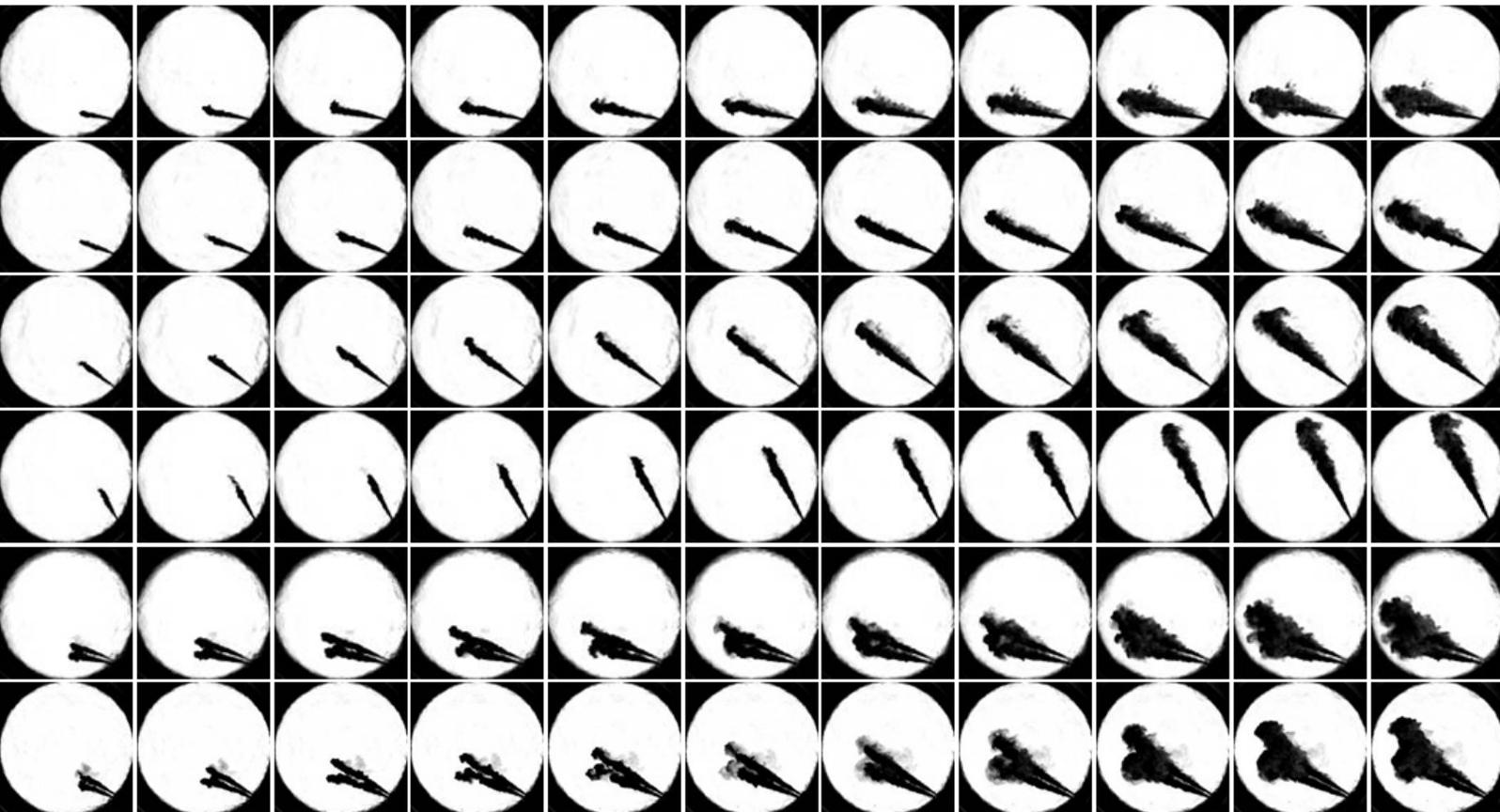
Andreas Eckmanns (andreas.eckmanns@bfe.admin.ch)

www.bfe.admin/forschungwkk

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Verbrennung

Stephan Renz



Schattenbilder der Einspritzung in eine Brennkammer

Schattenbilder der zeitlichen Ausbreitung der Einspritzung ($50 \mu\text{s}$) für eine Variation von Spray-Konfigurationen bei identischen Kammerbedingungen (9 MPa, 930 K) (Quelle: Wärtsilä Schweiz AG).

Einleitung

Die Verbrennung wird auch langfristig ein bedeutender Energieumwandlungsprozess sein, mit dem ein grosser Anteil der Energieformen Wärme und Kraft erzeugt wird. Neben den konventionellen fossilen Energieträgern Erdgas, Erdöl und Kohle werden in der Zukunft neue Brennstoffe an Bedeutung gewinnen. Dazu gehören auf Biomasse basierende Energieträger sowie aus verschiedenen Stoffen künstlich erzeugte, synthetische Brennstoffe. Hintergrund dieser Entwicklung ist die hohe Energiedichte der flüssigen Brennstoffe. Diese ist für viele Anwendungen wie Mobilität über grosse Distanzen (Transportwesen) oder Produktionsmaschinen mit langer Betriebsdauer (z. B. Baumaschinen) ausschlaggebend im Vergleich zu anderen Energieträgern. Die speziellen Anforderungen bei der Verbrennung werden in der Zusammensetzung der künstlichen Brennstoffe berücksichtigt, damit diese beispielsweise dank optimaler Verbrennung weniger Schadstoffe erzeugen.

Den fossilen Brennstoffen haftet der Mangel der langfristig begrenzten Verfügbarkeit sowie der CO₂-Emissionen an. Die Bestrebungen den Verbrauch durch höhere Effizienz und Substitution zu reduzieren, werden jedoch durch den globalen Zuwachs des Energiebedarfs mehr als übertroffen. 2010 stieg der Verbrauch an Erdölverbrauch in der Schweiz um 2 % und weltweit um 3 %. [1]

Die Schweiz ist Standort global agierender Hersteller von Verbrennungsmotoren und Gasturbinen. Dazu gehören Wärtsilä (marine Dieselmotoren), Liebherr Bulle SA, Fiat Power Train/Iveco, Wenko sowie Alstom. Auch zahlreiche Entwickler und Hersteller von peripheren Komponenten wie Turbolader, Einspritzsysteme, Katalysatoren, Partikelfilter, Mess- und Steuersysteme sind in der Schweiz aktiv. Hinzu kommen international anerkannte Kompetenzen in der Hochschulforschung. Dazu gehören Forschungsinstitute im ETH-Bereich und an Fachhochschulen.

Die vom Bund mitfinanzierte Verbrennungsforschung umfasst die Verbes-

serung der Forschungsmethoden und -instrumente, von Teilsystemen des Verbrennungsprozesses und der dazugehörenden Komponenten, wie auch von gesamten Systemen mit deren Interdependenzen. Ziele sind die Erhöhung des (exergetischen) Wirkungsgrads, die Verminderung des Verbrauchs an fossilen Brennstoffen und damit der CO₂-Emissionen sowie die Reduktion von Schadstoffen wie Russ, Feinstaub, Stickoxid oder Kohlenwasserstoffe und die Optimierung von Verbrennungssystemen für alternative Energieträger. Die Forschungsziele stimmen mit den internationalen Bestrebungen überein. Dies zeigte sich beispielsweise am auf die Hochschulforschung fokussierten International Combustion Symposium, das im August 2010 in Peking [2] stattfand. Neben grundlagenorientierten Forschungsthemen wie Chemical Kinetics werden verstärkt auch Projekte mit neuen Brennstoffen präsentiert. Auch Schweizer Forschende waren an diesem Anlass mit Beiträgen vertreten.

Auch in Arbeitsgruppen der IEA [3], die sich mit der Verbrennung beschäftigen, sind Schweizer engagiert. Dazu gehören das IEA Implementing Agreement Combustion [4], welches die Ziele Reduktion der Schadstoffe, Verbesserung des Verbrennungsprozesses sowie Nutzung von alternativen Brennstoffen verfolgt, und das IEA Implementing Agreement Advanced Motor Fuels [5]. Auch in den industrienahen Forschungsprojekten der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) [6] werden biogene und synthetische Brennstoffe zu einem stärker beachteten Thema. Mehrere Industrieunternehmen und Schweizer Hochschulforscher sind an FVV-Projekten beteiligt. Die Reduktion der Emissionen und die Nutzung weniger belastender Brennstoffe ist auch ein Thema im Bereich der Marineantriebe. Dies zeigte sich deutlich am alle drei Jahre stattfindenden CIMAC-Kongress [7], der sich mit der Entwicklung von Grossmotoren beschäftigt. Schweizer Industrie- und Forschungskompetenzen im Bereich der grossen Marinediesel waren an diesem Anlass im Einsatz.

IEA-Klassifikation: 2.1.4 Oil and gas combustion

Schweizer Klassifikation: 1.8 Verbrennung

Programmschwerpunkte

Die Verbrennung ist eine Querschnittstechnologie und weist zu zahlreichen anderen Forschungsprogrammen des BFE Verbindungen aus. Die Zielsetzungen des Programms richten sich nach dem Konzept der Energieforschung des Bundes [8] für die Periode 2008–2011.

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

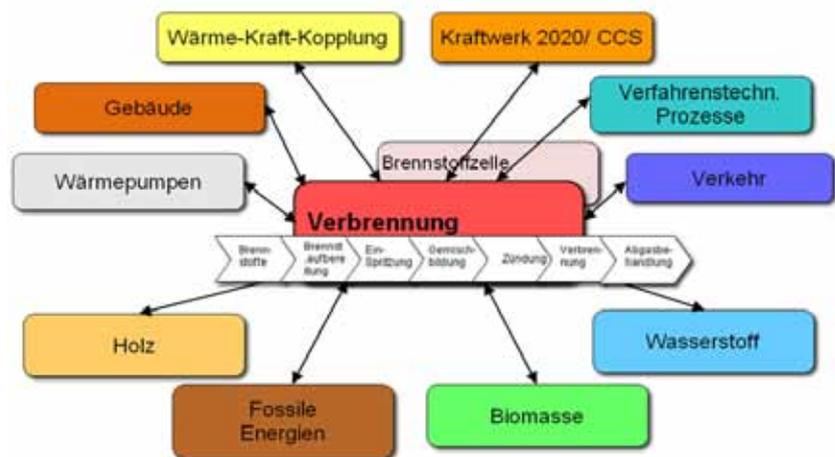
Erhöhung des Systemwirkungsgrads: Mit der Erhöhung des Wirkungsgrads werden der Brennstoffverbrauch und die Schadstoffemissionen reduziert. Wichtig ist der Einbezug des Gesamtsystems und der unterschiedlichen Lastzustände.

Reduktion der Schadstoffemissionen: International werden die Emissionsvorschriften für Stickoxide, Kohlenwasserstoffe, Kohlenmonoxide sowie Russ und Feinstaub weiter verschärft. Zudem wird die Verminderung der Kohlendioxide gefordert.

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 biogene Brennstoffen.

Für die Periode 2008–2011 gelten folgenden Schwerpunkte:

- Weiterentwicklung der Forschungsmethoden und -instrumente für konventionelle und biogene Energieträger.
- Verbesserung und stärkere Vernetzung der experimentellen und numerischen Methoden für die Optimierung des Gesamtsystems «Motor», welches die Prozesskette Gemischbildung – Zündung – Verbrennung – Abgasnachbehandlung erfasst.
- Darstellung von «Null-Emission-Systemen» für die kleinskalige (10 kW bis 100 kW) kombinierte Strom-Wärme-Kälte-Erzeugung (inklusive Wärmepumpen und Biomasse) und für PW-Antriebe.
- Optimierung von Gemischaufberei-



tung, Verbrennung und Abgasnachbehandlung sowie Minimierung von Schadstoffemissionen beim (Teil-) Einsatz von biogenen Kraftstoffen.

- Optimierung von Gemischaufbereitung und Verbrennung sowie Minimierung von Schadstoffemissionen beim Einsatz von konventionellen und biogenen Kraftstoffen in der atmosphärischen Verbrennung im kleinskaligen Bereich.
- Stärkere Vernetzung der Akteure in der Schweizer Verbrennungsforschung und -industrie inkl. Leistungserbringern von Komponenten.

Rückblick und Bewertung 2010

Schweizer Forschende konnten 2010 ihre Arbeiten an zahlreichen internationalen Tagungen präsentieren oder in Beiträge publizieren. Gefestigt wurde auch die Mitarbeit innerhalb des IEA Implementing Agreement Combustion [4], in dem verstärkt auch Themen der nachhaltigen Energieversorgung aufgenommen werden. Das abgeschlossene Projekt *INCA* brachte zwar noch nicht den erwünschten Erfolg mit einer katalytischen Umwandlung von Methan im Brennraum, die robuste Beschichtung der Kolben ist jedoch gelungen. Vielversprechend ist der Fortschritt im Projekt *Energieeffiziente Dieselmotorenverfahren an der Nahtstelle zur Abgasnachbehandlung*, in dem in verschiedenen Teilprojekten Mess- und Rechenmodelle für den Abgleich der Schadstoffentstehung im Brennraum mit der Abgasnachbehandlung erarbeitet werden. Im Projekt *BioExDi* wurden umfangreiche Messungen über den Einfluss von Diesel-

FAME-Gemischen auf die Abgasnachbehandlung durchgeführt. Interessant ist, dass die Russmissionen bei steigendem Bio-Anteil sinken. Der 2008 in Betrieb genommene sehr komplexe Versuchsträger für die Erforschung der Einspritzung, der Zündung und der Verbrennung in grossen Dieselmotoren hat sich in der Praxis bewährt. Die Charakterisierung der Einspritzung unter reaktiven und inerten Verhältnissen konnte durchgeführt und Datensätze für die Modellierung gewonnen werden.

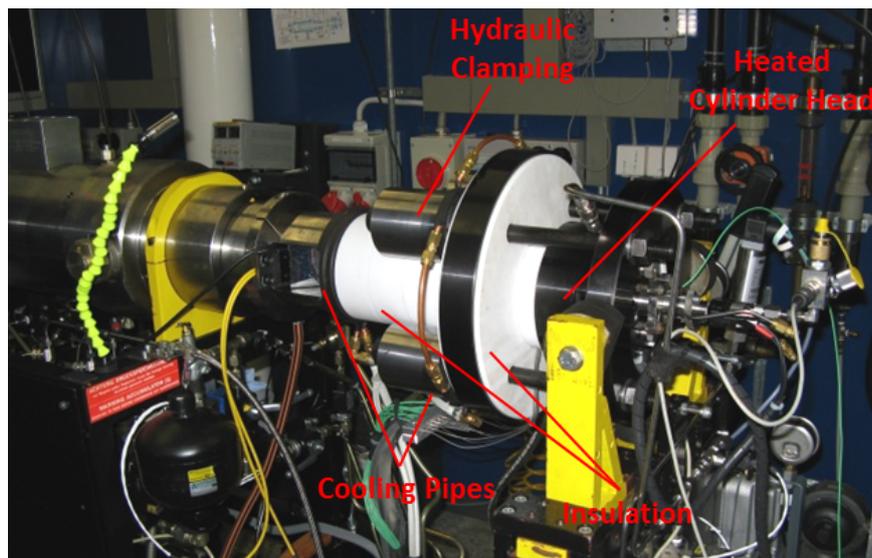
Ausblick 2011

Mit einer weiteren Auflage der alle zwei Jahre stattfindenden Tagung «Verbrennungsforschung in der Schweiz» soll die Vernetzung von Forschenden aus Hochschulen und der Industrie weiter gestärkt werden. Die Erforschung der Reaktionsmechanismen im Zündprozess soll fortgesetzt und damit genauere Datengrundlagen für die Modellierung der Brennverfahren erarbeitet werden. Ein viel versprechendes Projekt zur Entwicklung kleinskaliger Verbrennungsmotoren für den Einsatz in Wärmekraftkopplungsanlagen oder als Range Extender für Elektromobile wurde 2010 zusammen mit Hochschul- und Industriepartnern initiiert und soll 2011 gestartet werden. Mit Interesse werden die Resultate aus dem erstmaligen Betrieb des Versuchsträgers «Einspritzbrennkammer grosser Schiffsdieselmotoren» mit Schweröl erwartet. Die Kontakte zur Industrie werden erweitert und es ist geplant, weitere Projekte mit der Zusammenarbeit von Industrie und Hochschulen zu initiieren.

Verbrennungssysteme sind auf einem hohen technischen Stand. Um diese weiter zu verbessern, und gleichzeitig die gestiegenen Anforderungen wie hoher Wirkungsgrad, minimierte Emissionen und Variabilität der Brennstoffe zu erfüllen, ist ein fundiertes Wissen erforderlich. Dazu gehört die Kenntnis über die thermochemischen Vorgänge im eigentlichen Verbrennungsprozess, die Kinetik der verschiedenen Stoffströme auch unter reaktiven Bedingungen, das Verhalten der Werkstoffe bei hohen und stark schwankenden Temperaturen und Drücken sowie die dynamischen und statischen mechanischen Vorgänge. Hinzu kommen die Interdependenzen über das gesamte Verbrennungssystem von der Gemischaufbereitung bis zur Abgasnachbehandlung und dies auch bei wechselnden Lastbedingungen. Die durch das BFE unterstützten Projekte umfassen deshalb Untersuchungen im Molekularbereich des Zündprozesses, die Entwicklung von numerischen Simulationsmodellen und von Versuchständen für die Validation, aber auch die Verbesserung von einzelnen Komponenten bis zum gesamten System. Projekte haben oft mehrere Themen zum Inhalt und fokussieren nicht nur auf eine Zielsetzung sondern auf Kombinationen davon. Dies weil beispielsweise die Verbesserung des Wirkungsgrads und die Reduktion der Schadstoffe gegenläufige Bestrebungen sind.

Alternative Brennstoffe stellen besondere Herausforderungen an Verbrennungssysteme

Die Substitution von fossilen Brennstoffen durch andere flüssige oder gasförmige Energieträger gewinnt zunehmend an Bedeutung. Neben der begrenzt verfügbaren Biomasse für die Herstellung von Ethanol, Biodiesel oder Biogas werden auch synthetisch hergestellte Energieträger untersucht. Beim «Design» von neuen Brennstoffen sollten die Eigenschaften und Anforderungen der Verbrennung möglichst gut berücksichtigt werden. Durch die unterschiedliche chemische Zusammensetzung alternativer Brennstoffe können diese nicht einfach in bestehenden Verbrennungssystemen eingesetzt werden. Eine Optimierung der



Figur 1: Einhubtriebwerk am LAV der ETHZ mit dem neuen Heizsystem. Damit werden der Zylinderkopf und der Zylinder vorgewärmt.

Systeme – von der Brennstoffaufbereitung bis zur Abgasnachbehandlung – an die spezifischen Eigenschaften des Brennstoffs ist notwendig. Dafür sind fundierte Kenntnisse über die Eigenschaften der Brennstoffe als auch der Verbrennungssysteme erforderlich.

Die Anforderungen neuer motorischer Brennvorgänge und die dafür relevanten Eigenschaften diverser Brennstoffe werden im Projekt *Brennstoffe für homogene selbstgezündete Verbrennungsprozesse* untersucht. Das Projekt ist mit dem Forschungsvorhaben Kraftstoffkennzahlen für homogene Verbrennung der FVV [6] verknüpft. Neben der Uni Duisburg-Essen, der RWTH Aachen und der Uni Stuttgart sind mehr als zehn europäische Industriefirmen an diesem Vorhaben beteiligt.

Mit homogenen Brennvorgängen (HCCI, Homogeneous Charge Compression Ignition) können die Stickoxid- und Russmissionen von Dieselmotoren massiv reduziert werden. Ungelöst ist die Kontrolle dieses Brennvorgangs besonders bei hohen Lasten, tiefen Drehzahlen oder bei instationärem Betrieb. Die Selbstzündung des Gemisches erfolgt oft zu früh, was zu hohen Druckspitzen und einem schlechten thermodynamischen Wirkungsgrad führt. Der heute in Dieselmotoren eingesetzte Kraftstoff eignet sich schlecht für das HCCI-Brennvorgang, da seine bei der dieselmotorischen Diffusionsverbrennung notwendige kurze Zünd-

verzugszeit im homogenen Betrieb (also bei langen Vormischzeiten) zu einer zu frühen Zündung des Gemisches führt. Neben der Optimierung des Motors wird für das HCCI-Brennvorgang deshalb auch der Einsatz speziell geeigneter synthetisch hergestellter Brennstoffe geprüft. Dafür ist es notwendig, die Eigenschaften der verwendeten Brennstoffe gut – idealerweise mit einer oder mehreren Kennzahlen – zu beschreiben. Im Projekt werden deshalb experimentelle und theoretische Untersuchungen für 10 verschiedene Brennstoffe bearbeitet. Die Experimente werden am Einhubtriebwerk der ETH durchgeführt (Fig. 2). Das Triebwerk wurde mit einer Beheizung ausgerüstet, um auch erst bei höheren Temperaturen verdampfende Brennstoffe bei guten homogenen Bedingungen untersuchen zu können.

Das Triebwerk wurde für n-Heptan justiert und das Zündverhalten konnte weitgehend charakterisiert werden. Für die numerische Simulation der Selbstzündung und Verbrennung des Kraftstoff-Luftgemisches wurden anstelle der sehr komplexen Reaktionsmechanismen für den Einsatz in 3D-CFD-Simulationen zwei phänomenologische Modelle entwickelt. Durch die Kopplung der Modelle mit 3D-CFD-Simulationen wurde eine gute Übereinstimmung mit den Messresultaten erreicht. Die innermotorischen Abläufe können damit im nächsten Projektschritt detailliert untersucht werden.



Figur 2: Prüfstand mit Liebherr 4-Zylinder-Dieselmotor D934 S mit Direkteinspritzung und Turbolader. Angebaut wurde ein Diesel Oxidation Catalyst (DOC) + Catalyzed Soot Filter (CSF) System HUG mobilclean RS. Gemessen wurde mit Brennstoffen Diesel, RME (Rapsmethylester) 7, 20, 30 und 100.

Die Auswirkungen von Brennstoffmischungen auf der Basis von Diesel und FAME (Fatty Acid Methyl Ester) auf den Betrieb von Abgasnachbehandlungssystemen (Katalysator und Dieselpartikelfilter) wurde im Projekt BioExDi untersucht (Fig. 3). Abgeklärt wurde auch der Einfluss der Biokomponenten auf die Regenerationsvorgänge und die Ablagerungen im Partikelfilter. Das Projekt wird unter der Leitung des AFHB [9] zusammen mit der Empa [10], Hug-Engineering AG [11] und der finanziellen Unterstützung durch BAFU [12], BFE und Erdölvereinigung [13] bearbeitet. Als Zwischenergebnis wurde festgestellt, dass bei steigendem biogenem Anteil im Brennstoff die Russpartikel reaktiver sind. Dadurch beginnt die Regeneration bei tieferen Temperaturen und ist intensiver. Die Partikelemissionen des Motors waren mit höherem Bio-Anteil zudem geringer. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die Qualität von Biodiesel sehr unterschiedlich ist und Additive zur Verbesserung der Eigenschaften (Kälte- und Wärmeverhalten, Alterung) Probleme im Abgas verursachen können. Gegenüber den geringen Russablagerungen wurde jedoch eine starke Zunahme der Aschemenge bei höherem Bio-Anteil festgestellt. In der Praxis werden jedoch nur Brennstoffe mit geringem Bio-Anteil (B7 = 7 % oder B20 = 20 %) eingesetzt.

Die starke Wärmedämmung von neuen und die wärmetechnische Sanierung von bestehenden Gebäuden bewirkt eine zunehmende Reduktion des Bedarfs an Heizleistung. Hinzu kommt, dass häufig additive Heizungssysteme eingesetzt werden und dadurch die konventionellen Heizkessel oft mit Teillast betrieben werden. Bei Ölheizungen liegt die untere Leistungsgrenze bei 10 kW. Bei geringerem Bedarf müssen diese im verlustreichen Ein-/Ausschaltbetrieb laufen. Dies gilt für fossile als auch für biogene flüssige Brennstoffe. Anstelle der Zufuhr durch eine Düse muss der Brennstoff für geringere Leistungen vor der Gemischbildung verdampft werden. Im Projekt *Grundlagen zur Erweiterung des Leistungsbereichs und der Brennstoff-Flexibilitäten von Ölbrennern mit Vorverdampfertechnik (VVT)* werden zwei verschiedene Verdampfungssysteme untersucht. Beim im ThermMix-Konzept eingesetzten Brenner der Schweizer Firma Toby wird das Öl nach der Zentrifugalzerstäubung auf einer durch Rauchgasrückführung beheizten Wand verdampft. Beim Catvap-Brenner fließt ein Teilstrom des Brennstoffs über eine katalytische Schicht. Durch die Strahlungswärme der katalytischen Oxidation wird der übrige Brennstoff verdampft.

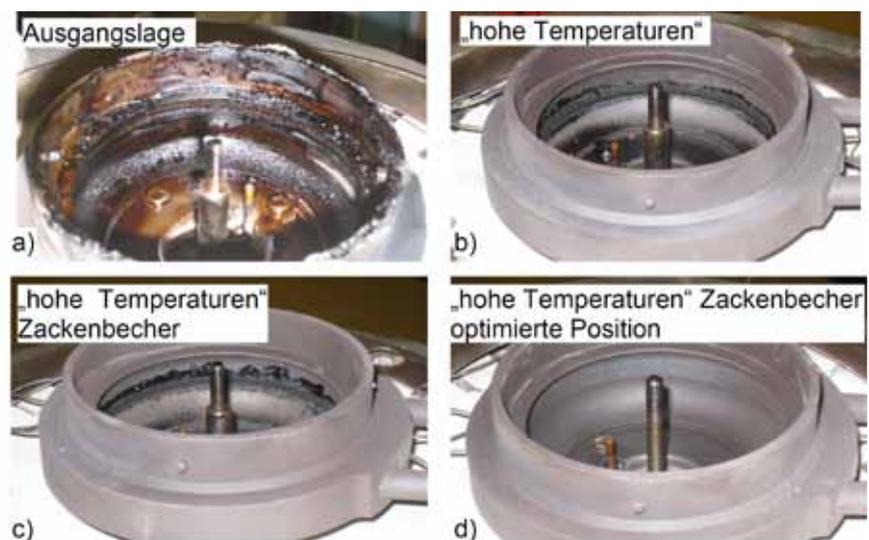
Die untersuchten Brennstoffe sind Mischungen aus Heizöl EL schwefelarm und FAME. Für das ThermMix Konzept wurde ein optimierter Zerstäuberbecher entwickelt, mit dem kleinere Trop-

fen mit einem schmälern Tropfen-größenverteilungsspektrum erzeugt werden können.

In Einzeltropfenverdampfungsversuchen mit einer Tropfen-größe von 120 bis 500 μm wurde festgestellt, dass die Wandtemperatur der Verdampferfläche einer der entscheidenden Parameter für eine rückstandsfreie Verdampfung ist. Für Tropfen mit einem Durchmesser von 500 μm liegt diese oberhalb von 430 $^{\circ}\text{C}$ und somit im Bereich der Leidenfrosttemperatur (430 bis 440 $^{\circ}\text{C}$). Unterhalb dieser Temperatur ist die Neigung zur Bildung von Ablagerungen stark vom FAME-Anteil abhängig.

Mit der Verdampfung eines Brennstofffilms durch Wärmestrahlung nach dem Konzept «CatVap» konnte keine ablagerungsfreie Verdampfung erreicht werden. Die Hauptproblematik liegt im Prozess selbst, bei dem der Brennstoff eine lange Zeit als Flüssigkeitsfilm einer hohen Temperatur ausgesetzt ist. Dies führt durch partielle Verdampfung der leicht siedenden Komponenten zu einer Aufkonzentrierung der schwer siedenden Komponenten. Diese Aufkonzentrierung führt zu einer Erhöhung der Viskosität und somit zu starken Ablagerungen.

In den untersuchten Temperaturbereichen findet sowohl Benetzung der Fläche (Übergangssieden im CatVap) als auch Verdampfung von sphärischen Flüssigkeitskugeln (Filmsieden oberhalb der Leidenfrosttemperatur



Figur 3: Vorverdampferwand eines Toby-Brenners nach dem ThermMix-Konzept. Messung mit FAME: (a) Standardkonfiguration; (b) hohe Zündtemp. und Nachheizen; (c) «hohe Temperaturen» Zackenbecher; (d) «hohe Temperaturen», Zackenbecher aufgespreizt und nach unten versetzt (Messdauer 1 Std., Leistung 15 kW).



Figur 4: Die mit einer katalytischen und isolierenden Schicht versehenen Kolben eines 4-Zylinder-VW-Motors nach dem Versuch (28 Stunden Betrieb). Die dunklen Stellen am Rand stammen vom Motorenöl beim Ausbau der Kolben.

im ThermMix) statt. In den Messungen konnte gezeigt werden, dass eine Benetzung der Verdampferfläche verstärkt zur Bildung von Ablagerungen führt. Eine ablagerungsfreie Verdampfung konnte für Mischungen mit einem FAME-Anteil bis 50 % erreicht werden, wenn eine Benetzung verhindert werden konnte.

Durch die Optimierung des realen Systems, dem Tobybrenner des ThermMix-Konzepts, konnte ein stabiler Betrieb erreicht werden (Fig. 4).

Erdgasbetriebene Fahrzeuge haben in der Schweiz einen noch geringen Marktanteil. Die Motoren sind angepasste Benzinmotoren und nicht vollständig auf den gasförmigen und kohlenstoffarmen Brennstoff ausgelegt. Ein Problem ist der Methanschleupf, der die Vorteile der geringeren CO₂-Emissionen schmälert. Im Projekt INCA wurden Kolben eines Gasmotors katalytisch und isolierend beschichtet. Ziel war es, einen Teil des Methans im Zylinder katalytisch umzuwandeln und

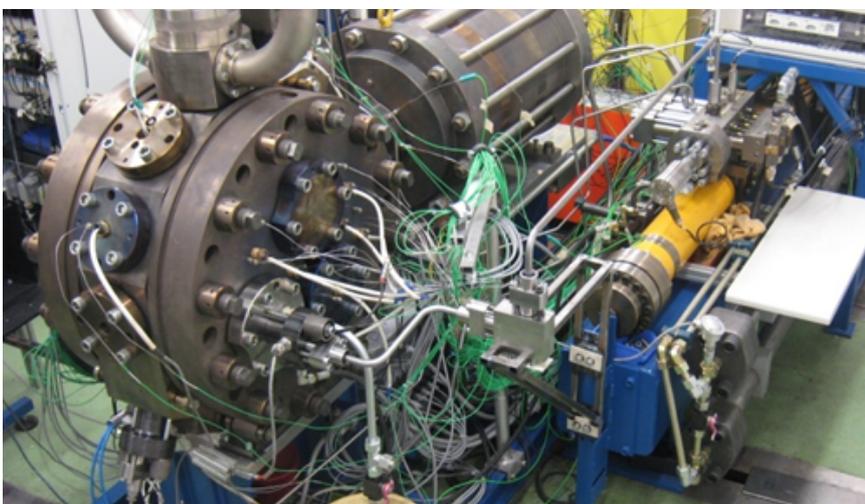
die Wärmeverluste zu verringern. Es konnte eine stabile Beschichtung entwickelt werden, die eine leichte Verbesserung des Wirkungsgrads bewirkt. Der Vorteil der katalytischen Wirkung wird jedoch durch die Aufnahme von Methan in der porösen katalytischen Schicht mehr als zunichte gemacht. In weiteren Untersuchungen sollte deshalb die Struktur der Zirkonoxydschicht verändert werden, damit die schwammartige Aufnahme von Methan vermieden wird.

Einblicke in den Brennraum grosser Schiffsdieselmotoren

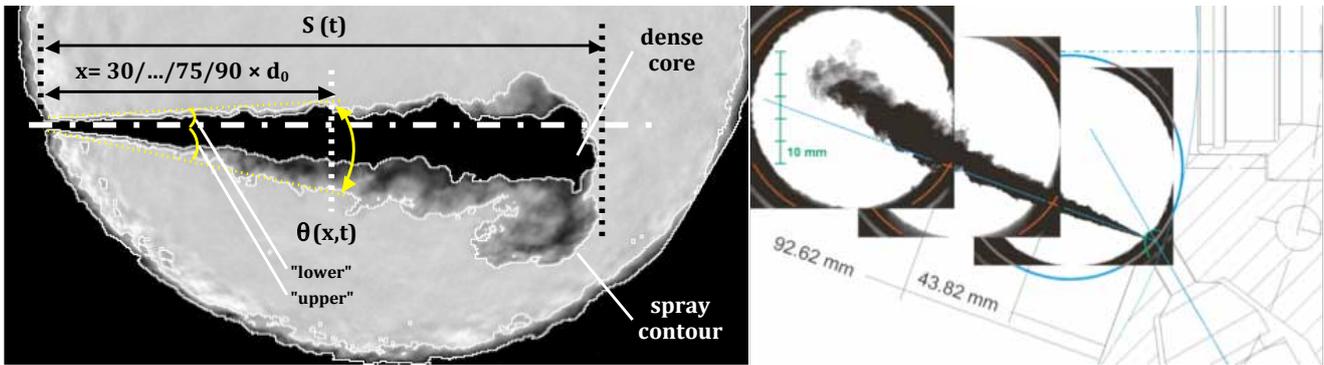
Die Schweiz verfügt über eine langjährige Tradition in der Entwicklung von Schiffsdieselmotoren. Nach wie vor werden Grossmotoren mit einer Leistung bis über 80'000 kW entwickelt und zahlreiche Zulieferer von Komponenten wie Einspritzsysteme

oder Turbolader sind aktiv. An den Hochschulen sind ausgewiesene Forschungskompetenzen vorhanden. Alternativen für den effizienten Antrieb von Schiffen für den weltweiten Gütertransport werden die Schiffsmotoren trotz gestiegener Erdölpreise noch für längere Zeit nicht ersetzen können. Neben der Anforderung zur weiteren Verbesserung des Wirkungsgrads ist in den kommenden Jahren die Reduktion der Schadstoffemissionen ein zentrales Thema. Die in der Grossschiffahrt eingesetzten Treibstoffe (MFO Marine Residual Fuel Oil = Schweröl) sind Abfallprodukte aus den Raffinerien. Um in der Küstennähe die Emissionen zu reduzieren, werden dort andere Brennstoffe eingesetzt. Das Verhalten der Einspritzung und der Verbrennung in grossen Motoren konnte bisher noch kaum visualisiert werden. Um numerische Modelle für die Entwicklung verbesserter Systeme zu validieren, ist der Einblick in die Brennkammer essenziell.

Im EU-Projekt *HERCULES (High Efficiency R&D on Combustion with Ultra Low Emissions for Ships)* [14] werden neue Technologien für die Reduktion der Schadstoffemissionen und die Erhöhung des Wirkungsgrads grosser Schiffsdieselmotoren entwickelt. Die Schweizer Projektteilnehmer Wärtsilä Schweiz AG, ABB Turbosystems AG, das LAV der ETHZ, das PSI und die Empa befassen sich in einem Teilprojekt mit der Anwendung und Erweiterung von Verbrennungsprozess-Simulationsmodellen, für deren Entwicklung und Validierung experimentelle Daten benötigt werden. Dafür wurde ein Versuchsträger (Fig. 6), der das Verbrennungssystem grosser 2-Takt-Schiffsdieselmotoren (Bohrung 500 mm) repräsentiert, entwickelt. Im Projektteil *Weiterentwicklung eines Referenzexperiments (Spray Combustion Chamber)* in Bezug auf die Optimierung des Verbrennungssystems von Grossdieselmotoren



Figur 5: Einspritzbrennkammer für grosse Schiffsdieselmotoren mit einer Bohrung von 500 mm, instrumentiert mit einer 1-Loch-Einspritzdüse und dem Rücklauf für das überschüssige Öl. Sichtbar sind auch die Vorwärmkammer (bis über 900 K) und die adaptierte Commonrail-Einspritzung.



Figur 6: Analyse der Spray-Ausbreitung hinsichtlich Eindringtiefe und Öffnungswinkeln (total, «oberer», «unterer») basierend auf zwei Grenzwerten (Spray-Kontur, «dichter Kern») und weitere Bildverarbeitung.

wird das Zündverhalten verschiedener Brennstoffe (von Schweröl bis handelsüblichem Dieseldieselkraftstoff) untersucht, die Anlage durch neuartige Komponenten wie Probeentnahmesonde und Schaugläser erweitert und Einspritzdüsen, die später für die eigentliche Produktentwicklung genutzt werden, verbessert. Zudem werden die optischen Messtechniken weiterentwickelt.

2010 konnte die Ausbreitung unterschiedlichster Sprays (Ein- bis Mehrlochdüse, Einspritzwinkel) mit Hilfe der Schattenbild-Methode sowohl unter reaktiven als auch bei inerten Bedingungen visualisiert und erfasst werden (siehe Titelbild). Messungen unter Variation von Druck und Temperatur (bis 9 MPa, 930 K), Anzahl der Düsenlöcher sowie der Richtung (10° in Gegendrall- bis 40° in Drallrichtung) einer 1-Loch-Düse relativ zur Gasströmung im nicht-reaktiven Fall führten nach einer umfassenden Analyse zu genaueren Erkenntnissen im Hinblick auf die Entwicklung des Sprays (Fig. 7). So konnten Eindringtiefe, Öffnungswinkel sowie Einfluss des Dralls bestimmt werden. Mit Lasermessungen konnten mit der «Mie-Streuung»-Methode erste Untersuchungen des Einflusses exzentrischer Düsenlöcher auf die Entwicklung des Sprays bzw. auf die Flammenausbreitung durchgeführt werden. Die Versuchsanlage wurde zudem erweitert, um unter realen Bedingungen Schweröl einzuspritzen.

Zyklusgenaue Steuerung von Verbrennung und Abgasnachbehandlung

Durch die weitere Verschärfung der Emissionsvorschriften für «Medium»- und «Heavy Duty»-Dieselmotoren müssen beispielsweise ab 2013 die

NOx-Emissionen von heute 2,0 g/kWh auf 0,4 g/kWh und die Russmissionen von 0,2 g/kWh auf 0,1 g/kWh reduziert werden [14]. Um insbesondere die Emissionen im transienten Betrieb (Laständerung) zu senken, müssen das Verbrennungssystem und die Abgasnachbehandlung laufend – im Idealfall pro Zyklus und Zylinder – aufeinander abgestimmt werden können. Dafür sind genaue Informationen über die Russbildung im Zylinder zu erfassen und mit schnellen Rechenverfahren die Steuerung der Verbrennung anzupassen und die Abgasnachbehandlung darauf abzustimmen.

Diese Anforderungen werden im Projekt *Entwicklung schneller Mess- und Rechenverfahren für die Charakterisierung energieeffizienter Dieselmotoren an der Nahtstelle zur Abgasnachbehandlung* des LAV der ETHZ bearbeitet. Das Projekt besteht aus fünf Arbeitspaketen, die teilweise auf Ergebnisse von vorangehenden Projekten zurückgreifen und mit diversen laufenden Projekten verknüpft sind. Dazu gehören das FVV-Projekt Russ geregelter Dieselmotor [6] und ein KTI-Projekt [15]. Weitere sind nachfolgend erwähnt.

Als Prüfstand wurde ein 4-Zylinder Dieselmotor von Liebherr vollständig instrumentiert und mit am LAV entwickelter Software in Betrieb genommen. Der Motor ist auf allen Zylindern indiziert und mit einer Common-Rail-Einspritzung ausgerüstet. An einem als Versuchsstand umgebauten 1-Zylinder-Dieselmotor von MTU wurde das im Projekt *Darstellung des Technologiepotentials von zukünftigen Dieselmotoren zur Erfüllung zukünftiger Emissionsvorschriften bei niedrigem CO₂ Ausstoss* vom LAV in Zusammenarbeit mit der Firma Kistler entwickelte schnelle Entnahmeventil erstmals für

Messungen eingesetzt. Mit weiterer Messinstrumentierung wie Druckindizierung, Gasanalytik, miniaturisiertes Drei-Wellenlängen-Pyrometer sowie Messungen der Russmissionen im Auspuff wurde eine breit angelegte Messkampagne durchgeführt. Die Ergebnisse dienen als Input für die Weiterentwicklung der Rechenverfahren. Der Einzylindermotor dient auch dem vom BFE mitfinanzierten Projekt *CRFD-Simulation für neue motorische Brennverfahren*. Das weiter entwickelte Russbildungsmodell zeigt im Vergleich zu den Messungen eine sehr gute Übereinstimmung. Wichtig ist die Simulation eines SCR-deNOx-Katalysators unter transienten sowie hoch dynamischen, motorisch relevanten Betriebsbedingungen. Hierzu wurde von Grund auf ein Modell für Einzelkanäle eines Fe-Zeolith-Katalysators entwickelt, welches anhand eines umfassenden Datensatzes vom PSI validiert wurde. Die entwickelte Systematik zur Bestimmung der zahlreichen Modellparameter mittels genetischer Algorithmen wurde erfolgreich in ASME-IMECE [16] plaziert; die transienten Resultate sind eingereicht für die JSAE Conference 2011 [17] und die hoch-dynamischen Validierungsergebnisse sind in Vorbereitung für das International Journal of Engine Research [18]. Dieses Arbeitspaket weist mit zwei vom Competence Center for Energy and Mobility [19] co-finanzierten, aufeinander aufbauenden Projekten (CCEM-NEADS und CCEM-NaDiP) grosse Synergien auf und hat zu sehr fruchtbaren Zusammenarbeiten mit den experimentellen Gruppen am PSI und an der Empa geführt.

Nationale Zusammenarbeit

Die Forscherteams der Schweizer Verbrennungsforschung pflegen über zahlreiche gemeinsame Projekte gute Kontakte. Dazu gehören verschiedene vom BFE mitfinanzierte Projekte. 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 im Projekt *Entwicklung schneller Mess- und Rechenverfahren für die Charakterisierung energieeffizienter Dieselmotoren an der Nahtstelle zur Abgasnachbehandlung* direkt oder indirekt involviert. Dazu gehören Kistler Instrumente AG, Iveco Motorenforschungs AG, Liebherr Machines Bulle SA und Hug Engineering AG. Das Projekt *Erweiterung und Validierung der CRFD-Simulation für neue motorische Brennverfahren und Kraftstoffe* ist Teil des vom CCEM geführten Projekts Clean Efficient Large Diesel Engine (CELaDE) in dem eine Zusammenarbeit zwischen der ETHZ, dem PSI und der Empa erfolgt. Im Projekt *INCA* erfolgt eine Zusammenarbeit zwischen der Empa, der ETHZ und Nova Werke AG. Im Projekt *BioExDi* arbeitet die Fachhochschule Biel mit der Empa und Hug Engineering AG zusammen. Das Projekt wird vom Forschungs-

programm Biomasse mitfinanziert und erhält zudem Mittel vom Bundesamt für Umwelt und von der Erdölvereinigung [11]. Das an der Fachhochschule Nordwestschweiz bearbeitete Projekt *Grundlagen zur Erweiterung des Leistungsbereichs und der Brennstoff-Flexibilitäten von Ölbrennern mit Vorverdampfertechnik (VVT)* stützt sich auf die Zusammenarbeit mit der Firma Toby AG als Lieferant der Brenner und dem Verein Bio-Fuel als Lieferant der Bio-Brennstoffe. Das Projekt wird von der Erdölvereinigung mitfinanziert.

Jährlich wird an der ETHZ die *Conference on Combustion Generated Nanoparticles* 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 von der ETHZ mit TTM organisierte Veranstaltung findet national wie international bei technisch wie auch medizinisch orientierten Forschern grosses Interesse.

Internationale Zusammenarbeit

In mehreren vom BFE unterstützten Projekten erfolgt eine internationale Zusammenarbeit mit Hochschulen und Industriepartnern. Dazu gehört das von der EU im Rahmen der Forschungsprogramme FP6+7 mitfinanzierte Projekt *HERCULES* [14]: Neben den bereits erwähnten Schweizer Forschungsinstitutionen und Industriepartnern sind auch die Abo Akademi University (FIN), die Helsinki University of Technology (FIN), die National Technical University of Athens (GR) sowie die Wärtsilä Corporation Finnland beteiligt. Das Projekt *Brennstoffe für homogene selbstgezündete Verbrennungsprozesse* war Teil einer internationalen Ausschreibung der FVV [6]. Das LAV der ETHZ erhielt den Zuschlag, was seine Kompetenz und die internationale Konkurrenzfähigkeit bestätigt. Eine Zusammenarbeit erfolgt mit den Universitäten Duisburg und Stuttgart sowie der Technischen Hochschule Aachen. Auch das Projekt *Erweiterung und Validierung der CRFD-Simulation für neue motorische Brennverfahren und Kraftstoffe* wird parallel zu Projekten der FVV bearbeitet, mit entsprechender Zusammenarbeit mit anderen Forschungsstellen in Deutschland.

Ein wichtiger Informationsaustausch und die Gelegenheit, die Schwerpunkte der Verbrennungsforschung international mitzugestalten, erfolgt in der Mitarbeit in Arbeitsgruppen der Internationalen Energieagentur (IEA) [3]. Für die Verbrennung relevant sind das *Implementing Agreement Energy Conservation and Emissions Reduction in Combustion* (IEA Combustion) [4], die *Working Party for Fossil Fuels* (WPPF) [20] und das *Implementing Agreement Advanced Motor Fuels* (AMF) [5]. Die Schweiz ist in diesen Arbeitsgruppen vertreten.

Grössere Aktivitäten von Schweizer Vertretern erfolgen im IEA Combustion. Deren Ziel ist, die Entwicklung von Verbrennungstechnologien, die einen verminderten Brennstoffverbrauch und geringere Partikelemissionen aufweisen, voranzutreiben. Die Forschungsthemen werden in sogenannten Collaborative Tasks bearbeitet. Dazu gehören Gas Turbines, Sprays in Combustion, Alternative Fuels in Combustion und Nanoparticle 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 Combustion sind 12 Mitgliedsländer vertreten.

Im IEA AMF Agreement ist die Schweiz im Executive Committee und in Arbeitsgruppen vertreten. 2010 konnte das vom AFHB in Zusammenarbeit mit Universitäten in Graz, Neapel, Dänemark, dem EC JRC in Ispra und diversen Industriepartnern bearbeitete Projekt über die Schadstoffemissionen von mit Zweitaktmotoren angetriebenen Rollern abgeschlossen werden. Neu hat die Schweiz den *Annex Toxicity of Exhaust Gases and Particles from IC Engines - International Activities Survey* (EngToxIn) initiiert und die Leitung übernommen.

Die WPPF der IEA, welche unter anderem die *Implementing Agreements Greenhouse Gas R&D Programme*, En-

hanced Oil Recovery und das Clean Coal Centre unter sich vereint, richtet ihre Berichte an das Committee on Energy Research and Technology (CERT). Wichtige Themen sind die Verbesserung des Wirkungsgrad von grossen mit fossilen Brennstoffen befeuerten Kraftwerken und in diesem Kontext Verfahren zur Elimination des CO₂. In neueren Überlegungen fliessen auch Aspekte der Nutzung von CO₂ – beispielsweise in Gewächshäusern – mit ein.

Schweizer Forschende nahmen auch an zahlreichen internationalen Symposien und Tagungen mit Referaten

und Posterpräsentationen im Kontext mit vom BFE mitfinanzierten Projekten teil. Dazu gehörten International Combustion Symposium, 26th CIMAC-World-Congress, die FVV-Tagungen, das 1st Large Engine Symposium, ILASS - Europe 2010, 23rd Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, 19th Discrete Simulation for Fluid Dynamics conference (DSFD 2010), und 63rd Annual meeting of the American Physical Society APS division of Fluid Dynamics, um nur einige zu nennen.

Schweizer Beteiligung im IEA Implementing Agreement Combustion

<http://ieacombustion.net>

Annex / Task	Schweizer Delegierter
Gas Turbine Combustion for Zero Emission Power Plants	Paul Scherrer Institut
Sprays in Combustion	ETH Zürich
Alternative Fuels	ETH Zürich

Referenzen

- [1] Marktentwicklung fossiler Energieträger 1/2011: Der Verbrauch fossiler Energie steigt wieder stark an, Bundesamt für Energie, 1.3.2011
- [2] The Combustion Institute, 33rd International Combustion Symposium, Peking, 2011 (www.combustioninstitute.org)
- [3] International Energy Agency (www.iea.org)
- [4] International Energy Agency Implementing Agreement for Energy Conservation and Emissions Reduction in Combustion (IEA Combustion) (ieacombustion.net)
- [5] International Energy Agency Implementing Agreement on Advanced Motor Fuels (www.iea-amf.vtt.fi)
- [6] Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. (www.fvv-net.eu)
- [7] CIMAC, The International Council on Combustion engines (www.cimac.com)
- [8] Eidgenössische Energieforschungskommission CORE: Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011, Bundesamt für Energie, 2007
- [9] Berner Fachhochschule Technik und Informatik TI Abgasprüfstelle und Motorenlabor (AFHB), Nidau (labs.hti.bfh.ch/?id=abgaslabor)
- [10] Empa, Abteilung Verbrennungsmotoren (www.empa.ch)
- [11] Hug Engineering AG, Elsau (www.hug-eng.ch)
- [12] Bundesamt für Umwelt, Bern (www.bafu.admin.ch)
- [13] High-efficiency Engine R&D on Combustion with Ultra-low Emissions for Ships (HERCULES), EU-FP6
- [14] EU Emission Standards for HD Diesel Engines: VERORDNUNG (EG) Nr. 595/2009 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 18. Juni 2009
- [15] KTI-Projekt Nr. 10604.1 «Entwicklung eines Markttauglichen Messsystems zur Erfassung der Inzylinder Russkonzentration und -temperatur»
- [16] Sharifian L., et al.: «Simulation of NOx reduction in an Ammonia-SCR system with a Fe-Zeolite catalyst and calibration of related parameters», Proceedings of the ASME 2010 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, paper No. IMECE2010-40431
- [17] Sharifian L., et al.: «Transient simulation of NOx reduction in an NH3-SCR system over Fe-Zeolite catalyst and study of the performance under different operating conditions», in preparation for JSAE/SAE International Powertrains, Fuels & Lubricants Meeting 2011, JSAE Paper offer No. 201119195
- [18] Sharifian L., et al.: «Calibration of an NH3-SCR system including NO oxidation and simulation of NOx reduction over Fe-Zeolite catalyst in highly transient conditions», in preparation for International Journal of Engine Research
- [19] Competence Center Energy and Mobility (CCEM) Project Next Generation Exhaust Aftertreatment for Diesel Propulsion Systems (NEADS) and NOx Abatement in Diesels (NaDiP) (www.ccem.ch)
- [20] International Energy Agency Working Party on Fossil Fuels (IEA-WPFF) (www.iea.org)

BFE Forschungsprogramm Verbrennung

Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Stephan Renz, Beratung Renz Consulting (renz.btr@swissonline.ch)

Bereichsleiterin BFE:

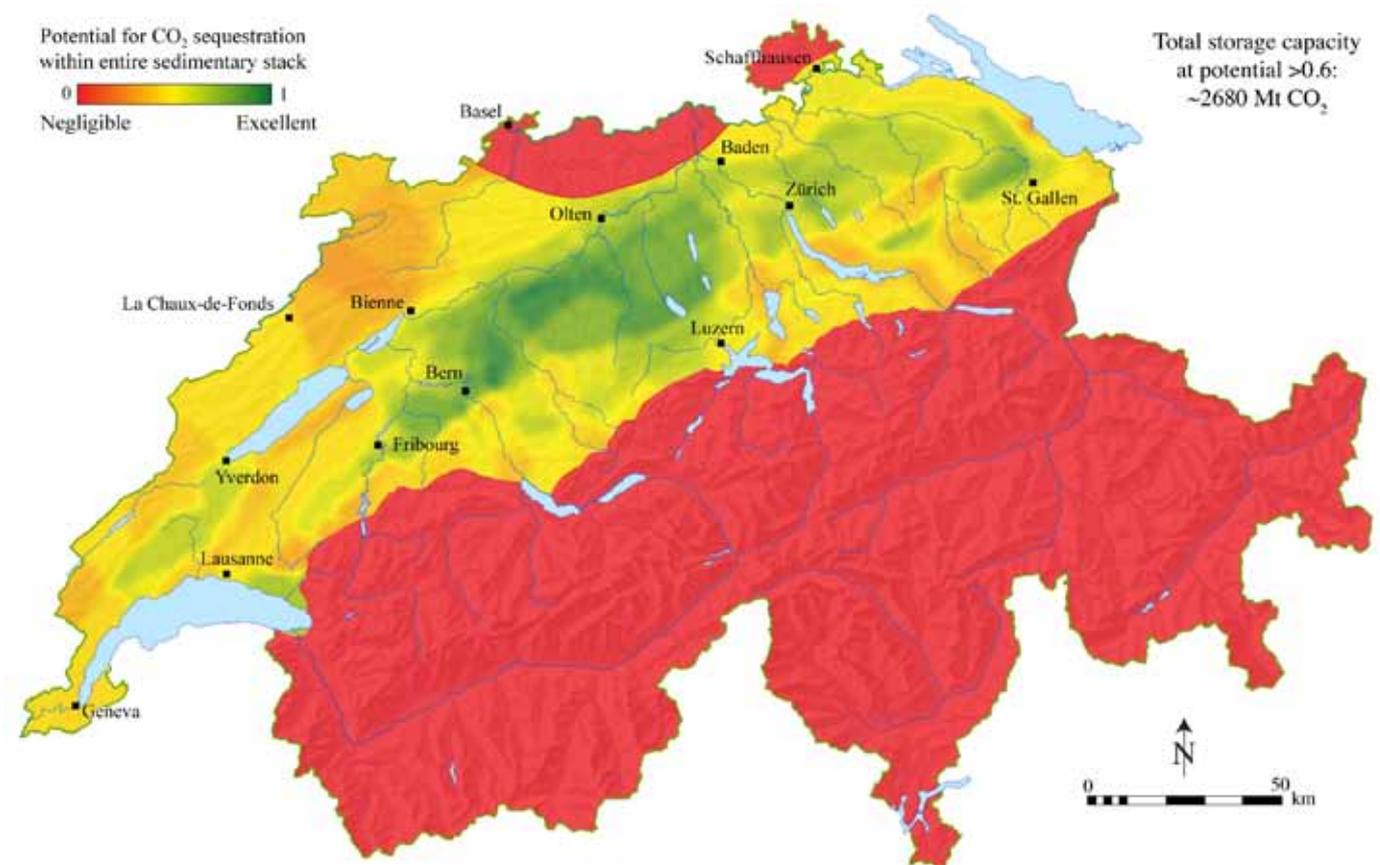
Dr. Sandra Hermle (sandra.hermle@bfe.admin.ch)

www.bfe.admin.ch/forschunggeothermie/

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Kraftwerk 2020 & Carbon Capture & Storage (CCS)

Peter Jansohn



Potenziell geeignete Regionen für die Speicherung von CO₂ in der Schweiz

Karte der Schweiz mit der berechneten räumlichen Verteilung des Potenzials für die CO₂-Speicherung in tiefen, salinen Wasserleitern (Aquifere), basierend auf Literaturdaten. Die Gebiete mit hohem Potenzial (grün) garantieren noch nicht die Machbarkeit der CO₂-Speicherung, sondern stellen Regionen dar, in welchen weitere Untersuchungen aus heutiger Sicht am ehesten Erfolg versprechen. Die Gebiete mit Potenzialen über 0,6 haben gesamthaft eine theoretische – noch zu beweisende – Speicherkapazität von 2'680 Mio Tonnen CO₂.

Einleitung

Durch den steigenden Strombedarf, das Auslaufen von Stromimportverträgen mit französischen Kernkraftwerken und das Erreichen der maximalen Betriebsdauer bestehender Kraftwerksanlagen zeichnet sich für den Zeitraum um das Jahr 2020 ein Engpass in der Stromversorgung der Schweiz ab. Um diese prognostizierte Versorgungslücke zu schliessen, sind Anstrengungen auf unterschiedlichen Ebenen (rationelle Stromverwendung, Ersatz von Stromerzeugungskapazitäten etc.) zu leisten. Eine Option für die Elektrizitätserzeugung in der Schweiz stellen dabei Kombi-Kraftwerke auf Erdgas-Basis dar, die aufgrund ihrer für thermische Kraftwerke hohen Effizienz und ihres niedrigen Schadstoffausstosses mittelfristig in der Stromerzeugung von Bedeutung sind. Diese Technik ist auch deshalb für die Schweiz von besonderem Interesse, weil Schweizer Industriefirmen und Forschungsorganisationen führend in der Weiterentwicklung dieser Technologie 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 es erlauben, zu einer Netto-Reduktion der CO₂-Emissionen aus dem gesam-

ten schweizerischen Energiesystem zu kommen. Die Prozessführung des Kraftwerks ist z. B. so zu gestalten, dass alternative Brennstoffe eingesetzt werden können und CO₂ ganz oder teilweise abgeschieden werden kann. Neu sind seit 2008 auch Prozesse ausserhalb des eigentlichen Kraftwerks, wie z. B. externe Brennstoffaufbereitung oder CO₂-Abtrennung und -Lagerung integraler Bestandteil des Programms. Aufgrund des begrenzten finanziellen Rahmens kann das Programm aber nur einen signifikanten Beitrag leisten, wenn eine starke Fokussierung auf Schlüsselkomponenten erfolgt.

Um der zeitlichen Zielsetzung des Forschungsprogramms gerecht zu werden, im Jahre 2020 die notwendigen Technologien einsatzbereit entwickelt zu haben, müssen die dazu erforderlichen Basis-Technologien spätestens im Jahr 2015 verfügbar sein. Deshalb ist das Programm vorerst auf einen Zeitraum von ca. 10 Jahren (d.h. bis Ende 2016) ausgerichtet. Dieser Programmperiode können sich geeignete Fortsetzungsphasen mit erweiterten, angepassten Zielsetzungen anschliessen. Die Konzentration der Programmaktivitäten auf Schlüsselgebiete der Dampf- und Gasturbinentechnik inkl. Generatoren ist auch aus diesen zeitlichen Aspekten heraus erforderlich.

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 zu gelangen. Dadurch soll auch sichergestellt werden, dass stets die bestgeeigneten Technologien bzw. Systeme für die Stromerzeugung zum Einsatz kommen. Die schweizerische Kraftwerksindustrie inklusive der Zulieferfirmen und dem unterstützenden, akademischen Umfeld ist international führend und hat eine starke Marktstellung, die es zu erhalten und zu unterstützen gilt.

Zentrales technisches Ziel 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.

Weiteres Ziel ist die Steigerung des Einsatzes von erneuerbaren, CO₂-neutralen Brennstoffen (insbesondere Biomasse-basierenden Vergasungsprodukten) auf 15 % im produktiven Betrieb. Ferner sollen mit dem Einbezug von prozesstechnischen Varianten für die erleichterte Abscheidung und Rückhaltung von CO₂ darüber hinausgehende CO₂-Emissionsminderungspotenziale ausgenutzt werden.

Durch den zukünftig verstärkten Einsatz fluktuierender, erneuerbarer Stromerzeugungstechnologien wie Wind und Photovoltaik werden Stromversorgungsnetze stärkeren, kurzfristigeren Produktionsschwankungen unterworfen sein, die durch die anderen Stromerzeuger kompensiert werden müssen. Ein weiteres Ziel des Programms ist es deshalb, Gasturbinen-Kraftwerke noch besser zu befähigen, zur Stabilisierung der Stromversorgungsnetze beizutragen. Dazu müssen Techniken entwickelt werden, die höhere Lastgradienten (+/-3 % Last pro Sekunde) oder gar eine Netzfrequenz unabhängige Betriebsweise erlauben.

Die Umsetzung dieser Schwerpunkte geht mit einer entsprechenden Gewichtung der einzusetzenden Pro-

grammmittel (Wirkungsgradsteigerung: 45 %; CO₂-Minderung: 40 %; Netzunterstützung: 15 %) einher.

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

Rückblick und Bewertung 2010

Nach dem offiziellen Start des Programms Anfang 2006 und der Initiierung einer ersten Welle von Projekten, die den Rahmenbedingungen des Programmkonzeptes [1] gerecht wurden, und der Erweiterung des Programmrahmens im Jahr 2009 auf Themen im Bereich «Abscheidung und Rückhaltung von CO₂ (CCS)», war die Programmentwicklung 2010 stark beeinflusst durch die Umsetzung dieser veränderten Ausrichtung [2].

Nach dem Übergangsjahr 2009, in dem fast alle Projekte der Programm-Anfangsphase abgeschlossen wurden, war das Jahr 2010 auch geprägt durch den Start von teils thematisch ähnlichen Fortsetzungsprojekten. Das Programm befindet sich nun in einer Phase der kontinuierlichen Erneuerung des Projektportfolios, welches die modifizierte Ausrichtung (stärkere Betonung von CCS-Themen) immer deutlicher zeigt. Mit neu lancierten Projekten wurden wichtige thematische Lücken (z. B. im Bereich «Schaufelkühlung») geschlossen, und die Bearbeitung der Schwerpunkt-Themenfelder abgerundet. Der zur Verfügung gestellte Finanzrahmen aus BFE-Mitteln wurde 2010 durch laufende Projekte sehr weitgehend ausgeschöpft und erlaubte dementsprechend nur eine mässige Erweiterung des Projektumfangs. Die Ankündigung von zu erwartenden Budget-Kürzungen in den Jahren 2011 ff. führte bereits 2010 dazu, dass auf neue Projekt-Vorschläge nur in sehr begrenztem Umfang eingegangen werden konnte.

Ausblick 2011

Die BFE-Finanzierung des Programms war 2010 rückläufig. Ein Ausbau ist unrealistisch, auch wenn andere Förderstellen einen gewissen Ausgleich bieten. Ziel bleibt es, durch kontinuierliche Initiierung von Projekten über Forschungsfonds der Elektrizitätswirtschaft (Swisslectric Research) und der Gas- und Ölwirtschaft, und international über das FP7 der EU zu stärken. Das Engagement industrieller Partner ist stark von politischen und gesellschaftlichen Randbedingungen abhängig. Trotz des Fokus auf Schlüsselgebiete und darin auf punktuelle Fragestellungen, ist ein signifikanter technologischer Fortschritt zu erwarten. Mit dem Bereich Abscheidung und Rückhaltung von Kohlendioxid (Carbon Capture and Storage, CCS) haben sich Chancen ergeben, das Programm noch bedeutsamer für die Entwicklung klima-relevanter Techniken zu gestalten. Nach der Studie über potentielle Speichermöglichkeiten von CO₂, wird als nächster Schritt ein Abgleich mit bestehenden und geplanten (grossen) CO₂-Punktquellen erfolgen müssen, um bestmöglich geeignete Standorte für Pilot-Projekte identifizieren zu können. In diesem Kontext wird weiter versucht werden, eines der in der Planungsphase befindlichen Gas- und Dampfkraftwerke in der Schweiz (z. B. Standorte Chavalon oder Cornaux) im Rahmen des Demonstrationsprogramms der EU (European CCS Demonstration Project Network) als eine der ersten GuD-Anlagen mit CO₂-Abscheidung zu etablieren.

Highlights 2010

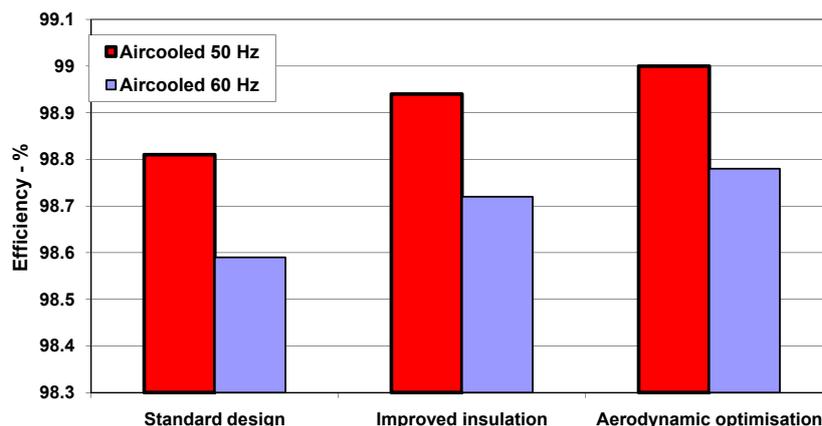
Steigerung von Komponenten-Wirkungsgraden

Im Projekt *Turbogenerator mit höchstem elektrischen Wirkungsgrad* (>99 %) wurde angestrebt, den Wirkungsgrad von grossen, luftgekühlten Generatoren (bis zu 400 MVA) bis über 99 % zu steigern (derzeitige Stand der Technik: bis zu 98,7 %) und damit einen Beitrag zur Steigerung des Gesamtsystem-Wirkungsgrades von Gas-Dampf-Kraftwerken zu leisten.

Die Wirkungsgradsteigerung sollte durch eine Minimierung der Ventilationsverluste (d.h. Verluste durch aktive Kühlung der elektrischen Leiter) erreicht werden, die gegenwärtig 40 % der gesamten Generatorverluste darstellen. Die Beiträge zur Steigerung des Wirkungsgrades sollen durch 3 Massnahmen bzw. Weiterentwicklungen erreicht werden:

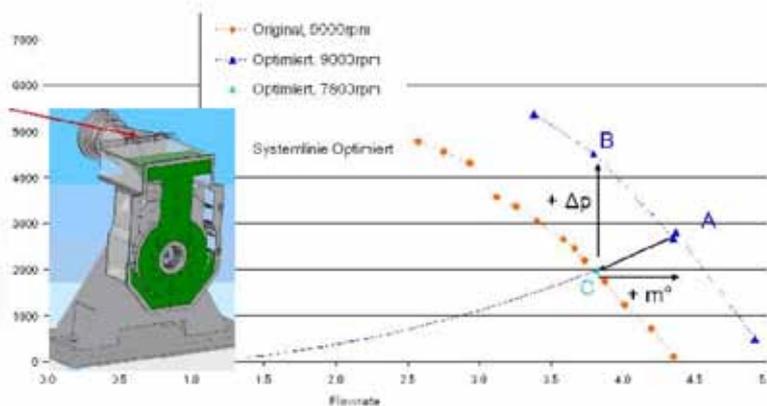
- Verbesserter Wärmetransport zwischen elektrischem Leiter und Kühlmedium durch Entwicklung eines Isolationsmaterials mit günstigeren Eigenschaften (höhere Wärmeleitfähigkeit und/oder höhere Durchschlagfestigkeit);
- Reduzierung des Kühlluftbedarfs durch Entwicklung eines Isolationsmaterials mit verbesserter Temperaturbeständigkeit (zulässige Materialtemperatur: 180 °C; heutiger Stand der Technik: 155 °C);
- Verbesserung des aerodynamischen Wirkungsgrades (geringer Energieaufwand) des Kühlluft-Gebläses (Lüfterrad ist direkt mit dem Generator-Rotor verbunden) durch eine optimierte Einlass-Geometrie und modifizierte Profilierung der Gebläse-Beschaufelung.

Das Projekt wurde 2010 erfolgreich abgeschlossen und hat die angestrebten Zielsetzungen und Verbesserungen im Wirkungsgrad nach bisherigen Berechnungen punktgenau erreicht. Die neuen Isolationsmaterialien und das verbesserte aerodynamische Design des Kühlluft-Ventilators fliessen nun in einem bereits begonnenen (firmeninternen) Entwicklungsprojekt in die Auslegungsregeln zukünftiger Generator-Produkte ein und werden in absehbarer Zeit in einer ersten Maschine am Markt erscheinen und in der Praxis erprobt werden.



Figur 1: Wirkungsgrad-Steigerung durch verbessertes elektrisches Isolationsmaterial und durch optimiertes aerodynamisches Design des Kühlluft-Ventilators.

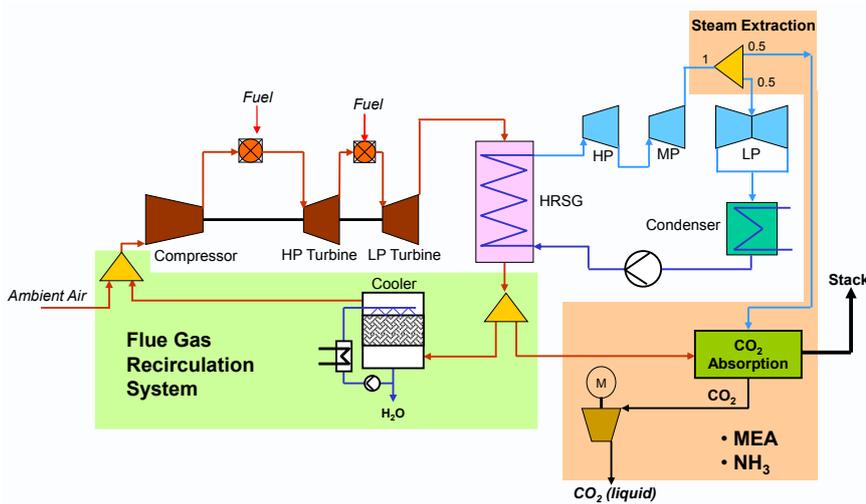
Operating Point	Output gain over Original	Flowrate gain over Original	Pressure rise over Original
A (9000 rpm)	-2.5 %	12.6 %	48.5 %
B (9000 rpm)	5 %	-2.7 %	117.3 %
C (7800 rpm)	-35.9 %	-1.7 %	14.9 %



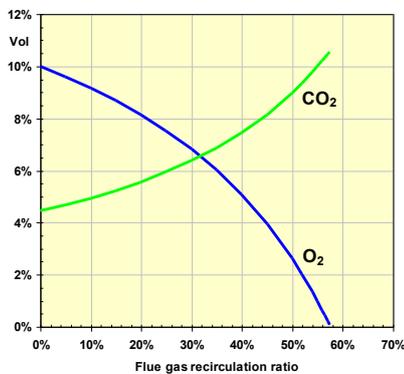
Figur 2: Leistungscharakteristik der optimierten Ventilatorgehäuse-Geometrie (im Vergleich mit der ursprünglichen Betriebslinie) basierend auf Messdaten am skalierten (1:3) Versuchsaufbau

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit dem akademischen Partner (Fachhochschule Nordwestschweiz) konnte die experimentelle Infrastruktur am FHNW-Standort Brugg-Windisch mit einem anspruchsvollen Ventilator-Prüfstand erweitert werden, welcher in der studentischen Ausbildung und in weiteren ähnlich gelagerten Forschungsprojekten in der Zukunft sicher noch weiterhin sehr gute Dienste erweisen wird. Die am Ventilator-Prüfstand er-

reichten Versuchsergebnisse dokumentieren eindrücklich die erreichten Verbesserungen in den aerodynamischen Eigenschaften, welche auf einem optimierten Zusammenspiel von Einlaufgehäuse-Geometrie und Ventilatorschaufel-Profilen beruhen. Je nach Abstimmung auf die Bedürfnisse der zu kühlenden elektrischen Maschine (im bisherigen Fall: des Generators) können entweder bei gleichem Leistungsaufwand ein höherer (Kühlluft)-Mas-



Figur 3: Gasturbinen-Prozess-Schema mit Abgasrezirkulation und nachgeschaltete CO₂-Abscheidung.



Figur 4: Auswirkungen der Abgasrezirkulation auf Sauerstoff- und CO₂-Gehalt im Abgas einer Gasturbine.

senstrom (+12.6 %; Betriebspunkt A) oder ein wesentlich erhöhter Vordruck (+117 %; Betriebspunkt B) realisiert werden, oder aber bei gleichen Druck-/Massenstrom-Bedingungen die Leistungsaufnahme des Ventilators um ein Drittel reduziert werden (-35.9 %; Betriebspunkt C).

Prozess-Modifikationen zur erleichterten CO₂-Abscheidung

Im Projekt *Gasturbinen mit CO₂-Abscheidung* – finanziell gefördert durch Swisselectric Research – wird untersucht, inwiefern durch Abgas-Rezirkulation eine erleichterte Abscheidung von CO₂ realisiert werden kann und welche Auswirkungen dies auf die Betriebsbedingungen des Gasturbinen-Verbrennungssystems hat.

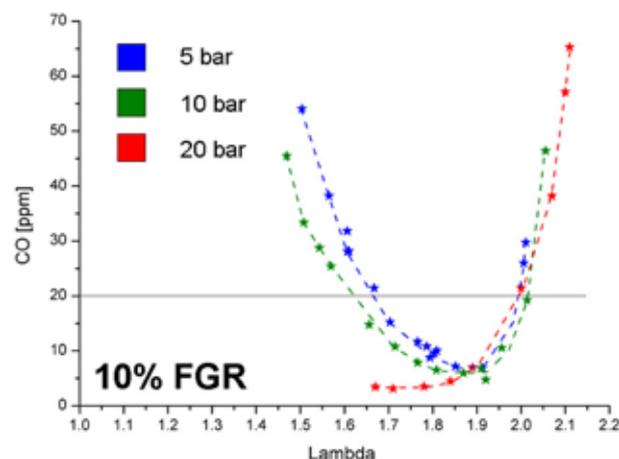
Das Prozess-Schema zeigt auf, dass nach der Wärmenutzung (Dampferzeugung) im Abhitzekegel (Heat Recovery Steam Generator, HRSG) ein Teil der Abgase über einen Abgaskühler (mit Kondensat-Abscheidung) zum Kompressor-Eintritt zurückgeführt und mit Frischluft vermischt wird. Der andere Teil der Abgase wird einer CO₂-Wäsche unterzogen, in der mit Hilfe von Absorptionsmitteln (in der Regel wässrige Lösungen mit Amin-Verbindungen wie z. B. Methyl-Ethyl-Amin MEA oder Ammoniak NH₃) das Kohlendioxid CO₂ aus den Abgasen weitgehend (>90 %) entfernt werden kann. Die Absorptionsmittel müssen mit erheblichen Dampfmenngen regeneriert werden, die dem Dampfkreislauf vor der Niederdruck-Dampfturbine entnommen werden, und somit nicht mehr zur Stromerzeugung beitragen können.

Dieser Regenerationsaufwand für die CO₂-Waschmittel stellt den grössten Teil der parasitären Leistungsverluste dar, die mit der CO₂-Abscheidung aus Kraftwerksabgasen einhergehen. Da mit höheren CO₂-Gehalten im Abgas der spezifische Bedarf an Absorptionsmitteln sinkt, stellt die (teilweise) Rezirkulation von Abgasen, die zu einer Anreicherung von CO₂ im Abgas führt, eine wirksame Methode dar, um den spezifischen Energiebedarf der CO₂-Abscheidung zu verringern und damit Wirkungsgradverluste von Kraftwerkprozessen mit CO₂-Abscheidung aus dem Abgas zu minimieren.

Verbunden mit der CO₂-Anreicherung im Abgas ist allerdings gleichzeitig eine Abreicherung von Sauerstoff O₂ in Kauf zu nehmen, wodurch sich entsprechende Auswirkungen auf die Verbrennungsprozesse in der Gasturbinenbrennkammer ergeben. Um einen vollständigen Ausbrand des Brennstoffs (Erdgas) sicherzustellen und die CO-Emissionen weiterhin niedrig zu halten (i.d.R. unter 25 ppm), sind minimale Sauerstoff-Gehalte im Abgas von ca. 2 Vol.% nicht zu unterschreiten. Damit ist der max. mögliche Abgasrezirkulationsanteil auf unter 50 % limitiert.

Die Auswirkungen auf den Verbrennungsprozess unter gasturbinen-typischen Betriebsbedingungen genauer zu ermitteln und maximal mögliche Abgasrezirkulationsraten festzulegen, ist eine der Hauptzielrichtungen der bisher im Projekt durchgeführten theoretischen und experimentellen Untersuchungen.

Typische Emissions-Charakteristiken zeigen einen ausgeprägten Anstieg der



Figur 5: CO-Emissionen unter Gasturbinen-typischen Verbrennungsbedingungen (Brennkammerdruck: 5, 10, 20 bar; Abgasrezirkulation: 10 %).

CO₂-Emissionen ausserhalb eines recht engen Bereichs an Brennstoff-/Luft-Mischungsverhältnissen (ausgedrückt durch den Parameter Lambda, der auf das stöchiometrische Brennstoff-/Luftverhältnis bezogen ist). Besonders im Teillastbetrieb (d.h. bei moderaten Brennkammerdrücken unter 20 bar) sind niedrige CO₂-Emissionen nur in einem engen Betriebsfenster zu erreichen, wobei sich bei hohen Abgaszirkulationsraten die Situation zunehmend verschärft.

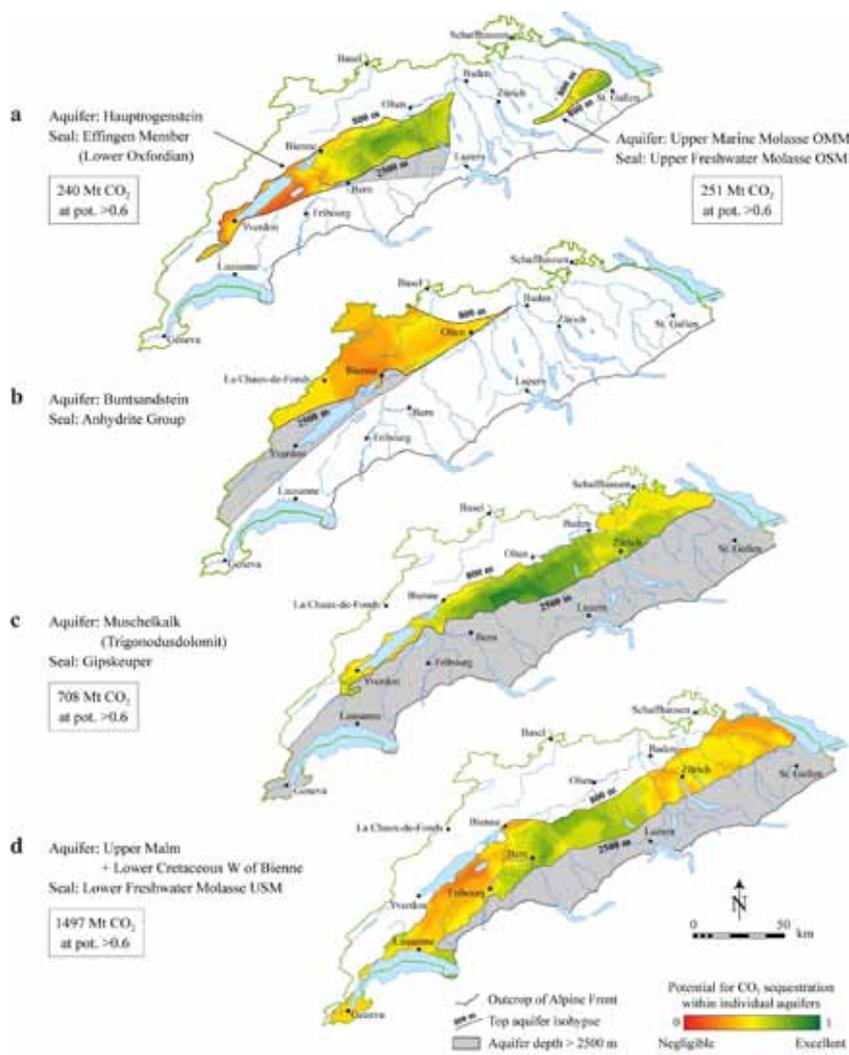
CO₂-Abscheidung und -Lagerung (Carbon Capture and Storage, CCS)

Im Rahmen der CO₂-Gesetzgebung für die Schweiz stellt sich die Frage, ob und in wie weit Gaskraftwerke in der Schweiz ihren CO₂-Ausstoss durch CO₂-Abscheidung und geologischer Einlagerung (CCS) innerhalb der Schweizer Landesgrenzen kompensieren können. Um diese Frage näher zu klären, wurde eine Studie zur Abschätzung des Potenzials für die CO₂-Lagerung in der Schweiz in Auftrag gegeben.

Auf Basis von Literaturdaten, die seit 2005 im Zusammenhang mit der Abschätzung geothermischer Ressourcen erarbeitet wurden, ergibt sich, dass die Schweiz mit hoher Wahrscheinlichkeit über regionale (saline) Tiefenaquifere innerhalb des Molassebeckens verfügt. Diese Schichten dehnen sich über weite Teile des Unter- und Mittelland aus und können viel- und mehrfach genutzt werden. Saline Tiefenaquifere werden allerdings nicht für die Trinkwasser-Gewinnung genutzt, und auch die geothermische Nutzung und die CO₂-Einlagerung schliessen sich nicht gegenseitig aus.

Die verfügbaren Daten wurden gemäss einer international vergleichbaren «best-practice» Methodik geologischen Kriterien unterworfen (insgesamt 21, welche die notwendige Paarung von Wasser-führenden mit geologisch undurchlässigen Deckschichten und deren jeweiligen geologischen Eigenschaften beschreiben) und das Speicherpotenzial von 0 (vernachlässigbares Potenzial) bis 1 (ausgezeichnetes Potenzial) abgeschätzt.

Das Kristallin der Alpen und die Sedimente der Walliser, Tessiner und Graubündner Täler sind nach heutiger Einschätzung nicht geeignet für eine



Figur 6: CO₂-Speicherpotenzial der 4 bedeutendsten Aquifere (Wasser leitende geologische Formationen) im Schweizer Voralpenland.

CO₂-Speicherung. Aber, die Sedimente des Schweizer Zentralplateau (und zu einem geringeren Masse unter dem Jura) zeigen örtlich ein aus geologischer Sicht bescheidenes bis sehr gutes Potenzial. Mindestens 4 Gesteinsformationen aus Sand- und Kalkstein (salzhaltige Wasser führende Schichten) sind Bestandteil des Plateaus und kommen im bevorzugten Tiefenintervall von 800–2'500 m Tiefe unter der Oberfläche vor. Ungefähr 5'000 km² des Plateau (hauptsächlich im Sektor Fribourg–Olten–Luzern haben ein Speicherpotenzial über 0,6, und ein theoretisches Speichervermögen für insgesamt ungefähr 2'700 Mio. Tonnen CO₂ (zum Vergleich: die gesamten jährlichen CO₂-Emissionen der Schweiz betragen ca.40 Mio. Tonnen; der jährliche CO₂-Austoss eines 500-MW-Gaskraftwerks im Grundlast-Betrieb beträgt ca. 1 Mio. Tonnen).

Ein hohes geologisch geschätztes Potenzial ist nicht mit einer grundsätzlichen Aussage zur Machbarkeit einer CO₂-Speicherung gleichzusetzen. Vielmehr soll die Potenzialschätzung dazu dienen, weiterführende Untersuchungen möglichst effektiv an den vielversprechendsten Orten einzusetzen. Damit CO₂-Speicherung in der Schweiz in eine Phase der Umsetzung kommen kann, müssten zuerst weit- und tiefgehende zusätzliche Untersuchungen vorgenommen werden, die dann in einer nächsten Phase in einem Pilotprojekt resultieren könnten. Eine Vielzahl weiterer Faktoren und Kriterien müssen dabei in Betracht gezogen werden, wie zum Beispiel die Entfernung zu CO₂-Punktquellen, andere Nutzungskonzepte und -Pläne für den Untergrund, ein Mess- und Monitoring-Programm und rechtliche Grundlagen.

Nationale Zusammenarbeit

Die Programmziele sind anwendungs- und umsetzungsorientiert ausgerichtet, weswegen eine starke Integration und Beteiligung der im angesprochenen Kraftwerksbereich tätigen Herstellerfirmen und Zulieferbetriebe unabdingbar notwendig ist. Ein zentrales Element stellen dabei die Hersteller von Turbomaschinen und Kraftwerksanlagen dar (z. B. Alstom, MAN Turbo, Turbomach), die mit ihren in der Schweiz angesiedelten Entwicklungs- und Produktionszentren den Garant für die Umsetzung der Programmresultate 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 (Swisslectric, 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 Programmserfolg 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 Programmserfolg beizutragen, in nahezu idealer Weise gegeben.

Während der Programmjahrestagung am 9. Juni 2010 in Bern wurden die Kontakte zwischen den verschiedenen Programmteilnehmern wieder aufgefrischt bzw. neue Verbindungen geknüpft. Die Jahrestagung gab allen Interessierten wieder die Möglichkeit, sich über die Zielsetzungen und den Stand des Programms im

Detail zu informieren und mit potenziellen Projektpartnern in Kontakt zu kommen. Schwerpunktthemen der Jahrestagung 2010 waren die Forschungsprojekte, die sich mit Themen der Effizienzsteigerung/Wirkungsgrad-Verbesserung befassen, sei es durch fortschrittlichere Prozess-Parameter (höherer Druck, höhere Temperaturen), oder durch effizientere Maschinenkomponenten (Brenngasverdichter, elektrische Generatoren). Neue, innovative Kühltechniken und Materialien spielen hierbei eine bedeutende Rolle. Das nationale Netzwerk des Programms Kraftwerk 2020 wird regelmässig in der Jahresveranstaltung gepflegt (nächster Termin: voraussichtlich August 2011), 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.

Enge Verbindungen werden zum Competence Center Energy & Mobility (CCEM) [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 sind hier die Projekte *Gasturbinenprozess optimiert für CO₂-Minderung (GT-CO₂)* und *Carbon dioxide management in Swiss power generation (CARMA)*, die direkt im CCEM eingebunden sind und eine finanzielle Förderung aus ETH-Bereichsmitteln erhalten. Sowohl das Projekt CARMA, als auch GT-CO₂, welche einen breiten Bereich von Fragestellungen im Bereich der CO₂-Problematik bearbeiten (Gesamtsystemanalysen, Pre-Combustion Decarbonization, CO₂-Abscheidungstechniken, CO₂-Lagerung, sozio-ökonomische Fragen/gesellschaftliche Akzeptanz), und Antworten und Lösungen für die Schweiz suchen, aber auch Resultate von internationaler Bedeutung bereitstellen, sind mit finanziellen Mitteln aus der Forschungsförderungsorganisation von Swisslectric Research ausgestattet. Es ist gewünscht und beabsichtigt diese Verbindungen weiter auszubauen und damit das Programm Kraftwerk 2020 breit in der Förderlandschaft der Schweiz abzustützen.

Internationale Zusammenarbeit

Weltweit werden sehr 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 inzwischen in mehreren 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. Durch gegenseitige Berichterstattung bei jährlichen

Programmkonferenzen wird ein regelmässiger Informationsaustausch gepflegt. Gemeinsame Projekte sind aufgrund nationaler Finanzierungsregeln und komplizierter Konstellationen bezüglich Eigentumsrechten an Projektergebnissen bisher nicht konkret in Betracht gezogen worden.

Die europäische Integration wird durch die Einbettung von Projekten aus dem Forschungsprogramm Kraftwerk 2020 im derzeit 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 erfolgen).

Über Kontakte zu themenrelevanten Initiativen der Internationalen Energieagentur (IEA) [7] wie der Working Party for Fossil Fuels (WPF), 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.

Schweizer Beteiligung in den IEA Implementing Agreements for Energy Conservation and Emission Reduction in Combustion und Greenhouse Gas R&D Programme

www.ieacombustion.net, www.ieaghg.org

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).

[4] Forschungsinitiative «Kraftwerke des 21. Jahrhunderts».

[5] European Turbine Network (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).

BFE Forschungsprogramm Kraftwerk 2020 & Carbon Capture & Storage (CCS)

Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Dr. Peter Jansohn, Paul Scherrer Institut PSI (peter.jansohn@psi.ch)

Bereichsleiter BFE:

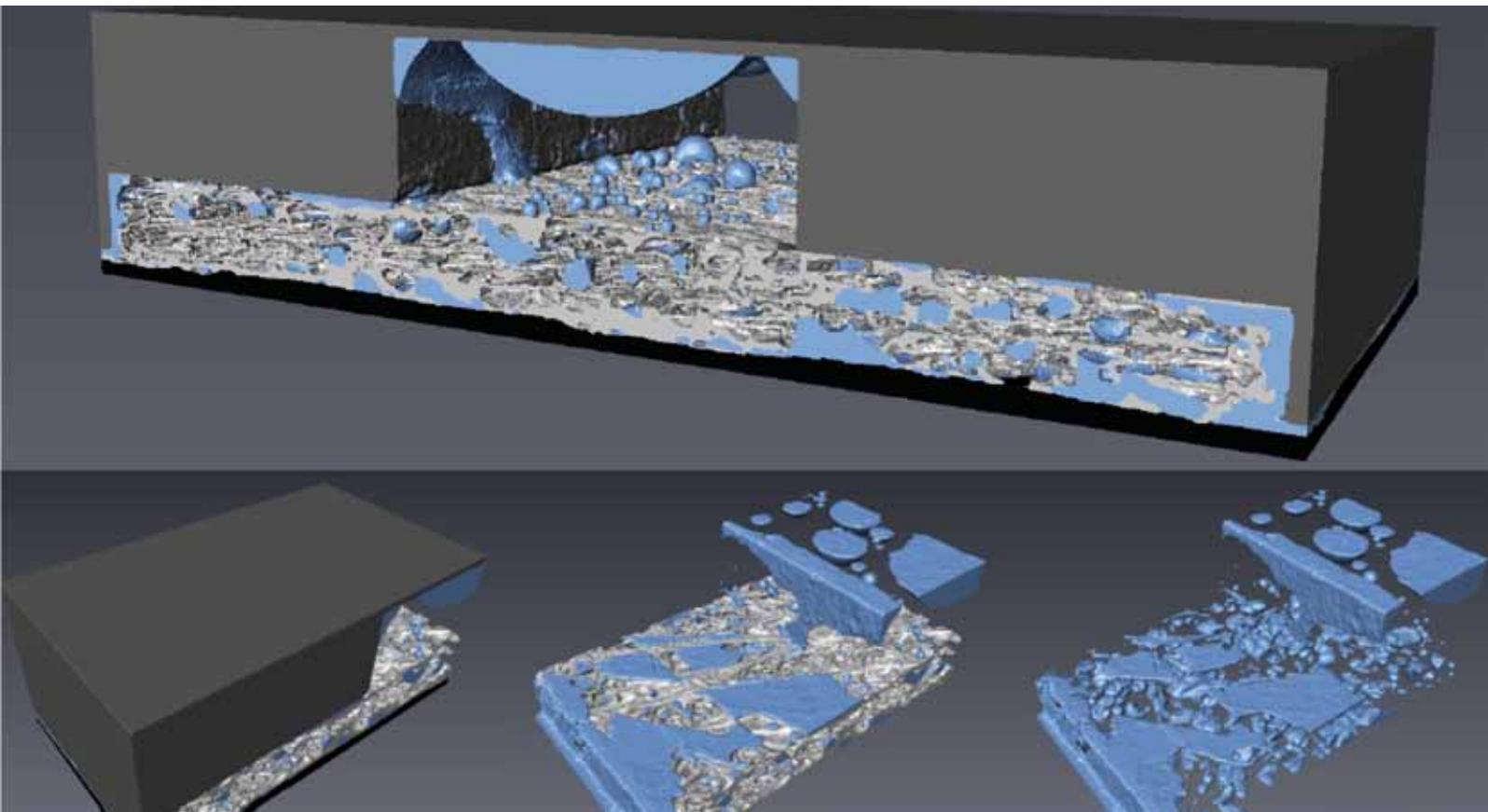
Dr. Gunter Siddiqi (gunter.siddiqi@bfe.admin.ch)

www.bfe.admin/research/Kraftwerk2020

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Brennstoffzellen

Stefan Oberholzer



Wechselwirkung zwischen Wasser und Gasdiffusionsschichten in Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen – einzigartige Methode in-situ Röntgenstrahl-Mikro-Tomographie

Transportprozesse gehören zu den wichtigsten Parametern für die Optimierung von Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen (PEFC). Kondensiertes Wasser beeinflusst die Transporteigenschaften der Reaktanten in der mikroporösen Gasdiffusionsschicht (GDL). Das Verständnis dieser Transportlimitationen und deren Änderungen mit der Betriebsdauer (Alterung) ist dabei zentral für die Leistungsoptimierung. Die Interaktionsprozesse von kondensiertem Wasser mit der porösen Schicht können durch die Anwendung von Röntgen-mikro-Tomographie gezielt und in-situ untersucht werden, wozu eine spezielle Beamline an der Swiss Synchrotron Light Source genutzt wird. Die erhaltenen Erkenntnisse werden in die Entwicklung und Modellierung von PEFC einfließen. Das Bild zeigt eine 3D-Darstellung eines 1,2 mm breiten Gas-Kanals einer PEFC-Kathode (grau) in Kontakt mit der porösen GDL (hellgrau) und dem darin enthaltenen Wasser (hellblau) einer laufenden Brennstoffzelle mit einer Stromdichte von $0,5 \text{ A/cm}^2$.

Einleitung

Brennstoffzellen sind Energiewandler, welche die in chemischen Energieträgern gespeicherte Energie direkt in elektrische Energie umwandeln. Hierzu wird kontinuierlich ein gasförmiger Brennstoff (Wasserstoff oder Kohlenwasserstoffe) und ein Oxidationsmittel (Sauerstoff oder Luft) zugeführt. Brennstoff und Oxidationsmittel sind dabei durch den Elektrolyten räumlich voneinander getrennt. Der Elektrolyt ist charakteristisch für die verschiedenen Typen von Brennstoffzellen. Durch die räumliche Trennung erfolgt der bei einer Redoxreaktion stattfindende Elektronenaustausch zwischen den Reaktionspartnern nicht lokal statt – so wie etwa bei einem Verbrennungsprozess –, sondern über einen äusseren Stromkreis. Im Unterschied zu Batterien liefert eine Brennstoffzelle kontinuierlich elektrische Energie, solange die externe Gasversorgung aufrecht erhalten bleibt.

Bemerkenswerte Merkmale von Brennstoffzellen sind der im Vergleich zu einer Wärmekraftmaschine (Carnot-Maschine) hohe Wirkungsgrad sowie die geringe Schadstoffemission. Im Falle von reinem Wasserstoff als Brenngas fällt als Reaktionsprodukt nur Wasser an. Weitere Vorteile sind die geringe Lärmemission, die Abwesenheit beweglicher Bauteile, das gute Teillastverhalten, eine modulare Bauweise, die Brennstoffzellensysteme in verschiedenen Leistungskategorien ermöglicht, sowie die Bereitstellung von sowohl elektrischer Energie als auch von Wärme.

Die Anwendungen von Brennstoffzellen sind sehr vielfältig. Gewisse Brennstoffzellensysteme sind interessant für die dezentralisierte Versorgung von Gebäuden mit Elektrizität und Wärme, andere für Fahrzeugantriebe oder auch für die Energieversorgung portabler elektrischer Geräte.

Im Bereich der stationären Anwendung sind insbesondere im Bereich Mikro-WKK-Anwendung (micro-CHP) hohe Marktpotenziale vorhanden. Der Ersatz von Boilersystemen durch entsprechende Brennstoffzellen mit Wirkungsgraden von mehr als 95 % (bis 60 % elektrisch und 35 % thermisch) kann einen enormen Beitrag zur Effizienzsteigerung leisten. Durch die dezentrale Stromproduktion sind solche Systeme weiter wichtig im Zusammenspiel von verschiedenen Komponenten in Smart-Grids. Grosse Förderpromesse laufen hierzu insbesondere in Deutschland – bis 2020 sollen micro-CHP-Systeme 140 TWh Strom liefern, was einem Marktpotenzial von 3,5 Millionen Systemen bis 2020 entspricht – und in Japan, wo eine dezentrale Stromversorgung einen besonders grossen Beitrag zur Versorgungssicherheit leisten kann. Zielgrössen sind nach wie vor \$ 5'000 bis \$ 10'000 für ein im Gebäude eingesetztes CHP-System mit einer Lebenszeit der Brennstoffzelle von mehr als 40'000 Stunden.

Für die Mobilitätsanwendung von Brennstoffzellen wurde 2010 eine ausführliche Studie erstellt, wozu 31 Firmen – Autohersteller, Zulieferer,

Kraftstoff-, Strom- und Industriegasversorger sowie Hersteller von Windturbinen und Elektrolyseuren – und Organisationen ihre Daten für eine Studie zur Verfügung stellten, welche von McKinsey & Company anonymisiert und ausgewertet wurden [1]. Nach der Studie wird es in der Elektromobilität keine einzelne Technologie geben, welche die andern gänzlich verdrängen wird. Batterieelektrische Fahrzeuge zeichnen sich durch einen hohen Wirkungsgrad aus, Brennstoffzellenfahrzeuge dafür durch eine höhere Reichweite und Grösse sowie eine effizientere Betankung. Je nach Anwendung werden unterschiedliche Technologien eingesetzt. Bis 2020 wird eine Kostensenkung von 90 % für Brennstoffzellensysteme prognostiziert (80 % für Batteriesysteme), so dass es 2025 hier für den Endkunden keine grossen Unterschiede geben sollte. Die Studie betrachtete ausserdem den Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur, welche für eine Million Brennstoffzellenfahrzeuge bis 2020 mit drei Milliarden € angegeben wird. Langfristig wären die Kosten sehr viel geringer.

In der Schweiz sind einige wenige industrielle Akteure vorhanden, welche sich in diesem Umfeld sehr gut positioniert haben. Die Verknüpfung mit Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen an verschiedensten Institutionen ist dabei sehr eng.

In dem vorliegenden Bericht werden die herausragendsten Resultate 2010 aus Forschung und Entwicklung in diesem Bereich vorgestellt.

IEA-Klassifikation: 5.2 Fuel Cells

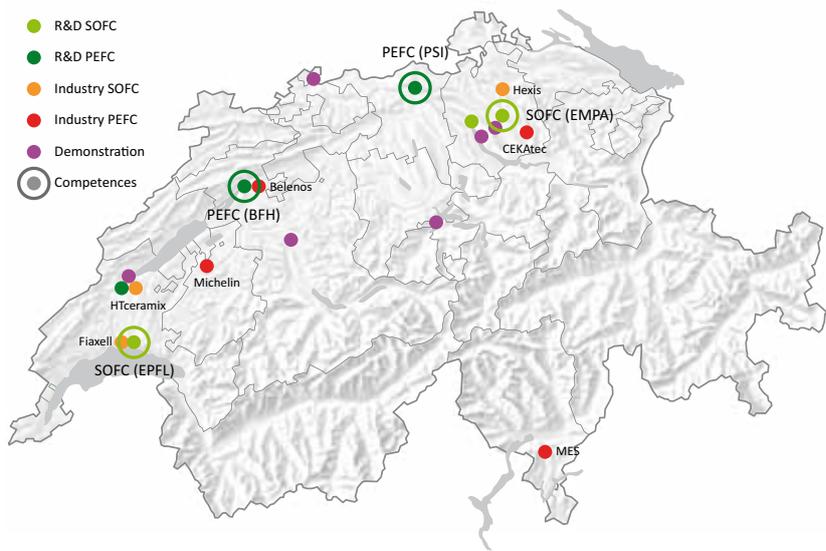
Schweizer Klassifikation: 1.7 Brennstoffzellen

Programmschwerpunkte

In der Schweiz befasst sich die Energieforschung seit mehreren Jahrzehnten mit dem Thema Brennstoffzellen. Es bestehen hierzulande weltweit führende Kompetenzen in Forschung und Entwicklung sowohl an den eidgenössischen Hochschulen, Universitäten und Fachhochschulen, als auch in kleineren und mittleren Unternehmen. Die in der Schweiz laufende Forschung ist dabei in einem hohen Mass in internationale Projekte eingebunden. 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 [2,3].

Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzellen für mobile Anwendungen: Bei Polymer-Elektrolytmembran-Brennstoffzellen (PEFC) stehen die Reduzierung 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 für stationäre Anwendungen: 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 kommt auch in diesem Bereich eine grosse Bedeutung zu.



Rückblick und Bewertung 2010

Im Berichtsjahr konnten in verschiedenen grundlegenden Projekten herausragende Erfolge erzielt werden. Insbesondere wurde das gemeinsam von Swisselectric Research und BFE getragene Industrieprojekt SOF-CH, welches Degradationsphänomene in SOFC-Brennstoffzellen eingehend untersuchte, erfolgreich abgeschlossen.

Im Bereich Umsetzung wurde die luftgekühlte PEFC-Brennstoffzelle der Firma CEKAtec AG (www.ceka.ch) erfolgreich in den Elvetino Minibars auf den Zügen der SBB eingesetzt. Die Feldtests im Berichtsjahr demonstrieren die hohe Robustheit und Verfügbarkeit des Systems. Die Rückmeldung des Betreibers war äusserst positiv, so dass hierfür im Jahr 2011 ein grösserer Feldversuch vorgesehen ist.

An der World Hydrogen Energy Conference, welche im Mai 2010 in Essen stattfand, waren Schweizer Forschungsprojekte und Firmen an einem der grösseren Stände stark präsent und wurden entsprechend wahrgenommen.

Ausblick 2011

Trotz der weiterhin bescheidenen Forschungsmittel wird versucht, durch gezielte Unterstützung der Schwerpunktsbereiche ein Maximum an Wirkung zu erzielen. 2011 wird insbesondere das Projekt Industrieprojekt SOF-CH neu lanciert, wo die Lösung der im Vorgängerprojekt identifizierten Degradationsphänomene im Vordergrund steht.

Durch die Beteiligung von Postauto AG in einem europäischen Feldversuch zum Einsatz von Brennstoffzellen-Bussen (chic-project.eu/) wird eine erste Wasserstofftankstelle in Kanton Aargau erstellt werden. Ab Ende 2011 sollen fünf Brennstoffzellenbusse von Daimler (www.evobus.com/) im regulären Postautobetrieb eingesetzt werden.

Ein weiteres wichtiges Ereignis wird wiederum das jährlich in Luzern stattfindende European Fuel Cell Forum [4] (www.efcf.com), welches sich 2011 verstärkt auch mit der Thematik der Wasserstoffproduktion und -speicherung auseinandersetzen wird.

Highlights 2010

>> Projektliste

Die beiden zentralen Forschungsthemen in der Schweiz sind die Feststoffoxid-Brennstoffzellen für die stationäre Anwendung zur dezentralen Strom- und Wärmeproduktion und Polymer-Elektrolytbrennstoffzellen für den Einsatz in Fahrzeugen und portablen Anwendungen. Aus den verschiedensten Projekten können im Berichtsjahr folgende Highlights hervorgehoben werden.

Erhöhung der Lebensdauer von Feststoffoxid-Brennstoffzellen für WKK-Anwendungen

Feststoffoxid-Brennstoffzellen (SOFC) können – im Gegensatz zu andern Typen von Brennstoffzellen – neben Wasserstoff auch Erd-, Holz- oder Biogas effizient und ohne schädliche Emissionen in Wärme und Elektrizität umwandeln, und ist daher nicht auf den Aufbau einer Wasserstoff-Infrastruktur angewiesen. Der Anwendungsbereich für solche Systeme liegt vor allem im kleineren Leistungsbereich für den Einsatz in Gebäuden, wobei Hersteller wie Bloom Energy auch in den höheren Leistungsbereichen von 100 kW und mehr vordringen.

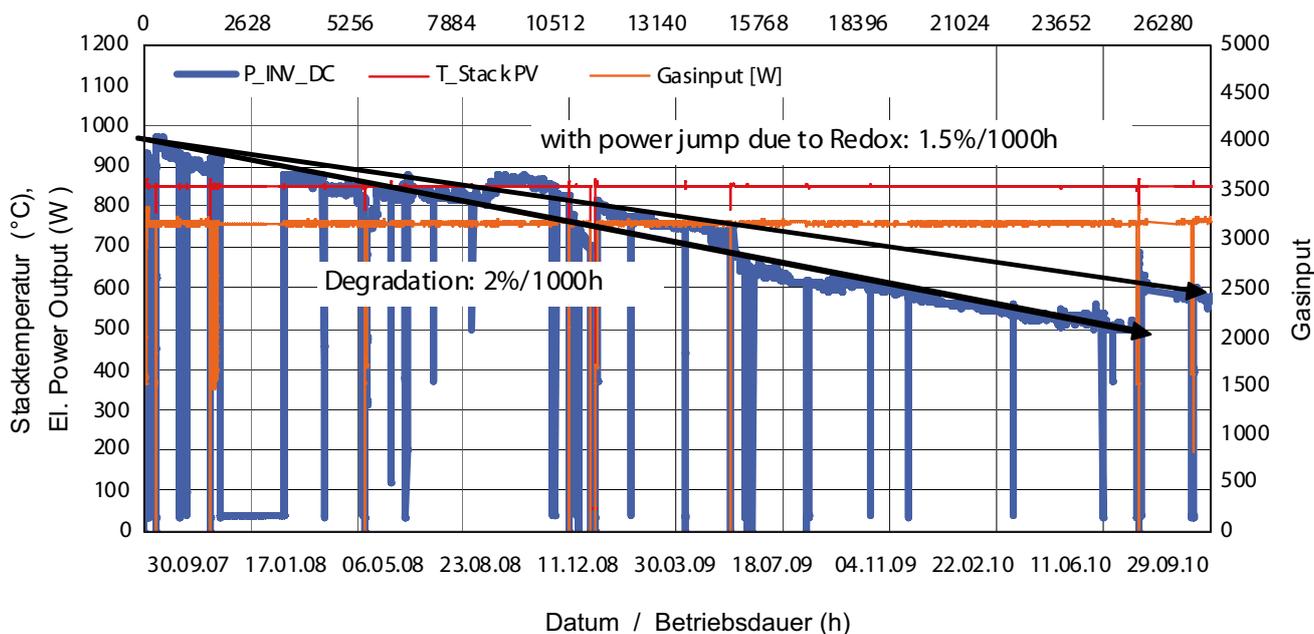
Die grösste Herausforderung für den Markteintritt von SOFC-Systemen liegt in der Erhöhung der Lebensdauer der Brennstoffzellenstapel. Für eine WKK-Anwendung wären für den Stapel eine Lebensdauer von 40'000 Betriebsstunden anzustreben. Kosten und allgemeine Performance sind auch wichtig, aber im Vergleich weniger dringend als die Thematik der Lebensdauer. Planare SOFC-Technologien haben bisher Lebensdauer zwischen 6'000 bis 27'000 h aufgewiesen. Degradationsphänomene in SOFC-Zellen sind verknüpft mit Materialermüdungserscheinungen, aber auch mit Fehlfunktionen des Stapels. Materialermüdungserscheinungen betreffen alle Stapelkomponenten, während Fehlfunktionen auf thermomechanische Effekte, das spezifische Design oder den Stress bei sich schnell verändernden Lastwechseln zurückzuführen sind.

Das grosse nationale Projekt SOF-CH, welches durch Swisselectric Research und das BFE unterstützt wurde und das 2010 abgeschlossen wurde, hatte zum Ziel, allgemein die Lebenszeit der SOFC-Stapel zu erhöhen. Konkret sollte bis 2010 eine Degradationsrate von weniger als 3 % pro 1'000 Betriebsstunden aufgezeigt werden, wobei sich die 3 % aus einem konstanten

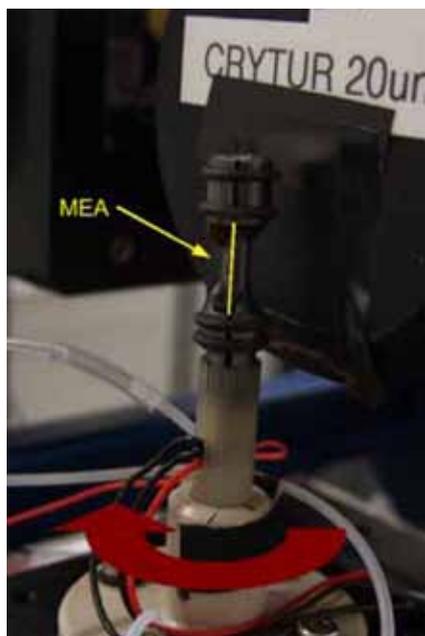


Figur 2: Anodengetragener SOFC-Stapel der Schweizer Firma HTceramix SA (S-Design) mit bis zu 1 kW Leistung mit einer elektrischen Effizienz von rund 47 % bei einer Betriebstemperatur von 780°C (Quelle: HTceramix SA)

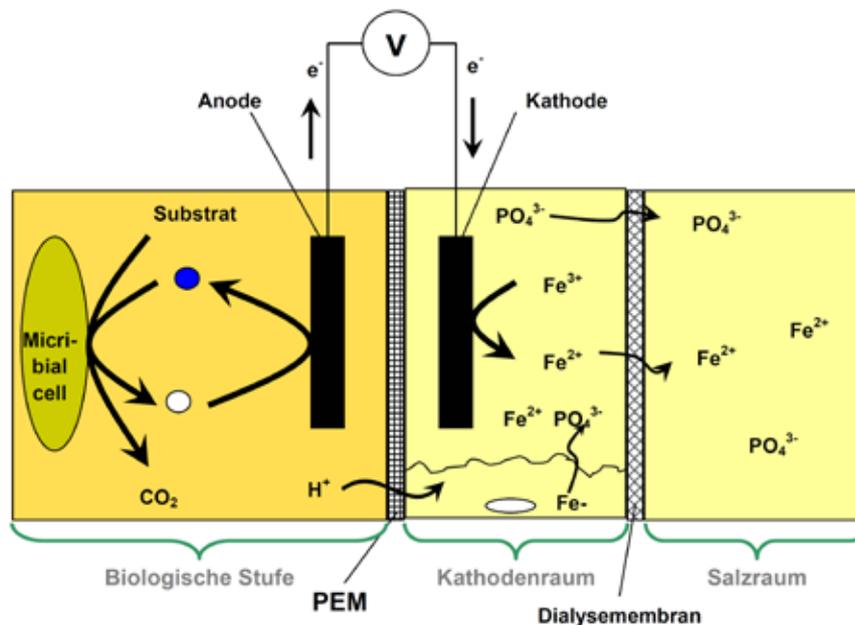
Anteil von 0,7 % und einem transienten Anteil von ca. 2 % zusammensetzen. Daraus ergäbe sich eine totale Betriebszeit von rund 20'000 h, was je nach Betriebsart einer Einsatzzeit zwischen 1,8 und 3,7 Jahren entspräche. Das Projekt vernetzte alle in diesem Bereich aktiven Schweizer Forschungseinrichtungen und industriellen Akteure.



Figur 1: Elektrischer Power Output eines Galileo 1000 N-Brennstoffzellensystem der Firma Hexis AG. Der Betrieb startete im Jahr 2007 mit einer Gesamtbetriebsdauer von mehr als 26'000 Stunden. Die Leistungsdegradation (inklusive einiger Redox-Zyklen) beträgt ungefähr 1,5 % pro 1'000 h. Die elektrische Effizienz lag zu Beginn bei 28 % (DC), approx. 24 % (AC, net) (Quelle: Hexis AG).



Figur 3: PEFC-Probenhalter für in-situ XTM-Untersuchungen an der TOMCAT Beamline der Synchrotronquelle am PSI (Quelle: PSI).



Figur 4: Schematische Ansicht einer mikrobiellen Brennstoffzelle mit Eisen(III)-Phosphat zur Mobilisierung von Phosphat (Quelle: HES-SO Valais).

Das Hauptziel konnte an einem seit 2007 sich in Betrieb befindenden System von Hexis (Galileo 1000) demonstriert werden (Figur 1). Da diese Messreihe gleichzeitig mit dem Projekt gestartet wurde, kann dieses Ergebnis nicht direkt mit den in den im Projekt erarbeiteten Erkenntnissen in Verbindung gebracht werden. Neuere Experimente, wo der Erkenntnisgewinn aus der Untersuchung diverser Degradationsphänomene aus dem Projekt einfließen, zeigten auf, dass die Degradationsrate weiter verkleinert werden konnte, insbesondere in Bezug auf die Stabilität bei On-Off-Zyklen. Bei den beteiligten Industriepartnern sind diese Resultate zum Teil direkt eingeflossen, so zum Beispiel bei den Galileo-Systemen von Hexis, welche in dem deutschen Demonstrationsprogramm Callux (www.callux.net) eingesetzt werden. Aufbauend auf den Erkenntnissen aus diesem Projekt ist geplant, in zwei Nachfolgeprojekten 2011 weitere Lösungen zur Vermeidung der identifizierten Degradationsprozesse zu erarbeiten.

Neben den technischen Resultaten entstanden aus dem Projekt eine grosse Anzahl international relevanter wissenschaftlicher Publikationen. Es wurden insgesamt fünf Doktorarbeiten und verschiedenste Master- und Bachelorarbeiten erstellt.

In-Situ Röntentomographie an aktiven Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen

Transportprozesse gehören zu den wichtigsten Parametern für die Optimierung von Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen (PEFC). Kondensiertes Wasser beeinflusst die Transporteigenschaften der Reaktanten in der mikroporösen Gasdiffusionsschicht (GDL). Das Verständnis dieser Transport-Limitationen und deren Änderungen mit der Betriebsdauer (Alterung) ist dabei zentral für die Leistungsoptimierung. Die Interaktionsprozesse von kondensiertem Wasser mit der porösen Schicht sind bisher wenig untersucht, können aber über neue bildgebende Verfahren erforscht werden.

In einem vom BFE unterstützten Projekt werden PEFC-Zellen in-situ mittels Röntgen-mikro-Tomographie untersucht (Figur 3 und Titelbild). Diese Methode erlaubt eine äusserst präzise Analyse der Wasserverteilung auf verschiedenen Grössenskalen bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen, was für die Validierung von entsprechenden Modellrechnungen für Brennstoffzellen von zentraler Bedeutung ist. Im Berichtsjahr wurde insbesondere auch untersucht, inwieweit die untersuchten GDL-Schichten durch die Synchrotronstrahlung beschädigt werden.

Das PSI betreibt in diesem Bereich weltweite Spitzenforschung und die Resultate konnten entsprechend an verschiedensten internationalen Konferenzen präsentiert werden. Auch von industrieller Seite besteht grosses Interesse, um das Verhalten in laufenden Brennstoffzellen besser zu verstehen.

Rückgewinnung von Phosphat aus ausgefautem Klärschlamm mit Hilfe einer mikrobiellen Brennstoffzelle

In einer mikrobiellen Brennstoffzelle kann die Energie, welche in einer Kläranlage bereits in Form mikrobieller Aktivität vorhanden ist, direkt genutzt werden (Figur 4). Mikroben liefern Elektronen und Protonen, wie diese für die Reduktion von Fe_3+PO_4 und den Ersatz von Fe-Kationen gebraucht werden. Daneben fällt der wertvolle Phosphatdünger an, welcher somit dosiert in den Kulturen angewendet werden kann. Der elektrische Strom muss in keiner Art und Weise transformiert oder gespeichert werden. Das System ist dynamisch und verwendet die momentan verfügbare Energie, wie diese anfällt. Ein Projekt, welches die Machbarkeit eines solchen Verfahrens 2010 erfolgreich aufgezeigt hat, wurde gemeinsam vom Bundeamt für Umwelt BAFU und dem BFE unterstützt.

Nationale Zusammenarbeit

Die nationale Zusammenarbeit zwischen Projektnehmern wurde auch im Berichtsjahr weiter gepflegt. In vom BFE unterstützten Projekten bestehen verschiedene Arbeitsnetzwerke, so zum Beispiel in den Projekten CAL.PEF-CH und GO.PEF-CH im Bereich Polymer-Brennstoffzellen und im Projekt SOF-CH im Bereich Feststoffoxid-Brennstoffzellen. Anfang 2010 fand am BFE ein spezieller Workshop statt, an welchem künftige Forschungsthemen im Bereich SOFC identifiziert wurden in Hinblick auf die Fortführung des Projektes SOF-CH.

Auf Programmebene konnte die Zusammenarbeit mit verschiedenen Förderungsinstitutionen weiter ausgebaut werden, dies insbesondere mit Swisselectric Resarch, dem Competence Center Energy and Mobility (CCEM) und der Kommission für Technologie und Innovation (KTI). Neu 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 in diesem Bereich 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. Auf Initiative von Hydropole wurde an der World Hydrogen Energy Conference WHEC 2010 in Essen ein nationaler Stand aufgebaut, an welchem sich die Schweizer Industrievertreter und Hochschulen gut präsentieren konnten, und der international gut wahrgenommen wurde.

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 be-

teiligen. 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 wird versucht, die Forschungsprogramme der einzelnen Länder einzubinden. Insbesondere im Bereich der stationären Brennstoffzellen (SOFC) waren Schweizer Akteure sehr erfolgreich bei der Beteiligungen an verschiedensten Projekten im Call 2010 der FCH JU. Weiter bestehen zwischen den grossen nationalen Kompetenzzentren enge bilaterale Forschungskoperationen mit verschiedensten ausländischen Einrichtungen.

Schweizer Beteiligung im IEA Advanced Fuel Cells Implementing Agreement (AFC)

www.ieafuelcell.com

Annex / Task

Solid Oxide Fuel Cells

Fuel cells for stationary applications

Schweizer Delegierter (Institution)

HTceramix SA

Beratung Renz Consulting

Referenzen

[1] *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/)

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

[3] *Bundesamt für Energie, Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011* (www.energieforschung.ch).

[4] *Clean Hydrogen In European Cities Project (CHIC)* (chic-project.eu/).

[5] *European Fuel Cell Forum 2011, 28 June–1 July 2011, Lucerne, Switzerland* (www.efcf.com/).

BFE Forschungsprogramm Brennstoffzellen

Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Dr. Stefan Oberholzer, Bundesamt für Energie (stefan.oberholzer@bfe.admin.ch)

Bereichsleiter BFE:

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

www.bfe.admin.ch/forschungbrennstoffzellen

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Industrielle Prozesse

Michael Spirig und Martin Pulfer



Ökologische Abfallverwertung im Hochofen oder im Zementwerk?

Solche und andere Fragen lassen sich heute nur mehr mit intelligenten, Computern unterstützten Werkzeugen beantworten, die die Komplexität der industriellen Produktion und energetischer Fragestellungen gewachsen sind. 2010 sind im Programm «Industrielle Prozesse» im Bereich «Methoden und Tools» wichtige Fortschritte in Richtung Umsetzbarkeit erreicht worden. Zwei Engineering- und Decision-Aid-Tools haben die Anwendungsreife erlangt und sollen künftig in Spin-Off-Firmen für kommerzielle Dienstleistungen zur Erreichung von energetischen Verbesserungen eingesetzt werden. Die Schweiz, einem Land in dem die Wertschöpfung besonders auch mittels Dienstleistungen erbracht wird, hat hier eine grosse Chance high-level Energie-Engineering- und Decision-Aid-Services zu entwickeln und künftig zum eigenen Nutzen national anzuwenden sowie zu exportieren (Quelle: Voestalpine).

Einleitung

Zu industriellen Prozessen gehören sowohl verfahrenstechnische als auch fertigungstechnische Prozesse zur Herstellung von Produkten und Dienstleistungen. Diese sind entsprechend weit verbreitet und betreffen eine Vielzahl von Anwendungen und Technologien. Ca. 15 % der gesamten Schweizer Energie werden hierfür benötigt. 55 % davon werden zur Erzeugung von Prozesswärme aus mehrheitlich fossilen Energieträgern eingesetzt. Zudem ist die Industrie der grösste Stromverbraucher in der Schweiz. Es wird geschätzt, dass mittels gezielter Optimierung des Ressourceneinsatzes ein beträchtliches Sparpotenzial von 30–50 % realisiert werden kann.

Hierbei spielt der breite Einsatz von bekannten Technologien (einfache Energiesparmassnahmen, Wärmerückgewinnung, etc.) und entwickelten Methoden wie z. B. die Prozessinteg-

ration (PinCH) oder Lebenszyklusanalysen (LCA) eine wichtige Rolle. Um jedoch theoretisch bekannte und an sich reife Technologien industriell umsetzbar zu machen, besteht ein vielfältiger und komplexer Forschungsbedarf, im Speziellen um mögliche Amortisationszeiten und Risiken kalkulierbarer zu machen sowie Engineering- und Investitionskosten tief zu halten.

Im Berichtsjahr unterstützte das BFE Programm direkt insgesamt vier Projekte aus dem ETH-Bereich (EHTZ, EPFL) und zwei (weitere sind geplant) der Fachhochschulen (FHNW, HSLU, HSW, ZHAW), sowie zwei der Industrie (BMG Engineering, BSB + Partner AG, Pavatex AG). Eine starke Industriebeteiligung, inkl. Finanzierung, bestand in allen Projekten und widerspiegelt das industrielle Interesse am Thema sowie das Forschungspotenzial, welches es künftig intensiver zu nutzen gilt.

IEA-Klassifikation: 1.1 Industry

Schweizer Klassifikation: 1.10 Verfahrenstechnische Prozesse

Programmschwerpunkte

Die drei Haupt-Forschungsprioritäten sind:

- Die Entwicklung und Anwendung von Methoden und (Entscheidungs-)Tools z. B.: Batch-Prozess-Energie-Modeling und Monitoring, Berechnung und Optimierung von Energie- und Massenflüssen in Prozessen auch unter Life-Cycle-Analys-Aspekten (LCA).
- Die Integration von erneuerbaren Ressourcen, inkl. Reststoffverwertung und Abwärmenutzung bis hin zur Energieträgerproduktion z. B.: Solarenergie, Hochdruckwärmepumpe, Wärmespeicherung, Reststoffreaktoren, Abwärmenutzungskonzepte, etc.
- Die Realisierung effizienter Verfahren und Strategien inkl. P&D-Projekte z. B.: Substitutionsverfahren für die Trocknung und Trennung (Destillation), Schmutz-resistente Wärmeübertrager.

Bezüglich Kommunikation und Vernetzung werden folgende Ziele verfolgt:

- Der Ausbau der nationalen und internationalen Vernetzung und Verbesserung der Wahrnehmung des Programmes inkl. Ausweitung der Forschungsschwerpunkte auf die Fertigungstechnik.
- Zielgruppengerechte Information zur Sensibilisierung und Motivation der Industrie sowie Erweiterung der Unterstützungsressourcen von heute ca. 3,7 Mio CHF/a.
- Langfristig verstärkte Sensibilisierung für das Thema Energie der für die Industrie aktiven Forschergruppen mittels thematischer Ausbildung und Aufbau von grossen Forschungskonsortien, bis hin zur Mit-Initiierung von Kompetenzzentren und Plattformen.

Rückblick und Bewertung 2010

Im Jahr 2010 konnten trotz geringen Mittel in den Bereichen «effiziente Verfahren» und «Methoden und Tools» wichtige Fortschritte in Richtung Umsetzbarkeit erzielt werden. In zwei Tool-Entwicklungsprojekten bestehen zudem über die Gründung von Spin-Off Firmen grosse Chancen auf eine Kommerzialisierung des erarbeiteten Know-hows. Im Bereich «Integration erneuerbare Ressourcen und Abwärmenutzung» läuft eine Marktübersicht-Studie und bestehen einige Umsetzung- resp. P&D-Projektideen zur Wärmerückgewinnung. Ein Hauptforschungsbedarf besteht hier in der Vereinfachung des erforderlichen Engineerings, so dass der notwendige Aufwand und der resultierende Nutzen schneller und günstiger aufgezeigt werden können. Dies würde eine entscheidende Hürde zur konkreten Realisierung aus dem Weg räumen. Nach wie vor offen ist ein Gemeinschaftsprojekt zur Integration von erneuerbaren Ressourcen, d. h. im Speziellen zur Erzeugung von solarer Wärme zwischen 200–400 °C. Zur Ausweitung der Aktivitäten auf die Fertigungstechnik wurde mit entsprechenden Stakeholdern Gespräche geführt, jedoch aufgrund Budgetmangel noch keine Projekte konkretisiert. Mit dem Impulstag «Energie- und Kosteneffizienz in industriellen Prozessen» bei IBM Schweiz, sowie einer Veranstaltung zum Thema «Effizient Trocknen», dem Aufbau von Factsheets, Vorträgen und Präsenz an diversen Veranstaltungen konnten wichtige Schritte in Richtung breitere Bekanntmachung und Vernetzung gemacht werden.

Ausblick 2011

Der Aufbau von qualitativ hochstehenden Lösungen zur Verbesserung von industriellen Prozessen erfordert neben dem spezifischen Know-how auch Kontinuität und Durchhaltewillen in der Forschung. Priorität hat die kontinuierliche Fortsetzung der begonnenen Aktivitäten bis hin zur kommerziellen Anwendung. Wo erforderlich, sollen diese gestärkt und/oder national und international koordiniert werden. Spezielles Augenmerk gilt der erfolgreichen Tool-Entwicklung im Bereich Energie-Monitoring, LCA resp. Decision-Aid-Tools, welche ein hohes Umsetzungspotenzial haben. Wo sinnvoll sind auch verschiedenen, relativ kleinen Gruppen zu vernetzen und auf gemeinsame Zielekataloge zu fokussieren. Ziel wäre u. a. daraus 2011 ein gemeinsames Entwicklungsprojekt zu starten und eine Beteiligung im IEA IETS Implementing Agreement, sowie eine aktive Vermarktung der entwickelten marktreifen Tools. Im Bereich «effiziente Verfahren» – Trocknen – sind die erreichbaren Vorteile den potentiellen Anwender noch spezifischer u. a. mittels P&D-Projekten aufzuzeigen. Zu klären sind die Zusammenarbeitsmöglichkeiten mit anderen Programmen und Förderinstitutionen für Bioraffinerien und (mobile) Bioreaktoren. Dies gilt auch für die «Integration erneuerbarer Ressourcen und Abwärmenutzung», wo weitere Projekte anzustreben sind. Themen sind z. B. Schmutz-resistente Wärmetauscher sowie die Vereinfachung des Engineerings und Risikoabschätzungen inkl. plausible und vollständige Amortisationsrechnung. In der Fertigungstechnik sollen weitere Projektoptionen geprüft werden und auf Programmebene sollen die Vernetzungs- und Kommunikationsaktivitäten ebenfalls kontinuierlich fortgesetzt werden.

Highlights 2010

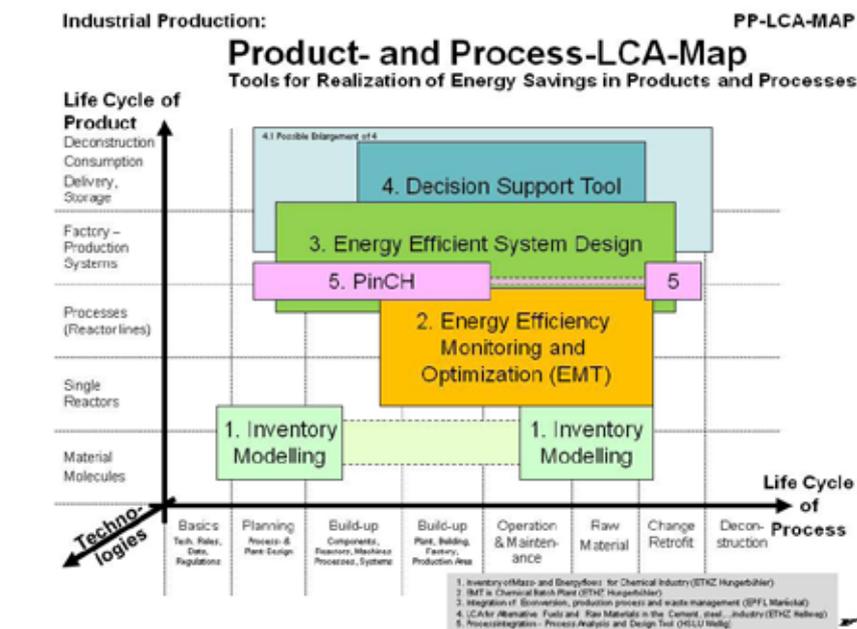
>> Projektliste

Im Jahr 2010 konnten bei «Methoden und Tools» wichtige Fortschritte in Richtung Umsetzbarkeit erzielt werden. Die Herausforderung aufgrund der Komplexität der industriellen Produktion und energetischen Fragestellungen, die Schweizer Kompetenzen und ausgewählte Resultate sowie der Bedarf an Engineering und Decision-Aid-Tools als Chance für die Schweiz sind nachfolgend erläutert.

Die industrielle Produktion beinhaltet erstens den Herstellungsprozess, d. h. Komponenten, Reaktoren, Maschinen, Systeme bis hin zur Produktionsanlage einschliesslich Fabrikationsgebäude und ganzen Werken resp. Industriezonen mit vielen Fabriken. Zweitens umfasst sie auch das resultierende Produkt, von den erforderlichen Ressourcen (Rohmaterial, Energie, Information, andere Produkte) bis hin zu Auslieferung, Verbrauch und Entsorgung, resp. Wiederverwertung als Ressource. Neben Herstellungsprozess und resultierendem Produkt ist dann die Art der Leistungserbringung – also die eingesetzten Technologien – ein dritter zu beachtender Teil.

Die Komplexität der industriellen Produktion und energetische Fragestellungen sind eine weitere Herausforderung: Die industrielle Produktion kann bezüglich Lebenszyklus (Live Cycle, LC) unter den zwei Hauptaspekten «Herstellungs-Prozess» sowie «Resultierendes Produkt» betrachtet werden, welche als LC-Achsen ein 2-dimensionales Feld aufspannen: Eine weitere Achse ist die Art der Leistungserbringung oder die dafür möglichen Technologien (siehe Figur 1). Um in der industriellen Produktion energetische Verbesserungen zu erreichen, sind sehr komplexe und vielfältige Fragestellungen zu lösen. Es ist auch leicht zu erkennen, dass die Optimierung lediglich einzelner Gesichtspunkte, Komponenten oder Anlagenteile zwar notwendig ist, aber nur suboptimale Lösungen bringt. Ein Perspektivenwechsel von der Einzel-Detail-Lösung hin zum Gesamt-Energie-System, durchaus über die Werkgrenzen hinaus, ist daher auch erforderlich.

Diese Vielfältigkeit, Abhängigkeit und damit auch Komplexität bedeutet auch, dass für energetische Verbesserungen kaum auf gängige Rezepte und vorhandene Lösungen zurück



Figur 1: Lebenszykluskarte der industriellen Produktion: Positionierung von Analyse-, Berechnungs- und Auslegungswerkzeugen (Engineering und Decision-Aid-Tools) für energetische Verbesserungen im Live Cycle von Produkten und Herstellungs-Prozessen.

gegriffen werden kann. Im Gegenteil: optimale Ergebnisse sind meist sehr spezifisch aus einem Gesamtzusammenhang und unter Anwendung von interdisziplinärem Know-how neu zu erarbeiten. Dies sind grosse Hürden für die Realisierung der häufig irgendwie erkennbaren, aber nicht so einfach zu quantifizierenden und umzusetzenden energetischen Verbesserungspotenziale.

Um in der industriellen Produktion den Ressourceneinsatz zu optimieren, d. h. im Speziellen den Energie- und Materialeinsatz zu minimieren und zu ökologisieren, sind flexibel einsetzbare Analyse-, Berechnungs- und Auslegungswerkzeuge unentbehrlich und können viel zur Entscheidungsfindung (Decision-Aid-Tools) beitragen. Der hohe Nutzen liegt hier in der Unterstützung bei der Beherrschung der Informationsvielfalt, sowie einer möglichst systematischen, nachvollziehbaren Verarbeitung der hohen Komplexität industrieller Prozesse und der Verflochtenheit energetischer Fragestellung.

Im ETH-Bereich und auch an den Fachhochschulen sind in diesem Bereich in der Schweiz hohe und breite Kompetenzen vorhanden und entsprechende

Projekte lanciert. Ein weiterer grosser schweizerischer Vorteil ist die gute Vernetzung und die kurzen Distanzen zwischen den verschiedensten Fachkräften.

In Figur 1 sind in der Lebenszykluskarte der industriellen Produktion die Positionierung von in der Schweiz in Entwicklung und Anwendung befindlichen Analyse-, Berechnungs- und Auslegungswerkzeugen (Engineering und Decision-Aid-Tools) für energetische Verbesserungen im Live Cycle von Produkten und Herstellungsprozessen dargestellt.

Nachfolgend seien zwei starke Projekte (Figur 1, Kasten 2 und 3) zusammenfassend dargestellt sowie der Bedarf für Engineering und Decision-Aid-Tools in der Schweizer Industrielandschaft analysiert. Es resultieren gute Chancen für die Schweiz, einträgliche Dienstleistungsprodukte zu entwickeln, national anzuwenden und künftig auch zu exportieren. Eine Fortsetzung der F&E bis hin zur Umsetzung ist daher anzustreben.

Energy Monitoring Tool ermöglicht Energieeinsparungen in chemischen Batch-Prozessen

Im Forschungsprojekt «Implementation of monitoring tool for targeting energy saving potenzial in batch chemical industry» hat das Institut für Chemie- und Bioingenieurwesen (ICB) der ETHZ ein Energy-Monitoring-Tool (EMT, siehe Figur 1, Kasten 2) entwickelt, welches als Energiebedarfsprognose- und Optimierungsinstrument für verfahrenstechnische Mehrprodukte-Batchanlagen genutzt werden kann (Figuren 2 und 3). Die Entwicklung des EMT ist 2010 in die dritte und letzte Phase gestartet. Aufbauend auf den Resultaten vorangehender Projekte, wie der Erarbeitung der Grundlagen, oder der Programmierung der technischen Verarbeitungs- und Eingabe Routinen wurde nun im laufenden Projekt das Tool in einem Batch-Betrieb in Grenzach (BASF) installiert, validiert und die Feinabstimmung vorgenommen. Dabei wurden verschiedene zusätzliche Funktionalitäten des Tools erfolgreich umgesetzt: u. a. Verbesserung der Auswertung und Interpretierbarkeit der Monitoring-Resultate, Updateverfahren für Standard-Prozess-Setups und langfristige Software-Wartung und bessere Implementierbarkeit in anderen, ähnlichen Produktionsanlagen. Mit dem EMT liess sich der 5-Bar Dampfverbrauch in der Anlage konsistent mit lediglich einer durchschnittlichen Abweichung von 15 % nachvollziehen (Figur 4). Diese guten Resultate wurden sowohl mit früheren (2009) wie auch gegenwärtigen (2010) Datenerhebungen bestätigt und zeigen Dank der speziellen Modell-Methodologie eine zuverlässige Aufschlüsselung des Energieverbrauchs bis auf Anlagen-, Reaktor- resp. Produkt-Ebene.

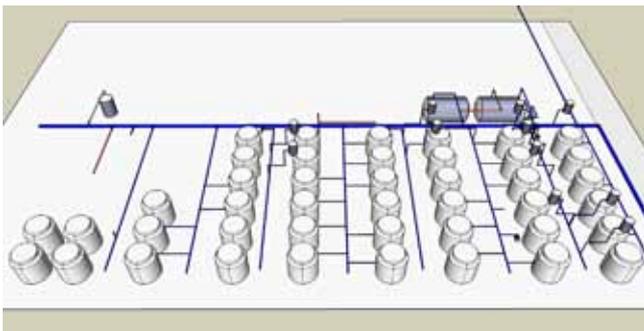
Eine erste Auswertung der Resultate von Grenzach ergab eine durchschnittliche Dampfverbrauchseffizienz von 60 %, was etwa einen jährlichen Wärmeverlust von 5'000 t Dampf gleichkommt. Dies bedeutet einen monetären Verlust von ca. 0,2 Mio CHF oder einem globalen Erwärmungs-Potenzial von ca. 1'200 t CO₂-Äquivalent. Dies entspricht etwa der CO₂-Belastung, welche durch 300 Autos beim Zurücklegen einer typischen Schweizer Jahresdistanz verursacht wird. Frühere Studien auf Anlagenbetriebsebene haben gezeigt, dass mit geeigneten Energiesparstrategien theoretisch 10–20 % dieses Wärmeverlustes gespart werden könnte. Um die Einsparpotenziale systematisch zu erfassen, darzustellen und damit auf Anlagen-, Reaktor- resp. Produktebene realisierbar zu machen, wurde eine Reihe von Key Performance Indikatoren (KPIs) entwickelt. Die vollständige Integration der KPIs in die Methodologie resp. in das EMT ist Teil der finalen Phase des Projekts im Jahr 2011.

Das EMT hat eine hohe Anwendungsreife und hat auch das Interesse beteiligter Firmen geweckt. Es laufen Gespräche, einen ETH-Spin-off zu gründen oder das Tool einer bestehenden Engineering und IT-Firma zu übergeben. In diesem Zusammenhang laufen auch Diskussionen mit weiteren Pilotkunden um das EMT auf anderen Anlagen zu implementieren und zusätzlich zu validieren, so dass glaubhafte Referenzen für künftige Engineering-Dienstleistungen vorhanden sind. Es besteht zudem auch das Potenzial das EMT für andere Anlagentypen zu erweitern und In-Outputs mit anderen Tools auszutauschen (Figur 1, Kasten 1 und 3).

Decision-Support-Tool zur Optimierung von Energie- und Abfallströmen

Am Institut für Umweltingenieurwissenschaften der ETH Zürich wird in einer fortlaufenden Projektserie ein Entscheidungsunterstützungswerkzeug (Decision-Support-Tool) für Kommunen oder grössere Industriezonen entwickelt. Gestartet wurde mit der Entwicklung eines Ökobilanzmodells, welches die Umweltauswirkung der Abfallmitverwertung in der Zementindustrie bewertet (Projekt «Decision-Support Tool to Optimize Co-Processing of Waste in the Cement Industry (LCA4AFR)», Figur 5). Prinzipiell sind Einsparungen von grossen Mengen (50 %) an hochwertigen Energieträgern zu erwarten. Es ist jedoch auch zu klären und dann zu entscheiden, ob sich gewisse Abfälle nicht nachhaltiger in anderen Branchen verwenden liessen. Daher wurden zuerst auf der Basis von input- und technologiespezifischen Massenflussmodellen flexible Ökobilanzmodelle von den verschiedenen Zementöfen erstellt. Dann wurden Modelle zu Kehrrechtverbrennungsanlagen und Deponien entwickelt, so dass die Abfallmitverwertung in der Zementindustrie mit der traditionellen Abfallverwertungs- und Entsorgungsoptionen verglichen werden konnten.

Die Hauptaussagen sind, dass die Abfallmitverwertung eher eine erhöhte Schwermetallemission erzeugt, sonst aber ökologischer ist als das Deponieren, besonders weil dadurch Methanbildung verhindert wird, und auch ökologischer als das Einäschern mit Low-tech-Anlagen wegen der Verminderung von CO₂- und NO_x-Emissionen. Die High-tech-Einäscherung mit Stromgeneration ist dagegen ähnlich ökologisch, wenn dadurch CO₂ belasteter Strom aus Kohle ersetzt werden kann.



Figur 2: Modell einer verfahrenstechnischen Batch-Produktionsanlage mit vielen Reaktoren.



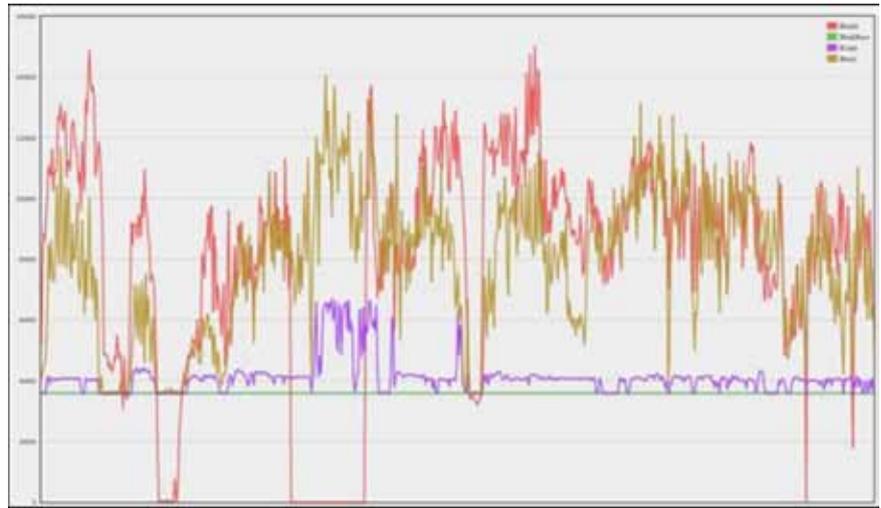
Figur 3: Reaktorenreihe einer realen, verfahrenstechnischen Batch-Produktionsanlage.

Vorteile des Tools sind die flexible Anpassbarkeit an verschiedene Abfallcharakteristiken und dem jeweiligen technologischen Stand der betreffenden Anlagen. Dies erlaubt Analysen mit höherem Detaillierungsgrad und geringerem Zeitaufwand, als mit konventionellen Ökobilanzdatenbanken möglich ist. Die Vorhersagen für Treibhausgase, Stickstoff- und Schwefeloxide sind relativ exakt, während die Genauigkeit für die Schwermetallemission niedriger ist. Dies kann durch Ungewissheiten bezüglich der Konzentration der Schwermetalle in den Betriebsmitteln (Eingang) und in den Luftemissionen (Ausgang) erklärt werden, da diese Konzentrationen oft nahe an- oder unterhalb der Nachweisgrenze liegen.

Mit dem entwickelten Computerwerkzeug für die Lebenszyklusanalyse (LCA) kann also die Entscheidungsfindung zur optimalen Verwertungsart von Abfällen in Regionen mit unterschiedlich ausgerüsteten Zementwerken unterstützt werden. Tool und Beschreibung sind unter www.ifu.ethz.ch/ESD/research/TEDST/cement/index_EN zu finden. Zur Etablierung des Tools wurden konkreten Fallstudien mit Unterstützung durch das BFE und das BAFU ausgearbeitet, so dass eine weltweite Anwendung angegangen werden kann. Die Resultate zeigen, dass ein erheblicher Klima- und Umweltnutzen durch den Einbezug der «Kleberanlage» erzielt werden kann. Das Tool kann zudem auch als Basis zur ökobilanziellen Bewertung von Baumaterialien wie Zement oder Beton verwendet werden.

Im Folgeprojekt «Energy Efficiency and Sustainable Regional Management of Waste and Industrial By-Products» wird das Tool um ein Berechnungsmodell für die Stahlerzeugung erweitert. Weitere Modelle können folgen und einfach integriert werden, was eine Stärke des Tools ist, ebenso wie die Integration weiterer Methoden für die Systemanalyse und die Optimierung innerhalb eines LCA-Systems. Das Tool ermöglicht letztlich eine energetische und ökologische Optimierung der Verwertung von industriellen Abfall- und Nebenprodukten, respektive liefert die relevanten Informationen für den Austausch unter Interessensgruppen, wie Behörden, Industrie, Gemeinwesen und NGOs und unterstützt dadurch wesentlich die Consensbasierte Entscheidungsfindung.

Auch das Decision-Support-Tool zur Optimierung von Energie- und Abfall-



Figur 4: EMT zur Vorhersage des Dampfverbrauches in einer Chemischen Batchanlage. Rot: gemessene; Braun: modellierte Werte; Grün: Basisverbrauch; Violett: permanent laufende Anlagenteile.

strömen LCA4AFR hat heute ein hohe Anwendungsreife (Figur 6) und ein vielfältiges kommunales und industrielles Anwendungspotenzial u. a. Holcim und voestalpine. An der ETH wird das Tool laufend weiter entwickelt und erweitert. Die künftige industrielle Anwendung und Umsetzung wird durch eine im Aufbau befindliche ETH-Spin-off-Firma übernommen, was eine ausserordentlich gute Zukunftsperspektive darstellt.

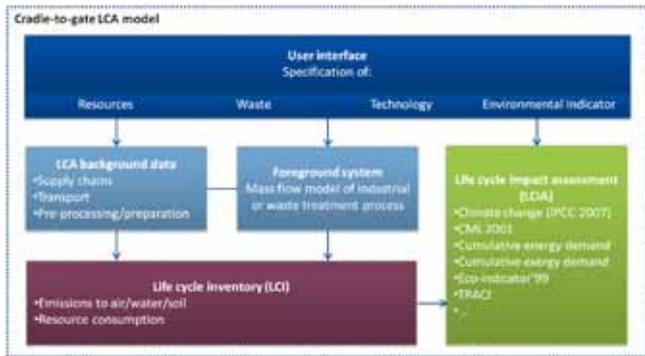
Bedarf an Engineering und Decision-Aid-Tools in der Schweizer Industrielandschaft

Die schweizerische Industrielandschaft kann bezüglich der Bedürfnissen bezüglich Energieoptimierung in die Bereiche 1a) grosse energieintensive und 1b) durchschnittlich energieverbrauchende Unternehmen, sowie 2) KMUs und 3) Energiedienstleister und öffentlichen Hand eingeteilt werden.

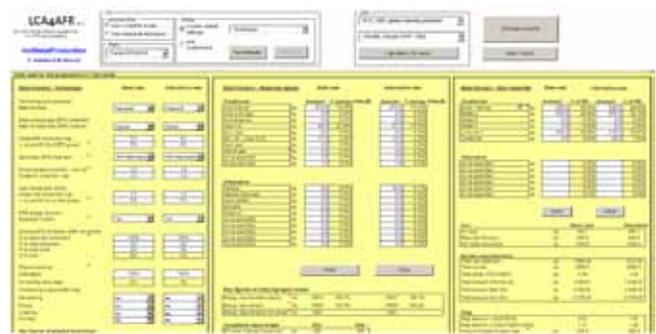
1a) Grosse energieintensive Unternehmen gibt es in der Schweiz etwa 60. Sie verbrauchen ca. 6 % des Stromes und ca. 10 % Erdgases und sind im IGEB = Interessengemeinschaft energieintensiver Branchen zusammengeschlossen. Schon aufgrund von kommerziellen Eigeninteressen fallen in diesen Betrieben Produktions- und Energieverbrauchsoptimierung zusammen. Tools wären hier vor allem zur Vereinfachung und Beschleunigung des Engineerings von Interesse, zum Beispiel für die spezifische Umsetzung

von Wärmerückgewinnungsmassnahmen. Künftig werden Engineering-Werkzeuge (Tools) für eine gezielte Implementierung (Auslegung) und Überwachung (Monitoring) von Technologien zur Nutzung von Abwärme und erneuerbaren Energiequellen wie z. B. grosse industrielle Solarpanel zur Unterstützung bei der Deckung des Wärmebedarfs, eine Nachfrage erzeugen.

1b) Bei den grossen Unternehmen mit durchschnittlichem Energieverbrauch wie z. B. chemische/verfahrenstechnische Produktionsanlagen, macht der Energieverbrauch nur einen kleinen Teil der Gesamtkosten aus (ca. 2–5 %). Energietechnische Fragestellungen sind daher eher zweitrangig. Bestimmend für Produktionsoptimierungen sind vor allem ökonomische Aspekte sowie Fragen der Sicherheit und Umwelt z. B. Schadstoffvermeidung, Gewässer-, Boden-, Luftschutz. Aufgrund von politischem Druck, schwankenden und längerfristig steigenden Energiepreisen, bestehenden und drohenden Abgaben, Verminderung von Abhängigkeiten und ökologischem Bewusstsein verlangt man heute jedoch auch mehr und mehr eine Minimierung und Ökologisierung des Energieverbrauchs. Ein grosses Hemmnis für die Umsetzung von energierelevanten Massnahmen sind jedoch die oftmals sehr komplexen, über Jahre schrittweise entstandenen Produktionsanlagen, die kaum mehr verändert werden können, oder aber bei Anpassungen ein unbekanntes Produktionsausfall- und/oder Qualitätsänderungsrisiko bergen. Die



Figur 5: Struktur des Decision-Support-Tools LCA4AFR zur Optimierung von Energie- und Abfallströmen.



Figur 6: Eingabemaske des Decision-Support-Tools LCA4AFR zur Optimierung von Energie- und Abfallströmen.

Folge ist, dass sich unternehmerisch kaum mehr abschätzen lässt, ob die allfälligen Verluste mit dem Gewinn durch eine verbesserte Energiebilanz wett gemacht werden könnten. Hier begünstigen Engineering-Werkzeuge (Tools) mit Simulations- und Analysemöglichkeiten das Verständnis des Gesamtprozesses. Damit und mit dem Aufdecken und der Kalkulation von versteckten Potenzialen, auch über die Unternehmensgrenzen hinaus (siehe unten 3), sinken Unsicherheit und Risiko, resp. wird der Entscheidungsprozess wesentlich unterstützt (Decision-Aid) und somit Massnahmen vermehrt umgesetzt.

2) Kleinere und mittlere Unternehmen haben kleinere und weniger komplexe Produktionsanlagen, so dass energetische Verbesserungspotenziale je nachdem sogar einfach erkennbar wären. Für die Umsetzung von einmaligen, tendenziell investitionsintensiven Massnahmen fehlt im eigenen Betrieb jedoch häufig die erforderliche Zeit und/oder das entsprechende Energie-Fachpersonal. Auch die Möglichkeiten zur Erarbeitung von Lösungen über den Betrieb hinaus, wie Wärmeverbundnetze, Energiespeicher- und Liefer- oder Abnahmeoptionen, die die Nutzung von erneuerbaren Quellen eventuell über Smartgrid-Technologien ermöglichen, sind beschränkt. Unterstützung durch externe Fachkräfte ist erforderlich, aber je nach dem auch aufgrund des Initialaufwandes zu aufwändig. Engineering-Werkzeuge (Tools) zur technischen und ökonomischen Analyse und Auslegung sind hier für eine Vereinfachung und Beschleunigung des Engineering- und Entscheidungsprozesses unerlässlich. Diese ermöglichen zudem aufgrund einer besseren Informationsaufbereitung den Energiedienstleistern und der öffentlichen

Hand überbetriebliche Lösungen zu erarbeiten und Investitionsentscheide optimal vorzubereiten (siehe 3. unten).

3) Energiedienstleister (Strom und andere Energieträger) und die öffentliche Hand (Gemeinden, Regionen, Kantone, Bund) tragen die Verantwortung für eine sichere und optimal ökologische Energieversorgung. Das bedingt relevante Kenntnisse, resp. die Erfassung des Quellen-, Lieferungs- (Infrastruktur-) und Nachfrage-Systems (siehe 2 oben). Natürlich sind auch graue Energieströme resp. die Materialflüsse von den Eingangsstoffen (Grundstoffe, zugelierte Produkte) bis zu den Ausgangsstoffen (hergestellte Erzeugnisse, Abfall, belastete Abwässer) zu erfassen. Diese umfassende Aufgabe lässt sich nur mehr über intelligente Inventarisierungs-, Analyse- und Optimierungswerkzeuge (Tools) bewerkstelligen, welche mehr und mehr mit den vorhandenen Datenquellen vernetzt sein müssen. Letztlich ist auch eine langfristig nachhaltige Entwicklungsplanung nur mittels solcher (Decision-Aid-)Tools, mit welchen die erforderliche Faktenbasis aufbereitet wird, möglich.

Allein schon in der Schweizer Industrielandschaft besteht auf verschiedensten Ebenen ein grosser Bedarf an Energie-Analyse-, Berechnungs- und Auslegungswerkzeugen (Engineering und Decision-Aid-Tools), denn erst diese ermöglichen die erforderliche Klärung und vor allem auch die Realisierung von energetischen Verbesserungen, durchaus auch mittels vorhandener Technologien. Der Nährboden – Bedarf und Know-how – zur Entwicklung und längerfristige Verflechtung solcher Tools, zu umfassenden IT-Systemen ist in der Schweiz sehr gut. Aktuelle Zusammenarbeiten zeigen auch, dass für den künftig verstärkten Einsatz

solcher Tools auch international kaum Grenzen gesetzt sind.

Die Schweiz, ein Land, in dem die Wertschöpfung besonders auch mittels Dienstleistungen erbracht wird, hat hier eine grosse Chance, als Vorreiter Energie-Engineering- und Decision-Aid-Services zu entwickeln und künftig zum eigenen Nutzen national anzuwenden sowie zu exportieren. Eine optimale Vernetzung der Kompetenzen und Verstärkung der relevanten Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten bis hin zu marktfähigen Produkten ist daher absolut anzustreben.

Nationale Zusammenarbeit

Aufgrund der Vielfältigkeit und Inhomogenität der Themen bestehen sowohl in der Verfahrenstechnik als auch in der Fertigungstechnik zur Zeit vor allem bilaterale Projekt-basierte Kollaborationen. Für eine Energie-fokussierte Forschergemeinschaft, welche die Verbesserungspotenziale in den industriellen Prozessen breit, systematisch und vernetzt angeht, wurde mit dem 2010 durchgeführten «Impulstag» sowie der Tagung «Effizient Trocknen» ein fortzusetzender Anfang gemacht. Besonders wichtig für die nationale Zusammenarbeit ist auch der aktive Austausch mit den bestehenden Vereinigungen und Verbänden, allen voran mit der Energieagentur der Wirtschaft (EnAW) und der Interessengemeinschaft Energieintensiver Branchen (IGEB). Es wäre wünschenswert, potentielle Forschungsthemen früh zu

erkennen und in Projekten zu lancieren. Hierzu ist auch der Austausch mit den Programmen Elektrizität, Industrielle Solarenergienutzung, Solarwärme, Energie in Gebäuden, WKK und Umgebungswärme zu intensivieren.

Die Industriebeteiligung in den Projekten ist gut. Der Grund liegt häufig in der Anwendungsnähe gewisser Themen und den guten Kontakten der Forscher zur Industrie. Allerdings ist die Anzahl von Projekten und damit die Involvierung einer grösseren Anzahl industrieller Stakeholder noch ungenügend. Die Energie und die Verbesserungsmöglichkeiten ist in der industriellen Praxis noch ungenügend thematisiert und bedarf verstärkter Kommunikation.

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 wie Voestalpine und Holcim. 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 EPFL [1] 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.

Vom BFE Forschungsprogramm aus wurde der Kontakt mit dem Implementing Agreement der Internationalen Energieagentur (IEA) Industrial Energy-Related Technologies and Systems (IETS) aufgenommen. Hierzu wurden die Exco-Meetings in Lausanne und Lissabon besucht und die Interessen der Schweiz vorgestellt. Aufgrund von vorhanden Kompetenzen in der Schweiz könnte eine Zu-

sammenarbeit in verschiedenen Annexes wie z. B. Industrial Heat Pumps, Process integration in the iron and steel industry, Process integration for SMEs, Biorefineries, LCA and tool development von gegenseitigem Interesse sein. Für die Schweiz prioritäre Themenvorschläge wurden beim 7. Forschungsrahmenprogramm eingereicht. Eine direkte internationale Zusammenarbeit resp. eine vertiefte Klärung gemeinsamer Interessen mit der EU hat noch nicht stattgefunden, da auf der Basis der verfügbaren Ressourcen entsprechende Aktivitäten zur Zeit kaum möglich wären. Eine zunehmende Beteiligung an den Ausschreibungen des 7. Forschungsrahmenprogramms z. B. in spezifischen Materialtechnologien, Anwendungen mit Erneuerbaren Energien etc. muss künftig vermehrt geprüft werden.

Ein internationales Highlight war die Durchführung des ECOS 2010 «23rd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems» vom 14.–17. Juni 2010 an der EPF in Lausanne (www.ecos2010.ch). Das ECOS 2011 findet am 4.–7. Juli in Novi Sad, Serbien statt (www.ecos2011.com).

Referenzen

[1] Raffaele Bolliger: *Méthodologie de la synthèse des systèmes énergétiques industriels* Diss 4867 EPFL (2010).

BFE Forschungsprogramm Industrielle Prozesse

Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Martin Pulfer (BFE), Dr. Michael Spirig, Fomenta AG (m.spirig@fomenta.ch)

Bereichsleiter BFE:

Martin Pulfer (martin.pulfer@bfe.admin.ch)

www.bfe.admin.ch/forschungsverfahrenstechnik

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.



Erneuerbare Energien Sources d'Énergie Renouvelables

Chaleur solaire et Stockage de chaleur

Jean-Christophe Hadorn



Mesure d'absorbeurs solaires au SPF à Rapperswil

La mesure d'un absorbeur sélectif et d'un non sélectif permet de déduire les pertes radiatives et de mieux évaluer les effets convectifs. L'absorbeur peut être utilisé en capteurs solaires et en échangeur thermique de pompe à chaleur.

Introduction

Le marché solaire thermique suisse progresse fortement depuis 2006 (60'000 m² de capteurs installés). En 2009 ce sont 170'000 m² qui ont été installés, principalement des capteurs plans vitrés et 10'000 m² de capteurs sous vide [9]. La Suisse exporte environ 100'000 m² de capteurs (80 % de capteurs plans, 20 % de capteurs sous vide) et en importe 60'000. En Suisse il y a eu 14'800 installations réalisées en 2009. Ce sont principalement des installations d'eau chaude sanitaire pour la villa (39 %), des systèmes combinés pour la villa (23 %) et d'eau chaude sanitaire pour les immeubles (27 %). Plus de 10'000 installations comprennent moins de 10 m² de capteurs, plus de 2500 ont entre 11 et 20 m² et le reste, soit environ 15 % dépasse 21 m². Il n'y a eu en 2009 que 31 installations de plus de 31 m². Nous sommes donc un pays de petites installations surtout pour l'eau chaude et le chauffage de villas et notre programme reflète dans ces choix cette orientation de marché.

Deux tendances de marché sont à observer : d'une part l'obligation de solaire pour une part de l'eau sanitaire dans les nouvelles constructions dans certains cantons (par exemple: VD, GE) et d'autre part les nouvelles constructions ont fait appel à 70 % à la pompe

à chaleur comme moyen de chauffage, avec un regain d'intérêt pour les pompes à chaleur air/eau qui ont des performances hivernales qui s'améliorent. Ainsi la combinaison solaire et pompe à chaleur pour la villa constitue-t-elle un axe que nous soutenons conformément aux orientations de la CORE [8].

La recherche européenne en énergie solaire thermique a été orientée vers l'amélioration des performances des systèmes, le développement de nouveaux capteurs solaires thermiques à air, les travaux sur différentes conceptions de capteurs solaires hybrides thermiques et photovoltaïques, la faisabilité et la durabilité de capteurs à base de polymères, la compréhension du comportement des dispositifs de charge et décharge de cuves solaires, les matériaux pour le stockage thermique, l'introduction du solaire dans les grands réseaux de chauffage à distance, les assurances de qualité des installations, les solutions pour limiter les conséquences de la stagnation dans les capteurs et les champs de capteurs, et la climatisation solaire. La recherche suisse est en phase avec les axes européens, et les contributions de nos équipes sont appréciées.

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 et s'adresse à la couverture des besoins en chaleur dans les bâtiments par des solutions solaires actives. Le solaire peut contribuer à une part importante des besoins en énergie de la Suisse, et notamment entre 10 et 60 °C.

Les axes de recherche et développement du programme pour 2008 - 2011 sont l'amélioration des performances et de la durabilité des capteurs et des composants de la boucle solaire, le développement de nouvelles couches pour les capteurs, aux propriétés exceptionnelles, la recherche de systèmes et composants standardisés pour la production de chaleur ou de froid solaire, une meilleure intégration des capteurs dans les bâtiments et dans les systèmes de chauffage existants, notamment dans les combinaisons solaire-bois et solaire-pompe à chaleur, le stockage compact de chaleur et l'amélioration des solutions existantes en matière de stockage solaire et enfin les outils de simulation de projet.

Revue et évaluation 2010

Les buts poursuivis en 2010 ont été :

- la caractérisation de la première nanocouche thermochromique sur un support métallique ;
- le test du nouveau capteur entièrement en plastique ;
- le suivi du projet international d'intégration architecturale des capteurs en couleur ;
- l'étude des transferts thermiques autour des échangeurs immergés dans les cuves solaires ;
- le démarrage des travaux sur les modules externes de préparation d'eau chaude sanitaire ;
- le démarrage de la Tâche 44 « Solar and heat pump systems » de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) dans le programme Solar Heating and Cooling (SHC) et HPP (Heat pump programme) ;
- les conclusions de deux projets de recherche en froid solaire ;
- la sortie du logiciel combiné LESO-SAI-POLYSUN.

Tous les objectifs ont été atteints.

Perspectives 2011

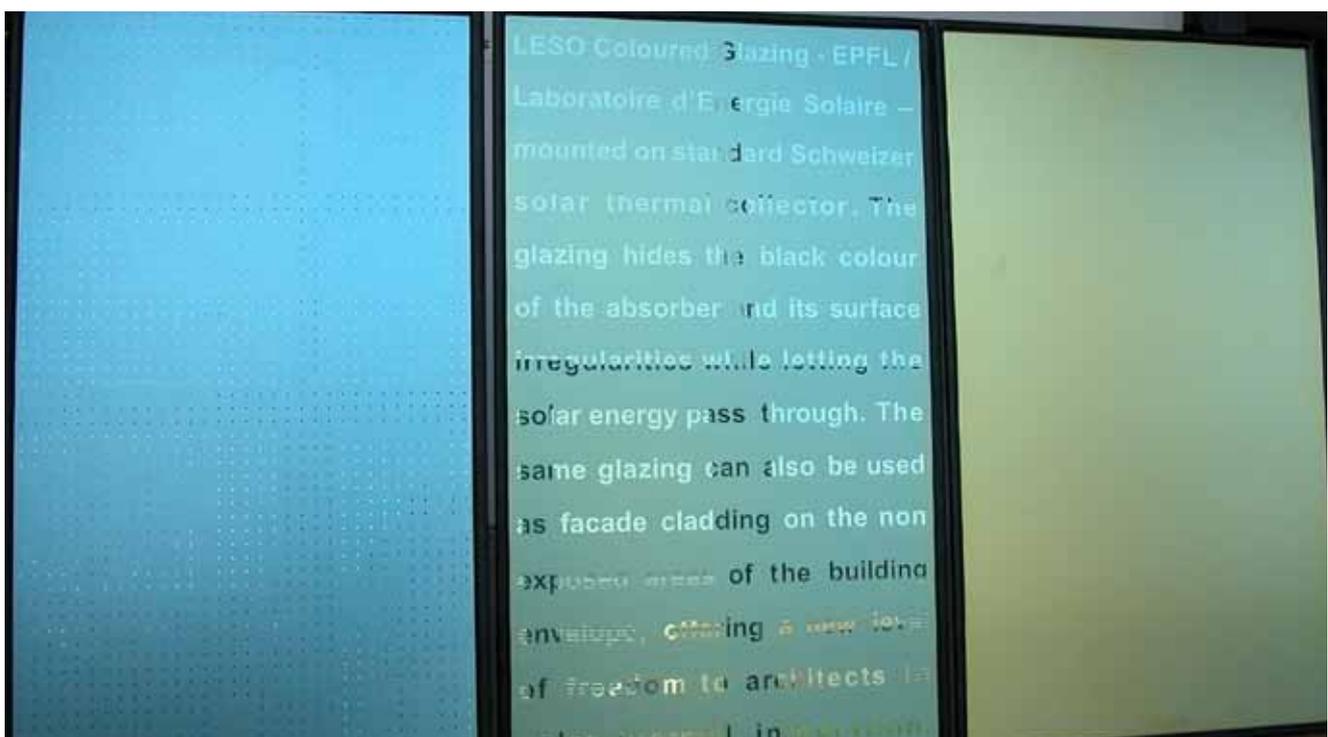
En 2011 nous verrons les premiers résultats de la Tâche 41 (« Solar energy and architecture ») et de la Tâche 44 (« Solar and heat pump systems »). La Tâche 44 devrait avoir défini son référentiel et ses outils pour la simulation et commencé à comparer des solutions de configuration pour la combinaison de capteurs solaires et d'une pompe à chaleur. Les projets suisses dans cette tâche auront leurs premières mesures notamment à Rapperswil et à Yverdon.

Les couches nanométriques permettant la thermochromie sur des supports métalliques verront seront prouvées, car les résultats 2010 le laissent entrevoir.

Nous verrons quel système de préparation d'eau chaude sanitaire externe à la cuve de stockage semble se dégager comme le meilleur et les améliorations possibles sur les échangeurs immergés.

Le projet de stockage en soude verra le terme d'une première étape de faisabilité et la décision de poursuite dépendra des résultats et du financement possible.

Les données satellitaires les plus récentes auront pu être utilisées pour affiner les algorithmes de prévision du rayonnement sur tout point du globe dans une nouvelle Tâche IEA SHC.



Points forts 2010

>> Liste des projets

En 2010 plusieurs projets ont abouti. Nous en présentons trois dans ce chapitre : le Leso maîtrise la conception et la production de verre solaire de couleur, le Lesbat a montré les limites de la climatisation solaire thermique individuelle en Suisse, et le marché dispose désormais d'une version de Lesosai avec « Polysun inside ».

Capteurs solaires en couleur et intégration architecturale

Le Leso de l'EPFL travaille sur les possibilités de production et d'intégration des capteurs solaires en couleur dans une phase III. Cette phase avait pour but d'une part de transférer le procédé de fabrication de verres solaires de couleur à une industrie et d'autre part d'évaluer les conditions pour une intégration architecturale réussie.

En ce qui concerne la réalisation des couches interférométriques que nous avons développées au LESO depuis 2004, il s'est agi en 2010 de mettre au point un procédé industriel de production et de le transférer. Une machine a été conçue et fabriquée au Leso. Les tests réalisés se sont avérés très concluants et ont montré qu'il était possible d'obtenir des couches plus ou moins complexes par un nouveau processus. Les couches réalisées sont, grâce à un vide poussé obtenu sur

l'équipement du Leso, de grande qualité, c'est-à-dire avec une haute pureté tout en conservant une bonne homogénéité du dépôt sur toute la surface. La vitesse de déposition est un paramètre important pour la production et doit être optimisée. Elle est mesurable in-situ à l'aide d'une microbalance à quartz. De plus les courbes de transmittance mesurées correspondent bien aux courbes calculées selon la théorie développée dans le projet durant les années précédentes.

La très bonne concordance entre théorie et mesure a permis de développer des couleurs inédites mais prévisibles ou présentant un meilleur accord avec les fenêtres commercialement disponibles. Tout l'enjeu de ces simulations 2010 a été de définir des filtres présentant à la fois une excellente transmittance solaire, donc ne reflétant que très peu d'énergie solaire qui sera perdue, et une coloration angulairement stable, donc donnant un aspect homogène quel que soit l'angle de vue. Ce qui a été réussi. Le procédé est maîtrisé et prévisible.

Une autre partie importante du projet consistait à identifier les producteurs de verre blanc capables de fournir un produit avec un côté diffusant et un côté lisse, et dont la transmission énergétique soit satisfaisante. Ceci a été fait avec une campagne auprès de 33 fabricants de verre en Europe

! Une solution a été trouvée avec un verre répondant au cahier des charges. Dans l'intervalle l'équipe théorique du projet a découvert un procédé diffusant sur du verre extra blanc donc plus commun, procédé qui est brevetable. Avec un partenariat industriel créé en 2009 à partir de la licence accordée l'an passé par l'EPFL pour la couche en couleur, il est étudié l'intérêt de recourir à ce procédé en sus de la couleur, plutôt que d'acheter un verre adapté. La commercialisation de verres solaires de couleur pourraient débuter dans les mois qui viennent.

Du côté de l'intégration architecturale, des travaux en liaison avec la Tâche IEA 41 « Solar Energy and Architecture » ont été menés. Ceci permet aussi de faire connaître à l'international nos découvertes et avancées. Afin de mieux cerner les possibilités de ces nouveaux verres de couleur quasi libre au niveau de l'architecture, plusieurs simulations graphiques ont été réalisées sur des bâtiments de types différents et présentées lors des réunions de la Tâche 41.

Des progrès notables ont été accomplis dans cette phase 3 pour la maîtrise des couches de couleur et leur production par 3 méthodes différentes (procédé sol-gel, évaporation sous vide et pulvérisation à magnétron). Le Leso maîtrise les 3 techniques en laboratoire dans ce projet initié en 2004 et que nous espérons pouvoir poursuivre si le financement le permet tant les possibilités des nanocouches sont encore à découvrir. Le transfert d'une technique à un partenaire industriel est envisagé.

Les objectifs annoncés du présent projet étaient donc les suivants de maîtriser les couleurs et les transmissions énergétiques des filtres interférentiels en couches minces par au moins 2 procédés différents, de sélectionner différents verres et traitements diffusants à utiliser en conjonction avec les filtres en couches minces, de tester la durabilité et la tolérance au trempage des verres traités, d'étudier les conditions d'utilisation des verres en façades (normes) en Suisse et en Europe et de proposer des solutions architecturales pour quelques applications particulièrement intéressantes.

Il était en outre prévu de préparer réparation une installation-pilote par exemple une façade de capteurs en



Figure 1 : échantillons de verre solaire de couleur réalisés au Leso EPFL.

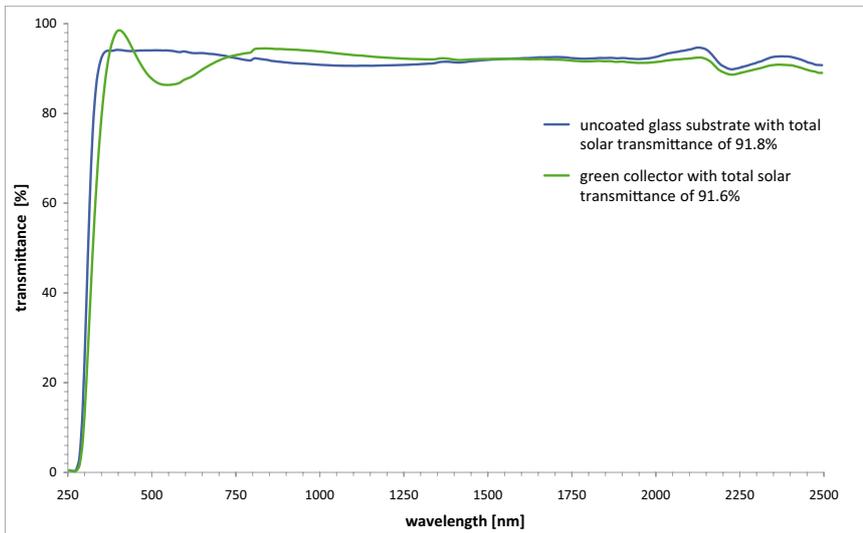


Figure 2 : courbes de transmission du verre non-traité et après deposition d'un filtre de couleur aux propriétés solaires. Le filtre fait globalement perdre très peu d'énergie transmise.

couleur si les critères d'utilisation et de sécurité ont été satisfaits.

Tous les objectifs ont été atteints sauf la réalisation d'un test de capteur solaire avec verre industriel de couleur et la préparation d'une installation pilote, l'industriel n'étant pas encore prêt à livrer des verres en couleur de taille suffisante. Ceci devrait être possible en 2011 mais nous ne maîtrisons pas le calendrier [1,2,3].

Solcool - Climatisation solaire thermique en Suisse

Le projet SolCool « climatisation et chauffage par combisystèmes » débuté en 2007 par le Lesbat de la HEIG-VD d'Yverdon a été achevé. Ce projet a été une contribution de la Suisse à la Tâche 38 de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE), intitulé « Solar Air-Conditioning and Refrigeration » et qui a duré 3 ans. Solcool avait pour but d'évaluer la possibilité de la réfrigération solaire thermique dans les conditions suisses. De nouvelles machines adaptées aux températures d'une boucle solaire sont sur le marché depuis 2005 et il était nécessaire que nous testions une boucle complète dans nos conditions. Les attentes de certains concernant la climatisation solaire thermique étaient en effet grandes. Une boucle de froid solaire pour une villa fonctionne-t-elle ? Avec quelles difficultés ? Avec quelles performances ? A quel coût ? Avons nous les conditions climatiques adap-

tées ? L'énergie grise d'une installation est-elle prohibitive ?

Les principales étapes de Solcool au Lesbat de l'école HEIG-VD sont typiques d'un projet de recherche sur une installation solaire. Elles ont été :

Développement et mise en service d'un stand d'essais permettant de tester une machine de climatisation solaire à adsorption. Nous testons par ailleurs au SPF à Rapperswil une installation comparable mais à absorption. Ce stand de tests a la particularité de pouvoir émuler les composants principaux d'un système, à savoir le bâtiment, le champ de capteurs solaires et le circuit de refroidissement. Il inclut un

programme d'acquisition de mesures et de gestion du fonctionnement permettant de faire travailler le système de manière reproductible, ceci grâce à l'intégration de simulations TRNSYS directement en temps réel dans la boucle de commande et d'acquisition.

Analyse d'une machine parmi les plus avancées en Europe, commercialisée par Sortech Allemagne, spin-off du Fraunhofer ISE de Freiburg, pour en connaître les performances avec étude de sa sensibilité à certains paramètres (type de capteur, régulation, températures, facteur de charge, etc.)

Validation d'un modèle de simulation intégrant le modèle à développer d'une machine thermique à sorption pour TRNSYS.

Définition d'une installation de référence composée d'une machine Sortech pour garantir les besoins en froid durant l'été et d'une chaudière pour les besoins en ECS (eau chaude sanitaire) et en chauffage.

Comparaison de l'installation de référence avec d'autres installations susceptibles de produire du froid et du chaud, dans deux climats différents (Zürich et Barcelone). Il a été choisi de comparer l'installation solaire thermique avec une installation de froid électrique à compression en été et avec chauffage hivernal au gaz, une pompe à chaleur réversible « air/eau » et une pompe à chaleur réversible avec sonde géothermique qui est la solution dont on peut penser qu'elle rencontrera un marché dans les années à venir.

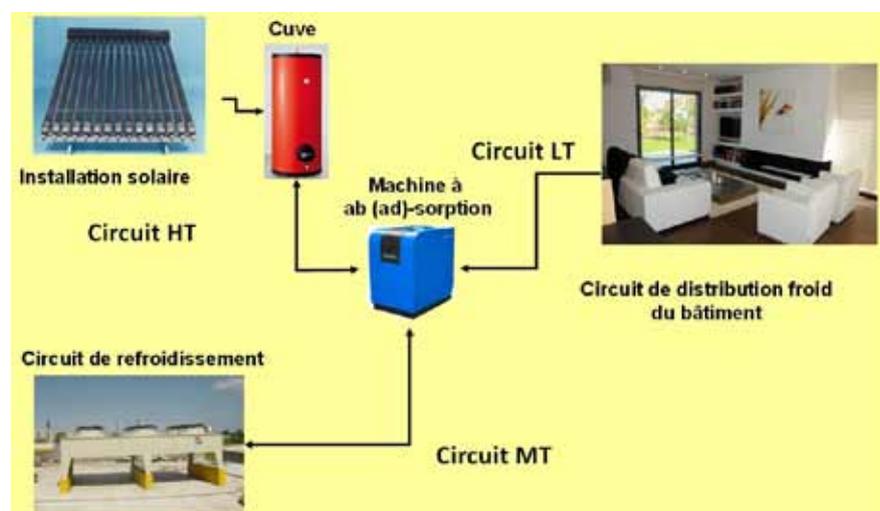


Figure 3 : configuration typique d'une installation de climatisation solaire thermique réalisée au Lesbat HEIG-VD.

Ces comparaisons ont été analysées selon trois axes : (i) critère de la consommation énergétique en tenant compte de la production de froid pour climatiser, de chaud durant la période de chauffage et d'eau chaude sanitaire tout au long de l'année, (ii) critère des impacts environnementaux, soit l'écobilan des installations en tenant compte des matériaux et de l'énergie consommée durant le cycle de vie des installations, (iii) critère financier en tenant compte des frais d'investissement, des annuités, des frais de fonctionnement et du renchérissement supposé du prix de l'énergie.

L'installation est composée d'un circuit émulant des capteurs solaires vitrés (puissance 20 kW), d'un circuit émulant un bâtiment type (puissance 10 kW), d'un circuit d'évacuation de la chaleur avec aéro-refroidisseur (refrigerateur de puissance 14.4 kW), d'une cuve de stockage solaire de 300 l, d'un combisystème solaire type Arpège de 1000 l pour tester la combinaison avec le reste des équipements, et d'une machine à adsorption de 8.9 kW dans un premier temps, qui n'a pas donné satisfaction après des mois de test et que le fabricant a accepté de remplacer par un modèle de 13.5 kW plus abouti.

Le comportement de l'ensemble a été délicat à stabiliser. De nombreux réglages à partir des mesures ont été effectués et une bonne solution trouvée par le Lesbat. Les différents travaux effectués durant ce projet ont permis de montrer les limites actuelles d'une installation de climatisation solaire à adsorption. Pour la Suisse, l'intérêt de la

climatisation solaire varie en fonction du critère étudié. Concernant les émissions de gaz à effet de serre (GWP), la climatisation solaire par adsorption avec un appoint gaz n'est pas compétitive par rapport aux solutions avec PAC (pompe à chaleur) réversibles. Cependant celles-ci ne sont pas encore répandues il faut le relever. Même avec un appoint bois, la solution solaire thermique resterait supérieure aux solutions PAC car la part des impacts des matériaux de l'installation de climatisation solaire est trop importante. Par contre, l'énergie primaire totale de la climatisation solaire est similaire à celle d'une PAC réversible « air/eau », et légèrement supérieure à une solution avec PAC réversible avec sonde géothermique. Par contre, du point de vue économique, la climatisation solaire n'est pas compétitive, car le coût du kWh de froid produit par une telle installation est actuellement environ 3 à 4 fois supérieure au prix que l'on peut obtenir avec une PAC réversible « idéale ».

La situation est différente pour un climat plus méditerranéen, comme Barcelone, où la production de froid est plus importante et celle de chaud plus faible. Dans ce cas, la climatisation solaire par adsorption est une alternative intéressante que ce soit du point de vue énergétique, environnemental et probablement financier. Ce dernier point devrait être confirmé, car il se base sur une estimation et pas sur une analyse précise, analyse sortant du cadre de ce projet à portée suisse avant tout [4].

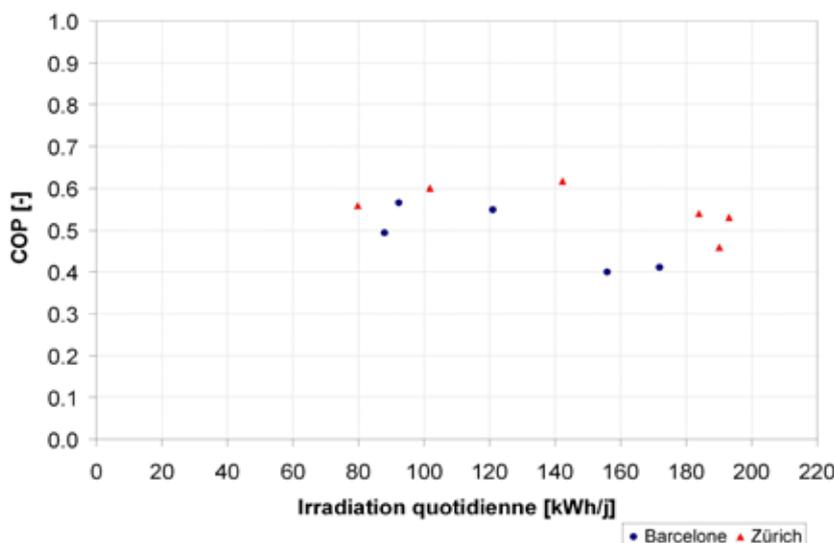


Figure 4 : COP de la machine thermique de climatisation solaire en fonction de l'irradiation quotidienne dans 2 climats différents.

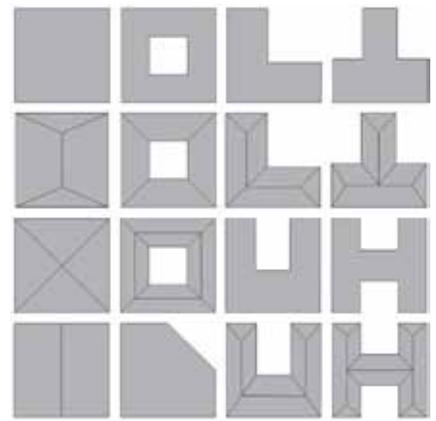


Figure 5 : nouvelle interface de LESOSAI pour choisir aisément une configuration de toit avec capteurs solaires.

Nouvel outil intégré de calcul: LESOSAI et POLYSUN

Le projet « Lesosai - Polysun Simulation Tools for Architects » est terminé.

Il s'agissait d'améliorer les outils de projet pour les architectes et ingénieurs de telle sorte que le solaire thermique soit plus facile à planifier et intégrer dans la réflexion dès le début du projet, lorsque sont effectués les premiers calculs d'enveloppe du bâtiment.

Des éléments du logiciel Polysun qui calculent les installations solaires thermiques et dont l'OFEN est à l'origine, ont été placés dans Lesosai, un outil répandu de calcul des bilans énergétiques des bâtiments, de telle sorte que les utilisateurs de Lesosai puissent effectuer rapidement des calculs intégrant des installations solaires thermiques au stade de leur avant-projet de bâtiment.

Les objectifs de ce projet de recherche étaient de trouver la meilleure solution pour mettre dans un seul outil le modèle énergétique des bâtiments et le calcul de tous les gains solaires actifs et passifs « solaire » (fenêtres, capteurs solaires thermiques et photovoltaïques), permettant à l'utilisateur d'optimiser son projet en générant et simulant un jeu complet de variantes solaires actives et passives, de rechercher l'interface utilisateur de Lesosai le plus adéquat et simple, et ce faisant diminuer le besoin de données en fournissant des valeurs par défaut très fréquentes pour les systèmes solaires et les éléments de construction,

et enfin d'élargir l'utilisation de l'outil intégré en direction de la communauté des architectes qui l'utilisent encore trop peu.

Chacun des trois partenaires du projet (Leso-PB pour l'interface, Vela Solaris pour Polysun, E4tech pour Lesosai) ont atteint leurs objectifs projetés avec des résultats très satisfaisants.

Vela Solaris a produit un module « Polysun inside » qui a été conçu et utilisé pour ce projet dans Lesosai. La conception de ce module lui permettra d'être utilisé avec d'autres programmes de simulation que Lesosai et ainsi élargir son marché.

E4tech a lancé avec succès la version 7 de Lesosai, qui comprend à la fois « Polysun Inside » et un module nouvellement développé dit « magicien » pour faciliter et simplifier le travail de décrire tout un bâtiment en Lesosai. Cette nouveauté s'adresse tout spécialement aux architectes. L'interface a été entièrement revue et l'intégration de Polysun permet des calculs de solaire actif impossible précédemment.

Le Leso-PB a coordonné ce projet et a développé le concept ergonomique et l'interface graphique de la nouvelle interface graphique de Lesosai. Le nouveau concept comprend des recommandations recueillies après une enquête auprès d'un échantillon d'utilisateurs, conçue et menée avec l'aide de E4tech, dans le cadre de ce projet, pour que le nouveau produit colle aux besoins réels du marché.

Une analyse de 7 logiciels sur le marché a été faite de manière à déterminer le meilleur interface possible pour Lesosai 7. Ce sont : ecotect, design builder, eQuest, BM clima energia, EnerCad, Thermolog Epix, et IES.

Polysun a été développé à un point nouveau : celui d'un moteur pouvant être intégré à tout autre logiciel et en outre avec un algorithme de recherche d'optimums basé sur la méthode dite « Particle Swarm Optimisation ». Cette avancée va permettre à ce produit suisse de s'ouvrir de nouveaux segments de marché. Il est déjà intégré dans 4 logiciels allemand, autrichien et désormais suisse.

La société Vela Solaris qui a poursuivi le développement de Polysun après le SPF a ainsi nettement professionnalisé son offre et nous souhaitons la diffusion du logiciel que le programme de l'OFEN a lancé et soutenu depuis près de 15

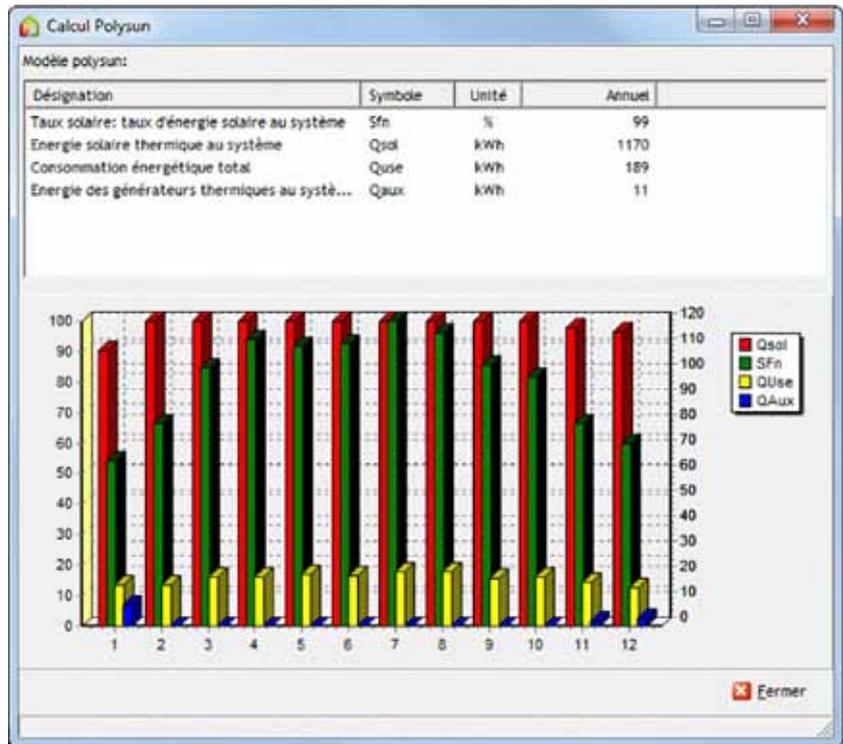


Figure 6 : résultats de simulation de POLYSUN désormais intégré dans LESOSAI pour faciliter le projet solaire.

ans. Polysun peut aussi être utilisé en interactif sur internet en une version bridée, avec le même moteur Java. Le projet de recherche a utilisé des outils existants pour en faire un meilleur en combinaison en se fondant sur une enquête utilisateurs pour définir les besoins. Il est encore trop tôt pour avoir les retours du marché mais les premiers sont encourageants quant à la réussite [5,6,7].

Collaboration nationale

Le SPF est en relation constante avec l'industrie solaire suisse pour les tests de capteurs et de composants.

Le SPF a organisé à Rapperswil en janvier 2010 un jour de l'industrie durant lequel sont exposés tous les projets en cours, qui a réuni plus de 80 personnes.

Le SPF participe à un comité européen de normalisation (NK 144). Il est aussi un membre actif du réseau Brenet et dans le cadre des symposiums Brenet plusieurs communications ont été faites, qui participent de la dissémination des résultats du SPF en Suisse.

En Suisse les travaux sur les capteurs solaires en couleur ont également été présentés et servi d'exemple de développement ciblé « architecture » lors de plusieurs workshops « BiSol » organisés par le SUPSI avec la collaboration du LESO durant 2010.

La nouvelle version dit 7.0 de Lesosai a été présentée dans un workshop spécifique à l'EPFL en automne 2010. Ce projet a réuni trois entités de nature différente : un laboratoire de l'EPFL, une société de logiciel solaire actif et une société de logiciel pour le bâtiment.

Le projet des capteurs solaires en couleur est mené par le Leso de l'EPFL avec un partenaire industriel qui est une start-up basée à Lausanne qui pourrait prendre le risque d'investir sur une unité de production de verres en couleur basée sur une technologie développée dans un programme OFEN. Le SPF a travaillé sur un projet de capteur en plastique extrudé avec une grande société chimique suisse

Le Lesbat d'Yverdon collabore avec un fournisseur suisse pour une recherche sur la meilleure combinaison solaire et pompe à chaleur pour la production d'eau chaude sanitaire.

Collaboration internationale

La plupart des projets de notre programme participe à des tâches de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) dans le programme SHC « solar and heating cooling ».

Meteotest et l'Université de Genève participent aux travaux de la Tâche 36 sur les données satellitaires et participeront si le financement le permet à la Tâche 46 qui se met en place.

Le SPF participe très activement aux travaux de la Tâche IEA SHC 39 sur les nouveaux matériaux pour le solaire. Cette tâche est importante pour le futur de l'industrie solaire dans le monde qui pourrait devoir faire face à des coûts élevés du cuivre puis de l'aluminium et sera poursuivie.

La Haute Ecole Nord-Ouest de Muttenz participe à la Tâche 40 « Towards Net Zero Energy Solar Buildings ».

Dans le cadre des activités du LESO dans la nouvelle Tâche 41 « Solar Energy and Architecture », les travaux et les résultats du projet des capteurs de couleur ont été présentés à plusieurs groupes de spécialistes internationaux, lors de meetings et de groupes de travail (joint meeting Tasks 40&41). Le Leso dirige en outre une sous-tâche de la Tâche 41 consacrée à l'intégration architecturale des éléments solaires actifs.

L'EMPA et le SPF prennent part aux travaux de la Tâche 42 qui vise à trouver des matériaux pour le stockage de chaleur.

Le SPF participe aux comités de normalisation européens qui concernent les capteurs solaires (TC 312). Il fait également partie du réseau de « Solar Keymark » le label européen qui s'est imposé depuis 10 ans comme la réfé-

rence. A ce titre il reçoit fréquemment des groupes d'experts à Rapperswil et visitent les principaux laboratoires solaires d'Europe. Il participe aussi au projet européen Qaist sur la qualité des composants des systèmes avec pompe à chaleur mais comme observateur faute de financement important. Le SPF participe au projet EU « Combisol » comme observateur.

Nous avons 4 laboratoires suisses participant à la Tâche 44 « Solar and heat pump systems » que nous dirigeons. Il s'agit d'une tâche du « Solar heating and cooling programme » combinée avec l'annexe 38 du programme « Heat Pump » de l'AIE.

Le SPF participe à la Tâche 43 « Solar Rating and Certification Procedure » mais avec des moyens limités malheureusement.

Dans le domaine du solaire thermique il n'y a que peu d'appel d'offres EU. Le domaine du stockage de chaleur s'ouvrira peut-être en 2011.

Le Lesbat d'Yverdon a collaboré dans le projet Solcool à la meilleure compréhension d'une machine de la société Sortech d'Allemagne.

Dans le projet « Thermohydraulik von Solaranlagen » l'ETHZ effectue une recherche sur le comportement du circuit solaire en stagnation en collaboration avec l'Université de Dresde.

Participation suisse dans le programme IEA-SHC Solar olar Heating and Coolingwww.iea-shc.org

Annex / Task	Délégué suisse
Solar Resource Knowledge Management	Meteotest / UNI Genève
Solar Air-Conditioning and Refrigeration	HEIG-VD Lesbat / HSR SPF
Polymeric Materials for Solar Thermal Applications	HSR SPF / EPFL Leso-PB
Towards Net Zero Energy Solar Buildings	FHNW IEB
Solar Energy and Architecture	EPFL Leso-PB / SUPSI-DACD-ISAAC / HSLU / VELA SOLARIS AG
Compact heat storage	Empa / HSR SPF
Solar Rating and Certification Procedure	HSR SPF
Solar and Heat pump systems	HSR SPF / HEIG-VD Lesbat / FHNW IEB / HTA Fribourg / ES SA / BASE SA
Solar Resource Assessment and Forecasting	Meteotest / UNI Genève

Références

[1] A. Schüler, *Nanostructured inorganic thin films in solar energy conversion - Part I : Vacuum deposited selective absorber coatings*, Winter College on Optics and Energy, The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics ICTP Trieste, 8-19 February 2010.

[2] A. Schüler, *Nanostructured inorganic thin films in solar energy conversion - Part II : Sol-gel coating for solar thermal and photovoltaic applications*, Winter College on Optics and Energy, The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics ICTP Trieste, 8-19 February 2010.

[3] MC. Munari Probst, Ch. Roecker, *Revue d'architecture « Detail Green » 01/10 « Architectural Integration of Solar thermal systems »*.

[4] S. Citherlet, C. Hildbrand, J. Bony, A. Kleijer, M. Bunea, S. Eicher, Lesbat, HEIG-VD, Yverdon : *Solcool - Climatisation et chauffage par combisystème*, 23 décembre 2010, 218 pages.

[5] A. Witzig, U. Stöckli, S. Geisshüsler, J. Thaler: *Solarsimulation in verschiedenen Anwendungsbereichen: Polysun als universelles Plugin*. Publikation im Tagungsband des 19. Symposiums für Thermische Solarenergie des OTTI, 6. bis 8. Mai 2009, Kloster Banz, Bad Staffelstein, Deutschland. <http://www.velasolaris.com/vs2/files/2009-05-otti-solarthermie-polysun-plugin.pdf>.

[6] F. Foradini, *BiSol workshop in Lugano*, 16-17 Nov. 2009 « Lesosai 7.0: Les outils de simulation dédiés aux architectes ».

[7] F. Foradini, *Workshop at EPFL in Lausanne*, 29-09-2010 « Lesosai 7.0: official release ».

[8] Eidgenössische Energieforschungskommission CORE: *Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011*, Bundesamt für Energie, 2007.

[9] Swissolar, *Le recensement du marché de l'énergie solaire en 2009*, juillet 2010.

Programme de recherche de l'OFEN Chaleur solaire et Stockage de chaleur

Rapport de synthèse 2010

Mandant :

Office fédéral de l'énergie OFEN
CH-3003 Berne

Chef de programme (auteur) :

Jean-Christophe Hadorn, BASE CONSULTANTS SA (jchadorn@baseconsultants.com)

Responsable de domaine de l'OFEN :

Andreas Eckmanns (Andreas.Eckmanns@bfe.admin.ch)

www.bfe.admin.ch/forschungsolarwaerme/

L'auteur de ce rapport porte seul la responsabilité de son contenu et de ses conclusions.

Photovoltaik

Stefan Nowak



Eine Vision wird Realität: Die Photovoltaik hebt ab ...

Im Jahr 2010 konnte das Forschungsprogramm Photovoltaik auf 25 Jahre Pioniergeist und Innovation in Forschung, Entwicklung und Umsetzung zurückblicken. Im Jubiläumsjahr wurde ein symbolhafter Meilenstein erreicht: Im Juli 2010 führte das Solarflugzeug Solar Impulse von Bertrand Piccard einen ersten Tag- und Nachtflug durch und blieb insgesamt 26 Stunden in der Luft. Modernste Technologien der Materialien, der Konstruktion, der Photovoltaik, des effizienten Energieeinsatzes, der Energiespeicherung und des Energiemanagements erlaubten diesen wichtigen Erfolg. Initiative, Pioniergeist, Risikobereitschaft und der feste Glaube an ein Ziel sind die menschlichen Attribute, welche die Grundlage dazu bilden. Das Beispiel zeigt stellvertretend für die gesamte Entwicklung der letzten 25 Jahre, wie Erfolge erzielt werden können (Quelle: www.solarimpulse.com).

Einleitung

Die Photovoltaik ist sowohl wissenschaftlich-technisch wie industriell und marktbezogen eine viel diskutierte und sehr dynamische Technologie. Vor dem Hintergrund einer rasch wachsenden, global orientierten Industrie findet weltweit eine intensive Forschung statt, welche als Hauptziel die Kostenreduktion und die rasche Industrialisierung der Photovoltaik verfolgt. Dabei geht es einerseits um die anhaltende Weiterentwicklung der bestehenden Photovoltaik-Technologien sowie die Erforschung 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. Immer häufiger bilden auch systemübergreifende Aspekte wie die Netzintegration, die Speicherung oder energetische Konzepte im Gebäude Themen der Forschung. Aufgrund des anhaltenden Marktwachstums werden neue Erkenntnisse und Resultate aus der Forschung möglichst rasch in die Industrie übergeführt.

Die Photovoltaik als möglicher wesentlicher Pfeiler einer nachhaltigen Stromversorgung hat in relevanten Szenarien weiter an Bedeutung gewonnen: Die im Jahr 2010 publizierte Photovoltaik-Roadmap der IEA [1] spricht bis 2050 von einem möglichen Beitrag von mehr als 10 % zur weltweiten Stromversorgung, ein Wert der von vielen Akteuren aus der Photovoltaik als untere Grenze angesehen wird. Nicht überall hat sich diese Meinung allerdings durchgesetzt, so dass die Photovoltaik und ihre Aussichten weiterhin Gegenstand der öffentlichen Diskussion sind.

Die Photovoltaikforschung in der Schweiz konnte im Jahr 2010 auf ihr 25-jähriges Bestehen als themenspezifische Forschung zurückblicken. In diesen 25 Jahren hat sich eine starke

Schweizer Position in verschiedenen Gebieten der Photovoltaikforschung herausgebildet: Im Vordergrund stehen die Entwicklungen und Ergebnisse von mehreren 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 nebst der Forschung an Instituten und Hochschulen auch seitens der Industrie eine intensive Technologieentwicklung statt, welche mittlerweile zu einer entlang der ganzen Wertschöpfung der Photovoltaik bedeutenden Schweizer Industrie geführt hat.

Laufende Aktivitäten in Forschung und Entwicklung sowie Projekte im Bereich von Pilot- und Demonstrationsanlagen umfassen im Berichtsjahr 2010 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 KTI- und EU-Projekte im Forschungsprogramm Photovoltaik eine tragende Rolle.

Das Schweizer Forschungsprogramm verfolgt in der Periode 2008–2011 die folgenden Ziele [2,3]:

- 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 256 ff.):

(1a-e) Solarzellen

Verschiedene materialspezifische Ansätze zu Dünnschicht-Solarzellen stellen hier den wichtigsten Schwerpunkt dar (Silizium, Verbindungshalbleiter, Organische Materialien). Verstärkt werden Heteroübergänge zwischen Dünnschicht- und kristallinen Schichten untersucht. Organische und Polymersolarzellen als mögliche langfristige Technologieoptionen gewinnen an Bedeutung. Neu findet Grundlagenforschung auch an elektrochemisch abgegrenzten Schichten statt.

(2a-e) Module und Gebäudeintegration

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.

(3) Elektrische Systemtechnik

Bei der elektrischen Systemtechnik, insbesondere bei Wechselrichtern, steht die Qualitätssicherung 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.

(4) Begleitende Themen

Zum einen geht es hier um relevante technische und nicht technische Themen zur Marktentwicklung (z. B. Hilfsmittel, Monitoring, Umweltpunkte). Andererseits sind hier auch auf andere Energiethemen übergreifende Projekte (z. B. Gebäude, Mobilität, Speicherung) angesiedelt.

(5) Institutionelle internationale Zusammenarbeit

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).

Das Forschungsprogramm Photovoltaik setzt sich weiter zum Ziel, zu den einzelnen Teilbereichen Kompetenzzentren mit nationaler und internationaler Ausstrahlung zu fördern. Im Jahr 2010 sind dies das Photovoltaik-Labor (PV-Lab) an der Eidgenössische Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) (Silizium-Dünnschicht-Solarzellen), das Institut of chemical sciences and engineering (ISIC) an der EPFL (Farbstoff-Solarzellen), die Empa (Verbindungshalbleiter- und organische Solarzellen), die Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana (SUPSI, Solarmodule) und die Berner Fachhochschule HTI Burgdorf (elektrische Systemtechnik).

Rückblick und Bewertung 2010

Gemessen an der Anzahl laufender Projekte mit öffentlicher Finanzierung und der gesamthaft gemeldeten Forschungsprojekte [4] kann eine Verstärkung der Photovoltaik-Forschungsaktivitäten beobachtet werden. Allerdings ist diese Erhöhung in erster Linie auf Erfolge mit KTI- und EU-Projekten zurückzuführen und damit das Resultat früherer Forschungserfolge. Die zur spezifischen Förderung der Photovoltaik verfügbaren Mittel des BFE sind nach dem relativ guten Jahr 2009 im Jahr 2010 deutlich zurückgegangen. Diese Entwicklung ist insofern besorgniserregend, als die BFE-Mittel primär zur Wahrung des Kompetenzvorsprungs der beteiligten Institute auf ihren Spezialgebieten eingesetzt werden; diese vorlaufende Forschungsexzellenz ist massgebend für weitere Forschungsaktivitäten und -erfolge im Rahmen von KTI- und EU-Projekten.

Betrachtet man die Forschungsergebnisse insgesamt, so konnten zu verschiedenen Forschungsthemen auf den Gebieten der Dünnschicht-Solarzellen und der Module namhafte Fortschritte erzielt werden. Diese sind häufig auch Grundlage weitergehender Projekte in Zusammenarbeit mit der Industrie. Nebst der öffentlich geförderten Photovoltaikforschung haben die privaten Forschungsaufwendungen der Industrie deutlich zugenommen.

Ausblick 2011

Die Dekade 2011–2020 dürfte für die Photovoltaik weltweit eine kritische Zeit werden, welche massgebend über den mittelfristigen Erfolg dieser jungen Energietechnologie bestimmen wird. In diesem Jahrzehnt gilt es einerseits, die Kosten der Photovoltaik weiterhin soweit zu senken, dass eine aussichtsreiche Wettbewerbsfähigkeit mit anderen Energieträgern erreicht werden, und andererseits die Produktionskapazitäten weltweit soweit zu erhöhen, dass die Photovoltaik mittelfristig auch quantitativ die ihr vorhergesagte Rolle spielen kann. Die Schweiz befindet sich mit ihrer ausgezeichneten Forschung und ihrer massgebenden Industrie in der Photovoltaik in einer derzeit noch guten Ausgangslage.

Aus Schweizer Sicht gilt es deshalb, 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. Dahingehende Initiativen sollten so rasch wie möglich konkretisiert und auf eine mittelfristig feste Grundlage gestellt werden.

Highlights 2010

>> Projektliste

Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der 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) und Dünnschicht-Verbindungshalbleiter CIGS und CdTe (Empa). Wachsende Tätigkeiten finden zudem auf dem Gebiet der organischen Solarzellen (Empa, ZHAW) statt. Auf der exploratorischen Ebene werden neue Solarzellen auf der Grundlage von sehr dünnen Absorberschichten erforscht.

Nebst aktuellen Resultaten aus den bedeutenden Arbeiten zu Dünnschicht-solarzellen auf der Grundlage von Silizium und der Verbindungshalbleiter CIGS werden im Folgenden neue Ergebnisse aus der Qualitätssicherung von Solarmodulen und Wechselrichtern eingehender dargestellt. Damit wird eine Übersicht der Fortschritte bei den wichtigsten Schweizer Photovoltaik-Kompetenzzentren angestrebt.

Dünnschicht Silizium – Spitzenresultate und Entwicklungen auf breiter Front

Auf dem Gebiet des Dünnschicht-Siliziums hat sich am PV-Lab der EPFL in Neuchâtel im Verlauf der Zeit ein Cluster von Projekten herausgebildet, welcher verschiedenste Materialvarianten und Prozessschritte beinhaltet: Zur Optimierung der Dünnschicht-Silizium-solarzellen in ihren verschiedenen Ausprägungen stehen zahlreiche Parameter zur Verfügung. Nebst Art, Anzahl und Umfang der aktiven Schichten, welche zur Hauptsache aus amorphem und mikrokristallinem Silizium bestehen, spielen Dotierung, Fenster- und Zwischenschichten, Art der Deposition, etc. wichtige Rollen. Ziel der laufenden Optimierung und neuen Ansätze ist es letztlich, den Wirkungsgrad der Solarzellen zu erhöhen, also möglichst viel einfallendes Licht in der Solarzelle zu absorbieren und damit möglichst vollständig und für genügend lange Zeiträume nutzbare Ladungsträger zu erzeugen. Eine wachsende Rolle auf diesem Optimierungspfad spielen



Figur 1: Neue PECVD Cluster-Depositionsanlage OCTOPUS am PV-Lab der EPFL (Bild PV-Lab).

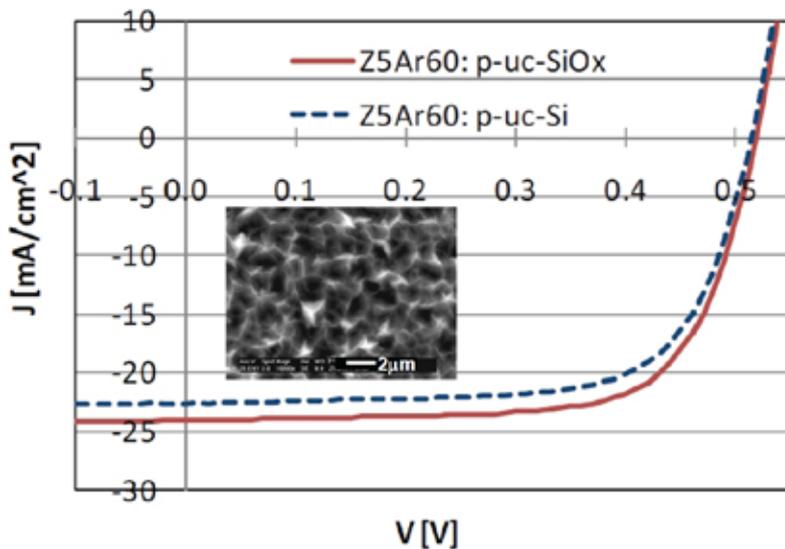
kontrollierte Strukturen und Schichten im Nanometerbereich. Entsprechend komplex ist der Weg zu verbesserten Solarzeleigenschaften, welche auch noch den Anforderungen an grossflächige industrielle Prozesse gerecht werden müssen.

Am PV-Lab der EPFL finden eng verwandte Forschungsprojekte zu verschiedenen Fragestellungen rund um die Dünnschicht-Silizium-solarzellen auf den Substraten Glas und Kunststoff sowie in Kombination zu kristallinen Silizium-solarzellen (Heteroübergänge) statt. Die zu beantwortenden Forschungsfragen beinhalten das grundlegende Verständnis einzelner Prozesse und Schichten ebenso wie den Aufbau ganzer Solarzellen und neuerdings auch Kleinmodule. Die Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse auf den industriellen Massstab bildet eine zentrale Aufgabe, bei welcher eine 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.

Wichtige Arbeiten im Sinn der Kernkompetenz am PV-Lab finden im BFE-Projekt Silizium-Dünnschicht-solarzellen und -module zur weiteren Verbesserung der mikromorphen Solarzelle (Kombination aus amorphem und mikrokristallinem Silizium) statt. Fortschritte wurden im Berichtsjahr beson-

ders mit verschiedenen Zwischen- und Fensterschichten erzielt. Dabei weisen nanokristalline Siliziumoxid-Zwischenschichten aufgrund ihrer tiefen Absorption, ihres tiefen Brechungsindex und ihres einstellbaren Widerstandes Vorteile auf. p- und n-dotierte nanokristalline Siliziumoxid-Zwischenschichten konnten in Einfach-, Tandem- und Tripelzellen eingebaut werden, woraus eine verbesserte Lichtabsorption resultierte. Solarzellen mit diesen Zwischenschichten wurden mit optimierten Zinkoxid-Fensterschichten, stabileren Schichten aus amorphem Silizium, sowie verbesserten Schichten aus mikrokristallinem Silizium kombiniert. Damit konnten neue Rekordwerte des Wirkungsgrades von mikromorphen Solarzellen erzielt werden: 13,7 % Anfangswirkungsgrad und 11,5 % stabilisierter Wirkungsgrad. Strukturveränderungen in der Nanometer-Skala auf der Substratebene können für weitere Verbesserungen der Solarzeleigenschaften verwendet werden. So konnte gezeigt werden, dass durch Ultraviolet-nanoimprint-Lithografie (UV-NIL) eine gute Lichteinkopplung erzeugt werden kann. Die Fortschritte auf dem Gebiet der mikromorphen Solarzellen auf Glassubstraten sind insbesondere für die Zusammenarbeit mit Oerlikon Solar relevant. Oerlikon Solar selbst hat ebenfalls einen neuen Wirkungsgrad-Rekord von 11,9 % publiziert.

Die nachgewiesenen Optimierungsmöglichkeiten durch die Erzeugung



Figur 2: Vergleich der Strom-/Spannungskennlinien einer mikrokristallinen Solarzelle mit üblichem p-Typ $\mu\text{c-Si}$ (blau) und der neuen p-Typ SiO_x -Schicht (rot). Die Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme zeigt das Substrat mit einer geglätteten ZnO-Frontelektrode (Figur PV-Lab).

von Strukturen im Nanometerbereich stellen nicht triviale Anforderungen für deren Umsetzung im industriellen Massstab. Das EU-Projekt N2P (Nano to Production) befasst sich mit dieser Fragestellung und untersucht insbesondere die Möglichkeiten von Plasmaprozessen bei Atmosphärendruck. Im Vordergrund steht für das PV-Lab das Wachstum von strukturierten Zinnoxid-Schichten als leitende Oxidschicht (TCO).

Dünnschicht-Siliziumsolarzellen auf Kunststoffsubstraten bilden weiterhin ein Thema am PV-Lab der EPFL. Auch

hier sind Materialeigenschaften und Lichteinfang die zentralen Fragestellungen, welche im neuen EU-Projekt Si-LIGHT untersucht werden. Nebst Fensterschichten auf der Grundlage von ITO (Indiumzinnoxid) wurden mikromorphe Tandemsolarzellen mit fast 10 % stabilisiertem Wirkungsgrad hergestellt. Diese Resultate sind auch für die Zusammenarbeit mit dem Schweizer Projektpartner VHF-Technologies relevant.

Als weitere Stossrichtung der Solarzellenforschung am PV-Lab kommt das bekannte Konzept eines Hetero-

übergangs zwischen verschiedenen Schichten aus kristallinem und amorphem bzw. mikrokristallinem Silizium zur Anwendung (HIT-Zelle). Mit diesem Ansatz lassen sich hoch effiziente Solarzellen herstellen. Zusammen mit dem Forschungspartner Roth & Rau wurde im Berichtsjahr in einer industriekompatiblen Anlage auf texturierten Wafern ein Wirkungsgrad von 20,7 % realisiert.

Die aufgeführten Beispiele zeigen deutlich auf, dass die Schweizer Forschung auf dem Gebiet der Dünnschicht-Siliziumsolarzellen international führende Ansätze verfolgt und entsprechende Ergebnisse erzielt. Aufgrund der bisher erreichten Position nimmt die Zusammenarbeit des PV-Lab mit weiteren Industriepartnern laufend zu und es kann eine Häufung von Photovoltaikunternehmen in der Westschweiz beobachtet werden.

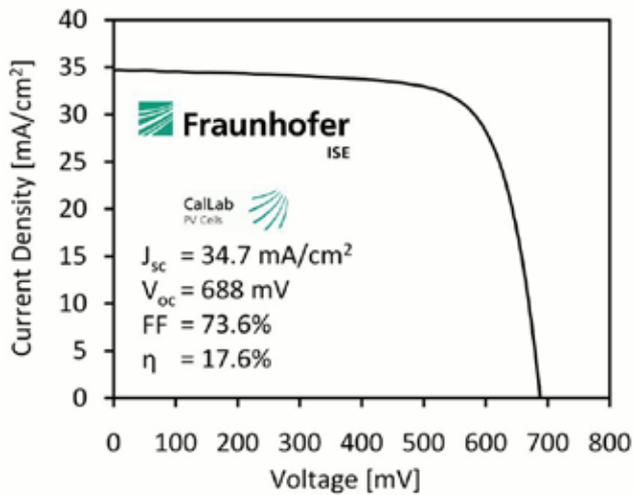
Verbindungshalbleiter Solarzellen – Rekord Wirkungsgrade

Die wichtigsten Vertreter der Verbindungshalbleiter-Solarzellen sind CIGS und CdTe. Die letztgenannte Technologie hat sich in den vergangenen Jahren als weltweit führende Dünnschichttechnologie etabliert mit einer Produktion im GW-Massstab (First Solar) und als 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 weitere Materialvarianten erforscht.

Mit dem Umzug von der ETHZ an die Empa hat sich das Labor für Dünne Schichten und Photovoltaik als leistungsfähige Forschungseinheit etabliert. Im Berichtsjahr wurde die Laborinfrastruktur deutlich ausgebaut, um den Anforderungen angewandter Fragestellungen besser gerecht werden zu können. 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 und Depositionsprozesse (sowohl unter Vakuum als auch bei Atmosphärendruck), die notwendigen Pufferschichten und die Substratwahl. Von speziellem Interesse



Figur 3: Neue Molekularstrahlepitaxie-Anlage zur Abscheidung von CIGS-Absorberschichten. Es können CIGS-Schichten in mehrstufigen Prozessen auf Substraten bis $10 \times 10 \text{ cm}^2$ deponiert werden (Bild Empa).



Figur 4: Strom-/Spannungskennlinie und photovoltaische Parameter der CIGS-Solarzelle auf Polyimid mit dem Rekordwirkungsgrad von 17,6 %, unabhängig gemessen durch das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg, Deutschland (Figur Empa).



Figur 5: Zwei der drei am PV-Modultestzentrum des ISAAC in Lamone installierte Klimakammern für Klimatests von Solarmodulen. Die Abwärme der Klimakammern wird im Gebäude energetisch genutzt (Bild ISAAC).

sind flexible Solarzellen auf Kunststoffsubstraten. Hier erfolgt eine intensive Zusammenarbeit mit dem Spin-off-Unternehmen FLISOM.

So werden im BFE-Projekt FEBULAS mit dem Ziel Cd-freier Solarzellen die Möglichkeiten von und die Solarzeleigenschaften mit alternativen Pufferschichten zu CdS untersucht. Mit einer Pufferschicht auf der Grundlage von In_2S_3 wurde ein Wirkungsgrad von 12,6 % erreicht. Demgegenüber wurde als Bestandteil des EU-Projektes HIPO-CIGS mit CdS ein neuer Rekordwirkungsgrad für flexible Solarzellen von 17,6 % (Solarzelle) und 12,1 % (Kleinmodul) erzielt. Damit konnte gezeigt werden, dass auch für flexible Solarzellen hohe Wirkungsgrade möglich sind.

Als kostentreibender Faktor gelten die bei CIGS Solarzellen notwendigen Ausgangsmaterialien und deren Depositionsprozesse (z. B. Verdampfen, Molekularstrahlepitaxie MBE). Im BFE-Projekt IMPUCIS wird in Zusammenarbeit mit dem belgischen Industriepartner Umicore der Einfluss von unterschiedlichen Materialreinheiten untersucht. Im Berichtsjahr wurde eine neue leistungsfähige Molekularstrahlepitaxie-Anlage aufgebaut. Es konnte gezeigt werden, dass auch mit Ausgangsmaterialien geringerer Reinheit auf Glas CIGS-Wirkungsgrade von 16 % erreicht werden können, was in der Größenordnung von CIGS-Solarzellen mit reinerem Ausgangsmaterial liegt.

Als Alternative zu den aufwändigen Verfahren zur Herstellung von CIGS Solarzellen mittels Hochvakuumprozessen werden die Möglichkeiten von vakuumfreien Prozessen untersucht. Grundlegende Arbeiten zu diesem Ansatz erfolgten in früheren KTI- und BFE-Projekten und werden derzeit im EU-Projekt NOVA-CI(G)S weiterverfolgt. Dies ist ein weiteres Beispiel dafür, wie Forschungsarbeiten mit Unterstützung des BFE zu grösseren Folgeprojekten im internationalen Umfeld führen können. Die ersten Projektergebnisse betreffen die reproduzierbare Deposition und Aktivierung der einzelnen Schichten.

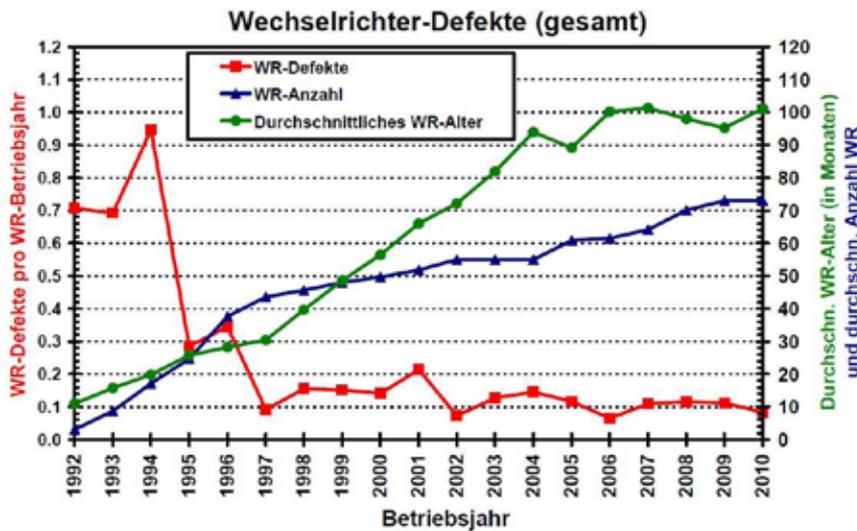
Weitere Projekte befassen sich mit der Kontaktierung von Dünnschicht-Solarzellen sowie mit CdTe-Solarzellen. Insgesamt zeigen die aufgeführten Projekte und Ergebnisse, dass das Labor für Dünne Schichten und Photovoltaik an der Empa auf seinem Gebiet zu den führenden Forschungsgruppen in Europa zählt. Dies ist nebst dem wissenschaftlichen Erfolg auch wichtig in Bezug auf die weitere industrielle Entwicklung der Verbindungshalbleiter-Solarzellen. Während CdTe-Solarzellen bereits im grossen Massstab hergestellt werden, steht die industrielle Entfaltung der CIGS-Solarzellen erst am Anfang. Aufgrund der bei dieser Technologie möglichen hohen Wirkungsgrade kann dies für die Zukunft ebenfalls eine viel versprechende Option werden.

Qualitätssicherung von Solarmodulen und Wechselrichtern

Möglichst gute Eigenschaften von Solarzellen und -modulen, insbesondere was den Wirkungsgrad anbetrifft, sind ein wichtiges Ziel der gesamten Photovoltaikforschung. Erst das vollständige System und dessen über viele Jahre zuverlässiger Betrieb entscheiden aber letztlich darüber, ob eine Technologie insgesamt als erfolgreich eingestuft werden kann. Deshalb kommt der Qualitätssicherung in der Produktion der Komponenten und beim Betrieb der Anlagen eine Schlüsselrolle zu, die zuweilen zu Unrecht etwas vergessen geht. In der Schweiz hat die Qualitätssicherung seit vielen Jahren ihren festen Stellenwert in der Forschungslandschaft, mit dem Ziel, gute Voraussetzungen für die Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Komponenten und Anlagen zu schaffen.

Die Prüfung von Solarmodulen und deren Verhalten bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen ist die Kernkompetenz des ISAAC an der SUPSI. Komplementär dazu wird an der Fachhochschule in Burgdorf das Verhalten von Wechselrichtern und Systemen untersucht. Beide Institute betreiben Prüflabors, in welchen Solarmodule oder Wechselrichter gemäss gängigen Normen geprüft werden können.

Das ISAAC betreibt seit vielen Jahren an kommerziell verfügbaren So-



Figur 6: Wechselrichterdefekte pro Wechselrichter-Betriebsjahr und durchschnittliche Anzahl von der Berner Fachhochschule in Burgdorf überwachter Wechselrichter in den Jahren 1992–2010 (Figur BFH).

larmodulen Messungen unter realen Betriebsbedingungen. Das Verhalten der Solarmodule wird jeweils über längere Zeit verfolgt. Im Jahr 2001 erfolgte eine erste Akkreditierung gemäss ISO 17025 für STC-Messungen der Strom-/Spannungskennlinien von kristallinen Solarmodulen. Später kam die Bestimmung des Temperaturkoeffizienten dazu. Seit 2009 wurde die Laborinfrastruktur aufgrund der wachsenden Nachfrage für zertifizierte Modulmessungen bedeutend erweitert und im Berichtsjahr 2010 konnte das neue Modultestzentrum eingeweiht werden. Dieses Prüflabor ist akkreditiert, um 25 verschiedene Tests gemäss den IEC Normen IEC 12615, IEC 61646 und IEC 61730 durchzuführen. Diese Akkreditierung gilt sowohl für kristalline Solarmodule als auch für Dünnschicht-Module mit einem Übergang (single-junction).

Nebst den Anlagen für die standardisierten Messungen gemäss IEC-Normen betreibt das ISAAC verschiedene weitere Messapparaturen, insbesondere in Hinsicht auf die Bestimmung des Energieertrags von Solarmodulen (energy rating). Diese Messungen erfolgen mit verschiedenen Strahlungssimulatoren. Zur Bestimmung der spektralen Strahlung sind spektral aufgelöste Messungen notwendig, was am ISAAC mittels drei verschiedenen Spektroradiometern geschieht. Mit einem speziellen Messaufbau kann weiter die Gleichmässigkeit der Einstrahlung in der Fläche gemessen werden.

Im Berichtsjahr wurde der 11. Messzyklus an 15 verschiedenen Solarmodulen abgeschlossen. Dabei wurden 13 verschiedene Modultypen aus mono- und multikristallinem Silizium, amorphem und mikromorphem Silizium sowie CIS und CIGS untersucht und verglichen. Die kristallinen Module zeigen bezüglich dem Energieertrag in kWh/W_p im Allgemeinen enge Toleranzen auf. Dagegen zeigen Dünnschicht-Module eine grössere Verteilung der Resultate. Diese Schwierigkeit, Dünnschicht-Solarmodule reproduzierbar zu messen ist aus früheren Projekten bekannt, kann aber zum Teil auch durch Effekte aus der Produktion hervorgerufen sein. Im Sommer 2010 wurde ein weiterer Messzyklus mit Schwerpunkt auf Dünnschicht-Solarmodulen begonnen.

Der Aufbau und die Akkreditierung des neuen Modultestzentrums konnte im engen Zeitrahmen von rund acht Monaten abgeschlossen werden. Seither wurden im ersten Betriebsjahr 32 zertifizierte Messungen durchgeführt. Pro Jahr sollten in Zukunft 40 Zertifizierungen durchgeführt werden können. Da das Prüfzentrum nicht nur einen Dienstleistungsbetrieb anstrebt, sind bis zu 20 % der Kapazität für Forschungszwecke reserviert.

Das Photovoltaik-Labor an der Fachhochschule in Burgdorf führt unter Benutzung der selbst gebauten PV-Simulatoren Tests an Wechselrichtern bis 100 kW gemäss prEN50530 durch. Im Berichtsjahr wurde ein Resonanzkreis entwickelt, welcher bei grösseren

Wechselrichtern bis 100 kW neu Inselbetriebstests nach VDE 126-1-1 und IEC 62116 ermöglicht.

Aufgrund von Langzeitmessungen an 73 Photovoltaik-Anlagen, welche teilweise bis auf das Jahr 1992 zurückgehen, konnten die Langzeit-Erfahrungen mit diesen Anlagen fortgesetzt werden. Dabei konnte die Wechselrichter-Ausfallstatistik um ein weiteres Jahr verlängert und stetige Verbesserungen mit den neueren Modellen festgestellt werden. Es hat sich ein Wert von 0,1 Wechselrichterdefekten pro Betriebsjahr eingependelt.

Im Sommer 2010 erschienen vermehrt Berichte über die mögliche Gefährdung der Feuerwehr durch Photovoltaik-Anlagen bei Brandfällen. Es wurde gar behauptet, dass bei solchen Anlagen bereits durch nächtliches Restlicht (z. B. bei Vollmond) lebensgefährliche Spannungen auftraten. Dies ist übertrieben und basiert auf mangelnder Kenntnis der Eigenschaften von Photovoltaik-Anlagen und der Gefährdung des Menschen durch die darin auftretenden Gleichströme. Durch Markierung der Gebäude mit Photovoltaik-Anlagen und Ausbildung der Feuerwehrekader sollte im Brandfall vor Ort eine sinnvolle Beurteilung der Gefahr möglich sein, so dass ein Rettungs- und Löscheinsatz durchführbar ist. Aufgrund dieser Ausgangslage wurde das Problem näher untersucht und erste Messungen durchgeführt. Insbesondere wurden unter Mitwirkung der Feuerwehr Burgdorf nächtliche Kennlinienmessungen an Teilgeneratoren von 5 kW und 21 kW der PV-Testanlage in Burgdorf durchgeführt.

Die hier beschriebenen Erfahrungen in Bezug auf die Messung relevanter Parameter von Solarmodulen, Wechselrichtern und ganzer Photovoltaik-Anlagen belegen die hohen und praxisnahen Kompetenzen, welche an den Forschungslabors der Fachhochschulen vorhanden sind und dadurch einen sicheren, zuverlässigen und langlebigen Betrieb von Photovoltaik-Anlagen begünstigen. Ausserdem tragen diese Fachhochschulen eine wichtige Verantwortung in der Ausbildung von Fachleuten.

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 deutlich intensiviert werden, sowohl in neuen Projekten mit der KTI als auch in der Form von direkten Mandaten der Industrie an ausgewählte Forschungsinstitute. Auf Programmebene wurde die Zusammenarbeit mit vielen Stellen des Bundes, der Kantone und der Elektrizitätswirtschaft weiter gepflegt.

Im Februar 2010 fand in Winterthur die 8. Nationale Photovoltaik-Tagung [5] statt, welcher der bisher grösste Erfolg beschieden war: Mehr als 450 Teilnehmer belegen das wachsende Interesse breiter Kreise an der Photovoltaik. Die Tagung folgte dem bewährten Ansatz einer Mischung aus marktrelevanten Informationen, technologischen Fortschritten und Ausblicken in die Zukunft. Von besonderem Interesse waren die ersten Erfahrungen mit

der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV). Die begleitende Ausstellung umfasste wissenschaftliche Poster, industrielle Produkte und Dienstleistungen.

Im Juni 2010 fand unter dem Schirm des IEA PVPS Programms in Montreux die 5. Photovoltaic Executive Conference [6] statt, welche primär den Photovoltaikaspekten aus Sicht der Elektrizitätswirtschaft gewidmet war. An der überschaubaren Konferenz mit Teilnahme ausschliesslich auf Einladung nahmen ca. 80 Experten und Entscheidungsträger aus der ganzen Welt teil und tauschten Erfahrungen und Ansichten aus. Das Echo der Teilnehmer nach dieser Konferenz war sehr positiv.

Im November fand zudem noch der 2. Swiss Photovoltaic Summit [7] statt, welcher ganz im Zeichen des neu lancierten Masterplans Cleantech stand. Dieser wichtige Anlass führte die Entscheidungsträger aus Politik, Behörden, Photovoltaik Forschung und Industrie zusammen. Als konkretes Ergebnis erfolgte der Auftrag eines Masterplans Photovoltaik 2020, welcher bis Mitte 2011 ausgearbeitet werden soll.

Internationale Zusammenarbeit

Die institutionelle Zusammenarbeit innerhalb der IEA, der IEC und den Europäischen Netzwerkprojekten 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 2010 waren es rund 25 Projekte im 7. Rahmenforschungsprogramm der EU.

Die Beteiligung am Photovoltaikprogramm der IEA (IEA PVPS) wurde im Berichtsjahr fortgesetzt, sowohl auf der Projektebene als auch im Executive Committee (ExCo).

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 2009 [8] ausgearbeitet. Auf dieser Grundlage wurde die 15. Ausgabe des jährlichen internationalen Berichtes (Trends Report) über die Marktentwicklung der Photovoltaik in den IEA-Ländern erstellt [9].

Im Rahmen der interdepartementalen (SECO, DEZA, BAFU, BFE) Plattform REPIC zur Förderung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in der internationalen Zusammenarbeit [10] leistet das Ingenieurbüro 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.

ESU Services 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.

Im Berichtsjahr haben zwei neue Tasks im IA PVPS ihre Arbeiten aufgenommen: Task 13 zu Performance und Zuverlässigkeit von Photovoltaik-Anlagen sowie Task 14 zur hohen Penetration von PV Anlagen in elektrischen Netzen.

Das Unternehmen Meteotest und die Groupe Energie an der Universität Genf erbringen zusammen den Schweizer Beitrag zum Task 36 Solar resource knowledge management. Task 36 ist Bestandteil des IA Solare Wärme und Kälte (SHC) der IEA, 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 wird die Qualität verschiedener Strahlungsmodelle und daraus abgeleiteter Produkte verglichen und optimiert.

Ähnlich erfolgt im Task 41 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.

Swissolar vertritt die Schweiz im TC 82 der IEC zu Photovoltaik Normen.

Die Beteiligung am EU-Projekt PV-ERA-Net, welches Programmkoordinationsstellen und verantwortliche Ministerien unter dem ERA-Net-Schema zusammengeführt hatte, wurde im Berichtsjahr von den beteiligten Ländern als selbst getragenes Netzwerk weiterverfolgt [11]. Das entsprechende Sekretariat ist in der Schweiz angesiedelt.

Die Schweiz ist in der Europäischen Photovoltaik-Technologie-Plattform sowohl im Steuerungsausschuss wie

in der Mirror Group vertreten [12]. Im Rahmen des von der Europäischen Kommission vorgeschlagenen Strategic Energy Technology Plan (SET Plan) wurde die Solar Europe Industry Initiative lanciert. Die Arbeiten im Rahmen dieser Initiative müssen noch konkretere Formen annehmen.

Referenzen

[1] IEA Technology Roadmap Solar photovoltaic energy, OECD/IEA, (www.iea.org/papers/2010/pv_roadmap.pdf) (2010).

[2] Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 bis 2011, CORE/BFE (2007).

[3] Energieforschungsprogramm Photovoltaik für die Jahre 2008–2011, BFE (2008).

[4] Projektliste der Energieforschung des Bundes 2008–2009, BFE (2011).

[5] 8. Nationale Photovoltaiktagung, Winterthur, 4./5. Februar 2010, Unterlagen zu beziehen bei der Programmleitung Photovoltaik BFE, c/o NET Nowak Energie & Technologie AG, Waldweg 8, 1717 St. Ursen (info@photovoltaic.ch).

[6] 5th IEA PVPS Executive Conference The Solar Power Utility, Montreux, 7./8. Juni 2010, Unterlagen zu beziehen bei der Programmleitung Photovoltaik BFE, c/o NET Nowak Energie & Technologie AG, Waldweg 8, 1717 St. Ursen (info@photovoltaic.ch).

[7] 2. Swiss PV Summit, Biel, 15. November 2010, Unterlagen zu beziehen bei der Programmleitung Photovoltaik BFE, c/o NET Nowak Energie & Technologie AG, Waldweg 8, 1717 St. Ursen (info@photovoltaic.ch).

[8] National Survey Report of PV Power Applications in Switzerland 2009, BFE (2010).

[9] Trends in Photovoltaic Applications, Survey Report of selected IEA countries between 1992 and 2009, IEA PVPS (2010).

[10] Interdepartementale Plattform zur Förderung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in der internationalen Zusammenarbeit, REPIC (www.repic.ch).

[11] The Photovoltaic European Research Area Network, PV-ERA-Net (www.pv-era.net).

[12] European Photovoltaic Technology Platform (www.eupvplatform.org).

BFE Forschungsprogramm Photovoltaik

Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Dr. Stefan Nowak, NET Nowak Energie & Technologie AG (stefan.nowak@netenergy.ch)

Bereichsleiter BFE:

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

www.bfe.admin.ch/forschungphotovoltaik, www.photovoltaic.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Solaire industriel à haute température

Pierre Renaud et Stefano Giambon



Installation solaire thermique chez Colas Genève

Projet pilote et démonstration de maintien en chauffe d'un stockage de 80'000 litres de bitume à 160 °C par des panneaux solaires thermiques à ultra vide avec miroirs cylindriques réfléchissants.

Introduction

Les systèmes solaires à concentration transforment la radiation solaire en énergie thermique à haute température pour produire de l'électricité ou de la chaleur et pour entraîner des réactions chimiques. Ces technologies énergétiques propres sont particulièrement appropriées à des applications dans les pays à fort ensoleillement où la radiation solaire directe est élevée. Les nombreux types de systèmes en développement (comprenant les collecteurs paraboliques linéaires et de technologie Fresnel, les centrales à tour et les systèmes parabole/moteur Stirling) pour les différents marchés se caractérisent principalement en fonction des dispositifs de concentration, des méthodes de conversion de l'énergie, des systèmes de stockage.

Les centrales solaires thermiques pour la production d'électricité (CSP) sont actuellement en phase commerciale et seront prochainement viables économiquement en tant que source d'énergie renouvelable avec une position de premier plan dans le portfolio des entreprises électriques. L'Association européenne pour l'électricité solaire thermique (ESTELA) estime que, dans les dix prochaines années, les CSP seront à même de fournir de l'électricité à un prix concurrentiel par rapport aux sources conventionnelles et aux autres sources renouvelables. Elles pourront s'imposer sans subventions. Dans le scénario le plus favorable et avec un soutien approprié, les CSP pourraient atteindre une puissance installée globale de 100 GW à l'horizon 2025. Grâce aux nombreux programmes de recherche et développement et aux projets pilote et démonstration actuellement en cours, les coûts de production de l'électricité par cette technologie pourraient être réduits jusqu'à 30 % à l'horizon 2015 et de plus de 50 % à l'horizon 2025. Fin 2010, les installations en service atteignent une puissance installée de 820 MW, celles en construction 1,8 GW et celles planifiées 14,5 GW.

La production de chaleur pour les processus industriels par des systèmes solaires à moyenne et haute température (tubes sous vide, panneaux sous vide avec miroirs réfléchissant, à concentration, etc.) se développe de plus en plus et représente une alternative intéressante aux vecteurs énergétiques fossiles. Les projets concernent la recherche appliquée pour l'amélioration des systèmes et des composants, les installations pilote et démonstration ainsi que des installations de taille industrielle.

Le domaine de la thermochimie solaire, actif sous forme de recherche fondamentale et de projets pilote et démonstration visent à développer et optimiser les processus thermochimiques solaires et à démontrer leur faisabilité technique et économique à une échelle industrielle. La recherche se concentre notamment sur la production de vecteurs énergétiques en transformant certains matériaux à l'aide d'énergie solaire en carburants (hydrogène et gaz de synthèse) stockables et transportables.

Dans le domaine de la recherche sur le solaire industriel à haute température, la Suisse occupe une position de premier plan au niveau mondial notamment avec les activités de l'ETHZ, du PSI, du SPF et d'entreprises privées. Des récompenses reconnues internationalement ont été attribuées à deux personnalités : le Dr. Paul Kesselring, ancien directeur du Laboratoire de la technologie solaire et des processus au PSI, lauréat du « Lifetime SolarPACES Award » 2009 en reconnaissance pour sa contribution décennale au développement de la technologie des CSP ainsi que le Prof. Dr. Aldo Steinfeld, professeur à l'ETH de Zurich et directeur du Laboratoire de technologie solaire au PSI récompensé avec le « American Society of mechanical Engineers (ASME) Yellott Award » 2008 pour ses recherches dans le domaine de la chimie solaire.

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

Les axes principaux du programme de recherche sont la thermochimie solaire, la chaleur solaire dans les processus industriels et les centrales solaires thermiques à concentration (CSP). Ces applications ont en commun le fait qu'elles font intervenir des températures supérieures à 100 °C (de 150 °C pour les processus industriels à 2'000 °C pour la thermochimie).

Le potentiel au niveau suisse et mondial dans les trois domaines cités ci-dessus est considérable. En Suisse, la thermochimie est principalement axée sur la production de zinc par cycle thermochimique ZnO/Zn et est menée par le Paul Scherrer Institut (PSI). Le deuxième domaine (processus solaires industriels) vise à mettre en place des systèmes qui permettent l'intégration de l'énergie solaire dans les processus de production industriels traditionnels. Les centrales solaires thermiques sont des centrales possédant un fort potentiel de production d'électricité appelées à un développement considérable au niveau mondial dans les années à venir. Les points clés du programme de la thermochimie solaire sont la finalisation des recherches sur le cycle ZnO/Zn, la mise au point du réacteur solaire de thermo-dissociation, la réduction carbo-thermique du ZnO et la prospection pour la production thermochimique de carburants.

Concernant la chaleur à haute température pour des processus industriels, les points clés sont l'engineering et l'implémentation dans les industries. Une étude a également été réalisée pour définir le potentiel réel de cette technologie.

Dans le cadre des centrales héliothermiques, l'objectif est de s'insérer dans des marchés de niche (voir par exemple les travaux réalisés par Airlight) et de développer des héliostats, turbines, échangeurs de chaleur, logiciels et installations pilotes, etc. propres à cette technologie.

L'implication des instituts de recherche, des acteurs privés et de l'industrie, ainsi que les ressources financières disponibles (publiques et privées) sont à intensifier dans le but de permettre à la Suisse d'occuper une place de premier plan dans ces domaines appelés à jouer un rôle fondamental pour l'avenir énergétique.

Revue et évaluation 2010

En 2010, les progrès les plus significatifs dans le domaine de la thermochimie solaire sont les suivants : consolidation de la technique de séparation des gaz (Zn et O₂), détermination d'un système pour la protection du verre de séparation du réacteur, modélisation du transfert de chaleur du réacteur pilote ainsi que conception de l'installation pilote de 100 kW.

Pour le domaine de la chaleur solaire dans les processus industriels, les projets R&D menés en 2010 ont permis de déterminer, grâce à des audits, les possibilités d'implémentation de systèmes de production de chaleur solaire dans l'industrie, d'évaluer la faisabilité d'une installation de mesure mobile ainsi que d'investiguer les méthodes de mesure et certification des tubes absorbeurs. Grâce aux projets P&D, trois systèmes différents de capteurs solaires pour la production de chaleur dans l'industrie ont été mis en place (tubes sous vide standard, panneaux plats à ultraviolette et concentrateurs paraboliques linéaires).

Dans le domaine des CSP, le projet R&D actuellement en cours a permis de modéliser, simuler et tester différents prototypes d'absorbeur à air avec l'objectif d'optimiser l'échange de chaleur du fluide caloporteur et diminuer la perte de charge. Un 3ème prototype de concentrateur solaire ainsi qu'un prototype de système de stockage de l'énergie thermique ont été construits, modélisés, simulés et des mesures ont été menées pour en évaluer les performances et valider le modèle. Un projet P&D a démarré visant la construction d'une installation pilote pour valider le principe global, dont notamment le stockage de l'énergie thermique.

Perspectives 2011

Concernant la thermochimie solaire, le réacteur pilote de 100 kW est actuellement en construction au PSI et sera testé à l'aide du four solaire de 1 MW d'Odeillo en France en juin-juillet 2011 et février-mars 2012. Les données expérimentales seront utilisées pour valider le modèle numérique du réacteur et les résultats des tests conduiront à la conception d'une installation solaire industrielle.

Dans le domaine de la chaleur solaire pour les processus industriels, il sera procédé à l'évaluation des possibilités d'implémenter ces systèmes. De plus, une analyse sera faite face aux possibilités de normalisation de certification. L'évaluation et la comparaison des performances des trois systèmes de capteurs mis en place dans les projets P&D sera possible grâce à des campagnes de mesure détaillées.

En 2011, la recherche sur les CSP se concentrera sur l'amélioration des performances de l'absorbeur à air, du système de stockage de l'énergie thermique, de l'optique au niveau du concentrateur secondaire ainsi que sur le choix des fluides thermiques. Les objectifs du projet P&D se focalisent sur la réalisation d'un prototype.

Points forts 2010

>> Liste des projets

Les trois points principaux présentés dans les paragraphes suivants concernent des projets appartenant à chacun des trois axes prioritaires du programme.

Solar Production of Zinc and Hydrogen

Les deux projets du PSI actuellement cofinancés par le programme de recherche OFEN – « 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) – s’inscrivent dans une dynamique de recherche fondamentale et appliquée en cours depuis plusieurs années et disposent de perspectives sur le moyen et long terme. Outre les deux projets susmentionnés, le PSI mène ou a finalisé ces dernières années pas moins de 18 projets dans le domaine de l’énergie solaire à concentration.

Au niveau de la dissémination des résultats en 2010, un article complet a été publié sur le cycle thermochimique solaire de dissociation du H_2O/CO_2 basé sur des réactions redox Zn/ZnO [1]. Les résultats expérimentaux de séparation des produits gazeux par trempage [2] et un modèle de

transfert thermique du réacteur pilote de 100 kW [3] ont été présentés à la Conférence SolarPACES à Perpignan en France. En outre, plusieurs études sur le verre de protection du réacteur pilote ont été exécutées pour éviter son encrassement.

L’objectif général de cette recherche est d’étudier la dissociation endothermique de l’oxyde de zinc en zinc et oxygène par l’énergie solaire thermique. La partie R&D du projet vise l’optimisation du réacteur solaire à haute température pour un fonctionnement fiable et efficace à des températures supérieures à 2’000 K (réacteur prototype de 10 kW). Dans la partie P&D du projet, une installation pilote de 100 kW va être réalisée et une démonstration expérimentale aura lieu dans le four solaire de 1 MW (MWSF) à Odeillo en France (cf. Fig. 1).

La technique de séparation des gaz (Zn et O_2) par trempage (quenching) est réalisée par l’injection rapide d’un gaz inerte froid. En 2010, les 15 séries de tests menées sur le réacteur de 10 kW avec différentes unités de trempage ont démontré que, tant le taux de dilution que le niveau de refroidissement ont une influence notable sur le rendement de l’opération.

Concernant la protection aérodynamique du verre du réacteur, des si-

mulations ont permis d’identifier les conditions de flux de gaz optimales pour conserver cet interface libre de dépôt provenant des gaz condensés. Le meilleur résultat est obtenu avec l’injection d’Ar au flux de 8,5 lN/min. Pour cette configuration, des jets radiaux ne sont pas nécessaires pour atteindre une protection constante de ce vitrage.

Concernant l’analyse du transfert de chaleur, un modèle numérique 3D du réacteur a été développé pour investiguer les performances du réacteur de 100 kW qui sera soumis au rayonnement solaire concentré du MWSF. Le modèle a démontré que les pertes de chaleur principales sont dues à la réflexion et au rayonnement depuis le corps du réacteur. Des solutions pour diminuer ces points vont être étudiées.

La phase P&D a démarré en janvier 2010 et sera finalisée en juin 2012. La conception de l’installation pilote de 100 kW (configuration, plateforme expérimentale, réacteur) ainsi que la définition des instruments et du procédé de contrôle ont été finalisés de manière détaillée. L’installation est actuellement en construction au PSI. Le réacteur solaire et ses périphériques (systèmes d’alimentation en ZnO et traitement du Zn) seront testés au MWSF lors d’une première campagne en juin-juillet 2011 et d’une deuxième en février-mars 2012. Les données expérimentales seront utilisées pour valider le modèle numérique du réacteur. Finalement, les résultats des tests pilote conduiront à la conception d’une installation solaire industrielle. Cette installation devra également répondre à des critères économiques.

Le principal objectif de la première campagne de mesures est de faire fonctionner le réacteur de manière fiable. Les objectifs spécifiques sont : rendement supérieur à 8 kg/h pour la dissociation du ZnO, contenu de Zn supérieur à 50 %, validation du modèle de transfert de chaleur, rendement de la conversion solaire – énergie chimique supérieur à 5 %. L’objectif de la deuxième campagne est d’optimiser la performance du réacteur et d’atteindre un rendement de la conversion solaire – énergie chimique s’approchant de 15 %.

Les résultats de ces projets de recherche permettront d’améliorer le stockage de

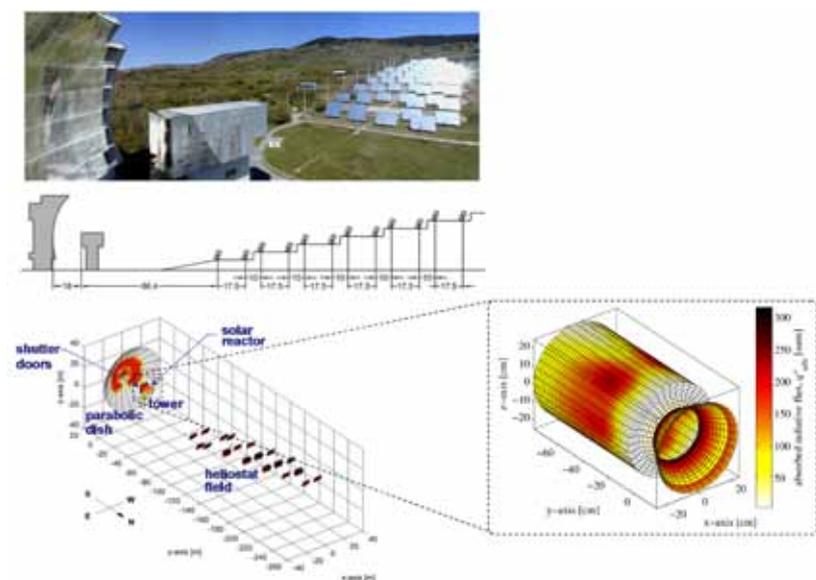


Figure 1 : vue d’ensemble du four solaire d’Odeillo composé d’un champ d’héliostats, un concentrateur parabolique et d’une tour avec plateforme expérimentale (en haut de la figure). La simulation du rayonnement par la méthode Monte Carlo a été appliquée pour la distribution du flux radiatif sur la partie avant du réacteur solaire de 100 kW et dans la cavité rotative.

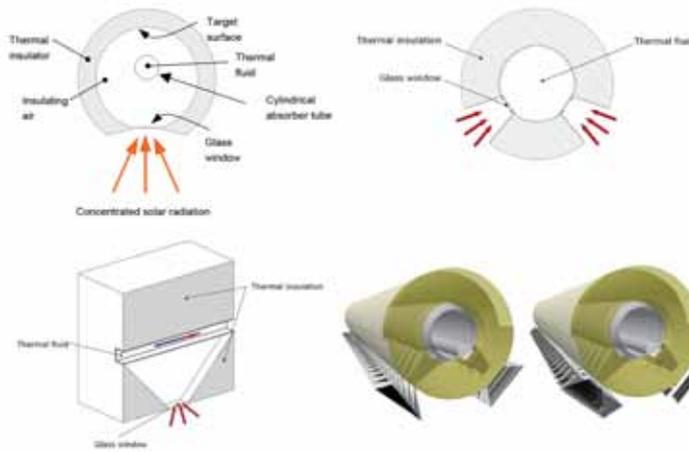


Figure 2 : différents concepts d'absorbeur évalués pour le concentrateur linéaire parabolique d'Airlight (BR-2 en haut à gauche, PR-3 en haut à droite, BR-4 en bas à gauche et PR-5 en bas à droite).

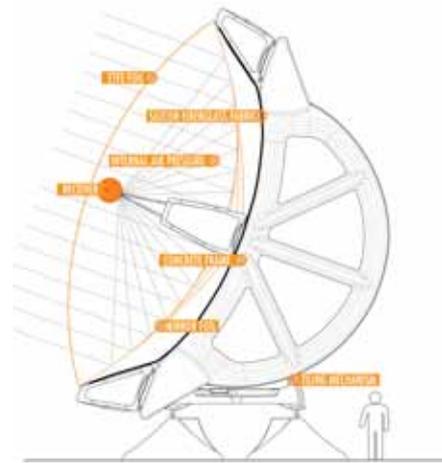


Figure 3 : 3ème prototype de concentrateur Airlight avec une structure en béton.

l'énergie solaire sous forme de carburants tels que le H_2 ou le Zn et augmenteront ainsi les chances de disposer d'une solution durable au problème de l'intermittence de l'énergie solaire.

SolAir

Les deux projets d'Airlight Energy actuellement cofinancés par le programme de recherche OFEN sont « SolAir-2 Innovative solar collectors for efficient and costeffective solar thermal power generation » (R&D) et « SolAir Pilot Plant » (P&D).

Le premier objectif du projet R&D est le développement de l'absorbeur pour en optimiser le rendement. A ce propos, différents prototypes ont été modélisés, simulés et testés avec l'objectif d'explorer plusieurs configurations et d'identifier les meilleures performances en termes d'échange de chaleur du fluide caloporteur et de perte de charge. Les différents absorbeurs évalués sont les suivants (cf. Fig. 2): le BR-2 est composé d'une cavité cylindrique avec une seule ouverture (vitrage) entourée par une isolation thermique, le PR-3 est un tube avec deux ouvertures entouré par une épaisse couche d'isolation thermique, le BR-4 a été étudié pour tester la possible utilisation d'une optique secondaire (lentilles Fresnel plates) et le PR-5 sur lequel les lentilles Fresnel courbées focalisent l'énergie en profitant de nombreuses petites ouvertures. Les performances de ce dernier sont en cours d'évaluation ; une augmentation importante du rendement global de l'absorbeur est prévue.

Le développement du concentrateur solaire dans sa globalité pour en améliorer les performances s'est poursuivi (cf. Fig. 3). Les modifications majeures par rapport au 2ème prototype sont la suppression des concentrateurs secondaires et l'introduction de trois membranes de support superposées sous chaque membrane du réflecteur. Selon les simulations, le dernier concept permettra d'être très proche de la parabole linéaire idéale. La divergence entre la distribution du flux mesurée et l'optimum théorique indique que les exigences élevées au niveau de la précision de la forme du concentrateur arc-spline n'ont pas été complètement atteintes.

Le deuxième objectif du projet R&D en cours est l'étude du système de stockage de l'énergie thermique (TES). Ce stockage est réalisé à l'aide d'un lit de galets enfuis dans un récipient en béton enterré (cf. Fig. 4). Les travaux de recherche ont permis la modélisation et la simulation des cycles de charge/décharge du TES. La validation du modèle a été faite expérimentalement sur le prototype réalisé. Les tests démontrent que le modèle est cohérent avec le comportement de stockage observé et, qu'en conséquence, il peut être utilisé pour prédire les performances du système de stockage y compris la dissipation d'énergie thermique ainsi que la chute de pression (env. 25 à 30 Pa) à travers les parois du système. L'optimisation du prototype de TES, l'affinage du modèle touchant la simulation de la conductivité thermique et l'étude de la porosité des rochers pour obtenir une meilleure cohérence avec les données expérimentales (performances fluïdo-

dynamiques, taux de transfert de chaleur et de l'évolution de la température) constituent les travaux principaux pour 2011.

Le projet P&D a pour objectif d'affiner le concept global et de mettre en place une installation pilote complète à Biasca.

L'étude a été menée pour explorer les solutions techniques applicables à une installation CSP basée sur la technologie de collecteur Airlight Energy. Les premiers résultats concernant le concept global de l'installation, l'évaluation du cycle thermodynamique à utiliser (Rankine ou Brayton) et le choix des processus auxiliaires (p.ex. eau de refroidissement) sont déterminants pour la conception de l'installation pilote à réaliser sur le site de Biasca. Cette installation aura pour objectif de fournir des informations permettant de réaliser une installation de taille industrielle.

Trois types de capteurs solaires pour la production de chaleur dans l'industrie

La production de chaleur solaire à des températures comprises entre 100 et 200 °C pour des processus industriels peut être réalisée à l'aide de différents types de capteurs, dont trois sont utilisés dans les projets P&D soutenus par ce programme.

Le premier projet « Kerzenfabrik Fischer AG, Root LU – Prozesswärme mit Vakuumröhrenkollektoren » consiste à chauffer par l'énergie solaire de la paraffine pour la production de bougies.



Figure 4 : construction du système de stockage d'énergie thermique à Biasca : lit de galets en place (en haut à droite), montage du couvercle (en bas à gauche), système prêt pour les tests de charge-décharge (en bas à droite).

Le matériau doit être stocké à une température constante comprise entre 65 et 110 °C. Le maintien en température des deux tanks d'une capacité totale d'env. 50 tonnes nécessite la consommation d'env. 160'000 à 170'000 kWh d'énergie électrique par an. Grâce à la mise en service, à partir de fin mars 2010, d'une installation de 81 m² de collecteurs à tubes sous vide (cf. Fig. 5), la participation solaire a contribué à raison d'environ 47'000 kWh (valeur estimée) à cette production. Un système de contrôle de la production solaire est en place et permettra d'analyser les performances de l'installation une fois les derniers réglages et optimisations effectués.

Le deuxième projet « Colas Suisse, Genève – Chauffage à 160 °C de 80'000 litres de bitume par panneaux solaires thermiques à ultra vide » représente une première mondiale concernant le

type de panneaux utilisés (cf. Fig. 6). En effet, Colas Suisse exploite ce tout nouveau type de champ solaire conçu et réalisé par SRB Energy à partir d'un brevet du Centre européen de recherche nucléaire (CERN). L'installation contribue à maintenir en température à 160 °C 80'000 litres de bitume pour la construction routière. Les capteurs thermiques plats à ultravide présentent la particularité d'utiliser la lumière directe et diffuse compte tenu qu'ils sont équipés de miroirs cylindriques réfléchissants en aluminium permettant d'atteindre des températures de fonctionnement très élevées (jusqu'à 400 °C). De plus, ces panneaux ont des absorbeurs isolés par vide d'air, assuré par de l'ultra vide et maintenu par une pompe getter (substance chimique utilisée pour consommer le gaz se produisant au chauffage du panneau). Les performances sont aussi dues au re-

vêtement sélectif de chrome noir des absorbeurs. Sur le site de Genève, Colas a installé 78 m² de capteurs solaires, soit un champ de 20 panneaux. Les économies d'énergie réalisées sur un an seront, dans le meilleur des cas, de 3,25 tonnes de fuel ou 3'500 m³ de gaz naturel, soit 35'000 kWh. L'installation était opérationnelle au début de mai 2010 et a été inaugurée le 15 juin 2010 en présence des différents acteurs impliqués dans le projet (notamment les SIG et le canton de Genève).

Le projet « Bever, Lesa / Solare Prozesswärmeerzeugung » est une installation solaire pilote permettant la production d'une partie de la chaleur à haute température utilisée par la laiterie de Bever aux Grisons. Les collecteurs sont des paraboles linéaires à concentration. Ce type de collecteurs représente une première suisse pour la production de chaleur dans le cadre d'un processus industriel. Le projet permettra d'acquérir des expériences dans le domaine de l'utilisation d'installations solaires thermiques pour petites et moyennes puissances dans un environnement alpin. Des informations sur une éventuelle utilisation future de ce type de capteurs pour la climatisation sur le plateau suisse pourront également être collectées. L'installation sera composée de 115 m² de concentrateurs paraboliques linéaires NEP Solar et chauffera le fluide caloporteur à 150 – 180 °C pour la production de vapeur à injecter dans le réseau existant. La puissance nominale prévue est d'env. 65 kW et la production de 60'000 kWh/an couvrira env. 7 % de l'énergie nécessaire pour la production de vapeur. Cette installation substituera 7'100 litres de mazout par an et évitera l'émission de 18 tonnes de CO₂ par an. La mise en service est prévue pour fin mai 2011.



Figure 5 : capteurs solaires thermiques à tubes sous vide installé auprès de la fabrique de bougie Fischer AG à Root LU.



Figure 6 : capteurs solaires thermiques à ultra vide installé auprès de Colas Suisse à Genève.

Collaboration nationale

Afin de promouvoir la collaboration et les échanges entre les différents acteurs suisses liés au solaire industriel à haute température, un symposium sur les interactions entre industrie et recherche en Suisse a eu lieu à Neuchâtel le 27 octobre 2010. Dans ce cadre, des projets et technologies suisses ainsi que le Pôle suisse de technologie solaires ont été présentés. Le Prof. Dr. Aldo Steinfeld

a parlé du présent et du futur des projets R&D dans le domaine du solaire à concentration pour la production d'électricité, de carburants et de matériaux.

Au niveau de la thermochimie solaire, le Laboratoire de technologie solaire du PSI travaille en collaboration avec le département d'énergies renouvelables de l'ETH Zurich.

Collaboration internationale

Pour la thermochimie solaire, la coopération internationale fonctionne dans le cadre de

- IEA's SolarPACES Implementing Agreement (Task II – Solar Chemistry Research; Operating Agent: Dr. A. Meier)
- IEA's Hydrogen Implementing Agreement (Task 25 – High Temperature Hydrogen. Production Processes; Swiss Representative: Dr. A. Meier)
- Strategic Alliance between PSI and CIEMAT (Spain) – Roadmap to Solar Hydrogen Production.
- IPHE – International Partnership for the Hydrogen Economy (Project: Solar driven high temperature thermochemical production of hydrogen; Swiss Representative: Prof. Dr. A. Steinfeld). Participants: CIEMAT (Spain), CNRS (France), DLR (Germany), U. Colorado (USA), ETH & PSI (Switzerland), NU & TIT (Japan), WIS (Israel).
- SOLLAB – Alliance of European Laboratories on solar thermal concentrating systems. Collaboration of five

leading European solar research laboratories, namely CIEMAT (Spain), CNRS (France), DLR (Germany), ETH & PSI (Switzerland); Swiss Representative: Prof. Dr. A. Steinfeld.

- EERA – European Energy Research Alliance. Participants: CEA (France), CESI (Italy), CIEMAT (Spain), CNRS (France), DLR (Germany), ECN (Netherlands), ENEA (Italy), INETI (Portugal), PSI (Switzerland). Swiss Representative: Prof. Dr. A. Wokaun; Swiss Representative for CSP Joint Programming: Dr. A. Meier.
- SFERA – Solar Facilities for the European Research Area (EU Project). Partners: CIEMAT (Spain), CNRS (France), DLR (Germany), ENEA (Italy), PSI (Switzerland), WIS (Israel)
- SynPet (Industrial Project with PDVSA) – Solar steam-gasification of petroleum coke (petcoke).

Concernant les CSP, divers contacts internationaux sont en cours pour la réalisation d'une première installation Airlight à l'échelle industrielle.

Participation suisse dans l'IEA Implementing Agreement SolarPACES

www.solarpaces.org

Annex / Task

Solar Chemistry Research
Solar Technology and Advanced Applications
SHIP - Solar Heat for Industrial Processes

Délégué suisse

Paul Scherrer Institut
ETHZ
SPF HSR Rapperswil

Références

[1] P.G. Loutzenhiser, A. Meier, A. Steinfeld: Review of the two-step H₂O/CO₂-splitting solar thermochemical cycle based on Zn/ZnO redox reactions, *Materials* 3, 4922-4938, (2010).

[2] D. Gstoehl, W. Villasmil, H. Wallimann, C. Hutter, A. Meier: Solar thermal dissociation of ZnO – Separation of gaseous products by quenching, *Proc. 16th SolarPACES Conference, Perpignan, France, September 21-24, 2010.*

[3] W. Villasmil, D. Gstoehl, T. Cooper, A. Steinfeld: Heat transfer analysis of a 100 kW reactor for the solar thermal dissociation of zinc oxide, *Proc. 16th SolarPACES Conference, Perpignan, France, September 21-24, 2010.*

Programme de recherche de l'OFEN Solaire industriel à haute température

Rapport de synthèse 2010

Mandant :

Office fédéral de l'énergie OFEN
CH-3003 Berne

Chef de programme (auteur) :

Pierre Renaud, Stefano Giamboni, Planair SA (pierre.renaud@planair.ch)

Responsable de domaine de l'OFEN :

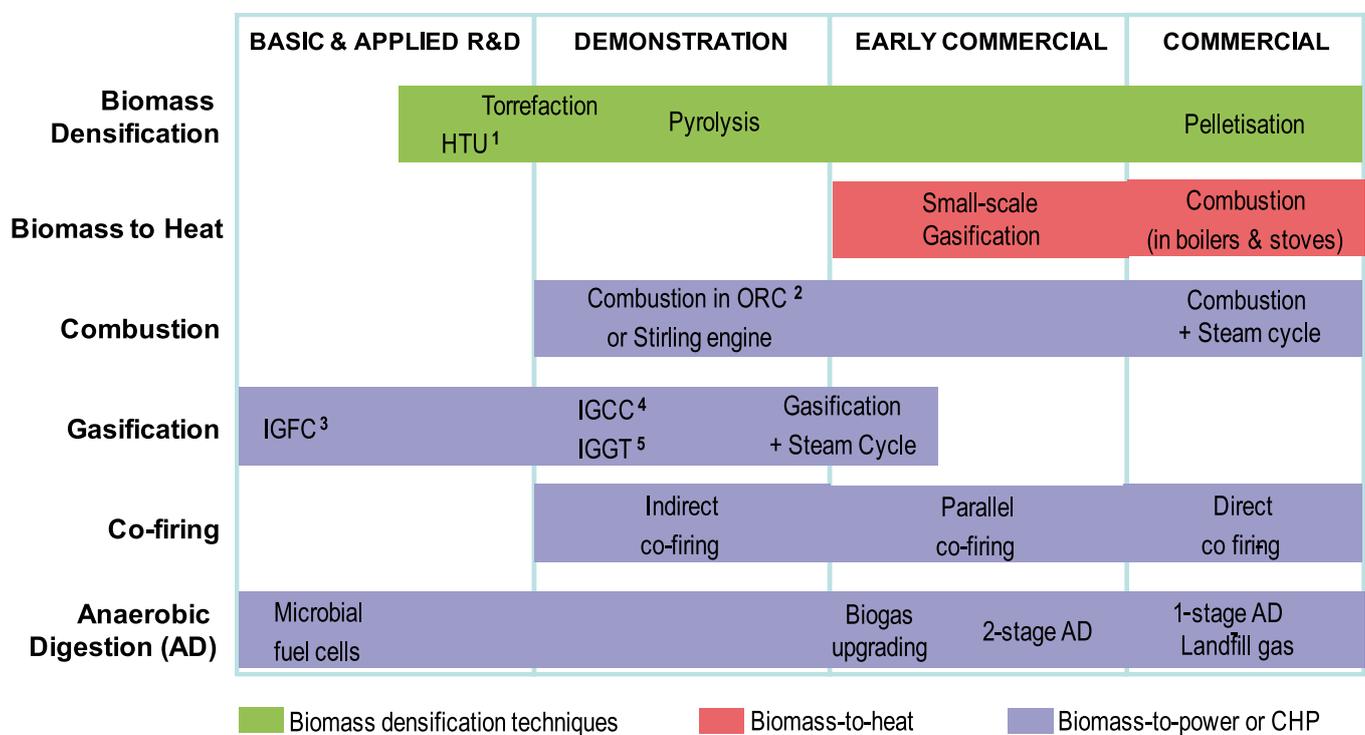
Dr. Stefan Oberholzer (stefan.oberholzer@bfe.admin.ch)

www.bfe.admin.ch/forschungindustriesolar

Les auteurs de ce rapport portent seuls la responsabilité de son contenu et de ses conclusions.

Biomasse und Holzenergie

Sandra Hermle



¹Hydrothermal upgrading; ²Organic Rankine Cycle; ³Integrated gasification fuel cell; ^{4,5}Integrated gasification combined cycle (CC) / gas turbine (GT)

Entwicklungsstand der wichtigsten Technologien zur Aufbereitung und Umwandlung von Biomasse
(Quelle: IEA Bioenergy)

Einleitung

Der Einsatz von Biomasse zur Energieproduktion ist sehr komplex und vielfältig. Zum einen existiert eine breite Palette an einsetzbaren Ausgangssubstraten, und zum anderen stehen verschiedene Umwandlungstechnologien zur Produktion von Strom, Wärme und Treibstoff zur Verfügung. Dementsprechend vielfältig sind die internationalen Forschungsbestrebungen in der Biomassenutzung, welche auch durch die lokal verfügbare Biomasse geprägt sind. Exemplarisch sollen die Zielsetzungen der Europäische Union und der USA im Bereich Energieerzeugung und im Speziellen der Einsatz von Biomasse genauer erörtert werden.

Im April 2009 wurde die Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen verabschiedet. Jeder Mitgliedstaat soll den Anteil an erneuerbaren Energien erhöhen, um dazu beizutragen, diesen Anteil in der EU von heute 8,5 % bis 2020 auf 20 % aufzustocken. Die EU-Länder können selber entscheiden, zu welchen Teilen sie welche erneuerbaren Energien in ihren bevorzugten Mix einfließen lassen wollen, um die unterschiedlichen Potenziale nutzen zu können.

Der Einsatz von Biotreibstoffen zu 10 % des Gesamttreibstoffverbrauchs im Verkehrswesen ist im Gesamtziel der EU ebenfalls mit eingeschlossen. Die Verbindlichkeit dieses Ziels hängt jedoch davon ab, ob die Erzeugung nachhaltig ist und ob genügend Biotreibstoffe der zweiten Generation kommerziell zur Verfügung stehen. Auch die EU hat Nachhaltigkeitskriterien für Biotreibstoffe formuliert; der Vollzug liegt aber bei den Mitgliedstaaten. Als eines der ersten Länder hat Deutschland einen Leitfaden für die nachhaltige Biomassenutzung erstellt [1].

Der Anteil der erneuerbaren Energien an den neu installierten Stromerzeugungskapazitäten liegt in der EU27 bei 62 % (17 GW) für das Jahr 2009.

In absoluten Zahlen wurden 19,9 % des Gesamtelektrizitätsverbrauchs in der EU im Jahr 2009 aus erneuerbaren Energien gedeckt [2]. Der grösste Anteil entfiel dabei auf die Wasserkraft (11,6 %), gefolgt von Windkraft (4,2 %), Biomasse (3,5 %) und Solarenergie (0,4 %). Laut Bericht [2] können, sofern die aktuellen Wachstumsraten beibehalten werden, im Jahr 2020 bis zu 1'400 TWh Strom aus erneuerbaren Ressourcen bezogen werden. Es wird geschätzt, dass bis zum Jahr 2020 35 bis 40 % der gesamten Elektrizität (3'200–3'500 TWh) aus erneuerbaren Quellen produziert werden muss, um das gesetzte 20 %-Ziel zu erreichen. Im Jahr 2008 lag der Beitrag der Biomasse zur Stromerzeugung (EU27) bei 19 % (107 TWh). Wird das aktuelle Wachstum der Elektrizitätsproduktion aus Biomasse zugrunde gelegt, so könnte die Produktion auf 200 TWh steigen [2]. Elektrizitätsproduktion aus Biomasse, besonders via Biogas oder WKK, hat den Vorteil, dass Biomasse lagerbar und somit Elektrizität gemäss Nachfrage produziert werden kann.

Um diese EU-weiten Zielsetzungen zu erreichen braucht es verstärkte Forschung in den Bereichen Biomasselogistik, Konditionierung von Biomasse (Produktion von sog. Bio-energy carriers, wie z. B. torrefiziertes Holz oder Pyrolyseöl), die intelligente Nutzung von Stoffströmen, die Optimierung von vorhanden Technologien und neue Ansätze zur Konversion von Biomasse, was sich auch in den EU-Calls des 7. Rahmenforschungsprogrammes widerspiegelt. Zahlreiche aktuelle Themen beschäftigen sich mit dem Bereich Biotreibstoffe (Algen, Lignozellulose, Ethanol etc.). Ein weiterer sich stark entwickelnder Forschungsbereich beschäftigt sich mit dem Bioraffinerieansatz, d. h. der Koproduktion von Treibstoffen, Chemikalien, Strom und Materialien aus Biomasse.

Mit der europäischen Biomasseindustrie-Initiative wurde von der Euro-

IEA-Klassifikation: 3.4 Bio-Energy

Schweizer Klassifikation: 2.4 Biomasse und Holz

päischen Kommission eine Plattform geschaffen, welche besonders die Industrie für Grossprojekte gewinnen will (siehe Abschnitt 6: International Collaboration).

Das Biomasseprogramm der USA beschäftigt sich ebenfalls mit der ganzen Versorgungskette. Schlüsselkomponenten beinhalten: (1) Entwicklung einer nachhaltigen, hoch qualitativen Substratversorgungskette, (2) Entwicklung von Biomassekonversionstechnologien, (3) industrielle Demonstrationenprojekte und Validierung integrierter Bi Raffinerien und Biostromerzeugung und (4) Schnittstellenaktivitäten bezüglich Nachhaltigkeit, strategische Analysen und Marktexpansion. Ziel der Forschung ist die Unterstützung der nationalen Energieziele bezüglich der erneuerbaren Energien, welche im Wesentlichen den Aufbau einer lokalen Biotreibstoffindustrie (volumetrisches Ziel: Einsatz von 36 Mrd. US-Gallonen pro Jahr bis 2022) und die Erhöhung des Anteils an erneuerbarem Strom umfassen. Das Budget für die Biomasseforschung in den USA umfasst jährlich ca. 85 Mio. USD. In Präsident Obamas «New Energy for America»-Plan forderte er Bundesinvestitionen in der Höhe von 150 Mrd. USD für eine saubere Energiezukunft. Im Bereich Elektrizität sollen bis 2012 10 % und bis 2025 25 % der nationalen Elektrizitätsproduktion durch Erneuerbare abgedeckt werden. Übergeordnete Ziele betreffen die Versorgungssicherheit des Landes und damit die Unabhängigkeit von ausländischen Energiequellen, und die Reduktion der Treibhausgasemissionen im Transportsektor.

Biomasse in der Schweiz

Die Biomasse ist – nach der Wasserkraft – die zweitwichtigste einheimische, erneuerbare Energiequelle. Die energetische Nutzung der Biomasse kann einen wichtigen Beitrag zur Schonung von nicht erneuerbaren Ressourcen, zur Versorgungssicherheit des

Landes sowie zur Reduktion der CO₂-Emissionen leisten. Der Anteil der gesamten Biomasse am schweizerischen Endenergieverbrauch beträgt heute 4,6 % [3]. Dies entspricht einem Anteil am Endverbrauch der erneuerbaren Energien von 24,4 % [3].

Die verfügbare Menge an Biomasse und damit das theoretische Potenzial ist in der Schweiz auf Grund der hohen Besiedlungsdichte, des beschränkten Anteils an produktiven Flächen und der schwierigen Topografie sowie der klimatischen Verhältnisse beschränkt. Gemäss Biomasse-Potenzialstudie [3] könnten gut 10 % des heutigen Primärenergieverbrauchs ökologisch vertretbar mit Biomasse gedeckt werden. Die Nahrungs- und Futtermittelproduktion sowie die stoffliche Nutzung von Biomasse (z. B. Bau- und Industrieholz) werden dabei nur in geringem Masse tangiert. Ungenutzte Potenziale sind insbesondere im Bereich Holzenergie (Waldholz) und in der Landwirtschaft (Ernterückstände, Hofdünger) vorhanden. Bei der energetischen Nutzung von Hofdüngern ist die geringe Energiedichte eine Herausforderung. Im Bereich der Verwertung von biogenen Abfällen (z. B. nasse Grünabfälle in KVA, Klärschlamm) gibt es ebenfalls noch Optimierungspotenzial. Bei der Biomasseforschung stehen neben der Optimierung von Prozessen und Verfahren auch Wirkungsgraderhöhungen, Qualitätssicherung und die Förderung neuer Technologien im Vordergrund. Ökobilanzen spielen sowohl bei neuen, als auch bei bestehenden optimierten Verfahren eine Rolle, um Entscheidungsgrundlagen zu liefern und Perspektiven für Technologien und Prozesse aufzuzeigen. Ein weiterer Themenkomplex beinhaltet Emissionen, welche zum einen klima- und/oder umweltrelevant sind, zum anderen aber auch im sozialen und ökonomischen Bereich eine Rolle spielen können.

Programmschwerpunkte

Das Forschungsprogramm richtet sich in seinem Biomasseforschungskonzept sowohl nach ökologischen, als auch ökonomischen und sozialen Kriterien. Ökologische Leitlinien betreffen einerseits die Minimierung von Schadstoffen bei der Produktion und über den ganzen Lebenszyklus (Reduktion von Emissionen), andererseits die ganzheitliche Betrachtung von verfahrenstechnischen Prozessen u.a. mit Hilfe von Ökobilanzen und das Schliessen von Stoffkreisläufen. Bei den ökonomischen Leitlinien steht die Förderung von möglichst einfachen und kostengünstigen Technologien mit hoher Verfügbarkeit ebenso im Vordergrund, wie die maximale Ausnützung der Primärenergie bezogen auf die Nutzenergie. Es soll Nutzenergie mit hoher Wertigkeit bereitgestellt werden. Zudem sollen die zur Energiegewinnung eingesetzten Biomassesortimente nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion stehen. Innerhalb dieser Leitlinien beschäftigt sich das Forschungsprogramm mit der thermochemischen (Verbrennung, Vergasung) und der biochemischen Umwandlung (anaerobe Vergärung). Forschungsschwerpunkte bei allen Technologien sind (1) Systemoptimierung und -integration, (2) Qualitätssicherung und (3) Neue Verfahren und Technologien. Der erste Schwerpunkt beinhaltet die Effizienzverbesserung des Gesamtsystems, die Reduktion von Emissionen (insbesondere Partikel, NO_x , Ammoniak, Methan), die Kostensenkung und eine umfassende Bewertung der Wertschöpfungskette von Biomassepfaden. Innerhalb des Schwerpunkts Qualitätssicherung sollen Grundlagen für Massnahmen entwickelt werden. Ebenso spielen Standardisierungen und die Umsetzung der weitgehend bekannten Massnahmen zur Qualitätssicherung der Gesamtanlagen eine wichtige Rolle. Durch den dritten Schwerpunkt werden neue Verfahren und Technologien gefördert, wobei sowohl die Erprobung im Labor, als auch die nachfolgende Aufskalierung inkl. wissenschaftlicher Begleitung als wichtig erachtet werden.

Rückblick und Bewertung 2010

Themengebiete, welche im Jahr 2010 bearbeitet wurden und den Schwerpunkten des Forschungsprogramms entsprechen, sind:

- Optimierung der Prozesse bei der anaeroben Vergärung;
- Förderung von neuen Technologien;
- Erstellung und Aufdatierung von Ökobilanzen;
- Emissionen.

Zu Punkt 1: Eine erste Analyse von verschiedenen physikalischen und enzymatischen Vorbehandlungsmethoden zeigten für Schweizer Substrate sehr unterschiedliche Wirkungsweisen. Am besten wirken bis dato Kombinationen von physikalischen und nachfolgenden enzymatischen Methoden.

Mit einem Membran-Bioreaktor (MBR) im halbtechnischen Massstab konnte gezeigt werden, dass die Leistungsfähigkeit bei der Vergärung von Gülle im MBR doppelt so hoch wie in konventionellen Biogasanlagen ist.

Zu Punkt 2: Neue Erkenntnisse konnten im Bereich hydrothermale Vergasung und Vergasung von fester Biomasse gewonnen werden. Auch die Analytik spielte bei den Prozessen eine wichtige Rolle. Das Zusammenspiel zwei verschiedener Technologien (Pelletheizung und Solarthermie) wurde ebenfalls untersucht.

Zu Punkt 3: Ökobilanzen wurden zu verschiedenen Biomasseverwertungspfaden erstellt. Dabei wurden verschiedene Co-Substrate, neue Kulturen und neue Konversionstechnologien berücksichtigt.

Zu Punkt 4: Bei den Stückholzkesseln führt die Startphase zu deutlich erhöhten Schadstoffemissionen (flüchtige und kondensierbare organische Verbindungen). Bei Pelletkesseln tragen sowohl die Start- als auch die Stopp-Phasen entscheidend zur Gesamtfracht an organischen Verbindungen bei. Taktender Betrieb ist somit grundsätzlich unerwünscht. Bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen zeigte sich, dass vor allem Gärrestlager, Feststoffbesicker und Vorgruben ein grosses Emissionspotenzial besitzen (CH_4 , Geruch).

Ausblick 2011

Abgesehen von den im vorherigen Kapitel beschriebenen Themenfeldern in denen verschiedene Projekte noch am Laufen sind, werden vermehrt Projekte in den Fokus rücken, welche thematisch zwei oder mehrere Forschungsprogramme betreffen (z. B. Verfahrenstechnische Prozesse, Wasserstoff, motorische Verbrennung). Die Fragestellungen werden komplexer und umfassen das System als Ganzes und nicht nur einzelne Teilprozesse.

Auch im Jahr 2011 gilt es, die Stakeholder miteinander zu vernetzen, und die Ergebnisse der Projekte einem weiteren Kreis zugänglich zu machen. Durch die Ausschreibung 2009 wurden thematische Schwerpunkte gelegt, welche durch mehrere Projekte bearbeitet werden. Diese Projekte sind nun weit fortgeschritten, so dass im Herbst eine Biomassetagung geplant ist, um diese Ergebnisse Experten und Interessierten vorzustellen und zu diskutieren. Gleichzeitig ist die «OdorVision 11, eine Tagung zum Thema Geruchskonflikte bei Biogasanlagen in Vorbereitung (Organisation: HSR, UMTEC).

Im Herbst 2010 wurde die Biomasseenergiestrategie des BFE (unter Einbezug des Forschungsprogramms) durch die Geschäftsleitung verabschiedet. Unter der Federführung der Sektion Erneuerbare Energien ist das Forschungsprogramm Biomasse ebenso involviert in der Ausarbeitung eines Massnahmenkatalogs. Dieser soll den Handlungsbedarf anhand verschiedener Themenfelder aufzeigen.

Highlights 2010

>> Projektliste

Methan- und Geruchsemissionen bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen

Unter diesem Forschungsschwerpunkt laufen aktuell vier Projekte. Bei der Erzeugung von Biogas und der anschließenden Strom- und Wärmeproduktion mittels BHKW oder der Aufbereitung des Gases zur Einspeisung ins Erdgasnetz sind Leckagen entlang der gesamten Prozesskette möglich. Ziel dieser Projekte ist es, diese zu ermitteln, zu bilanzieren und in Relation zu energie- und umweltrelevanten Parametern zu stellen. Der ökonomische Aspekt soll dabei ebenfalls beleuchtet werden. Auch die Komponenten der Geruchsbelastung sollen messtechnisch erfasst werden, um emissionsmindernde Massnahmen in Relation zu aktuellen Messwerten setzen zu können.

In Bezug auf Methanverluste zeigen erste Messungen, dass vor allem Gärrestlager und Vorruben ein grosses Emissionspotenzial besitzen. Schwachstellen sind beispielsweise der Verbindungsbereich zwischen Folienabdeckung und Fermenterkrone. Ebenfalls konnten Rührwerksdurchführungen und Durchführungen für die Rührwerksverstellung von Tauchrührwerken als häufige Ursache für Gasverluste festgestellt werden.

Insbesondere wurden die CH_4 -Emissionen bei EPDM-Gasspeichern (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk) untersucht. Hier stellte sich die Frage, ob die Qualität der Folie nach einer gewissen Einsatzdauer und unter bestimmten Bedingungen (erhöhte Säurewerte im Fermenter, Substratzusammensetzung) nachlässt. Die gemessene Methanpermeation liegt bei gemessenen neuen Folien deutlich höher, als die Angabe durch den Hersteller. Die ge-

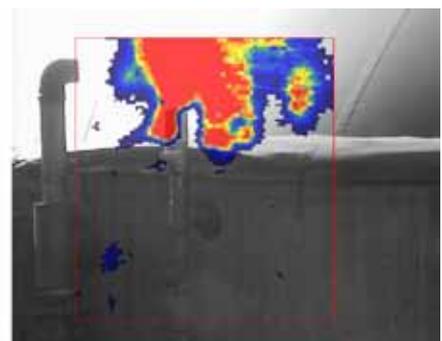
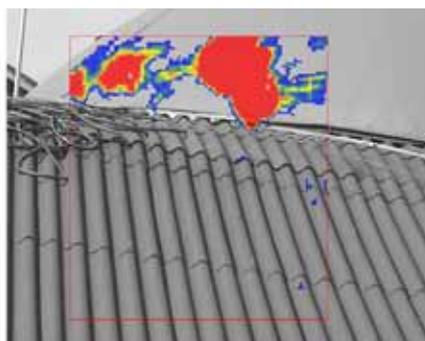
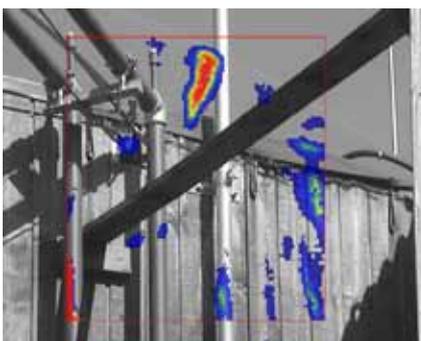


Figur 1: (Links) Beprobung einer aktiven Geruchsquelle und (rechts) einer passiven Geruchsquelle. Bei der Probenahme von aktiven Geruchsquellen wird ein Probenahmebeutel in einen Behälter gegeben (Abbildung links in der blauen Tonne), der für die Probenahme luftdicht abgeschlossen wurde. Der Probenahmebeutel wird über einen Teflonschlauch mit der Probenahmestelle verbunden. Durch Evakuierung des Behälters strömt die Probeluft direkt und unbeeinflusst (kein Kontakt mit der Pumpe) in den Beutel ein. Der Probenahmebeutel aus geruchslosem Nalophan wird so nach dem «Lungenprinzip» gefüllt. Der abgebildete Probenehmer ist für eine Probenahme von einer Minute ausgelegt. Da passive Flächenquellen nicht aktiv durchströmt werden, muss zur olfaktorischen Probenahme die geruchsemitternde Fläche mit geruchsneutraler Luft überströmt werden. Die Beprobung einer passiven Flächenquelle erfolgt mit Hilfe einer belüfteten Probenahmehaube und einem 1-Minuten-Probenehmer.

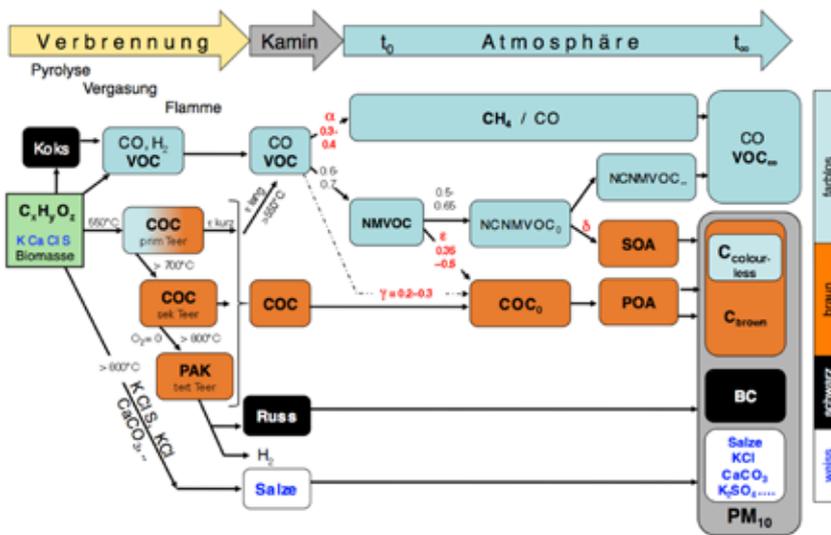
nutzten Folien zeigten keine eindeutige Zunahme der Permeationsrate mit zunehmendem Alter. Die Art der untersuchten Substrate hatte keinen Einfluss auf die Methanpermeation der Folien. Aufgrund der Permeation durch die gedehnten EPDM-Folien gehen je nach Grösse jährlich 100 bis 460 Nm^3 Methan verloren. Dies entspricht im Schnitt rund 0,26 % des täglichen Gasspeichervolumens und liegt bei rund 1,5 % der Gesamtmethanverluste pro Anlage, resp. bei 6,1 %, wenn die Anlage bereits mit einem Nachgärer, abgedecktem Endlager, sowie Gülleausbringung mit Schleppschlauchverfahren optimiert ist. Im Durchschnitt über alle untersuchten Anlagen zeigt

sich ein jährlicher Mindererlös aufgrund des Methanverlustes durch die EPDM-Folie von rund CHF 250.– pro Anlage, wobei die Anlagen Faulraumvolumina von 340 bis 2'200 m^3 (pro Anlage) aufweisen.

Um eine bessere Datengrundlage im Bereich Geruchsemissionen von Biogasanlagen zu schaffen, werden momentan zwei Projekte bearbeitet. Ziel der Projekte ist es, relevante Geruchsquellen von Biogasanlagen zu identifizieren und zu quantifizieren. Dies erfolgt mittels Luftprobenahme an verschiedenen Geruch emittierenden Anlagenteilen und mittels Fahnenbegehungen, um die Geruchsbelastung



Figur 2: Methanemissionen an den lokalisierten Quellen im Bereich der Fermenterkrone



Figur 3: Konversion der organischen Verbindungen von der Verbrennung über den Kamin bis in die Atmosphäre, wo durch Verdünnung sowie durch fotochemische Reaktionen von VOC (volatile organic compounds) zu SOA (secondary organic aerosol) eine Aufteilung in Gase und Feinstaub (PM₁₀) erfolgt. In der Grafik werden die Fraktionierungsfaktoren α , ϵ und γ eingeführt, die durch Analysen bestimmt wurden. Bei der Bildung von SOA nimmt die Masse durch Aufnahme weiterer Elemente um einen Faktor δ zu, für den in der Literatur für Holzrauch ein Wert von 2,2 bis 2,6 gefunden wurde. In der Grafik werden die Begriffe VOC für KW (Kohlenwasserstoffe) und NMVOC (non methane VOC) NMKW verwendet. Die Bezeichnung NCMVOC steht für nicht-kondensierbare (non condensing) NMVOC.

der Gesamtanlage immissionsseitig ebenfalls zu erheben. Anschliessend soll ein Geruchsemissionsmodell erstellt werden, welches Planern, Investoren und Bewilligungsbehörden eine Planungshilfe schaffen soll.

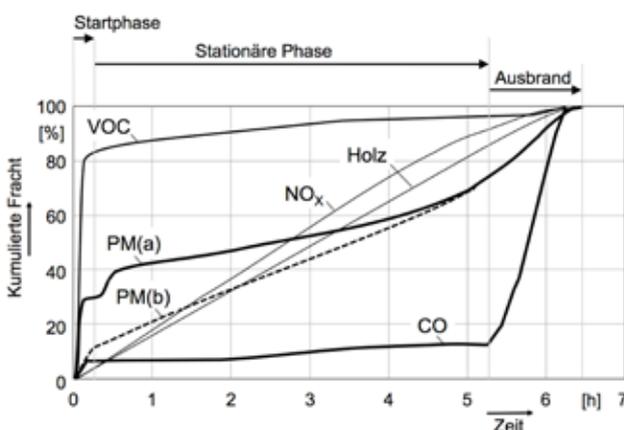
Es hat sich gezeigt, dass die grössten Geruchskonzentrationen an der Vorgrube und am Feststoffbeschicker vorherrschen. Die Geruchsintensität hängt

stark vom Substrat ab, wobei Schweinegülle und Fleischsuppe in Verbindung mit feuchten Co-Substraten sehr geruchsintensiv sind. Zudem hat sich gezeigt, dass das Aufwerfen von gelagerten Co-Substraten, z. B. beim Eintragen in den Fermenter, eine ca. 2- bis 30-fache Emission verursacht gegenüber dem einfachen Lager.

Prüfverfahren für die Startphase

Ziel dieser Arbeit ist, das Startverhalten von Stückholzkesseln zu untersuchen, den Anteil der während der Startphase emittierten Schadstoffe an der Gesamtfracht zu bestimmen und eine Einbindung der Startphase in die Prüfung nach EN 303-5 als Zusatzanforderung für das Qualitätssiegel zu überprüfen. Zur Berücksichtigung in der EN ist von Interesse, welche Schadstoffe in der Startphase von Bedeutung sind, und welche Leitgrössen zur Messung in Frage kommen, wozu die Korrelationen unter den verschiedenen Stoffgruppen untersucht werden sollen.

Die Bestimmung der Emissionen zeigt, dass die Startphase bei modernen Kesseln für den Grossteil der Fracht an organischen Verbindungen verantwortlich ist. Da diese Schadstoffe besonders gesundheitsrelevant sind und in der Startphase ausserdem rund viermal mehr organische Kondensate als Russ und andere Feststoffe emittiert werden, wird die Begrenzung der organischen Schadstoffe in der Startphase als vordringlich beurteilt. Dazu kommt die Messung von VOC in Frage, da diese bereits heute für die Prüfung nach EN 303-5 für Holzkessel vorgeschrieben ist und da NMVOC während der Startphase über 70 % der VOC ausmachen. Daneben kann während der Startphase aber auch ein gleichläufiges Verhalten von CO mit VOC, NMVOC und COC nachgewiesen werden, so dass auch eine einfachere Messung von CO in der Startphase als Indikator für die organischen Verbindungen in Fra-



Figur 4: Zeitverlauf der Frachten eines Abbrands von Kessel 1 (unterer seitlicher Abbrand, guter Start) sowie der Frachten für Feinstaub (PM) aus der Anzahlkonzentration von SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) und OPC (Optical Particle Counter) von Kessel 2 und 3 (Sturzbrand) (gestrichelt).

Parameter	Einheit	konv. RK	MBR
Rohgülle	l	1000	-
Dünngülle	l	-	950
TS	g/kg	36.2	25.3
OTS	g/kg	26.0	18.2
Gasausbeute	l/kg OTS	266.1	616.9
Gasmenge	l	6926	11241
Methanengehalt	Vol.-%	60.5	63.1
Methanmenge	l CH ₄ /m ³	4190	7091
Methanertrag	relativ	100%	169%
Heizwert	kWh	154.2	107.9
Gasertrag	kWh	41.8	70.7
Energieeffizienz	System-Input	27.1%	65.5%
Gesamteffizienz	relativ	27.1%	45.8%

Figur 5: Leistungsvergleich von konventioneller Vergärung (konv. RK) und MBR

ge kommt. Da die Fracht an Feststoffen im Gegensatz zu der organischen Fracht nicht durch die Startphase dominiert wird, wird eine Staubmessung während der Startphase nicht als zwingend notwendig erachtet. Bezüglich Kaminzug wird vorgeschlagen, zur Einführung der Startphase entweder vorerst eine konstante Vorgabe von 12 Pa einzuhalten oder eine aufgrund von Untersuchungen noch festzulegende praxisnahe Vorgabe zu definieren.

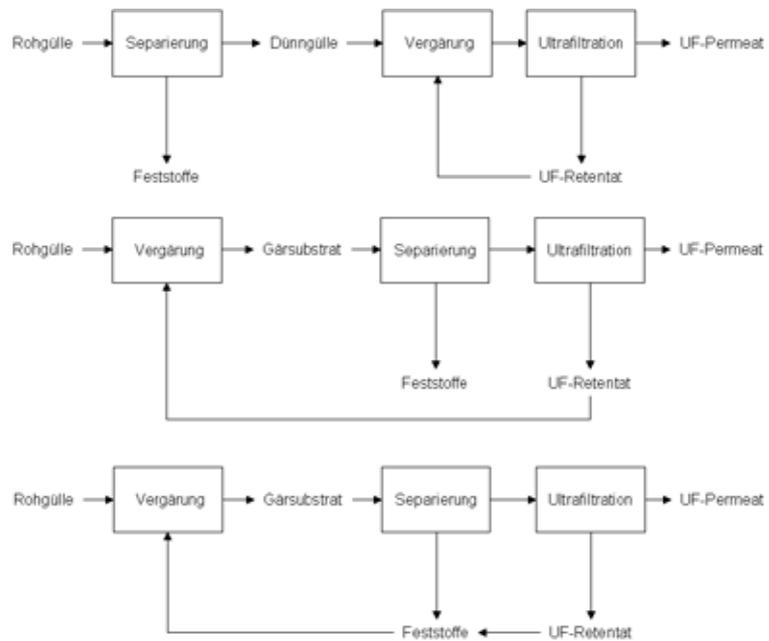
Als erste Stufe wird für CO ein Grenzwert von 4000 mg/Nm³ bei 13 Vol.-% O₂ und für VOC ein Grenzwert von 15 % des CO-Grenzwerts vorgeschlagen. Als weitere Stufe können die Grenzwerte um 25 % oder um 50 % der für die Einführungsphase vorgeschlagenen Grenzwerte reduziert werden. Einer einfachen Einbindung der Startphase in die Typenprüfung steht aufgrund der vorliegenden Untersuchung allerdings die schlechte Reproduzierbarkeit des Startverhaltens entgegen.

Vergärung von Gülle und Co-Substraten in einem Membranbioreaktor (MBR)

Hofdünger, v.a. Gülle, stellt neben Holz das grösste Biomassepotenzial in der Schweiz dar [4]. Ein Konversionspfad ist die Vergärung zu Biogas. Konventionelle Biogasanlagen (Rührkessel) haben den Nachteil, dass bei jeder Beschickung von Frischmaterial gleichzeitig Substrat aus dem Reaktor ausgeschleust wird. Neben unvergorenem Substrat gehen damit auch aktive Bakterien verloren. Dies reduziert die Leistungsfähigkeit der Gasproduktion.

Das System des Membranbioreaktors (MBR) hingegen hält die aktive Bakterienmasse mittels einer Ultrafiltrationsmembran im Reaktor zurück, Wasser und Salze können passieren. Der Rückhalt der Biomasse erhöht die Leistungsfähigkeit der Biogasproduktion. Das Verfahren ist besonders für Flüssigkeiten geeignet und bietet sich ideal für die Vergärung von Gülle an. Zudem wird durch die Trennung von Salzen und organischem Material ein Flüssigdünger produziert.

Während drei Versuchsphasen sollen die Leistungsfähigkeit, die Wirtschaftlichkeit sowie die Implementierung des MBR-Systems untersucht werden. Dabei werden drei Substrate nämlich Gülle, Konzentrat aus Gülle (Retentat)



Figur 6: Konzepte zur Implementierung des MBR-Systems: Das 1. Konzept basiert auf dem klassischen MBR-Verfahren mit einer Vorbehandlung der Rohgülle über eine Separierung und einer Vergärung mit direkt betriebener UF. Vorteile dieser Prozessführung sind die Ausschleusung hemmender Substanzen und das geringere Fermentervolumen. Nachteilig wirkt sich aus Sicht einer Energieertragsmaximierung der Verlust an OTS (organische Trockensubstanz) in Form der Feststoffe aus.

Das 2. Konzept umfasst eine konventionelle Vergärung der gesamten Gülle. Nach der Vergärung wird das Gärsubstrat separiert und die Gärdünngülle über die UF weiterbehandelt. Das UF-Retentat gelangt zurück in den Fermenter. Da bei der Separierung nicht alle Bakterien und nicht alle umgesetzten organischen Bestandteile abgetrennt werden, kann davon ausgegangen werden, dass ein Teil davon mit der UF zurück in den Fermenter geführt wird. Die Leistungsfähigkeit betreffend produzierte Gasmenge liesse sich dadurch noch weiter steigern.

Das 3. Konzept ist mit dem 2. vergleichbar, wobei die Feststoffe mit dem UF-Retentat zusammen in den Reaktor zurückgeführt werden. Mit dieser Variante könnte eine Energiemaximierung erreicht werden.

sowie Konzentrat aus Gülle mit flüssigem Abfall untersucht. Dies erfolgt auf zwei Anlagen. Die Versuchsanlage im halbtechnischen Massstab dient zur Abklärung von Verfahrenstechnik, Wirtschaftlichkeit und Implementierung. Die Prozesstechnik und die biologischen Grenzen werden mittels einer Laboranlage untersucht. In der Versuchsanlage konnte in der ersten Versuchsphase gezeigt werden, dass die Leistungsfähigkeit bei der Vergärung von Gülle im MBR doppelt so hoch ist wie in konventionellen Biogasanlagen. Die Gasausbeute konnte gegenüber Rohgülle mit 270 l/kg organischer Substanz (OTS) auf 610 l/kg OTS bei einer Aufenthaltsdauer (HRT) von 10 Tagen gesteigert werden. Die HRT lässt sich im Gegensatz zu konventionellen Anlagen mit mehr als 20 Tagen bis auf vier Tage reduzieren, ohne dass eine Beeinträchtigung des Prozesses

eintritt. Damit ist eine Reduktion des Fermentervolumens um bis zu 80 % möglich. Bezogen auf die zugeführte OTS-Menge konnte die Biogasproduktion von 27 % im Rührkessel auf 65 % im MBR erhöht werden. Die filtrierte Flüssigkeit aus der Ultrafiltration ist hygienisch einwandfrei und kann ideal als Stickstoff- und Kaliumdünger stofflich verwendet werden.

Die Schwelle der Wirtschaftlichkeit wird bei einem Betrieb ausschliesslich mit Gülle beim MBR vor 35'000 Jahrestonnen erreicht.

Nationale Zusammenarbeit

Das Forschungsprogramm Biomasse und Holzenergie hat auch 2010 eng mit dem Marktbereich zusammengearbeitet und sich abgestimmt. 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). Dieser Bedarf wurde auch von der KTI erkannt, weshalb sie ein spezielles F&E-Konsortium gegründet hat (www.sustainableengineering.ch), welches Unternehmer mit Experten aus der Hochschulforschung im Bereich Ressourcenmanagement und Ressourcenschutz vernetzt. Innerhalb dieses Konsortiums soll eine Plattform im Themenbereich «Biorefinery-stoffliche und energetische Biomasseverwertung» aufgebaut werden.

Auch die Ämter übergreifende Zusammenarbeit spielt innerhalb des Forschungsprogramms eine wichtige Rolle. Neben der vom BAFU initiierten Koordinationsgruppe Ökobilanzen wurde mit verschiedenen Sektionen des BAFU und auch mit dem BLW der Austausch gepflegt. Erste Kontakte wurden auch zum BAG geknüpft. Ein weiteres Instrument zum Ämterübergreifenden Austausch ist die AG Biomasse mit Einsitz von ARE, BAFU, BLW, BVet, EAV, EZV, und Seco.

Auf Programmebene haben verschiedene Meetings zu einzelnen Forschungsthemen stattgefunden, zu denen mehrere Projekte laufen und somit die Koordination zwischen den einzelnen Projektnehmern unabdingbar ist. Ein Austausch fand sowohl bei den laufenden Emissionsprojekten (landwirtschaftliche Biogasanlagen), als auch bei den aktuell zu erstellenden Ökobilanzen statt.

Im Rahmen des Aktionsplans Erneuerbare Energien des Bundesrats wurde das BFE beauftragt, in Anlehnung an die übergeordnete Biomassestrategie der Schweiz [5] eine Strategie zur energetischen Nutzung der Biomasse in der Schweiz zu erarbeiten. Diese soll aufzeigen, wie das vorhandene energetische Biomassepotenzial möglichst vollständig, effizient und umweltschonend genutzt werden kann. Diese Strategie wurde unter der Federführung der Sektion Erneuerbare Energien erarbeitet und im Berichtsjahr publiziert. Auch die Bereichsleitung des Forschungsprogramms Biomasse und Holzenergie arbeitete aktiv in dieser Arbeitsgruppe mit und wird dies auch weiterhin tun, da in einem nächsten Schritt Massnahmen zur Umsetzung dieser Strategie erarbeitet werden sollen. Die Fertigstellung der Massnahmen ist auf Ende 2011 geplant.

Die nationale Vernetzung wurde im 2010 durch zwei internationale Veranstaltungen gestärkt. Beim 11. Holzenergiesymposium wurde das Holzpotenzial und Strategien zu dessen Nutzung diskutiert, der Einfluss der Betriebsweise auf die Schadstoffemissionen und Wirkungsgrade aufgezeigt und neue technische Konzepte zur effizienten Nutzung von Holz für Wärme und Strom vorgestellt.

An der Tagung von BiomasseEnergie mit dem Titel «Gemeinsam Visionen schaffen» haben Vertreter der Branche im Gespräch mit in- und ausländischen Experten bestätigt, dass Biomasse künftig im globalen und schweizerischen Energiemix eine zentrale Rolle spielen muss. Bis zu 30 % des globalen Energiebedarfs können bis 2030 über eine nachhaltige Nutzung feuchter und fester Biomasse bereitgestellt werden. Trotz einer positiven Bilanz wird das Potenzial in der Schweiz erst zu einem Bruchteil genutzt. Besonders in der Landwirtschaft und bei Abfall- und Reststoffen sieht man eine grosse Chance für eine nachhaltige und klimaschonende Energiegewinnung aus Biomasse.

Internationale Zusammenarbeit

Das BFE ist Mitglied beim Implementing Agreement Bioenergy (www.ieabioenergy.com) der IEA (International Energy Agency) [6], welches aus 13 Tasks besteht. Die Schweiz arbeitet in 3 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 gleichzeitig die Anliegen der Schweiz in der IEA zu vertreten.

Task 32: Biomass combustion and Co-Firing

Dieser Task [7] hat zum Ziel, die Markteinführung der Biomasseverbrennung zur Energieerzeugung zu fördern. Die Arbeitsgruppe setzt sich zur Überwindung

technischer und nicht-technischer Hindernisse ein und unterstützt den Einsatz effizienter und schadstoffarmer Technologien. Dazu erfolgen ein umfassender Erfahrungsaustausch unter den Mitgliedsstaaten sowie die Zusammenarbeit in ausgewählten Schwerpunktthemen. 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. Im Berichtsjahr wurden die bisherigen Themen bestätigt und spezifische Arbeitsschwerpunkte gesetzt. Dazu gehören Aerosole, Torrefaction, Co-firing, combined heat and power, pellets, small-scale combustion and ash utilization. Für die Schweiz von besonderem Interesse sind die Aktivitäten zu Feinstaub, der Erfahrungsaustausch über Wärmekraftkopplung, die Thematik der Sicherheit

(unter anderem zu Kohlenmonoxid aus Holzpellets) und Konzepte zur Ascheverwertung.

Task 33: Thermal Gasification of Biomass

Dieser Task [8] 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) Komponente-optimierung: Gasreinigung, Filterkonzepte, Optimierung der Synthetisierung und (4) Verbesserung des gesamten Anlagen-Wirkungsgrades auf den verschiedenen Verfahren. Im vergangenen Jahr wurde der Erfahrungsaustausch betreffend Gross- und Kleinanlagen anhand von Vorträgen, aber auch durch Anlagenbesichtigungen aktiv vorangetrieben. International stehen die weltweiten intensiven Forschungsaktivitäten und Anlagenentwicklungen für die 2. Generation Biotreibstoffe ab Gross-Vergasungsanlagen (300 MW Brennstoffeintrag) im Vordergrund. Die kleinen Holz-Vergasungsanlagen (< 10 MW Brennstoffeintrag) mit kombinierter Nutzung von Wärme und Strom haben sich nach wie vor nicht durchgesetzt.

Task 37: Energy from Biogas and Landfill Gas

Die übergeordnete Aufgabe des Tasks [9] ist die Information über die Technik der anaeroben Vergärung. Dazu gehört, neben der Gärtechnik und den verschiedenen

Substraten, die Aufbereitung und Nutzung des produzierten Biogases sowie der Einsatz des Gärguts als organischer Dünger. Die Schwerpunkte 2010 wurden auf die Gasaufbereitung und auf die Verwendung von Gärgut als Dünger gelegt. Die Gasaufbereitung ist – nach den Vorreitern Schweden und Schweiz – inzwischen bei fast allen Mitgliedsländern des Tasks ein Top-Thema geworden. Insbesondere in Deutschland boomt der Anlagenbau, aber auch in Holland und Österreich beginnt der Bau neuer Aufbereitungsanlagen anzusteigen. Weltweit stehen rund 130 Aufbereitungsanlagen in Betrieb, die meisten davon in Schweden und Deutschland. Das Thema Gasschlupf gewinnt nach Deutschland und der Schweiz auch in den anderen Mitgliedsländern an Bedeutung.

Neben den Aktivitäten innerhalb der IEA nahm das BFE eine Koordinationsfunktion bei der European Industrial Bioenergy Initiative (EIBI) des SET-Plans (European Strategic Energy Technology Plan) [10] der Europäischen Kommission ein. Ziel von EIBI ist (1) die Kommerzialisierung von fortgeschrittenen Bioenergiotechnologien im grossen Massstab bis 2020 voranzutreiben und (2) die Führungsrolle der EU im Bereich Technologieentwicklung für erneuerbare Biotreibstoffe zu stärken. Um die Hürde der Kommerzialisierung zu nehmen, sollen diese Ziele durch public-private-partnerships erreicht werden. Insgesamt stehen 7 Wertschöpfungsketten im Fokus (thermochemisch, als auch biochemisch), wobei die Schweiz am thermochemischen Umwandlungspfad der Vergasung interessiert ist. Im vergangenen Jahr wurde die Initiative an der SET-Plan Konferenz im Juni in Madrid verabschiedet. Des weiteren fanden 2 Meetings statt, wo es bezüglich möglicher Projekte um «Eligibility and award criteria», «Key performance indicators» und die Vorbereitung eines «Call for Expression of Interest» ging.

Referenzen

[1] Bundesamt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE): Leitfaden Nachhaltige Biomasseherstellung (2010)

[2] European Commission Joint Research Centre: Renewable Energy Snapshots (2009)

[3] Bundesamt für Energie (BFE): Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien 2009 (2010).

[4] Bundesamt für Energie (BFE): Potenziale zur energetischen Nutzung von Biomasse in der Schweiz (2004).

[5] BFE, 2009: Biomassestrategie Schweiz (www.bfe.admin.ch/dokumentation/publikationen)

[6] International Energy Agency (IEA) Implementing Agreement Bioenergy (www.ieabioenergy.com)

[7] Implementing Agreement Bioenergy Task 32 (www.ieabcc.nl)

[8] Implementing Agreement Bioenergy Task 33 (www.gastechnology.org)

[9] Implementing Agreement Bioenergy Task 37 (www.iea-biogas.net)

[10] SET-Plan und European Bioenergy Industrial Initiative (ec.europa.eu/energy/technology/initiatives/initiatives_en.htm)

BFE Forschungsprogramm Biomasse und Holzenergie

Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiterin BFE (Autorin):

Dr. Sandra Hermle, Bundesamt für Energie (sandra.hermle@bfe.admin.ch)

Bereichsleiterin BFE:

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

www.bfe.admin.ch/forschungbiomasse/

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich die Autorin dieses Berichts verantwortlich.

Wasserkraft

Klaus Jorde



Neuartiges über- und unterströmbares Kraftwerk für sehr niedrige Fallhöhen

Die Firma Hydro-Energie Roth in Karlsruhe hat ein neuartiges Kraftwerk für sehr niedrige Fallhöhen entwickelt. Das Kraftwerk ist schwenkbar und kann über- und unterströmt werden. Im Rahmen eines Projekts zur Untersuchung unterschiedlicher Konzepte für die Nutzung sehr kleiner Fallhöhen wurde unter anderem auch dieses Konzept in technischer, ökologischer und wirtschaftlicher Hinsicht untersucht und mit anderen verglichen. Der Bericht dazu wird in Kürze zur Verfügung stehen.

Einleitung

Wasserkraft ist in der Schweiz die bedeutendste Quelle für die Generierung von elektrischem Strom. Fast 60 % des benötigten Stroms werden mithilfe von Wasserkraft erzeugt. Ungefähr die Hälfte davon stammt aus Speicherkraftwerken. Das heisst, dass dieser Strom auf Abruf bereitgestellt werden kann, was ihn besonders wertvoll macht. Die andere Hälfte stammt aus Laufwasserkraftwerken, die das Wasser der Flüsse so abarbeiten, wie es ankommt, es gibt dort keine Speichermöglichkeiten. Die meisten attraktiven Standorte in der Schweiz sind seit langem genutzt. Bei den Speicherkraftwerken gibt es auch eine Reihe von wesentlichen Erweiterungen und Neubauten, die infolge ihrer Rolle im europäischen Verbundnetz wirtschaftlich attraktiv geworden sind.

Das Forschungsprogramm Wasserkraft unterstützt und fördert die vollständige Nutzung des vorhandenen Wasserkraftpotenzials in der Schweiz. 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 unter anderem dazu bei, Wissen und Informationen zu schaffen und bereitzustellen, die diese Konsensfindung unterstützen.

Ein grosser Teil der Wasserkraftforschung, insbesondere im Bereich der grossen Speicherkraftwerke, wird wie seit jeher von den grossen Forschungseinrichtungen der eidgenössischen technischen Hochschulen sowie den Fachhochschulen geleistet. Die Fragestellungen beziehen sich häufig auf eine Erneuerungs- oder Erweiterungs-massnahme an einer bestimmten Wasserkraftanlage, bei der Fragestellungen auftreten, für die es keine genau untersuchten und allgemein gültigen

Lösungsansätze gibt. In solchen Fällen werden häufig Felduntersuchungen mit Laborversuchen nachgestellt und die gewonnenen Erkenntnisse in Entwurfsrichtlinien oder in numerischen Modellen implementiert. Dies können rein technische aber auch hydraulisch-ökologische oder technisch-ökonomische Fragestellungen sein, die meistens von mehreren Geldgebern gemeinsam gefördert werden.

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 hat eine grosse Anzahl von Wasserrechtsanträgen zur Folge. Gleichzeitig wächst der Widerstand gegen noch mehr kleine Wasserkraftanlagen. Uneinigkeit herrscht über das tatsächlich nutzbare Potenzial, das mithilfe kleiner und sehr kleiner Wasserkraftanlagen in der Schweiz noch erschlossen werden könnte. Dazu gibt es aber jetzt neue verlässliche Untersuchungen bezüglich des technischen Potenzials, die aus diesem Forschungsprogramm gefördert wurden. Was davon tatsächlich nutzbar ist oder genutzt werden sollte, ist Gegenstand weiterer Untersuchungen, die, wie praktisch alle Forschung im Bereich Kleinwasserkraft, öffentlich gefördert werden müssen.

Weltweit betrachtet wurde nie so viel neue Stromerzeugung aus Wasserkraftwerken in Betrieb genommen, wie im Jahr 2010. Die grössten Zuwächse finden sich in den Schwellenländern Asiens, Afrikas und Lateinamerikas, wo noch enorme nicht genutzte Ressourcen vorhanden sind. Manche der grossen Projekte sind aufgrund ihrer komplexen sozio-ökonomischen, Gewässer-ökologischen und geopolitischen Auswirkungen äusserst umstritten.

IEA-Klassifikation: 3.6 Hydropower

Schweizer Klassifikation: 2.7 Wasserkraft

Programmschwerpunkte

Die Schwerpunkte in der Wasserkraftforschung ergeben sich aus der Situation in der Schweiz selbst, aber auch aus der Einbindung der Schweizer Wasserkraftwerke in das europäische Verbundnetz.

Im Bereich Grosswasserkraft ist bereits ein sehr hoher Nutzungsgrad des technischen Potenzials vorhanden und die weiter möglichen Zuwächse in Bezug auf die Produktion sind im Vergleich dazu gering. Allerdings wird die installierte Leistung bei vielen Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken derzeit massiv gesteigert; gleichzeitig werden neue Anlagen geplant und gebaut. Diese Speichermöglichkeiten werden im europäischen Verbundnetz dringend benötigt, weil immer grössere Mengen von Strom aus nicht regulierten regenerativen Quellen, in erster Linie Wind- und Solarstrom, bereitgestellt werden. Der Strom muss entweder zeitgleich verbraucht oder mit möglichst hoher Effektivität zwischengespeichert werden. Diese technische Notwendigkeit ist eine wirtschaftliche Chance für Schweizer Speicherkraftwerke. Aus der Bereitstellung von Spitzenstrom für das europäische Verbundnetz und den damit verbundenen häufigen Lastwechseln ergeben sich veränderte technische Anforderungen, für die die hydraulischen und elektromechanischen Komponenten der Kraftwerke ausgelegt werden müssen. Diese Problematik und mögliche Lösungen werden untersucht.

Bei den Kleinwasserkraftwerken gibt es nach neuesten Untersuchungen 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, wird derzeit vertieft untersucht.

Aufgrund von Einflussfaktoren, welche die derzeitige Wasserkraftnutzung in ihrem Bestand beeinflussen werden, wie z. B. die Klimaveränderung oder die Umsetzung des revidierten Gewässerschutzgesetzes, ist auch der Erhalt der derzeitigen Stromerzeugung aus Wasserkraft ein Ziel des Forschungsprogramms. Hier geht es um Restwasserfragen, Schwall- und Sunkbetrieb, die Veränderung der hydrologischen Regime und um Fragen einer nach-

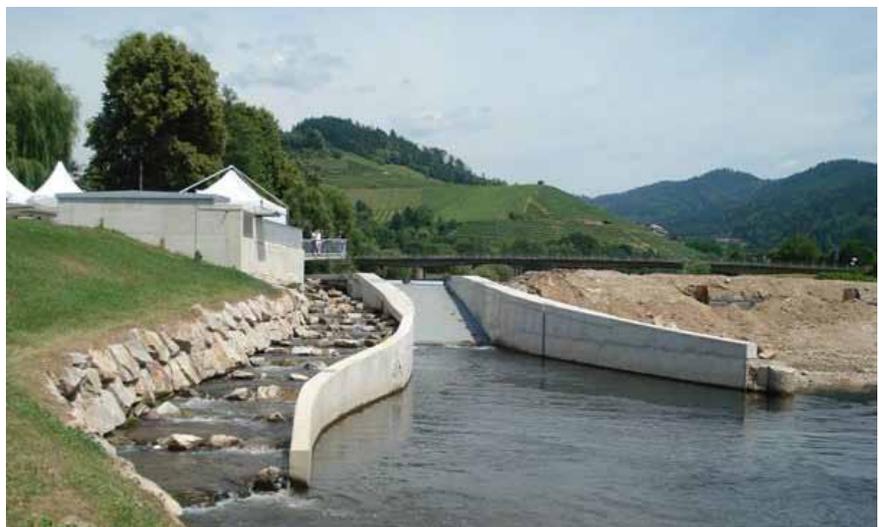
haltigen Bewirtschaftung der vorhandenen Speicher unter zunehmendem Verlandungsdruck.

Rückblick und Bewertung 2010

Das Forschungsprogramm Wasserkraft fördert Projekte seit Ende 2008. Bis 2010 wurden insgesamt 13 Projekte gefördert. 2010 ging das erste grosse Teilprojekt, die flächendeckende Ermittlung der hydraulisch-morphologischen Kleinwasserkraftpotenziale für die Schweiz, zu Ende und der Schlussbericht ist publiziert. Diese Forschungsarbeit wurde von einem privaten Consultant, Watergisweb, realisiert. Weitere Teilprojekte zu diesem hoch aktuellen Thema sind noch in Bearbeitung, unter anderem an der Uni Bern. Im Bereich Grosswasserkraft laufen mehrjährige Forschungsvorhaben an den beiden ETHs, die sich mit verschiedenen Fragen bei Speicherkraftwerken befassen. Die Betreiberfirmen dieser Kraftwerke sind stark involviert und die Projekte werden mit weiteren Fördermitteln, z. B. von Swisselectric Research, unterstützt. Im Bereich Kleinwasserkraftwerke wurden einige vergleichsweise kleine Projekte unterstützt, die verschiedene aktuelle Fragestellungen im Bereich von Niederdruckanlagen generell abklären und Entscheidungshilfen bereitstellen. Aufgrund von Budgetbeschränkungen konnten 2010 keine neuen Forschungsprojekte bewilligt werden, trotz einer Vielzahl von Anfragen. Eine Reihe von Anfragen wurde aber auch aufgrund fachlicher Kriterien abgewiesen.

Ausblick 2011

Für das Jahr 2011 stehen wieder freie Mittel zur Verfügung. Projekte in der Pipeline werden jetzt konkretisiert und können neu gefördert werden. Die Anzahl der Projekte, die dafür infrage kommt, übersteigt jedoch das vorhandene Budget. Die wesentlichen Ergebnisse der 2010 abgeschlossenen Projekte sollen in geeigneter Form publiziert werden, entweder anlässlich von Wasserkrafttagungen oder in Fachzeitschriften. Diese Veröffentlichungen sind Bestandteil der vertraglichen Vereinbarungen mit den Forschungsstellen und dienen insbesondere im Bereich der Kleinwasserkraftwerke der Information aller Interessenten. Neben der Begleitung der Forschungsprojekte versucht die Programmleitung eine stärkere Einbindung der schweizerischen Wasserkraftforschung in internationale Netzwerke zu fördern. Das liegt insbesondere dort nahe, wo die Fragestellungen fachlich sehr komplex sind und nicht durch ein einzelnes Forschungsprojekt abschliessend bearbeitet werden können, wie z. B. bei der Schwall- und Sunkproblematik infolge zunehmendem Speicherkraftwerksbetrieb. Die aktuelle Energiediskussion betrifft auch das Forschungsprogramm Wasserkraft; immer wieder werden von den politischen Entscheidungsträgern Einschätzungen zu bestimmten Fragen angefordert.



Neuartiges überströmbares Kraftwerk.

Die hier vorgestellten Projekte zeigen das Spektrum der Forschungsarbeiten in diesem Programm. Die Ergebnisse einer GIS basierten Untersuchung des gesamten Kleinwasserkraftpotenzials der Schweiz sind unter anderem wichtiger Bestandteil der Planung der zukünftigen Energieversorgung. In einem weiteren Projekt geht es um besondere Anforderungen in hoch beanspruchten Druckleitungen von Speicherkraftwerken und wie diese Druckleitungen effizienter als bisher bemessen werden können. Schliesslich wird noch ein kleines angewandtes Projekt vorgestellt zur Vermeidung des Geschiebeeintrags in die Triebwasserzuleitung kleiner Flusskraftwerke.

Erhebung des Kleinwasserkraftpotenzials der Schweiz

Das Projekt «Erhebung des Kleinwasserkraftpotenzials der Schweiz» besteht aus insgesamt drei Teilprojekten. Das erste, «Ermittlung des hydroelektrischen Potenzials für Kleinwasserkraftwerke», wurde 2010 abgeschlossen. In diesem Teilprojekt wurde mithilfe von speziell entwickelten GIS-basierten Computermodellen untersucht, wel-

che hydroelektrischen Potenziale insgesamt in der Schweiz vorhanden sind. Die wenigen grossen Flüsse, deren Potenzial im Detail bekannt ist, wurden dabei ausgeklammert. Für alle anderen Bäche und Flüsse wurden Längsprofile errechnet und mittlere monatliche Abflüsse jeweils für 50 m lange Abschnitte aus den hydrologischen Daten für die Schweiz berechnet. Aus diesen Angaben lässt sich für jeden Abschnitt aus der vorhandenen Fallhöhe und dem mittleren Abfluss eine mögliche Kraftwerksleistung berechnen, die sich allein aus der Topographie und dem Abfluss ergibt und deshalb auch als hydromorphologisches Potenzial bezeichnet werden kann. Hängt man die Abschnitte eines ganzen Flusses bis zur Einmündung in einem grösseren Fluss aneinander, so ergibt sich daraus das gesamte Potenzial dieses einzelnen Flusslaufs. Führt man dieses Verfahren für sämtliche Fließgewässer der Schweiz durch, so hält man als Ergebnis das theoretische, d.h. rein aus topographisch hydrologischer Sicht betrachtete Wasserkraftpotenzial der Schweiz. Diese Zahl stellt eine Obergrenze für die Stromerzeugung aus Wasserkraft dar und beinhaltet zunächst natürlich auch alle Wasserkraftanlagen die bereits

bestehen. In einem nächsten Schritt wurden daher alle Gewässerabschnitte ausgeklammert, für die bereits Wasserrechte registriert sind. Für die grossen Wasserkraftanlagen ist dies vollständig bekannt. Kleinere Wasserkraftanlagen, in diesem Fall per Definition unter 300 kW Ausbauleistung, sind nicht systematisch registriert und konnten daher auch nicht vollständig erfasst werden. Zieht man vom theoretischen Wert bereits bestehende Nutzungen ab, so erhält man eine Obergrenze der zusätzlich möglichen Nutzung durch kleine Wasserkraftwerke. Der Begriff «kleine Wasserkraftwerke» ist hier etwas missverständlich, da im wesentlichen das gesamte Wasserkraftpotenzial erfasst wird. Der Begriff wurde nur deshalb verwendet, weil geeignete Standorte für grosse Wasserkraftwerke im einzelnen bekannt und untersucht sind, das summarische Potenzial für kleine Wasserkraftwerke in der Schweiz aber nicht bekannt ist. Die tatsächlich mögliche Nutzung ist ihm Vergleich zum gesamten theoretischen Wasserkraftpotenzial aber nur ein Bruchteil. Dies hat vielerlei Gründe, die hier aber bisher nur zum Teil mit berücksichtigt worden sind. Zum einen kann die Fallhöhe nicht vollständig ausgenutzt werden, weil es hydraulische Verluste gibt und das Wasser auch noch fließen muss, zum anderen geht ein Teil des Wassers bei Hochwasser ungenutzt an Kraftwerk vorbei und schliesslich sind sehr kleine und entlegene Standorte auch bei sehr guter Förderung durch die kostendeckende Einspeisevergütung nicht wirtschaftlich nutzbar. Zum zweiten gibt es Einschränkungen aufgrund geschützter Gebiete (Naturschutzgebiete, Auen von nationaler Bedeutung etc.) und es gibt Gewässer-ökologische und Landschaftsschutz-bezogene Einschränkungen, die eine Nutzung aufgrund der Interessenabwägung nicht zulassen. Schliesslich gibt es auch noch andere Nutzungskonflikte. Die Grenze zwischen Nutzungsanspruch und Schutzbedarf ergibt sich letztendlich aufgrund einer gesellschaftspolitischen Haltung, die kaum technisch geprägt und zudem regional unterschiedlich ist. Um hier zu besseren Abschätzungen zu kommen, wird in Teil II dieses Forschungsprojekts untersucht, wie sich unterschiedliche Prioritäten in den angesprochenen Konfliktbereichen auf die möglichen Nutzungsgrade des technischen Potenzials auswirken. Nur,

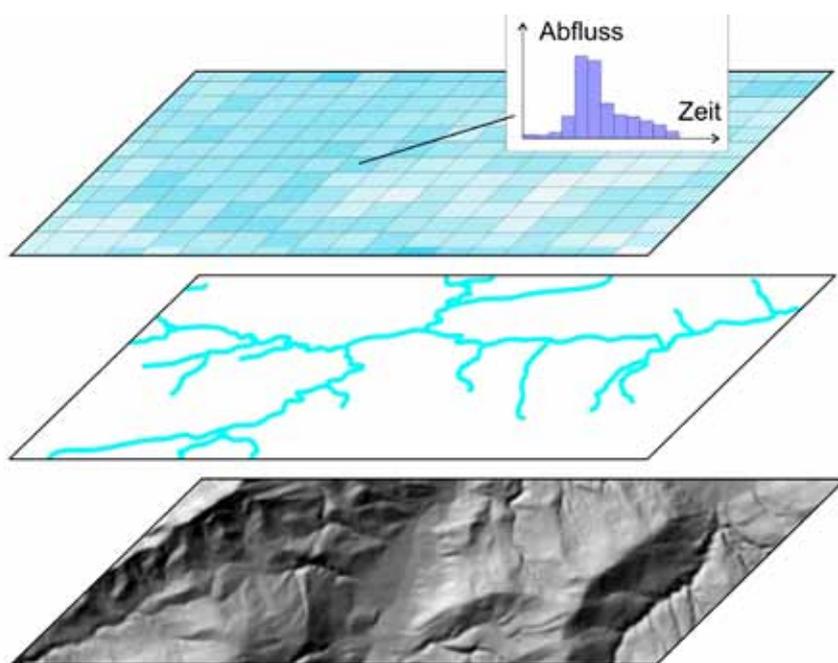
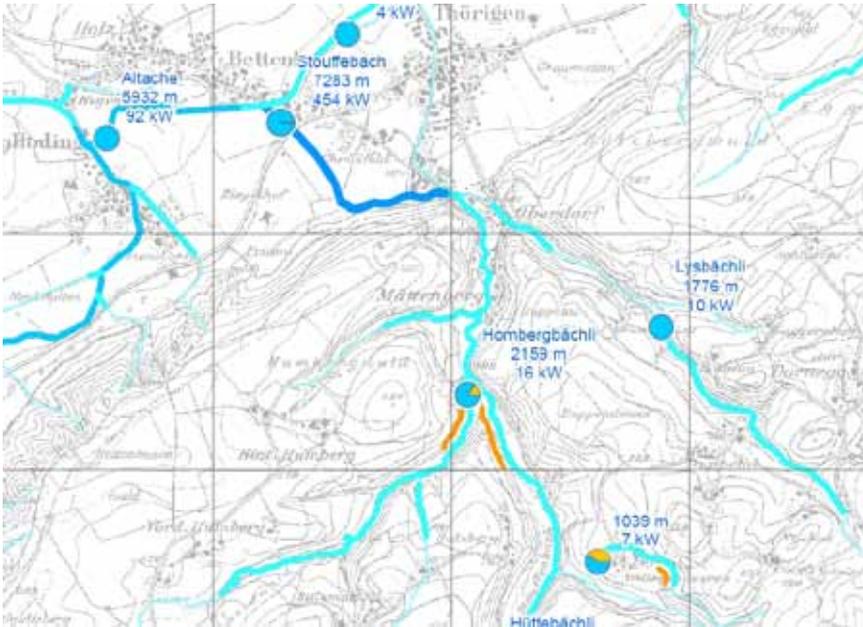


Figure 1: Prinzipskizze für die Berechnung der Wasserkraftpotenziale. Nach der Bereitstellung der Abflussdaten für einen bestimmten Punkt auf der Gewässerkarte wird die Information mit den Fallhöhen aus der topographischen Karte kombiniert.



Figur 2: In Übersichtskarten werden die ermittelten Grössen für jedes Gewässer dargestellt.

wenn es für diese Zahlen gut Abschätzungen gibt, lassen sich wirklich realisierbare Potenziale eingrenzen.

Mit diesen Untersuchungen sollen die zukünftigen Produktionserwartungen aus der Wasserkraft genauer prognostizierbar werden. Für den Bereich der kleinen Wasserkraftwerke sind diese Zahlen zum ersten Mal für die gesamte Schweiz erhoben worden. Energiewirtschaftliche Planer und Entscheidungsträger brauchen verlässliche Aussagen zu den realistischen Potenzialen aller Energieträger. Zusätzlich sollen die Untersuchungen den Kantonen, die eine verstärkte Nutzung kleiner Wasserkraftwerke anstreben und unterstützen, ein Werkzeug in die Hand geben, mit dem sie ihre jeweilige Strategie möglichst effizient umsetzen können.

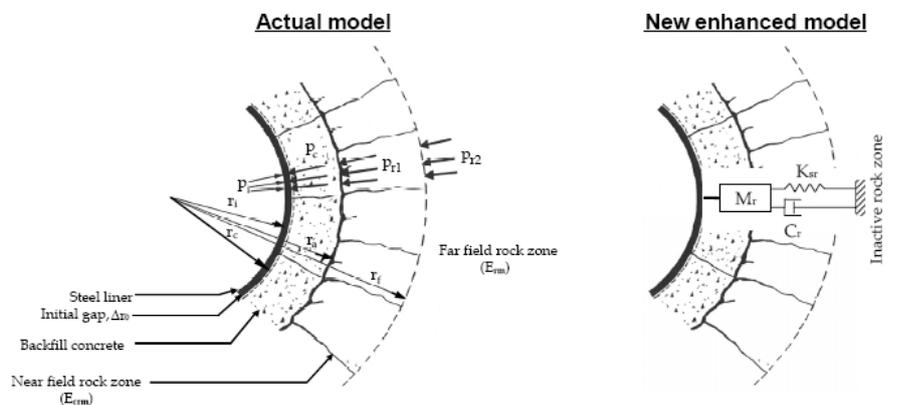
an solcher Regelleistung steigt ständig an, weil immer mehr nicht regulierbare erneuerbare Energien, im wesentlichen Strom aus Wind und Sonne, in das europäische Netz eingespeist werden. Den Speicher- und Pumpspeicherwerken in den Alpen kommt dadurch die Rolle eines grossen Stromspeichers in Europa zu. Dies erfordert immense Investitionen, bietet gleichzeitig aber grosse wirtschaftliche Chancen und entsprechend wird in den Alpenländern investiert. Die Anforderungen an diese Kraftwerke sind die sehr schnelle Verfügbarkeit von grossen Leistungen und gute Wirkungsgrade im gesamten Einsatzbereich. Da im Gegensatz zu früher der Bedarf an Regelleistung sehr stark fluktuiert, treten ständig transiente Betriebszustände in allen

Bauteilen auf, von den Niederdruck-Triebwasserleitungen über die Hochdruckleitungen, Schächte und Wasserschlosser bis zu den Maschinensätzen und schliesslich zur Rückgabe des Wassers in die Unterbecken oder die Flüsse. Diese baulichen Komponenten sind insbesondere bei bestehenden älteren Kraftwerken nicht für diese häufigen und starken Schwankungen ausgelegt, was zu vorzeitigem Verschleiss führen kann. Ziel des hier vorgestellten Forschungsprojekts ist es, zu untersuchen, wie Hochdruckleitungen zukünftig besser an diese sehr schnellen, starken und häufigen Druckschwankungen angepasst werden können.

Hochdruckleitungen bestehen üblicherweise aus einem Stahlrohr, welches im Fels verläuft, wobei der Zwischenraum zwischen Rohrmantel und Fels nach dem Einbau mit Zementmörtel verpresst wird. Aus Kostengründen hat das Stahlrohr einen möglichst dünnen Mantel, der sich unter Last, also mit steigendem Innendruck, ausdehnt und sich zunächst auf den Verpressmörtel und schliesslich auf das umliegende Felsgestein abstützt. Die Wechselwirkung zwischen Stahlrohr, Verpressmörtel und dem umgebenden Felsgestein ist bisher nicht vollständig verstanden. Die wesentlichen Erkenntnisse, nach denen solche Leitungen bisher bemessen wurden, stammen aus den achtziger Jahren. Die zugrunde liegende Theorie beruht auf der Aufteilung des Innendrucks auf die Stahlauskleidung, den Verpressmörtel und den umliegenden Fels in der Weise, dass bestimmte statische Rand- und Übergangsbedingungen eingehalten wurden. Die heute auftretenden ständigen Durchfluss- und Druckschwankungen und das gebrochene Druckrohr von Cleuson-Dixense im Jahr 2000 haben

Bemessung von stahlgepanzerten Druckschächten und -tunnels

Moderne Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke gewinnen innerhalb des europäischen Stromnetzes immer mehr an Bedeutung. Sie gleichen unter anderem die jeweiligen Unterschiede zwischen Angebot und Nachfrage an Strom aus. Wird weniger Strom benötigt als produziert wird, so wird mit Wasser in hoch gelegene Speicherbecken gepumpt. Ist dagegen der Bedarf sehr hoch, so kann schnell Spitzenstrom bereitgestellt werden. Der Bedarf



Figur 3: Vergleich des bisherigen und des neu entwickelten theoretischen Modells für Hochdruckleitungen mit Stahlauskleidung anhand zweier Querschnitte

aber die Notwendigkeit verdeutlicht, dass diese Zusammenhänge genauer erforscht und verbesserte Entwurfsgrundlagen bereitgestellt werden müssen. Im Labor für hydraulische Strömungsmaschinen der EPFL in Lausanne wurde zur Untersuchung dieser Fragen ein Versuchsstand aufgebaut, an dem stark transiente Durchfluss- und Druckschwankungen in Form von sogenannten Druckstössen produziert werden können. Diese wirken auf ein Rohrsystem, das aus verschiedenen steifen Komponenten besteht. An diesem Modell wird messtechnisch untersucht, wie sich Druckstösse fortpflanzen und verändern. Parallel dazu wurde ein neues theoretisches Modell hergeleitet. Dieses berücksichtigt einerseits die Kompressibilität von Wasser und andererseits die dynamische Verformung der tragenden Bauteile – Rohrmantel, Verpressmörtel und umgebender Fels – unter transienten Durchfluss- und Druckbedingungen. Das theoretische Modell wird anhand der physikalischen Untersuchungsergebnisse überprüft und verbessert. Gleichzeitig werden Felduntersuchungen im Druckschacht des Kraftwerks Grimsel II durchgeführt. Insgesamt sollen mit den Untersuchungen zunächst die neuen theoretischen Ansätze verifiziert werden, anschliessend werden daraus verbesserte Entwurfsgrundlagen und -richtlinien erstellt. Das Ziel sind technisch sichere und in der Ausführung wirtschaftlich optimierte Hochdruckleitungen und -schächte.

Die Antworten aus dieser Untersuchung sind für die Betreiber grosser Hochdruckanlagen in der Schweiz und



Figur 4: Hochwasser am Kraftwerk Mühlaus an der Thur. Das Wehrfeld ist einseitig geöffnet und die Strömungsrichtung verändert sich so, dass der Grossteil des Geschiebes vom Kraftwerkseinlauf (ganz rechts im Bild) ferngehalten wird.

darüber hinaus für die Planer von Wasserkraftanlagen auf der ganzen Welt relevant.

Bewältigung von Geschiebe an Kleinwasserkraftanlagen

Die kostendeckende Einspeisevergütung für kleine Wasserkraftanlagen bewirkt unter anderem, dass auch zunehmend ungünstigere Standorte genutzt werden. Dazu zählen insbesondere Standorte für Kraftwerke mit sehr niedrigen Fallhöhen und Standorte an stark geschiebeführenden Flüssen. Besonders kritisch ist die Kombination von beiden Faktoren, weil dann prak-

tisch nicht vermieden werden kann, dass bei Hochwasser Geschiebe in die Triebwasserwege gelangt und dort zu Wirkungsgradverlusten, zum Teil auch zu Schäden führt, und später auf eine mehr oder weniger kostspielige Art und Weise wieder entfernt werden muss. Dafür kommen Spülungen oder baggern infrage. Manchmal sind die Auswirkungen so gravierend, dass Kraftwerke schon vorsorglich bei jedem Hochwasser vorübergehend stillgelegt werden, um sicherzustellen, dass kein Geschiebe eingetragen wird. In diesem Fall entstehen unnötig lange Stillstandszeiten und dementsprechende Produktionsausfälle. Als Gegenmassnahme gibt es verschiedene bauliche Möglichkeiten, sowie betriebliche Massnahmen, deren Wirksamkeit aber häufig von den konkreten lokalen Gegebenheiten abhängig ist. Am neuen Kraftwerk Mühlaus an der Thur in Bazenheid (Ostschweiz) wurden vier verschiedene Massnahmen umgesetzt, die bisher hauptsächlich aus der Theorie bekannt sind. Die Wirksamkeit der einzelnen Massnahmen wurde über ein Jahr während natürlicher Hochwasserereignisse mithilfe von neuartigen Geschiebesensoren gemessen und aus den Ergebnissen sollen schliesslich generelle Empfehlungen abgeleitet werden.

Die baulichen Massnahmen zur Vermeidung von Geschiebeeintrag sind im einzelnen:

- Eine Trennschwelle mit anschliessender Geschiebesammelrinne, die zum Grundablass führt;



Figur 5: Der Versuchsstand zur Simulation von Druck- und Durchflussschwankungen in Rohrleitungen

- Ein Wirbelrohr, welches bereits eingezogenes Geschiebe erfasst und in die Thur zurückleitet;
- Ein Spülschütz direkt vor dem Rechen.

Als betriebliche Massnahme wird bei Hochwasser zunächst die vom Kraftwerk weiter entfernte rechte Wehrklappe geöffnet. Dadurch bildet sich eine Rechtskrümmung in der Hauptströmung, die das Geschiebe von der Wasserfassung weg transportiert.

Der Geschiebeeintrag in die Wasserfassung kann mithilfe von sogenannten Geophonen gemessen werden. Das sind Mikrophone, die in wasserdichten Stahlboxen fest installiert sind und die Schallimpulse von Geschiebepartikeln registrieren, die auf den Deckel prallen. Die Anzahl der registrierten Impulse innerhalb einer Zeiteinheit dient dabei als Mass für die Menge an Geschiebe, welches in derselben Zeiteinheit die Deckelplatte passiert hat. Dazu sind Eichmessungen erforderlich. Durch die Platzierung der Geschiebesensoren an verschiedenen Stellen entlang des Triebwasserwegs kann die Wirksamkeit der einzelnen Massnahmen differenziert werden. Nach der Inbetriebnahme des Kraftwerks im Sommer 2010 begann die Erfolgskontrolle der ausgeführten baulichen und betrieblichen Massnahmen. In der zweiten Hälfte des Jahres 2010 gab es dort eine Reihe von Hochwässern mit Geschiebetrieb, aus denen erste Messergebnisse gewonnen werden konnten.

Die ersten Analysen zeigen, dass die baulichen und betrieblichen Massnahmen zur Vermeidung von Geschiebeeintrag in der Summe gut funktionieren. Eine differenziertere Bewertung bezüglich der Unterschiede der einzelnen Massnahmen in der Wirksamkeit soll im Jahr 2011 noch erarbeitet werden. Probleme bereiteten bei den Messungen nicht vorhergesehene Ansammlungen von Schwemmholz und Treibgut, die infolge der pulsierenden Wasserstände zusätzliche Signale an einer der Messstellen erzeugten, die aber nicht dem Geschiebetrieb zuzuordnen sind.

Aus den Ergebnissen, die im Kraftwerk Mühlau gewonnen werden, sollen allgemein gültige Planungs- und Ausführungsempfehlungen erarbeitet werden. Diese sollen helfen, die Geschiebeproblematik bei Niederdruck-Laufwasserkraftwerken besser in den Griff zu bekommen. Dies hilft in zwei-



Figur 6: Bei Hochwasser wird das ankommenden Geschiebes in der Sammelrinne im Einlauf gefasst und direkt über den Grundablass weiter abgeführt, bevor es in den Einlauf gelangen kann.

erlei Hinsicht, einerseits müssen Kraftwerke nicht unnötig stillgelegt werden und andererseits sind nach Hochwässern keine oder zumindest weniger kostenintensive Massnahmen zur Entfernung des eingetragenen Geschiebes erforderlich.

Zusätzlich wurde die Funktion der Geophone als relativ einfach aufgebaute Detektoren für Geschiebetrieb in der Praxis getestet, und es lässt sich bereits heute sagen, dass hier weitere Anwendungsbereiche denkbar sind. Beispielsweise können die Detektoren dazu eingesetzt werden, um ab einer bestimmten Häufigkeit der Schallimpulse oder der Amplituden, die registriert werden, eine Wasserkraftanlage stillzulegen und die Triebwasserzuführung abzusperren. Dadurch können

unliebsame Geschiebeablagerungen vermieden werden, ohne das Kraftwerk unnötig lange stillzulegen.

Nationale Zusammenarbeit

Im Rahmen der Programmleitung für das Forschungsprogramm Wasserkraft fanden auch 2010 viele Begegnungen und Gespräche mit verschiedenen Fachleuten und Interessenvertretern statt. Diese Gespräche dienen dem allgemeinen Erfahrungsaustausch und der Bekanntmachung des Förderprogramms und der darin angebotenen Förderschwerpunkte. Auch die gemeinsame Projektfinanzierung wurde wiederholt angesprochen. Regelmässige Treffen und Besprechungen finden mit allen Projektnehmern statt, wobei hier der Bedarf und die Intensität des Austausches stark schwanken.

Eine Reihe von Arbeitsgruppen hat sich in der Schweiz zum Thema Kleinwasserkraftnutzung gebildet, unter anderem die «Arbeitsgruppe Empfehlung zur Planung

von Kleinwasserkraftwerken». Diese werden von BAFU und BFE unterstützt und teilweise auch finanziert. Die Ziele sind die Erarbeitung und Bereitstellung von Kriterien, Leitfäden und Arbeitsmaterialien zur Unterstützung der Kantone bei ihrem Umgang mit den vielen Gesuchen bzw. bei der Erarbeitung einer eigenen Kleinwasserkraftstrategie. Schwerpunkt der Diskussionen sind unterschiedliche Schutz- und Nutzungsstrategien.

Die einzelnen Projekte des Forschungsprogramms Wasserkraft sind national gut vernetzt, weil sie meistens aus verschiedenen Förderquellen finanziert sind, oft Wasserkraftbetreiberfirmen beteiligt sind und in den meisten Fällen interdisziplinär gearbeitet wird.

Internationale Zusammenarbeit

Ein Vertreter der Programmleitung nahm als Beobachter an einer Sitzung des «Hydropower Implementing Agreements» der internationalen Energieagentur (IEA) im Februar 2010 teil, die im Anschluss an die Hydropower '10 im norwegischen Tromsø stattfand. Dort wurde die Situation der Kleinwasserkraft in verschiedenen Ländern beispielhaft vorgestellt. Eine Mitarbeit der Schweiz wäre erwünscht. Vorteile, die sich daraus ergäben, sind allerdings nicht erkennbar.

Im Rahmen der internationalen Arbeitsgruppe der Alpenkonvention – Platform Water Management in the Alps – sollten ebenfalls Empfehlungen für Richtlinien für den Umgang mit Kleinwasserkraftwerken für alle Alpenländer erarbeitet werden. Hier war die Programmleitung beteiligt. Die Hydroenergia 2010, eine Tagungsreihe, die alle zwei Jahre von der European Small Hydropow-

er Association organisiert wird, fand in Lausanne statt. Interessant waren eine ganze Reihe von Vorträgen zu GIS-basierten flächendeckenden Untersuchungen des Kleinwasserkraftpotenzials in verschiedenen Ländern. Insbesondere für Entwicklungsländer mit grossen unerschlossenen Potenzialen bieten sich hier interessante Optionen zum identifizieren gute Standorte und zur generellen Potenzialabschätzung.

Zwischen dem norwegischen «Centre for Environmental Design of Renewable Energy» und dem Forschungsprogramm Wasserkraft des BFE besteht ein enger Austausch, der jedoch noch sehr viel stärker von der Programmleiterenebene in die einzelnen Projekte hineinreichen sollte, da viele Ähnlichkeiten bei den offenen Fragen bestehen. Dies trifft insbesondere im Bereich der Speicherkraftwerke und ihrer ökologischen Auswirkungen zu.

BFE Forschungsprogramm Wasserkraft

Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Dr. Klaus Jorde, entec Consulting & Engineering AG (klaus.jorde@entec.ch)

Bereichsleiter BFE:

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

www.bfe.admin.ch/forschungwasserkraft

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Geothermie

Rudolf Minder



Thermal Spallation Drilling Pilotanlage an der ETH Zürich

Hochdruckkammer der neuen Pilotanlage zum Testen einer neuen Bohrtechnologie im Hochtemperatur- und Hochdruckbereich (mit Anschlüssen für Brennstoff, Sauerstoff und Wasser).

Einleitung

Der Begriff geothermische Energie umfasst mehrere Arten von Ressourcen, welche sich bezüglich Nutzung und Entwicklungsstand stark unterscheiden (siehe Figur Seite 3). Die Technik der Erdwärmesondenanlagen (EWS) zur Beheizung von Gebäuden ist heute weitgehend ausgereift und die Systeme können sich erfolgreich am Markt behaupten. Im Jahr 2009 wurden rund 2'000'000 m Erdwärmesonden abgeteuft, für 2010 dürfte sich eine ähnliche Zahl 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.

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 für 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 grundsätzlich realisierbar sind. Deshalb werden bereits seit mehreren Jahren Studien und Forschungsprojekte durchgeführt, welche auch zu einem ersten Pilotprojekt – Deep Heat Mining in Basel – führten. Wichtig ist auch die Mitwirkung von Schweizer Forschenden am europäischen EGS-Projekt in Soultz-sous-Fôrets (F) und anderen Programmen weltweit, die Beiträge zur Technologieentwicklung leisten. Die nachhaltige Gewinnung von Wärme aus einem in 5'000 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 im Jahr 2010 wiederum in den Gebieten der tiefen Geothermie, einerseits bei der Nutzung der hydrothermalen Quellen, andererseits bei den Enhanced Geothermal Systems (EGS). In diesem Gebiet wurde auch die internationale Zusammenarbeit ausgebaut. Im Bereich der untiernen Geothermie beschränken sich die Forschungsarbeiten auf besondere, noch nicht am Markt etablierte Anwendungen, sowie auf Fragen der Effizienz und Qualitätssicherung. Erdwärmesonden-Systeme für Raumheizungen weisen ein ungebrochenes Marktwachstum auf, die Entwicklung in diesem Bereich wird grösstenteils durch die in dieser Branche tätigen Unternehmen sichergestellt. In einigen Anwendungsgebieten ist jedoch Forschungsbedarf vorhanden, vor allem bei komplexen Systemen, tiefen EWS (> 300 m), Geostrukturen wie z. B. Energiepfähle sowie unterstützenden Technologien.

Für die Nutzung tief liegender hydrothermalen Ressourcen besteht Forschungsbedarf bei den geophysikalischen Methoden der Prospektion, mit dem Ziel das Fündigkeitsrisiko zu verringern. Dazu gehört auch die verbesserte Auswertung vorhandener Daten aus alten Bohrungen und früheren seismischen Untersuchungen. Von grosser Bedeutung ist die Realisierung von Pilot- und Demonstrationsanlagen. Mit der Unterstützung mehrerer Pro-

jekte in geographisch und geologisch unterschiedlichen Regionen sollen in den nächsten Jahren erste Projekte realisiert werden. Dabei handelt es sich um Projekte, die neben der Stromerzeugung auch Wärme für die Raumheizung und andere Anwendungen produzieren sollen.

Langfristig werden weltweit grosse Hoffnungen auf die Technik der Enhanced / Engineered Geothermal Systems (EGS) gesetzt. Die Erfahrungen bezüglich der induzierten Seismizität mit dem Projekt in Basel haben klar gezeigt, dass für die Entwicklung von tief liegenden Reservoiren noch wenig Erfahrung vorliegt und dass in diesem Bereich noch grosse, langfristige Forschungsanstrengungen notwendig sind. Auf der andern Seite ist unbestritten, dass das Potenzial dieser Technologie sehr gross ist. Aus diesem Grund wird der Forschung und der internationalen Zusammenarbeit auf diesem Gebiet eine hohe Priorität eingeräumt.

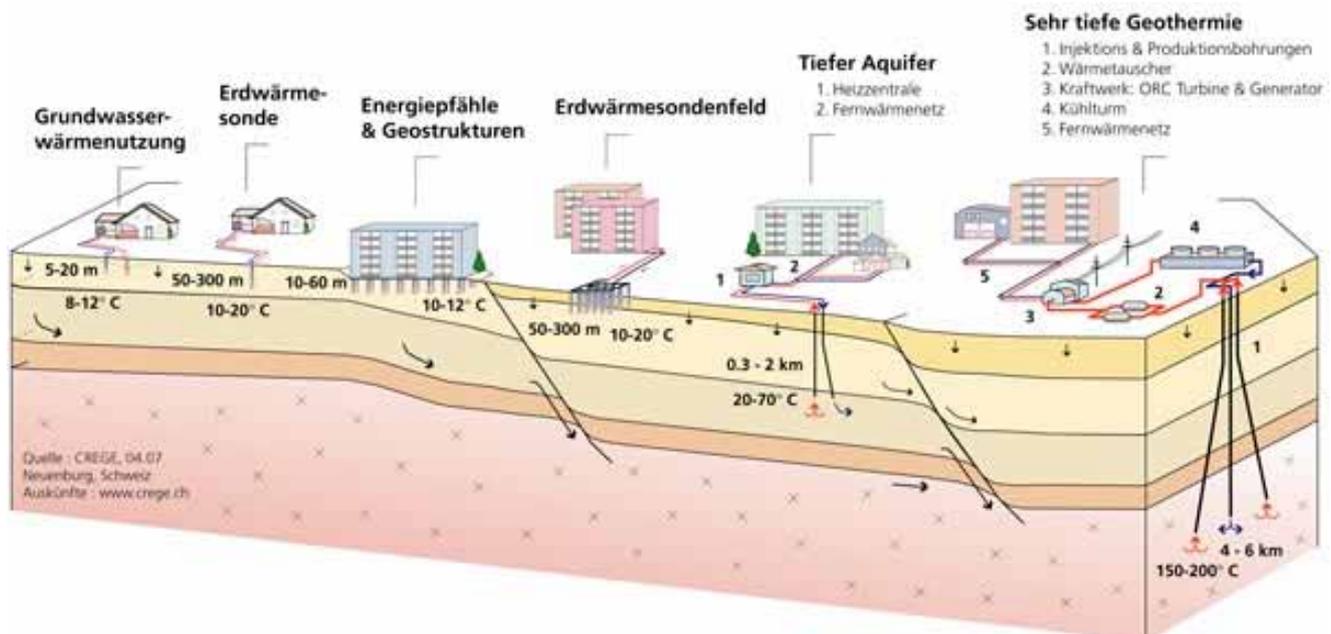
Rückblick und Bewertung 2010

2010 ergaben sich gegenüber den Vorjahren keine grundlegenden Verschiebungen in den Prioritäten. Nach wie vor liegt der Fokus der Forschung auf den Aspekten der tiefen Geothermie, welche sich neben der Wärme-gewinnung auch zur Stromerzeugung eignet. Derzeit sind einige Projekte im Bereich der tiefen hydrothermalen Res-

ourcen in verschiedenen Stadien der Bearbeitung, von Grundlagenstudien bis hin zur Planung von Pilotanlagen, Seismik-Messkampagnen und Explorationsbohrungen. Es kann damit gerechnet werden, dass innerhalb der nächsten Jahre erste Anlagen realisiert werden, was für die Geothermie in der Schweiz einen wichtigen Meilenstein bedeuten würde. Im vergangenen Jahr wurden auch die ersten Gesuche um Gewährung einer Bürgschaft zur Risikoabsicherung gemäss Energiegesetz [1] eingereicht.

Die Forschung im Gebiet der EGS ist längerfristig ausgelegt. Die Erfahrungen mit dem Projekt DHM (Deep Heat Mining) Basel haben gezeigt, dass den Risiko-Aspekten grosse Bedeutung zukommt und dass in diesem Bereich auch forschungsmässig noch viel Arbeit zu leisten ist.

Bei der untiernen Geothermie wurden insbesondere Projekte unterstützt, welche sich mit tiefen Erdwärmesonden – im Bereich von 300–1000 m – zur Erzeugung von Raumwärme mittels Wärmepumpen eignen.



Die verschiedenen Nutzungsarten der geothermischen Energie (Quelle: S. Cattin, CREGE).

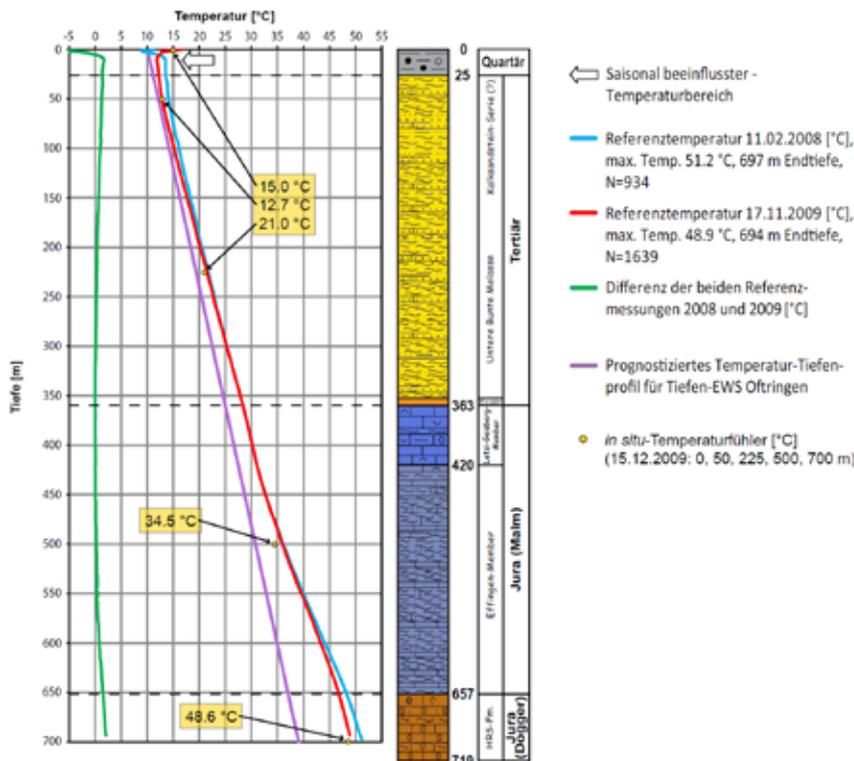
Highlights 2010

>> Projektliste

Oberflächennahe Geothermie: Tiefe Erdwärmesonden, EWS-Optimierung, Energiepfähle

Ein interessantes Thema bei der oberflächennahen Geothermie sind die tiefen Erdwärmesonden, d.h. Sonden welche tiefer als ca. 300 m abgeteuft werden. In diesem Bereich gibt es bisher nur wenige Anlagen, auch sind vergleichsweise wenige Bohranlagen verfügbar, welche solche Sonden kostengünstig erstellen können. In den meisten Fällen werden deshalb bei grösserem Wärmebedarf mehrere weniger tiefe Sonden verlegt. Tiefe Sonden weisen jedoch einige Vorteile auf, die auf gute zukünftige Marktchancen schliessen lassen. Sie benötigen weniger Platz an der Oberfläche und sind in dicht besiedelten Quartieren einsetzbar, sie arbeiten mit höheren Quellentemperaturen, was sich in einerseits in einem besseren Wirkungsgrad der Wärmepumpe niederschlägt und andererseits die Verwendung von reinem Wasser anstelle von Wasser-Glykol-Mischungen ermöglicht. Ein Projekt befasst sich mit dem Einsatz tiefer EWS in Kombination mit hoch effizienten Wärmepumpen zur Beheizung grösserer Wohnbauten, bei einem weiteren Projekt wurde eine 700 m-tiefe Sonde messtechnisch untersucht. Die Optimierung der EWS und speziell der Wärmeträgerflüssigkeit schliesslich wird in einem Projekt der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften untersucht [5]. Ein Problem tiefer Sonden besteht jedoch darin, dass der statische Druck entsprechend der Tiefe zunimmt, was besondere Anforderungen an die Bauweise und die Hinterfüllung stellt, um Schäden zu vermeiden. In diesem Bereich sind derzeit die Kenntnisse noch beschränkt.

Ein weiteres Projekt aus dem Bereich der oberflächennahen Geothermie befasst sich mit Energiepfählen, einem Strukturelement von grossen Gebäuden, das gleichzeitig als Wärmetauscher zum Untergrund funktioniert. Am Labor für Bodenmechanik der ETH Lausanne [6] werden solche Systeme untersucht, mit dem Ziel, verbesserte Grundlagen und Empfehlungen für die Auslegung solcher Elemente zu erarbeiten.



Figur 1: Temperaturprofile und Geologie bei der 700 m tiefen Erdwärmesonde in Oftringen.



Figur 2: Website des Projekts «Optimierung von Erdwärmesonden» der ZHAW

Projekt GEOTHERM – Prozesse in geothermischen Reservoiren

Unter der Leitung der ETH Zürich und in Zusammenarbeit mit der EPF Lausanne, dem Paul Scherrer Institut, der Universität Bonn, AF-Consult Switzerland AG und der Geopower Basel

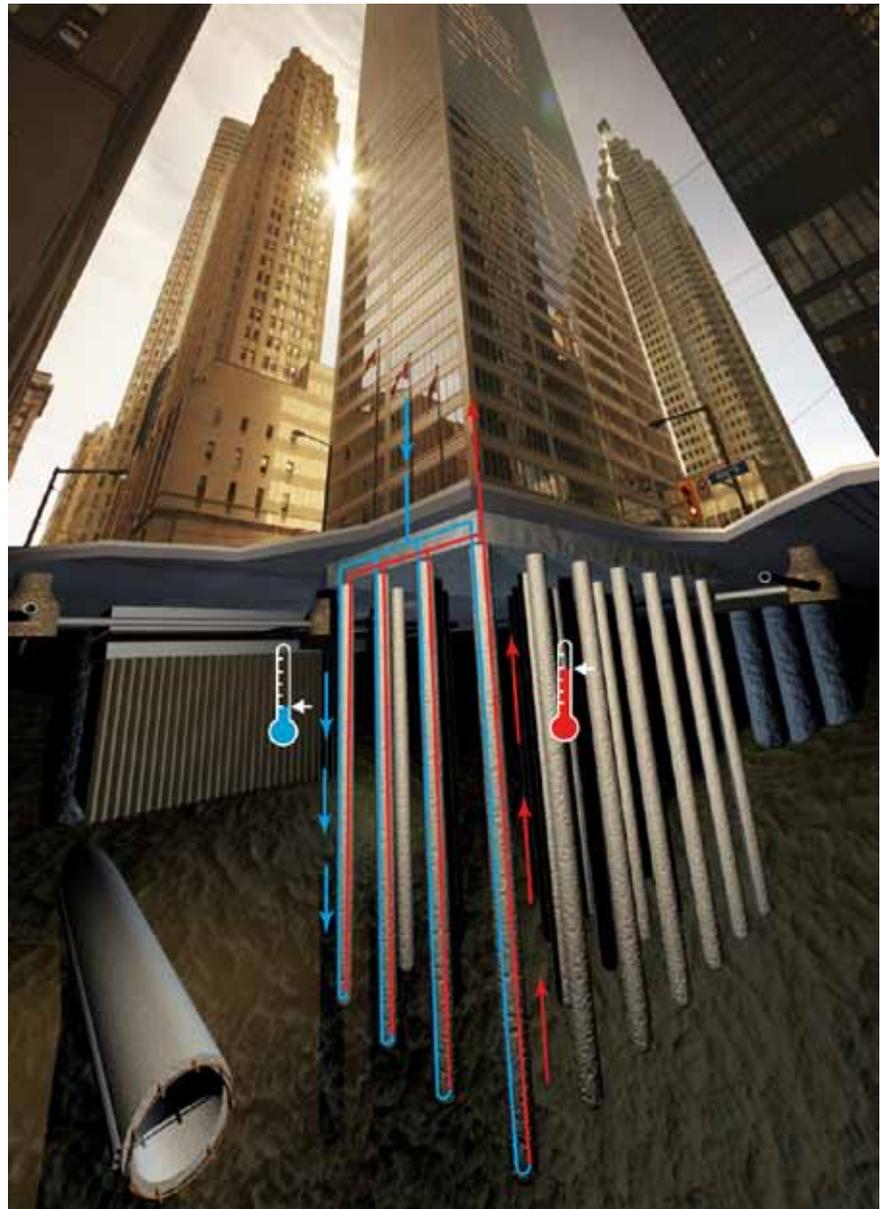
AG wird Grundlagenforschung in Engineered Geothermal Systems betrieben – unter anderem mit finanzieller Unterstützung des Bundesamts für Energie. Zentral sind die Datenaufarbeitung, Analyse, Interpretation und die Lehren aus dem Basler EGS-Projekt. Die Resultate tragen zum Verständnis der physikalischen Prozesse im Unter-

grund in der Erschließung von EGS-Reservoiren bei, um langfristig eine Nutzung dieser Klasse von geothermischen Ressourcen zu erlauben. Neue Methoden und Prozesssimulationen werden an Hand existierender Daten entwickelt. Das Projekt umfasst fünf Hauptthemen; (1) Erkenntnisse in die Permeabilitätszerzeugung auf Grund von Bohrlochmessungen und -beobachtungen, (2) Erkenntnisse der Prozesse der Erhöhung der Permeabilität an Hand von Analysen der seismischen Wellen und deren Attribute, (3) die Simulation der physikalischen Prozesse, die in der Erzeugung der Permeabilität aktiv sind, (4) die Simulation von Gestein-Wasser-Interaktionen und die Bildung von mineralischen Ausfällungen während des Wärmeentzugs aus dem Untergrund und (5) die nachhaltige Entwicklung und Nutzung geothermischer Ressourcen in urbanen Regionen.

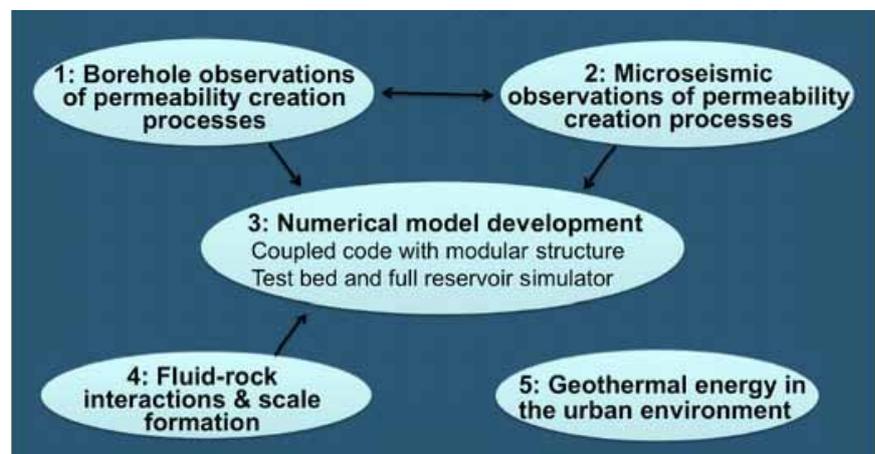
3D-Reservoirmodell der Region Basel

Ziel dieses Projektes des geologischen Instituts der Universität Basel ist die Entwicklung eines geologischen 3D-Modells der Region Basel als neuartiges Werkzeug für die Tiefenreservoirbewirtschaftung und Raumplanung. In der Vorbereitung von geothermischen Projekten könnte das Reservoirmodell sein Einsatzgebiet als Planungsinstrument, insbesondere im Hinblick auf die Evaluierung geothermischer Verfahren (EGS, Doublette u. a.), dienen. Es sollen sowohl Reservoirigenschaften, geothermisches Potenzial als auch etwaige Risiken aus dem Modell ableitbar sein. Das Modell stellt ein Werkzeug dar, das ständig aktualisierbar und erweiterbar sein soll. Alle zugänglichen Geodaten sollen einfließen und in Kombination miteinander auf ihre räumliche Konsistenz geprüft werden.

Das Projekt wurde 2010 mit dem INTERREG IV GeORG zusammengeführt. Zudem wurden hydraulische Kennwerte und Tiefentemperaturen für die Region erfasst. Ebenfalls wurden zahlreiche Bohrungen externer Datensammlungen aus Frankreich, Deutschland und den Kantonen Aargau und Solothurn erfasst und ins Modell eingefasst. Mit der Modellierung von Volumenkörpern wurde im östlichen Modellbereich begonnen. Südlich des Rheins und östlich der Beris wurde der erste zusammenhängende Komplex aus Volumenkörpern erstellt.



Figur 3: Empfehlung für optimierte und zuverlässige Energiepfähle.



Figur 4: Projekt GEOTHERM: Die 5 Forschungsmodule.

Nationale Zusammenarbeit

Die Geothermie-Entwicklung profitiert von der Zusammenarbeit zwischen Universitäten, Fachhochschulen, der Industrie und der öffentlichen Verwaltung. Das BFE unterstützt direkt und indirekt eine Reihe von Institutionen.

Universitäten und Fachhochschulen: ETHZ (Departemente für Maschinenbau und Erdwissenschaften), Uni 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), Scuola universitaria della Svizzera italiana SUPSI (Istituto di Sostenibilità Applicata all'Ambiente Costruito).

Stromindustrie und Wärmeversorgung: Axpo AG, Neue Energien, Glattbrugg, BKW Energie AG, Bern, Elektra Baselland, Industrielle Werke Basel, Geopower Basel AG, 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, Verband Fernwärme Schweiz (VFS).

Bundesämter, Agenturen und Fachverbände, Energiefachstellen verschiedener Kantone: Swisstopo, Bundesamt für Umwelt, Schweizerischer Erdbendienst SED, Agentur für erneuerbare Energien und Energieeffizienz (AEE, APES), Aktion für vernünftige Energiepolitik Schweiz (AVES), BAFU, Geothermie.ch, SBF, Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz (FWS)[7], u.a.

Durchgeführte Tagungen und Konferenzen: Round table zum Stand von Tiefengeothermie-Projekten: Informationsaustausch und Diskussion insbesondere bezüglich der Risikogarantie des Bundes für Geothermie-Projekte, des Bedarf der Kantone für eine Vollzugshilfe für Tiefengeothermie-Projekte sowie allgemein über Probleme, Risiken und Potenziale.

Konferenz. B. Beiträge des BFE: Geothermie-Kongress St. Gallen vom 26.2.2010, Tagung der Schweiz. Gesellschaft für Hydrogeologie SGH und géothermie.ch «Grundwasser zwischen 500 und 5000 m – Prospektion, Nutzung und Bewirtschaftung von tiefen Aquifer-Systemen» am 16.4.2010 in Fribourg, Versammlung von SGNet am 19. Mai 2010 in Neuchâtel, Tagung «Strom aus Geothermie» von WWF und géothermie.ch, am 23.8.2010 in Bern, Journée Romande de la géothermie, 28.9.2010 in Yverdon.

Internationale Zusammenarbeit

International Energy Agency (IEA) [8]: Das IEA 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 am 31. März 2012 abläuft. 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. Derzeit umfasst das GIA 19 Mitglieder; 13 Länder, die EU sowie 5 Sponsoren-

Um der Geothermie – einer im Angesicht des enormen Potenzials notorisch unterschätzten erneuerbaren Ressource – eine bessere Positionierung zu ermöglichen, hat das IEA Sekretariat 2010 mit der Entwicklung einer «Geothermal Technology Roadmap» begonnen, welche die erwartete Entwicklung der geothermischen Energiequellen weltweit aufzeigen soll [9]. Die Schweiz hat sowohl personelle als auch finanzielle Ressourcen dafür zur Verfügung gestellt. Die IEA Roadmap wird im Sommer 2011 publiziert.

International Partnership for Geothermal Technology (IPGT) [4]: Diese Partnerschaft [4] wurde von Aust-

ralien, Island und der USA im August 2008 gegründet, im Oktober 2010 trat die Schweiz der Partnerschaft bei. 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.

EGS Pilotanlage in Soultz-sous-Forêts, Frankreich [10]: Dieses Projekt 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. Die Schweiz finanziert über das Bundesamt für Energie eine Forschergruppe um das DHMA. Separat haben 2010 universitäre Forschungseinrichtungen Bestrebungen unternommen, Kooperationsverträge mit dem EGS-Projekt abzuschliessen. Seit Dezember 2009

und teilweise 2010 wurden Zirkulationstests durchgeführt. Im März 2010 erfolgte der offizielle Kick-off der Phase; das wissenschaftliche Begleitprogramm umfasst das Studium des Reservoirs während einer längerfristigen Zirkulation sowie die Untersuchung des Betriebsverhaltens der Untergrund- und Produktionsanlagen.

World Geothermal Congress WGC 2010: Ein wichtiges Ereignis im Jahr 2010 für die weltweite Geothermie-Sze-

ne war der World Geothermal Congress (WGC) 2010, welcher vom 25.4.–30.4. 2010 auf Bali, Indonesien, stattfand [11]. Diese von der International Geothermal Association [12] im 5-Jahresturnus durchgeführte Veranstaltung wurde von rund 2500 Personen aus 85 Ländern besucht. Insgesamt wurden über 1000 Beiträge präsentiert, wovon rund 20 von Teilnehmern aus der Schweiz.

Schweizer Beteiligung im Implementing Agreement for a Cooperative Programme on Geothermal Energy Research and Technology GIA

www.iea-gia.org

Annex / Task	Schweizer Delegierter
Environmental Impacts of Geothermal Energy Development	BFE
Enhanced Geothermal Systems (EGS) (formerly Hot Dry Rock)	BFE
Advanced Geothermal Drilling Techniques	BFE
Direct Use of Geothermal Energy	Minder Energy Consulting
Data for Geothermal Energy Applications	Minder Energy Consulting

Referenzen

[1] *Energiegesetz / Energieverordnung* (www.admin.ch/ch/d/sr/71730.0.de.pdf), (www.admin.ch/ch/d/sr/71730.01.de.pdf).

[2] *Pilotprojekt St. Gallen* (www.geothermie.stadt.sg.ch).

[3] *Projekt GEOTHERM* (www.cces.ethz.ch/projects/naturelgeotherm).

[4] *International Partnership for Geothermal Technology* (internationalgeothermal.org).

[5] *Projekt Erdsondenoptimierung* (www.erdsondenoptimierung.ch).

[6] *Laboratoire de mécanique des sols, EPFL* (lms.epfl.ch).

[7] *Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz FWS* (www.fws.ch).

[8] *International Energy Agency, Implementing Agreement for a Co-operative Programme on Geothermal Energy Research and Technology* (www.iea-gia.org).

[9] *IEA Road Maps* (www.iea.org/roadmaps).

[10] *EGS-Pilotprojekt Soultz-sous-Fôrets* (www.soultz.net).

[11] *François-D. Vuataz, WGC 2010 in Bali: a Record-Breaking Congress, Newsletter of the International Geothermal Association, 80 (2010).*

[12] *International Geothermal Association* (www.geothermal-energy.org).

BFE Forschungsprogramm Geothermie

Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Dr. Rudolf Minder, Minder Energy Consulting (rudolf.minderbluewin.ch)

Bereichsleiter BFE:

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

www.bfe.admin.ch/forschunggeothermie/

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Wasserstoff

Stefan Oberholzer



It's all about tiny bubbles – Durchbruch bei der Entwicklung neuer Photokathoden für photoelektrochemische (PEC-)Zellen zur Umwandlung von Sonnenlicht in eine chemische Speicherform (Wasserstoff)

Der p-Typ-Halbleiter Kupferdioxid (CuO_2) wurde als erfolgversprechendes Material zum Einsatz als Photokathode in PEC-Zellen identifiziert. Das Problem der starken Photokorrosion dieses Materials konnte durch das Aufbringen von Schutzschichten gelöst werden. PEC-Zellen mit solchen Photokathoden zeigen Photostromdichten von bis zu 7 mA/cm^2 bei Standardbeleuchtung, was einer Solar-zu-Wasserstoff-Effizienz von 10 % entspricht! Das Bild zeigt die Wasserstoffentwicklung an einer CuO_2 -Photokathode mit einer aktiven Fläche von $0,4 \text{ cm}^2$ (Quelle: EPFL, PEChouse).

Einleitung

In einer Energiewirtschaft mit einer starken Diversifikation erneuerbarer Primärenergiequellen kommt der Wahl der Energievektoren eine entscheidende Bedeutung zu. Eine dezentrale Elektrifizierung scheint in vielen Bereichen sinnvoll, da etliche erneuerbare Energiequellen direkt Strom produzieren und dieser höchst effizient in andere Energieformen umgewandelt werden kann. Gleichzeitig wird dadurch die Problematik der Integration fluktuierend produzierter Strommengen – zyklisch wie stochastisch – und deren Speichermöglichkeiten verschärft. So fielen beispielsweise in Deutschland bereits 2009 die Strompreise im Grosshandel zu Schwachlastzeiten ins Negative mit Rekordwerten von -50 c€/kWh. Gemäss der 2010 veröffentlichten Studie «Electricity Storage: Making Large-Scale Adoption of Wind and Solar Energy a Reality» der Boston Consulting Group [1] müssten 2025 bei einem Anteil der erneuerbaren Energiequellen von 35 % an der in Europa insgesamt installierten Leistung – zusätzlich zu einer Verstärkung der Netze – rund 100 GW an Kompensationsleistung bereitstehen, die 150 TWh an Kompensationsenergie liefern. Dies entspricht mehr als 5 % des jährlichen europäischen Strombedarfs. Damit diese Kapazitäten installiert werden, bräuchte es in einer Anfangsphase entsprechende Anreizsysteme, analog zu den Vergütungssystemen für die Installation erneuerbarer Quellen. Technologisch besitzen laut der Studie Pumpspeicherkraftwerke, Druckluftspeicher, Batterien und Wasserstoffspeicher das grösste Potenzial, wobei nur eine Kombination verschiedener Speicherlösungen die Differenzen zwischen Angebot und Nachfrage auf verschiedensten Zeitskalen ausgleichen könnte.

Wie Elektrizität ist Wasserstoff ein sekundärer Energieträger, welcher aus verschiedenen Primärquellen erzeugt werden kann. Analog zum Strom erfolgt die weitere Energieumwandlungskette emissionsfrei, umweltverträglich und mit einem hohen Anteil an Exergie. Eine auf erneuerbare Quellen basierte Produktionskette erlaubt eine vollständig nachhaltige Umwandlungskette.

Als Speichertechnologie kommt Wasserstoff insbesondere eine Bedeutung als chemischer Langzeitspeicher zu, welcher saisonale Schwankungen ausgleichen kann. Dabei wäre für die Stromspeicherung nicht notwendigerweise eine teure Infrastruktur aufzubauen, da Produktion, Speicherung und Verbrauch – auch anderweitig als nur für die Elektrizitätserzeugung – am selben Ort erfolgen. Zu ähnlichen Schlussfolgerungen kommt eine im Auftrag des Ministeriums für Wissenschaft, Wirtschaft und Verkehr des Bundeslandes Schleswig-Holstein, der Stadt Hamburg und der Wasserstoff-Gesellschaft Hamburg durchgeführte Studie zur «Untersuchung der Potenziale von Wasserstoff aus überschüssiger Windenergie im Raum Hamburg und Schleswig-Holstein bis 2020 und darüber hinaus» [2]. Laut dieser Studie würden 2020 bis zu 20 % des «onshore» erzeugten Windstromes als Überschussstrom anfallen, welcher zu Wasserstoff umgewandelt die steigende Nachfrage nach Wasserstoff in dieser Region (Mobilität, industrielle Grossabnehmer und andere) zu einem grossen Teil abdecken würde.

In Europa laufen bereits verschiedene Feldversuche, in denen das Potenzial von Wasserstoff als Langzeit-Stromspeicher eindrücklich demonstriert

wird. So wurde im Februar 2010 in Grönland eine erste Wasserstoffspeicheranlage in der Hauptstadt Nuuk in Betrieb genommen, wo Überschussstrom aus Wasserkraft zwischengespeichert wird, welcher im Winterhalbjahr in einer Brennstoffzelle in Strom und Wärme umgewandelt wird (www.h2logic.com). Das Projekt will aufzeigen, dass durch die Kombination von erneuerbarer Energie und Wasserstoff mittelfristig auf den Einsatz von Diesel verzichtet werden kann, und dass der so erzeugte Wasserstoff künftig auch in der Mobilität eingesetzt werden könnte.

In der Schweiz laufen im Bereich Umsetzung im Vergleich zum umliegenden Ausland wenig Aktivitäten. Eine Ausnahme bildet das Projekt SELF der Empa (www.Empa.ch/self/), eine Energie-autarke Wohnzelle, wo bis zu 120 kWh an solar erzeugtem Strom in Form von Wasserstoff zwischengespeichert wird. Dieser dient nach Bedarf als Heizunterstützung und zum Kochen. Oder das europäische Projekt FITUP mit starker Schweizer Beteiligung, wo in einem gross angelegten Feldversuch der Einsatz von Wasserstoff für Anlagen zur unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) getestet wird.

In dem vorliegenden Bericht werden die herausragendsten Resultate 2010 aus Forschung und Entwicklung in diesem Bereich vorgestellt.

IEA-Klassifikation: 5.1 Hydrogen

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.

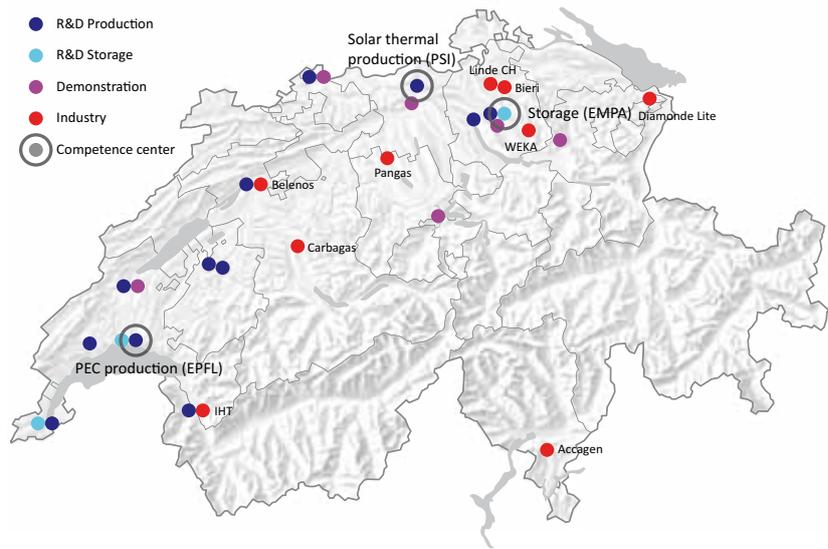
Die solarthermische Produktion von Wasserstoff und Synthesegas bildet einen zweiten Schwerpunkt. Hier werden am Paul Scherrer Institut (PSI) sowie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ) verschiedene thermochemische Kreisprozesse studiert, bei denen konzentrierte Solarwärme als Energiequelle eingesetzt wird.

Ein weiterer Themenbereich bildet die effiziente Hochdruckelektrolyse zur Umwandlung von Strom in Wasserstoff. Die Entwicklung alkalischer Hochdruckelektrolyseure im hohen Leistungsbereich haben 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 Boronat-Verbindungen, welche sich durch eine besonders hohe Speicherdichte auszeichnen. Sicherheitsrelevante Fragen im Zusammenhang mit den Desorptionsprodukten und der Oberflächenreaktivität von komplexen Hydriden werden hierbei ebenfalls mitbetrachtet.

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 2010

Im Berichtsjahr konnten in verschiedenen grundlegenden Projekten herausragende Erfolge erzielt werden. Insbesondere im Projekt PEChouse zur photoelektrochemischen Wasserstoffproduktion (siehe unten), welches seit 2007 plangemäss läuft, schlug sich dies in etlichen wissenschaftlichen Publikationen in renommierten Zeitschriften nieder. Dank der langjährigen Unterstützung durch das BFE-Forschungsprogramm konnte sich das Labor für Photonics and Interfaces (LPI) an der EPFL weltweit als «Leading house» im Bereich der oxid-basierten PEC-Zellen etablieren.

Ein weiterer Durchbruch erfolgte in einer 2009 gestarteten Forschungsaktivität an der Fachhochschule Fribourg zur Entwicklung eines dezentralen Hochdruckelektrolyseurs: das «Proof of concept» war erfolgreich und das Projekt kann planmässig weitergeführt werden.

Verschiedene Projekte (CompHy, SafeSyst u. a.) wurden im Berichtsjahr erfolgreich abgeschlossen. Einige Forschungsprojekte konnten in natio-

nale wie europäische Demonstrationsprojekte übergeführt werden, um die Technologie im Feldversuch zu testen.

An der World Hydrogen Energy Conference, welche im Mai 2010 in Essen stattfand, waren Schweizer Forschungsprojekte und Firmen an einem der grösseren Stände stark präsent und wurden entsprechend wahrgenommen.

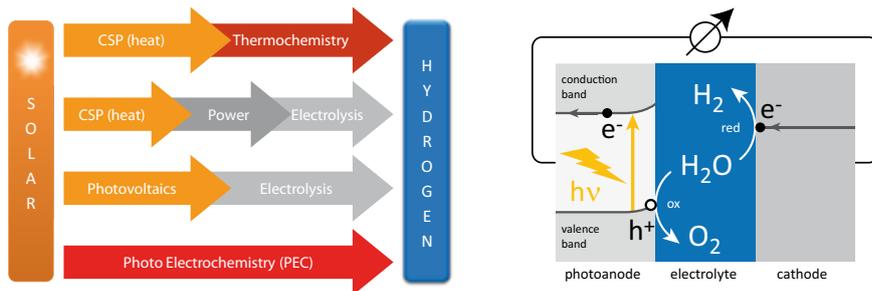
Ausblick 2011

Trotz bescheidener nationaler Forschungsmittel wird versucht, durch gezielte Unterstützung der Schwerpunktsbereiche ein Maximum an Wirkung zu erzielen. 2011 werden insbesondere die Forschungsaktivitäten im Bereich Festkörperspeicherung von Wasserstoff an der Empa weitergeführt, welche diese Technologie der Anwendung ein gutes Stück näher bringen sollte. Im Bereich Umsetzung laufen 2011 verschiedene Pilotversuche, welche in diesem Jahr vermehrt Resultate liefern werden. Durch die Mitwirkung von Postauto AG in einem europäischen Feldversuch zum Einsatz von Brennstoffzellenbussen [5] wird hierzulande eine erste Wasserstofftankstelle in grösserem Massstab aufgebaut werden. Ein weiteres wichtiges Ereignis wird das jährlich in Luzern stattfindende European Fuel Cell Forum [6], welches sich 2011 verstärkt auch mit der Thematik der Wasserstoffproduktion und -speicherung auseinandersetzen wird.

Highlights 2010

>> Projektliste

Als Basisstoff für die chemische Industrie, die Raffinerien und die Stahlindustrie wird Wasserstoff zum allergrössten Teil (> 95 %) aus fossilen Energieträgern gewonnen. Dieser wird dabei fast ausschliesslich vor Ort produziert und da gleich wieder verbraucht. Um Wasserstoff als (nachhaltigen) Energieträger einzusetzen, können die heute existierenden Verfahren zur Produktion, Speicherung und Verteilung verbessert werden. Hier leisten die zum Teil grundlegenden Forschungsaktivitäten an verschiedensten Institutionen in der Schweiz einen wichtigen Beitrag.



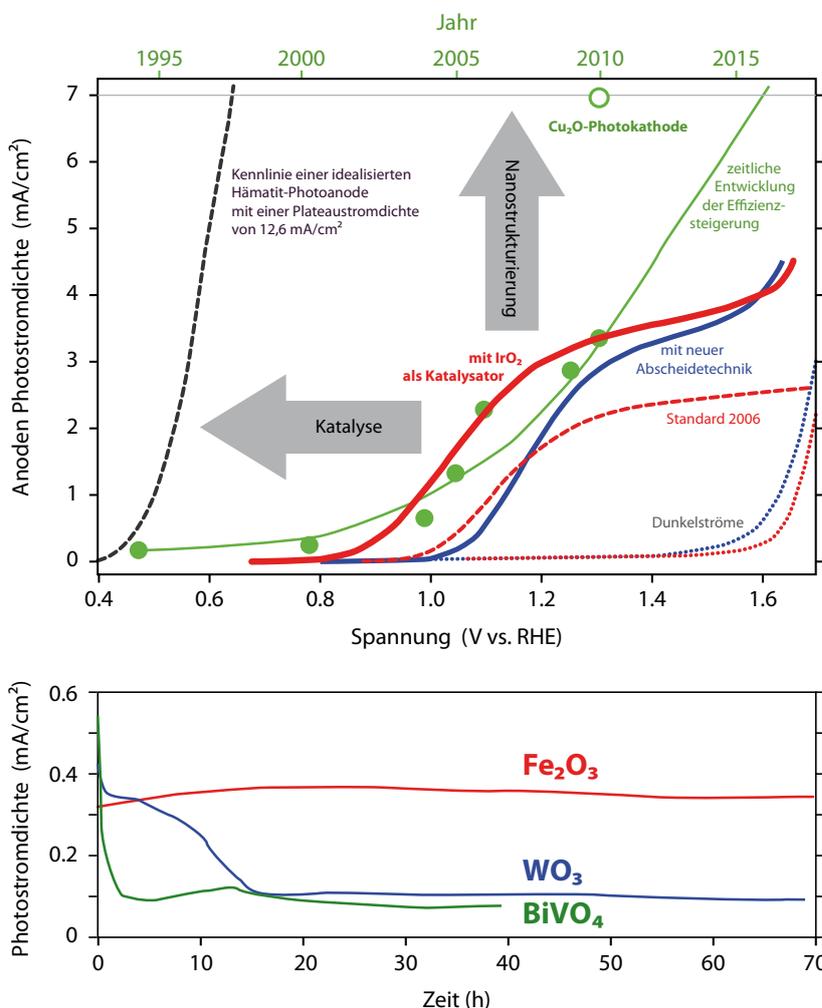
Figur 1: (Links) Wasserstoff kann aus verschiedensten Primärquellen gewonnen werden. Insbesondere interessant ist die direkte Produktion aus Solarenergie. (Rechts) Bei photoelektrolytischen Zellen werden die solar generierten Elektronen direkt zur Wasserspaltung genutzt. Dadurch treten im Vergleich zur Kombination von Photovoltaik mit klassischer Elektrolyse oder der Produktion über solarthermische Prozesse weniger Verluste auf.

Weltweit führende Forschungsaktivitäten zur solaren Wasserstoffproduktion

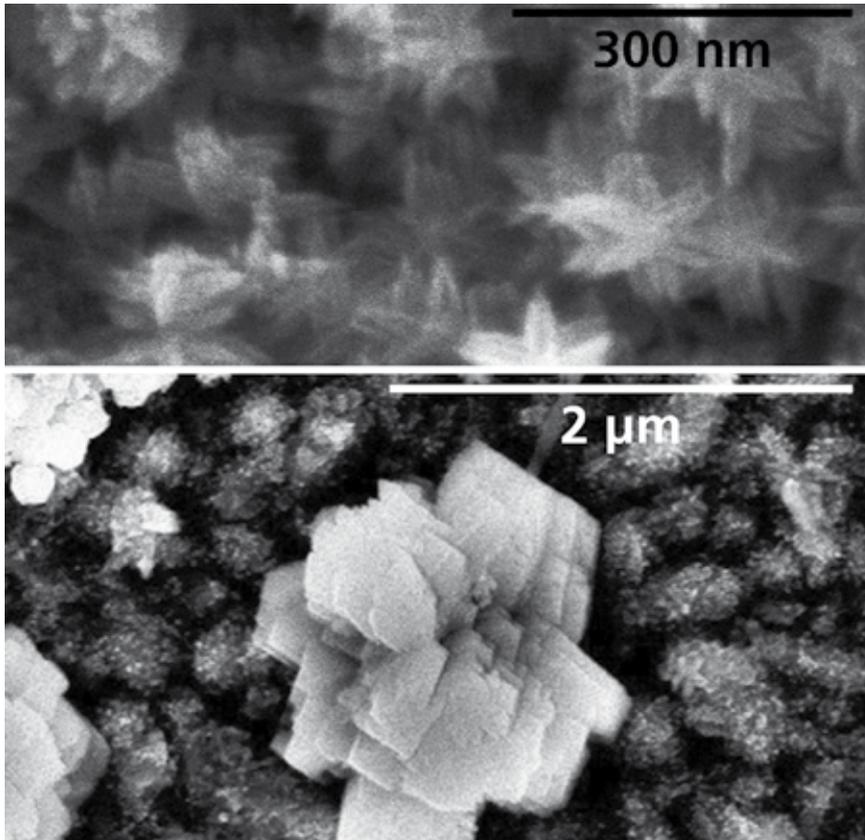
Die Gewinnung von Wasserstoff kann über verschiedenste Prozesse laufen, beispielsweise über thermische, elektrolytische oder photolytische (Figur 1). Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit sind insbesondere solar-thermische Verfahren mit konzentrierter Solarenergie, die Elektrolyse mit dem Einsatz von Strom 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.

Photoelektrolyse

Am Kompetenzzentrum PEChouse (pechouse.epfl.ch) an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) wird in Zusammenarbeit mit Gruppen an der Empa, der Universität Basel und verschiedensten 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



Figur 2: (Oben) Im Berichtsjahr erfolgte ein Durchbruch bei der Performance von Fe_2O_3 Photoanoden mit verbesserten Abscheidebedingungen und mit IrO_2 als Katalysator. Die zeitliche Entwicklung zeigt, dass Photoströme von bis zu 7 mA/cm^2 bis 2015 realistisch sind. Optimierungspotenzial liegt bei der weiteren Verbesserung der Morphologie (Nanostrukturierung) sowie der weiteren Absenkung von Überspannungspotenzialen durch den Einsatz von Katalysatoren. (Unten) Im Vergleich zu anderen auf Oxiden basierenden PEC-Zellen sind Hämatit-Zellen zeitlich stabil (nach EPFL).



Figur 3: (Oben) Elektronenmikroskopische Aufnahme eines Hämatit-«Nanoflower»-Films für die PEC-Produktion von Wasserstoff. (Unten) Zusätzliche Cobaltoxid-«Mikrorosen» erhöhen die PEC-Effizienz (Quelle: Empa).

(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 Forscher an der EPFL und ihre Projektpartner konzentrieren sich auf PEC-Zellen auf Basis von Hämatit (Fe_2O_3) als Photoanodenmaterial. Mit diesem Material wurde im Berichtsjahr im PEChouse-Projekt ein neuer Durchbruch erzielt. Eine verbesserte (kontrolliertere) Abscheidetechnik (atmospheric pressure chemical vapor deposition APCVD) des Anodenmaterials sowie der Einsatz von IrO_2 -Nanopartikeln als Katalysatoren für die Sauerstoffreaktion (oxygen evolution reaction) lieferten eine Rekord-Photostromdichte von $3,3 \text{ mA/cm}^2$ unter Standardbeleuchtung (1 Sonne bei AM 1,5) bei einer Spannung von 1,23 V bezogen auf das Wasser-Redoxpotenzial [7]. Für die Umwandlungseffizienz von Solar-zu-Wasserstoff (STH) bedeutet dies einen Wirkungsgrad von 4,8 %. Dieses Resultat übertrifft alles, was bisher mit Oxidmaterialien (TiO_2 , WO_3 u. a.) erreicht wurde. Die Resultate der EPFL wurden in einer renommierten Zeitschrift letztes Jahr publiziert [8] und in der Zeitschrift *Nature*

«gehighlighted» [9]. In der Vergangenheit konnten bereits höhere STH-Wirkungsgrade von bis zu 12,8 % erzielt werden (www.nrel.gov/hydrogen), dies mit auf III-V-Halbleitermaterialien basierenden PEC-Zellen ($\text{GaInP}_2/\text{GaAs}$), welche in ihrer Produktion äusserst kostenintensiv sind und daher für eine Anwendung eher nicht in Frage kommen (Panels mit $\$ 10'000/\text{m}^2$).

Mit den 2010 erzielten Fortschritten sollten die Ziele des PEChouse-Projekts bis Ende 2011 erreicht werden: Photostromdichten von 5 mA/cm^2 (entspricht einem STH von 7 %), eine Degradation von weniger als 5 % auf 1'000 h sowie das Aufzeigen einer machbaren Entwicklung, welche bis 2015 Wasserstoffproduktionskosten auf PEC-Basis von weniger als 5 €/kg H_2 erlaubt. Eine extensive techno-ökonomische Studie zu den Wasserstoffproduktionskosten auf Basis von PEC-Konzepten wurde kürzlich am US Department of Energy veröffentlicht [10].

Optimierungspotenzial bei Hämatit-PEC-Zellen liegt bei der weiteren Verbesserung der Morphologie der Filme durch Nanostrukturierung sowie der Absenkung der Überspannungen durch den Einsatz geeigneter Katalysa-

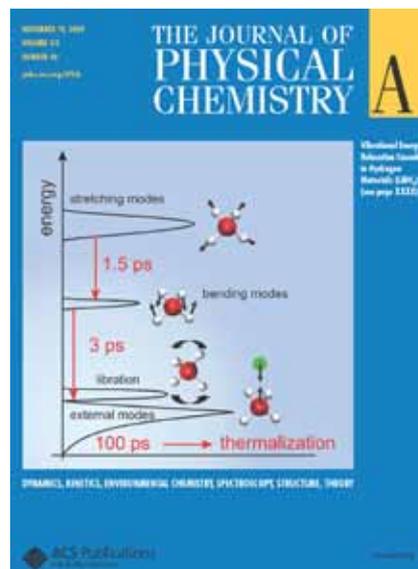
toren (Blockpfeile in Figur 2). Letzteres ist wichtig, um auf den Einsatz einer zusätzlichen PV-Zelle in Tandemkonfiguration verzichten zu können, da eine solche Tandemstruktur teuer in der Produktion wäre. Die Morphologie wird in einem weiteren Arbeitspaket des PEChouse-Projekts bearbeitet, in welchem ein «host-guest»-Ansatz verfolgt wird. Hämatit besitzt eine eher geringe Lichtabsorption und kurze Lochdiffusionslängen im Vergleich zu anderen Halbleitern. Mit Anoden bestehend aus extrem dünnen Hämatitschichten, welche auf einer Trägermatrix (WO_3) aufgebracht werden, können diese Nachteile kompensiert und dadurch die Effizienz weiter erhöht werden. Als problematisch stellte sich eine nicht photoaktive Schicht bei extrem dünnen Hämatitschichten heraus, jedoch konnte dieser Effekt im Berichtsjahr durch eine spezielle Behandlung vor der Abscheidung der dünnen Filme behoben werden, so dass dieser Ansatz vielversprechend weiterverfolgt werden kann.

Als weiterer Meilenstein in diesem Projekt wurde Kupferoxid (Cu_2O) als geeignetes Material für Photokathoden in PEC-Zellen identifiziert (Titelbild). Kupferoxid ist ein intrinsischer p-Halbleiter mit einer direkten Bandlücke und einer Leitungsbandkante, welche für die Wasserstoffreaktion energetisch gut positioniert ist. Ausserdem weist das Material gute Leitungseigenschaften auf. Problematisch ist die hohe Photokorrosion des Materials. Durch das Aufbringen (atomic layer deposition) von geeigneten Schutzschichten konnte dieser Effekt um Grössenordnung verkleinert werden.

Das PEChouse-Projekt an der EPFL wird national ergänzt durch Projekte an der Universität Basel und an der Empa, wo soft-chemische Methoden zur Präparierung von Hämatitfilmen eingesetzt werden. Speziell interessant sind PEC-Multi-Bandgap-Systeme auf Basis von Hämatit und Nickeloxid, bei welchen ein weiterer Bereich des solaren Spektrums absorbiert wird, womit höhere Effizienzen erzielt werden. International entstand aus dem nationalen Projekt heraus das europäische Projekt NanoPEC mit der EPFL als leitende Institution und Partnern aus sieben europäischen Ländern. Ausserdem sind diese Aktivitäten sehr gut in den PEC-Task des Hydrogen Implementing Agreements der Internationalen Energieagentur (IEA) eingebunden.



Figur 4: Ansicht der Experimentierplattform am 1 MW-Solarofen in Odeillo (Frankreich) bei geöffnetem Shutter und unter Bestrahlung. Rechts im Hintergrund erkennt man einen Teil des Heliostatenfelds. Im Berichtsjahr wurde am PSI der Reaktor zur solaren Zink-Produktion erfolgreich hochskaliert. Die Tests im zweiten Halbjahr 2011 in Odeillo sollen aufzeigen, ob die theoretisch ermittelten Solar-zu-Zink- bzw. Solar-zu-Wasserstoff-Effizienzen experimentell bestätigt werden können (Quelle: CNRS-PROMES, Odeillo).



Figur 5: Cover des Journal of Physical Chemistry C, welches die Relaxationskaskade verschiedener Vibrationszustände des komplexen Hydrids LiBH_4 zeigt (volume 113, issue 46) (Quelle: Empa).

Solare Thermochemie

Am Labor für Solartechnik (STL) des Paul Scherrer Instituts (PSI) werden verschiedenste thermochemische Prozesse zur Erzeugung chemischer Energieträger (Wasserstoff, Syngas u. a.) untersucht, bei welchen konzentrierte Solarstrahlung als Energiequelle genutzt wird. Das BFE unterstützt über das Forschungsprogramm «Industrielle Solarenergienutzung» ein langfristiges Projekt zur thermischen Dissoziation von Zinkoxid zu Zink und Sauerstoff, wobei das entstehende Zink in einem zweiten Prozessschritt zur Wasserstoffproduktion genutzt werden kann. Im Gegensatz zur direkten Thermolyse von Wasser (oder Kohlendioxid) ermöglicht der Einsatz von Metalloxiden wie Zinkoxid in einem solchen zweistufigen Prozess die Separation der Produktgase Wasser- und Sauerstoff (bzw. Kohlenmonoxid und Sauerstoff).

Besondere Aufmerksamkeit – mediale bis hin zu bundesrätlicher – erregte eine Ende 2010 in *Science* [11] publizierte Arbeit des PSI-STL in Zusammenarbeit mit der ETHZ und dem California Institute of Technology. In dieser Publikation wurde demonstriert, dass durch die zyklische Oxidation und Reduktion von Ceriumoxid (CeO_2) in einem relativ einfach gebauten Solarreaktor Wasser und/oder Kohlendioxid in Wasserstoff und Syngas umgewandelt

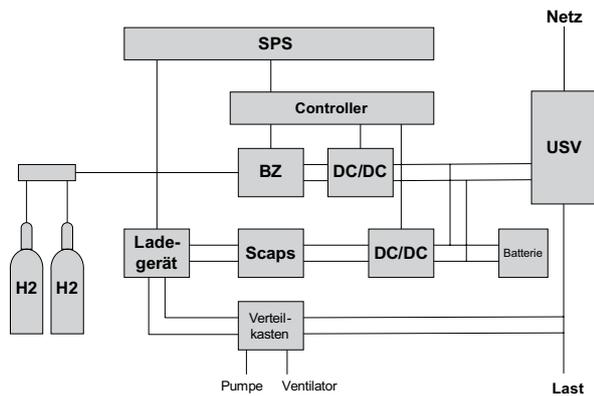
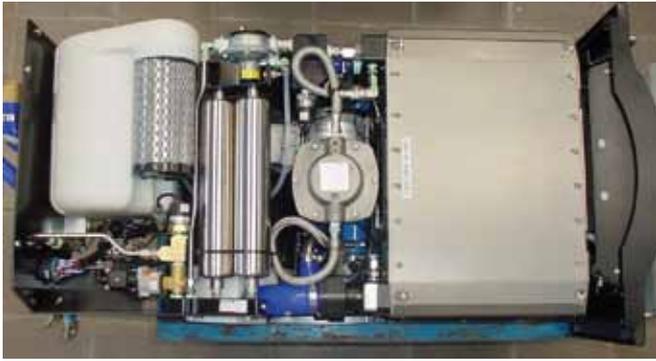
werden kann. Sowohl die gemessenen Umwandlungseffizienzen als auch die Zyklenraten sind noch relativ klein bedingt durch hohe thermische Verluste, welche aber durch ein optimiertes Design deutlich verringert werden könnten. Die thermodynamischen Materialeigenschaften von CeO_2 würden theoretisch Umwandlungseffizienzen von 16–19 % zulassen.

Wasserstoffspeicherung in Festkörpern – neue Erkenntnisse in der Thermodynamik von komplexen Hydriden

Die effiziente Speicherung von Wasserstoff in Festkörpern bildet ein zentrales Thema des Forschungsprogramms. Für die Anwendung von Wasserstoff im Mobilitätsbereich ist zur Zeit die Speicherung als komprimiertes Gas bei 350 oder 700 bar Standard. Die Attraktivität der Speicherung in Festkörpern liegt in einer erhöhten Sicherheit, geringeren Energieverlusten im Vergleich zur Komprimierung oder Abkühlung auf kryogene Temperaturen sowie in der hohen volumetrischen Dichte. Die hierfür in Frage kommenden Materialsysteme – sogenannte komplexe Hydride, welche ein besonders hohes Potenzial zur Wasserstoffspeicherung

aufweisen – sind allgemein in ihren thermodynamischen Eigenschaften noch nicht gut verstanden. Das Projekt CompHy, welches an der Empa durchgeführt und 2010 abgeschlossen wurde, hat dazu grundlegende Erkenntnisse geliefert. Hier wurden Bor-Hydride $\text{M}[\text{BH}_4]_n$ untersucht, welche sich aus einem metallischen Kation M (beispielsweise Na, Mg oder Cu) und einem Bor-Hydrid BH_4 zusammensetzen. Bor-Hydride weisen unter den komplexen Hydriden die höchsten Speicherdichten auf. Als eines der zentralen Ergebnisse konnte in einem empirischen Modell der Zusammenhang zwischen der Bildungs-Enthalpie verschiedener komplexer Hydride und der Elektronegativität des involvierten Kations M dargestellt werden, was einen systematischeren Ansatz zur Untersuchung der Stabilität erlaubt, beispielsweise der Wasserstoff-Desorption verschiedener Bor-Hydride. Experimentell wurde die Dynamik thermodynamischer Prozesse in Hydriden durch zeitlich aufgelöste Infrarot-Messungen (pump-probe) auf Femtosekunderskala analysiert (Figur 5). Dies lieferte neue Einsichten in die Natur der Bor-Wasserstoff-Verbindung während des Desorptionsprozesses.

Auch bei der Synthese von komplexen Hydriden wurden neue Verfahren entwickelt. Die heute kommerziell



Figur 6: (Links oben) Die in der USV-Anlage eingesetzte 10 kW-Polymer-Elektrolyt-Membran-Brennstoffzelle. (Links unten) Blockschaltbild der Anlage. (Rechts) Mobilfunk-Basisstation (GSM/UMTS) auf dem Dach der Hochschule Luzern (Quelle: HTA Luzern).

erhältlichen Bor-Hydriden werden naschemisch produziert, was teuer und mit einem grossen Einsatz an Lösungsmitteln verbunden ist. Im Empa-Projekt wurde ein lösungsfreies Herstellungsverfahren auf Grundlage von mechano-chemischer Synthese entwickelt. Die direkte Synthese von Bor-Hydrid ausgehend von den Elementen ist bis jetzt noch nicht möglich.

Die im Projekt erarbeiteten Analyse- und Synthesemethoden werden in Nachfolgeprojekten, welche vom BFE, Swisselectric Research, CCEM und der Europäischen Kommission gefördert werden, eingesetzt, um komplexe Hydride systematischer zu untersuchen, und diese der praktischen Anwendung ein gutes Stück näher zu bringen.

Notstromversorgung als Erfolg versprechende Early-Market-Anwendung für Wasserstoff

In einem Feldtest an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur wurde in den letzten vier Jahren der Einsatz von Wasserstoff und Brennstoffzellen

zur unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) getestet. Als weitere Partner im Projekt beteiligten sich Swisscom AG, welche die USV-Anlage für eine im realen Betrieb arbeitende Mobilfunk-Basisstation nutzte (Figur 6), und American Power Conversion Corporation als Hersteller von unterbrechungsfreien Stromversorgungsanlagen. Das verzögerte Anfahrverhalten der eingesetzten Brennstoffzelle wurde mit Superkapazitäten (Figur 6, unten links) überbrückt. Die Wasserstoffbereitstellung in Form von Druckflaschen war auf eine Autonomiezeit von sechs Stunden ausgelegt.

Während des Feldtests über einen Zeitraum von mehr als dreieinhalb Jahren wurden pro Monat Stromausfälle von 5x5 und 2x20 Minuten simuliert, wobei die Funktionsfähigkeit und Zuverlässigkeit des Systems unter Beweis gestellt werden konnte. Auch bei längeren Unterbrechungszeiten von mehr als 4 Stunden sowie während zwei realen Stromausfällen von bis zu anderthalb Stunden funktionierte das System zuverlässig (100 %). Insgesamt wurden 350 Starts durchgeführt mit einer Laufzeit der USV-Anlage von knapp 100

Stunden. Nach Abschluss des Feldtests zeigte die eingesetzte Brennstoffzelle einen Spannungsabfall von rund 3 %. Insgesamt wurden durch die Brennstoffzelle 470 kWh an elektrischer Energie bereitgestellt. Nach Beendigung der Tests war die Brennstoffzelle noch voll funktionsfähig. In Ergänzung zu den Feldtests wurde in einer Lebenszyklusanalyse die Brennstoffzelle mit den üblicherweise eingesetzten Bleibatterien verglichen. Mit der Brennstoffzelle wird in USV-Anlagen im Vergleich zu Bleibatterien (inkl. Recycling) eine Reduktion der CO₂-Äquivalente von über 80 % erreicht.

Die Marktsituation für USV-Anlagen mit Brennstoffzellen hat sich über die Dauer des Projektes stark verändert. Industriell wurden deutliche technische Fortschritte erzielt und der Bereich Notstromversorgung zählt zu den erfolgversprechendsten Anwendungen der Brennstoffzelle in sogenannten «Early Markets». Das Projekt läuft in einem grösseren Europäischen Feldversuch (FITUP) weiter, in der Schweiz an acht Standorten mit verschiedensten Partnern.

Nationale Zusammenarbeit

Die nationale Zusammenarbeit zwischen Projektnehmern wurde auch im Berichtsjahr weiter gepflegt. In vom BFE unterstützten Projekten bestehen verschiedene Arbeitsnetzwerke, so zum Beispiel bei der solaren Wasserstoffproduktion mittels Photoelektrochemie (PEChouse, pechouse.epfl.ch). In Wildhaus fand im Januar 2010 bereits zum vierten Mal das von der Empa-Akademie organisierte Symposium Hydrogen and Energy 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 Competence 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.

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. Auf Initiative von Hydropole wurde an der World Hydrogen Energy Conference WHEC 2010 in Essen wie bereits am WHEC 2006 in Lyon und am WHEC 2008 in Brisbane wiederum ein nationaler Stand aufgebaut, an dem sich die Schweizer Industrievertreter und Hochschulen gut präsentieren konnten, und der international gut wahrgenommen wurde. Weiter wurde von Hydropole wiederum unter Mitwirkung aller wichtiger nationaler Vertreter im Bereich Wasserstoff der Hydrogen Report Switzerland 2010/2011 veröffentlicht (www.hydropole.ch/index.php?go=publications).

Internationale Zusammenarbeit

Das Wasserstoffprogramm (HIA) der IEA (www.ieahia.org) bildet eine Hauptplattform der internationalen, vor-kommerziellen 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 beteiligen sich Schweizer Akteure aktiv in verschiedensten Tasks (siehe Kasten auf nächster Seite). 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.

An der World Hydrogen Energy Conference WHEC 2010 in Essen wurde erstmalig der IEA-HIA-Prize for technology demonstration an das Projekt «ITHER – Green Hydrogen from Wind and Solar Mobile Applications» (task24.hydrogenoaragon.org/docs/ITHER.pdf) aus dem Task 24 «Wind Energy and Hydrogen Integration» an das Projektkonsortium übergeben. Die Schweizer Firma IHT, Industrie Haute Technologie SA aus Monthey, trug zum Gelingen des Projekts IOTHER wesentlich bei, indem sie einen alkalischen Hochdruckelektrolyseur lieferte, welcher sich besonders gut für den Betrieb mit fluktuierenden Quellen wie Photovoltaik und Wind eignet.

Verschiedenste Wasserstoffprojekte werden durch die EU-Forschungsrahmenprogramme unterstützt. Speziell im Forschungsprojekt NanoPEC (nanopec.epfl.ch) koordiniert die EPFL als Leading House die in Europa laufende Forschung im Bereich der Hämatit-basierten PEC-Forschung.

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 Industriegruppe des FCH JU mit 58 Firmen sind die Schweizer Firmen Hexis und HTceramix (SOFC Power) als Mitglieder dabei. Im European Research Grouping (NERGHI, www.nerghi.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. Die FCH JU versucht, die Zusammenarbeit mit einzelnen Regionen und Gemeinden zu verstärken, welche seit 2008 im Netzwerk HyRaMP Hydrogen Regions and Municipalities Partnership koordiniert sind (www.hy-ramp.eu). Aktuell gibt es hier noch keine Schweizer Beteiligung.

Schweizer Beteiligung im IEA Hydrogen Implementing Agreement Hydrogen (HIA)www.ieahia.org

Annex / Task	Schweizer Delegierter (Institution)
Advanced Materials for Hydrogen From Waterphotolysis	EPFL / Empa
Wind Energy and Hydrogen Integration	Industrie Haute Technology (IHT)
Fundamental and applied hydrogen storage materials development	Empa
Hydrogen Safety	Empa
High Temperature Production	PSI

Referenzen

[1] C. Pieper und H. Rubel «Electricity Storage: Making Large-Scale Adoption of Wind and Solar Energy a Reality», The Boston Consulting Group (2010) (www.bcg.de/documents/file41973.pdf).

[2] U. Albrecht et. al., «Potenziale der Wind-Wasserstoff-Technologie in der Freien und Hansestadt Hamburg und in Schleswig-Holstein" (2010) (www.h2hamburg.de).

[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 2011 (www.energieforschung.ch).

[5] Clean Hydrogen In European Cities Project (CHIC) (chic-project.eu/).

[6] European Fuel Cell Forum 2011, 28 June–1 July 2011, Lucerne, Switzerland (www.efcf.com/).

[7] Maximal konnten Photostromdichten bis 4 mA/cm² gemessen, bevor ein Dunkelstrom detektiert wurde.

[8] S. Tilley, M. Cornuz, K. Sivula, M. Grätzel, *Angew. Chem. Int. Ed.* 49, 6405 (2010).

[9] *Nature* 466, 669 (2010).

[10] B. D. James, G. N. Baum, J. Perez, K. N. Baum, «Technoeconomic Analysis of Photoelectrochemical (PEC) Hydrogen Production», DOE Contract Number: GS-10F-009J, final report (2009).

[11] W. C. Chueh et al., «High-Flux Solar-Driven Thermochemical Dissociation of CO₂ and H₂O Using Nonstoichiometric Ceria», *Science* 330, 1791 (2010).

BFE Forschungsprogramm Wasserstoff

Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Dr. Stefan Oberholzer, Bundesamt für Energie (stefan.oberholzer@bfe.admin.ch)

Bereichsleiter BFE:

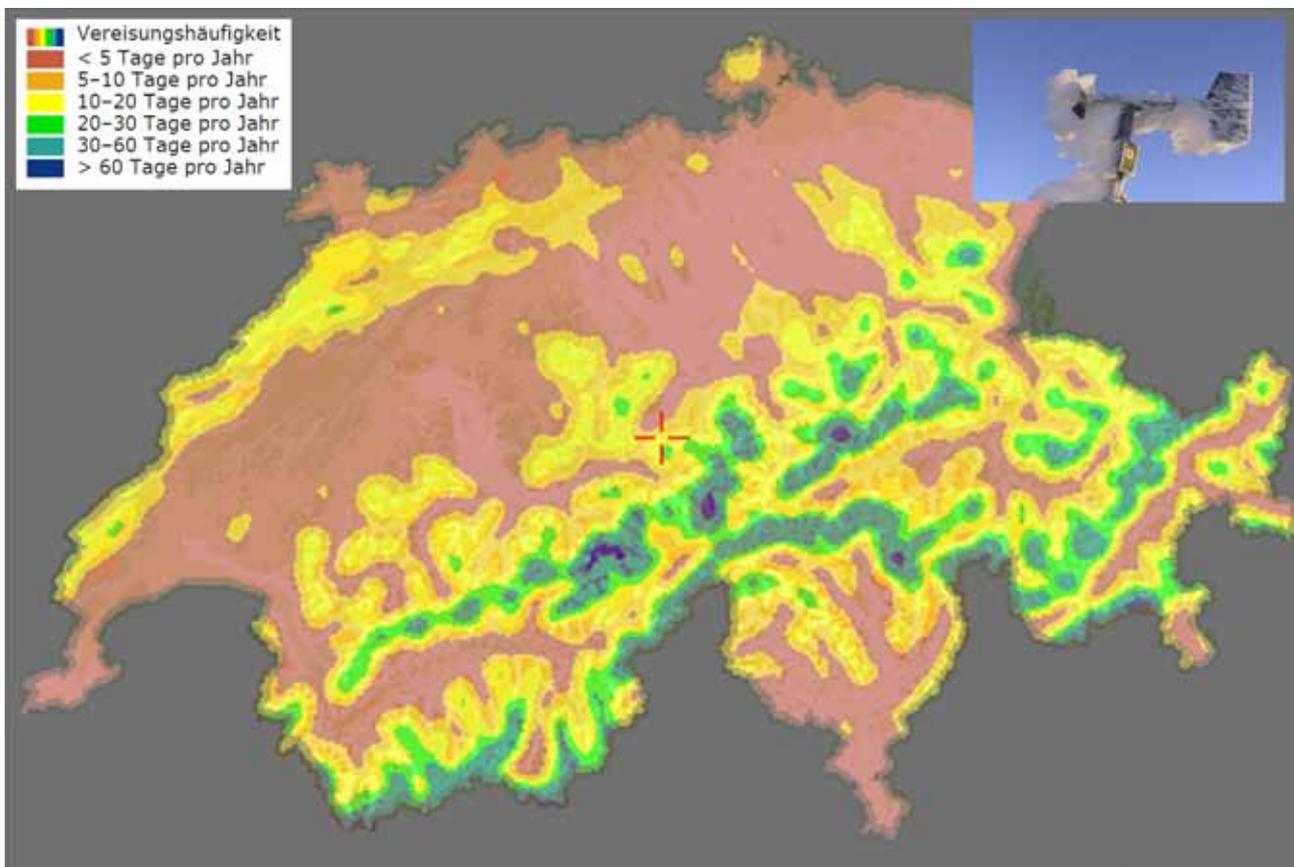
Dr. Stefan Oberholzer (stefan.oberholzer@bfe.admin.ch)

www.bfe.admin.ch/forschungwasserstoff

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Wind

Robert Horbaty



Neues Planungswerkzeug: Vereisungskarte der Schweiz

Einleitung

Die weltweit installierte Leistung von Windenergieanlagen hat von 2008 auf 2009 von 120'903 MW um 32 % auf 157'213 MW zugenommen [1], der Trend bestätigt sich, dass sich die Windenergiekapazität alle drei Jahre verdoppelt. Diese Windkraftanlagen haben rund 340 TWh Elektrizität generiert, was dem Gesamtstromverbrauch von Italien entspricht. Mit einem Gesamtumsatz von mehr als 50 Mrd. € beschäftigt die Windindustrie mittlerweile mehr als 550'000 Personen.

2010 war auch für die Windenergie in der Schweiz ein Rekordjahr: Die Produktionskapazitäten sind übers Jahr um nahezu 150 % auf 42 MW gestiegen. Die erwartete Jahresproduktion stieg dank Ausbau auf dem Mont-Crosin (BE), auf dem Gütsch (UR) und in Le Peuchapatte (JU) von 27 Mio. kWh auf 74 Mio. kWh Windstrom. Anfang 2011 sind nun 28 grosse Windturbinen installiert. Der generierte Strom entspricht dem Bedarf von 21'000 Haushalten [2].

Eine Studie der Fa. McKinsey [3] aus dem Jahre 2010 beziffert den weltweiten Umsatz von Schweizer Firmen im Bereich der Windenergie auf 2,1 Mrd. CHF und geht davon aus, dass sich dieser Betrag bis 2020 auf über

11 Mrd. CHF vervielfachen könnte. Schweizer Firmen sind v.a. als Zulieferer von Anlagen tätig, z. B. Generatoren und Elektroinstallationen für Windkraftanlagen von ABB, Komponenten für die Herstellung von Rotorblättern aus Verbundwerkstoffen von Gurit, Isolationslösungen von Von Roll Isola oder Umrichter von Integral Drive Systems (IDS). Der Marktanteil der Schweizer Unternehmen in den Zulieferindustrien dürfte gegen 10 % betragen, die Wachstumschancen sind bei einem geschätzten Marktvolumen der Windindustrie von 250 Mrd. CHF im Jahre 2020 intakt.

Vor diesem Hintergrund ist auch das zunehmende Engagement der Schweizer Forschung in Bereich der Windenergie nachvollziehbar. Getragen von Forschungsinstitutionen (z. B. ETHZ oder ZHAW), von anderen Institutionen (z. B. MeteoSchweiz oder Vogelwarte Sempach) oder von privaten Unternehmen (z. B. Meteotest) werden Projekte aus den Bereichen «Anlagen im Gebirge unter harschen klimatischen Bedingungen und hohen Turbulenzintensitäten und an schlecht zugänglichen Standorten» oder im Zusammenhang mit «Social Acceptance», z. B. Auswirkungen auf die Vogelwelt, bearbeitet.

IEA-Klassifikation: 3.2 Wind Energy

Schweizer Klassifikation: 2.6 Windenergie

Programmschwerpunkte

Basierend auf dem Konzept des Energieforschungsprogramms Windenergie aus dem Jahre 2008 [4] stellen sich die Forschungsschwerpunkte wie folgt dar:

- 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.

Einschätzung der erreichten Resultate im Jahre 2010

Im Berichtsjahr konnten wichtige Forschungsvorhaben abgeschlossen werden, und es wurden wichtige Zwischenresultate aus weitergehenden Projekten erreicht und publiziert, die in allen vier Schwerpunkten zur Erreichung der gesteckten Ziele geführt haben oder führen werden. Bei Arbeiten im Bereich «Soziale Akzeptanz» musste stark lenkend durch die Programm- und Bereichsleitung eingegriffen wer-

den. Hierbei hat sich gezeigt, dass bei diesem interdisziplinären Thema weiter mit Schwierigkeiten zu rechnen ist, da Ingenieure und Geisteswissenschaftler unterschiedliche «Sprachen sprechen» und eine Resultatüberprüfung ungleich schwieriger ist, als im technischen Bereich.

Mit Projektarbeiten im Zusammenhang mit Vogelschlag wurden Resultate erarbeitet, welche die ganze Akzeptanzdiskussion in diesem Gebiet substantiell auf eine sachliche Basis bringen werden. Dies unterstreicht den Ansatz des Windenergieforschungsprogramms, Mittel auch in sozial- und naturwissenschaftliche Themen zu investieren, in Wissensgebieten also, welche für die zukünftige Entwicklung der Windenergie in der Schweiz eine hohe Bedeutung haben.

Mit den Forschungsaktivitäten in den Bereichen «Betrieb von Windkraftanlagen unter turbulenten und vereisenden Bedingungen» und «Sozialer Akzeptanz von Windkraftanlagen» hat sich die Schweiz internationales Renommee erarbeitet und ist u.a. über die IEA (Internationale Energieagentur) gut vernetzt. Das ausgewiesene Interesse der internationalen Windenergieszene an unseren Resultaten unterstreicht die Qualität der durchgeführten Forschungsvorhaben.

Ausblick 2011

Diese Aktivitäten gilt es mit den bescheidenen Forschungsmitteln weiter zu führen und zu fokussieren, z. B. mit einem Ausbau der Infrastruktur im Windkanal der RUAG, um das Bedürfnis der Industrie an gesicherten aerodynamischen Profildaten für grosse Windkraftanlagen zu befriedigen.

In letzter Zeit besteht ein grosses Interesse an Forschungsgeldern zur Entwicklung von Klein(st)-Windkraftanlagen. Die Förderung der Windenergie in der Schweiz folgt jedoch dem Grundsatz «Windenergieanlagen sind an geeigneten Standorten zu konzentrieren». Dies bedeutet, dass die energetischen Zielsetzungen mit möglichst wenigen Anlagen an möglichst wenigen Standorten erreicht werden sollen. Mit diesem Grundsatz können sowohl die ökonomischen Vorteile der Grossanlagen genutzt und dank einer sorgfältigen Standortwahl gleichzeitig

mögliche negative Einflüsse auf Landschaft, Flora und Fauna minimiert werden. Aus obigen Ausführungen und den Schwerpunkten des Forschungsprogramms Windenergie lassen sich nur schwer Forschungsvorhaben zur Entwicklung von Kleinwindanlagen ableiten. Vor dem Hintergrund des beschränkten Budgets bestehen im Programm deshalb kaum Möglichkeiten, entsprechende Projekte materiell zu unterstützen.

Wie in [3] ausgewiesen, besteht jedoch eine wichtige Zulieferindustrie in der Schweiz für die weltweite Nutzung der Windenergie. Mit der Mitwirkung an den vielfältigen Aktivitäten der IEA, mit der Teilnahme an internationalen Forschungsvorhaben, sei es mit den «Präzisionsgetrieben» der RUAG am europäischen Strategieplan für Energietechnologie (SET-Plan) für Off-shore Windkraftanlagen, oder mit der Partizipation von ETHZ, EPFL und EMPA an weiteren EU-Forschungsprojekten, z. B. Zusammenhang mit Turbulenzen, Blitzschlag oder Geräuschbildung, soll die Kompetenz dieses Wirtschaftszweiges in der Schweiz weiter erhöht werden.

Anlässlich eines breit angelegten Workshops mit der Schweizerischen Windenergievereinigung Suisse Eole wird der Branche die Möglichkeit geboten, ihre Anliegen und Forschungsbedürfnisse direkt zu formulieren. Diese werden auch Eingang finden in das zurzeit in Erarbeitung befindende Energieforschungskonzept des Bundes 2013–2016.

Highlights 2010

>> Projektliste

Nachfolgend sind einige exemplarische Projekte aufgeführt, dieses Jahr vor allem aus dem Bereich der Vereisungsproblematik.

Vereisungskarte

Die Vereisung von Strukturen ist ein Schlüsselfaktor bei der Planung von Infrastrukturanlagen wie Freileitungen, Windturbinen oder Seilbahnen in gebirgigen oder arktischen Regionen. Im Rahmen des Projekts «MEMFIS, Measuring, modeling and forecasting ice loads on structures» wurden Messungen der Eislasten an drei Standorten in der Schweiz durchgeführt. Zur Simulation und Prognose von Eislasten wurden zudem neue Methoden auf der Basis von numerischen Wettermodellen entwickelt und validiert.

Die erarbeiteten Resultate dienen zur Erstellung einer Karte der meteorologischen Vereisungshäufigkeit in der Schweiz (siehe Titelbild). Flächendeckende Informationen über Wolkenwasser, Temperatur und Wind aus Analysen des operationellen Wettervorhersagemodells COSMO-2 von MeteoSchweiz dienen als Eingabedaten für einen Vereisungsalgorithmus, der die Eislast an einer zylindrischen, freierotierenden Struktur berechnet. Die berechneten Vereisungshäufigkeiten wurden auf Grundlage von Messungen des Interkantonalen Mess- und Informationssystems (IMIS) in den Alpen und von Windmessungen im Jura verifiziert.

Die im Projekt berechneten Karten der meteorologischen Vereisungshäufigkeit in 10 m und 100 m Höhe für den Zeitraum August 2007 bis Juli 2009 zeigen ein detaillierteres Bild der Vereisung als bisher vorliegende Karten. Die räumliche Verteilung ist plausibel: im Mittelland ist die meteorologische Vereisungshäufigkeit in 10 m Höhe mit etwa 4 Tagen/Jahr gering. Höhere Werte von 10 bis 20 Tagen/Jahr treten im Jura und in den Voralpen auf. Im Bereich der Zentralalpen ist die meteorologische Vereisung am häufigsten (50 Tagen). Die maximale, simulierte Vereisungshäufigkeit in 10 m Höhe liegt im Bereich von 100 Tagen/Jahr, aber auch die aus IMIS-Messungen abgeleitete Häufigkeit zeigt hohe Werte bis 65 Tage/Jahr. Es wurde abgeschätzt,



Figur 1: Installierte Windenergiekapazität weltweit [1].

dass die aus IMIS Messungen abgeleitete Vereisungshäufigkeit die reale Häufigkeit um 5–10 % unterschätzt.

Diese Karte ist nun auf dem Internet für Planer frei zugänglich. Substantiell beigetragen zu diesem Projekt haben die Fa. Meteotest, das Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz, sowie das WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung.

«Antifreeze»-Beschichtungen für Rotorblätter

Im Bereich Anlagenkomponenten hat das Projekt der Zürcher Fachhochschule ZAHW – in Zusammenarbeit mit der Firma Clariant – zur Entwicklung von vereisungshemmenden Beschichtungen von Rotorblättern zu einem eigentlichen wissenschaftlichen Durchbruch geführt [5].

Das Ziel dieses Projekts ist es, der Vereisung von Windenergieanlagen vorzubeugen. Es wird durch eishaftungsreduzierende (eishafte) Beschichtungen erreicht. Auf das Rotorblatt aufgebracht sollen diese Beschichtungen die Haftung des Eises so stark verringern, dass das Eis durch natürliche Vibrationen, Zentrifugalkräfte und die Schwerkraft von selbst abfällt.

Die Fa. Clariant, die Gebert Rüt Stiftung, das Bundesamt für Energie und RETC (Renewable Energy Technology Center GmbH (www.retc.de), ein in Hamburg basiertes Joint Venture zwischen REpower Systems AG und Suzlon

Energy Ltd) unterstützen die Zürcher Fachhochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) in diesem Pioniervorhaben. Aus einer Medienmitteilung von Clariant vom 18.11.2010:

«The successful creation of an anti-adhesive polymer-based coating to reduce ice from forming, or at least minimize the adhesion of ice so that the vibration of the rotating blades causes ice to fall off independently, will deliver a major step forward in allowing turbines to work effectively throughout the year and avoid high energy costs. Although various surfaces are still under-



Figur 2: 7 MW-Windpark der Fa. Alpic in Peuchappate, Kant. Jura (Quelle: Alpic).



Figur 3: Vereisung an einer IMIS-Messtation (Quelle: WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung).

going tests, results so far indicate new possibilities to protect turbine blades from ice formation using this method»

Untersuchungen über die Auswirkungen eines Windparks Schwyberg auf die Vögel

Im Rahmen der Abklärungen über die möglichen Auswirkungen eines Windparks auf dem Schwyberg auf die Vogelwelt (vor dem Bau) beauftragten Groupe E Greenwatt SA und das Bundesamt für Energie BFE die Schweizerische Vogelwarte Sempach, im Herbst 2009 den Vogelzug mittels Radar und Tagzugbeobachtungen quantitativ zu erfassen und im Frühling 2010 die Brutvorkommen der Vögel auf der Krette des Schwybergs zu untersuchen. Für die beiden Untersuchungen erstellte die Vogelwarte je einen Bericht («Untersuchung über die Auswirkungen eines Windparks Schwyberg auf die Vögel: Bedeutung der Krette für die Brutvögel» und «Untersuchungen über die Auswirkungen eines Windparks Schwyberg auf die Vögel: Vogelzug»).

Die Projektverfasser beurteilen den Schwyberg aufgrund ihrer Untersuchungen als problematisches Gebiet. Bezüglich Brutvögel sind besonders die zu erwartenden Auswirkungen auf Birkhuhn und Feldlerche zu berücksichtigen. Beim Vogelzug kommt eine Schätzung, welche sich auf die Radarmessungen und einfache Überlegungen stützt, zu einer bedeutenden



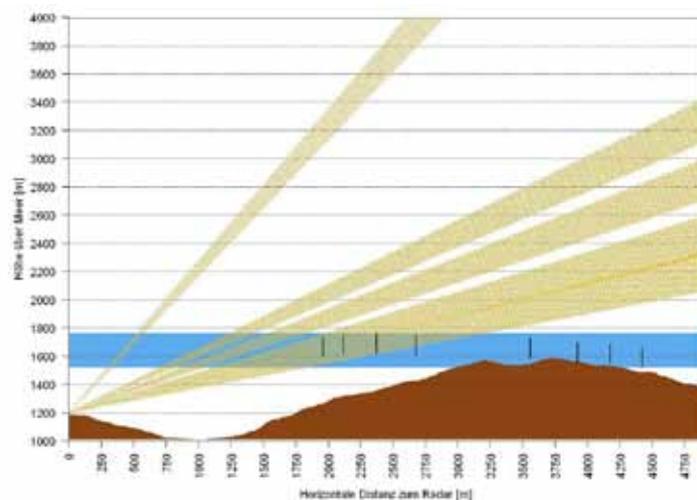
Figur 4: Standort des Vogelradars neben dem Reservoir in der Gemeinde Plaffeien, Ansicht von Südosten in Richtung Gross-Schwyberg, auf den der Radarstrahl ausgerichtet wurde (Foto: Dieter Peter).

Kollisionsofferzahl. Diese Schätzungen können in Zukunft wesentlich genauer erfolgen, wenn–wie im Projekt bereits vorgesehen–die effektiven Kollisionen nach dem Bau der Anlagen ermittelt werden.

Die Vogelwarte Sempach schlägt den Projektentwicklern sowohl Massnahmen zur Verminderung der Auswirkungen wie auch Ersatzmassnahmen vor. Auswirkungen auf die Brutvögel sollen vor allem bei der Erschliessung und beim Bau der Anlagen berücksichtigt werden. Bezüglich des Vogelzugs wird damit gerechnet, dass durch eine Abschaltung der Windenergieanlage während der 5 bis 10 zugintensivsten Tage/Nächte die Kollisionen um 50 % reduziert werden können. Die Vorhersage solcher zeitlich und räumlich

begrenzter Zugkonzentrationen ist zurzeit in der Entwicklung. Ein erstes Modell zur Vorhersage der Zugintensitäten (basierend auf Topografie und Wettersituation) ist an der Vogelwarte im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU in Erarbeitung (Sommer 2011). Für praxistaugliche Vorhersagen sind aber noch weitere Schritte notwendig (z. B. Einbezug des Wetterradars für Vogelzugmessungen).

Die umfassenden Untersuchungen zum Vogelzug und deren möglichen Beeinträchtigung durch Windkraftanlagen sind ein wichtiger Bestandteil einer versachlichten Diskussion zur Akzeptanz der Windenergie in unserem Land.



Figur 5: Höhenprofil unter dem Radarstrahl. Die gelben Koni stellen die fünf Elevationen des Radarstrahles dar. Das blaue Rechteck zeigt in welchen Höhen die Windkraftanlagen geplant sind.

Nationale Zusammenarbeit

An regelmässigen Treffen des Programmleiters mit dem CORE[7]-Patron Prof. Dr. Hans-Björn Püttgen, Direktor des Energy Center an der EPFL, der BFE-Bereichsleiterin Dr. Katja Maus, dem Verantwortlichen beim BFE für Marktentwicklung, Markus Geissman sowie dem Geschäftsführer der Schweizerischen Windenergievereinigung Suisse Eole wird die Entwicklung des Programms mit den Zielen der CORE und den Anliegen von EnergieSchweiz abgestimmt. Im Rahmen eines sog. Firmenbeirates von Suisse Eole können sich die Mitglieder des Verbandes auch zu Fragen der Forschung äussern.

Das Forschungsprogramm Windenergie hat bereits in der Vergangenheit mit anderen Forschungsprogrammen des BFE aktiv zusammengearbeitet. Diese Kooperationen wurden auch im Berichtsjahr weiter geführt. Im Besonderen bestehen gute Kontakte zu den Bereichen Photovoltaik, Akkumulatoren und Superkondensatoren, Elektrizitätstechnologien und -anwendungen, Verkehr und Energie-Wirtschaft -Gesellschaft.

Das Thema «Intelligente Verteilnetzstrukturen» (Smart Grids) und Regelenergie für erneuerbare Energien bekommt sowohl im Zusammenhang mit einem zunehmenden Anteil an unregelmässig produzierenden Anlagen aus erneuerbaren Energien als auch bez. neuen Speichermöglichkeiten in den Batterien von elektrisch betriebenen Fahrzeugen zunehmend grössere Aktualität.

Folgende Forschungsinstitutionen haben Aktivitäten im Bereich der Windenergie entwickelt:

Die EPFL (Laboratoire de Systèmes Energétiques, Lasen) [8] betreut Windenergie-Projekte, insbesondere auch im Zusammenhang mit der Entwicklungszusammenarbeit.

Das Labor für Strömungsmaschinen an der ETH Zürich [9] ermittelt im Rahmen des Projektes *Development of Wind Turbines for safe Operation in Alpine Environments* die Einflüsse von Vereisung, Böen und Turbulenzen auf die Performance einer Windturbine im komplexen Gelände.

An der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW) arbeitet eine Gruppe um Prof. Martina Hirayama an der Entwicklung von Nano-Oberflächen zur Verhinderung von Vereisung der Rotorblätter [10].

Der Dreh- und Angelpunkt für die Förderung der Windenergie in der Schweiz ist Suisse Eole (www.suisse-eole.ch), die Schweizerische Vereinigung zur Nutzung der Windenergie [11], wo ein regelmässiger Austausch zum Wissenstransfer und zu Bedarfsklärungen stattfindet.

Experten vom Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz [12] und vom WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF [13] haben substantiell an den Projekten Vereisungskarte und MEMPHIS mitgearbeitet.

Sämtliche Planungsinstrumente, insbesondere ein Map-Server mit allen relevanten Aussagen zu möglichen Windenergiestandorten sind auf der Website von Suisse Eole vorhanden [6].

Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit findet v.a. im Rahmen des IEA Implementing Agreement Wind statt (www.ieawind.org) [14]:

Task 11: Base Technology Information Exchange: Regelmässige Expertentreffen zu diversen Themen aus dem Bereich der Windenergieforschung. Die Teilnahme steht auch allen Interessenten aus der Schweiz offen, kann 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 Climate (WECO) [11]. 2010 fanden drei Treffen der Experten statt. Der Vertreter der Schweiz in diesem Gremium ist René Cattin, Fa. Meteotest (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 Geissman, daran teil (www.ieawind.org/Task_26.html).

Task 28: Social Acceptance of Wind Energy Projects: Im Jahre 2007 wurden Aktivitäten aus dem Forschungsprogramm Windenergie lanciert, um innerhalb der IEA einen neuen Task Social Acceptance zu starten. Am ExCo-Meeting vom 22.4.2008 in Aalborg wurde das Arbeitsprogramm dieses Task 28 grundsätzlich bestätigt. Der offizielle Start von Task 28 erfolgte am 20.3.2009 in Magdeburg, und ein weiteres Treffen wurde am 26.10.2009 in Boulder, USA durchgeführt. Bis heute partizipieren Kanada, Dänemark, Deutschland, Finnland, Irland, Japan, Holland, Norwegen, die Schweiz und die USA. Operating Agent ist Robert Horbaty, Programmleiter des BFE Forschungsprogramms Windenergie (www.ieawind.org/Summary_Page_28.html).

Die Erstellung eines umfassenden «State of the art»-Reports wurde durch das Forschungsprogramm Windenergie mitfinanziert (www.socialacceptance.ch/images/IEA_Wind_Task_28_technical_report.final.pdf).

Referenzen

- [1] World Wind Energy Association (www.wwindea.org/home/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=21&Itemid=43)
- [2] Schweizerische Vereinigung für Windenergie (www.suisse-eole.ch/uploads/media/Wind-Produktion2010-MM-SuisseEole.pdf)
- [3] McKinsey & Company, Zürich, 2010, Marco Ziegler, Reto Bättig (www.mckinsey.com/locations/swiss/news_publications/pdf/Wettbewerbsfaktor_Energie.pdf)
- [4] Konzept des Energieforschungsprogramms Windenergie für die Jahre 2008 - 2011, ausgearbeitet durch R. Horbaty, von der CORE am 9.9.2008 zur Umsetzung freigegeben (www.bfe.admin.ch/forschungwindenergie/index.html?lang=de&dossier_id=01157)
- [5] Media Clipping by Clariant International Ltd, Rothausstrasse 61, 4132 Muttenz, 18.11.2010, ([clariant.com/C12576850036A6E9/news/A3D72139BEE8C1FEC12577DFO059216A/\\$File/20101118_Clariant_supports_ZHAW_s_pioneering_anti-freeze_program.pdf](http://clariant.com/C12576850036A6E9/news/A3D72139BEE8C1FEC12577DFO059216A/$File/20101118_Clariant_supports_ZHAW_s_pioneering_anti-freeze_program.pdf))
- [6] www.wind-data.ch/windkarte/
- [7] CORE: Commission fédérale pour la recherche énergétique (<http://www.bfe.admin.ch/themen/00519/00520/index.html?lang=de>)
- [8] EPFL Lausanne, Laboratoire de systèmes énergétiques Lasen: (lasen.epfl.ch/page39406.html).
- [9] Prof. R. Abhari, Dr. S. Barber, Labor für Strömungsmaschinen an der ETH Zürich (www.lsm.ethz.ch).
- [10]. ZHAW, Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften, Winterthur, M. Hirayama (martina.hirayama@zhwin.ch), (www.zhaw.ch/de/zhaw.html).
- [11] Schweizerische Vereinigung für Windenergie, Suisse Eole (www.suisse-eole.ch)
- [12] Phillipe Steiner, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Krähbühlstrasse 58, CH-8044 Zürich (www.meteoschweiz.ch)
- [13] Thomas Grünewald, Walter Steinkogler,, Michael Lehning, WSL - Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Flüelastrasse 11, CH-7260 Davos Dorf (www.slf.ch)
- [14] Patricia Weis-Taylor, (pwt_communications@comcast.net), www.ieawind.org NREL IEA-Implementing Agreement on Wind Energy Research and Development (<http://www.ieawind.org/>)

BFE Forschungsprogramm Wind

Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

Robert Horbaty, ENCO Energie-Consulting AG (robert.horbaty@enco-ag.ch)

Bereichsleiterin BFE:

Dr. Katja Maus (katja.maus@bfe.admin.ch)

www.bfe.admin.ch/forschungwindenergie/

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

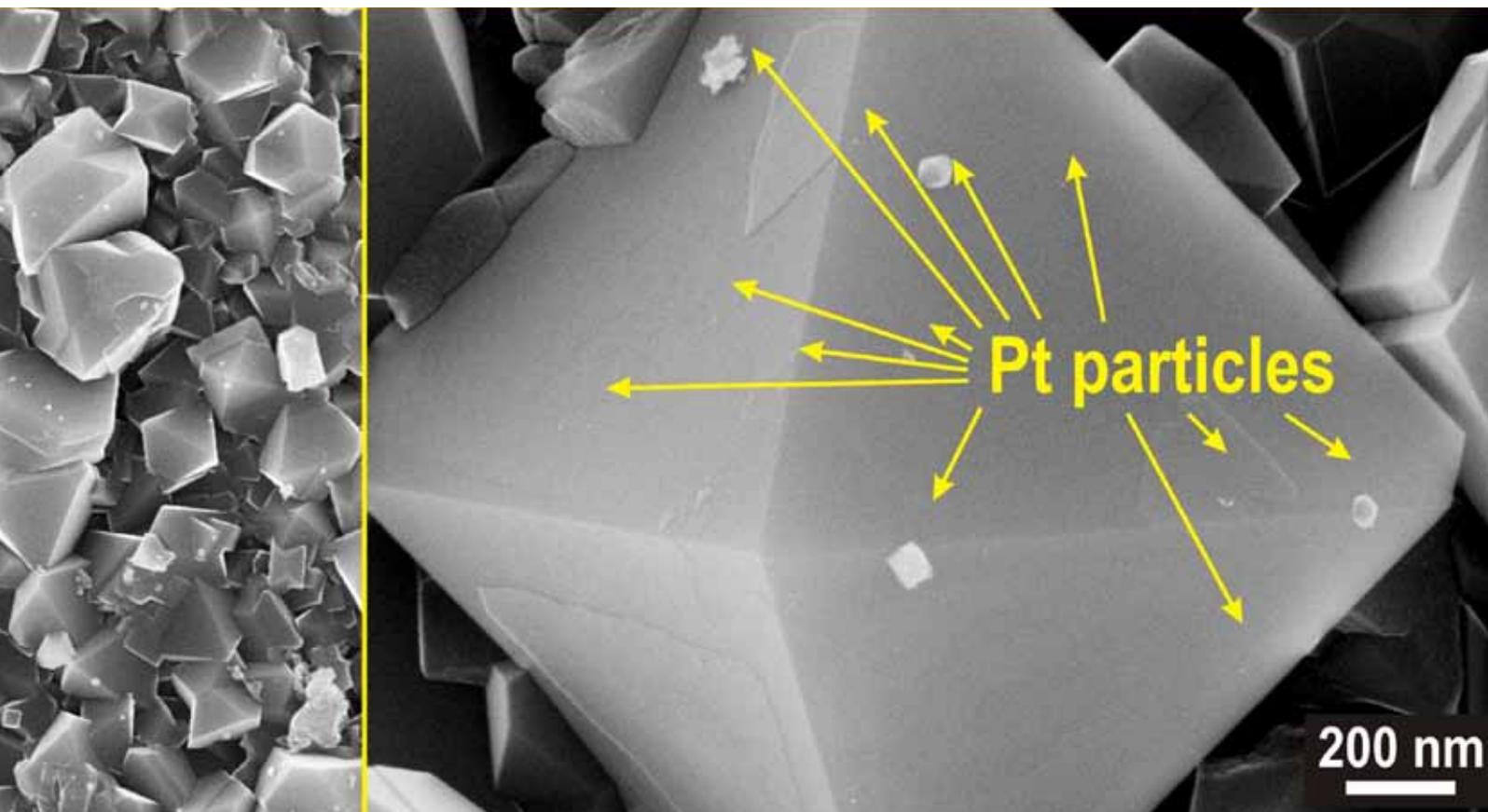


**Kernenergie
Énergie Nucléaire**



Kerntechnik und Nukleare Sicherheit

Jean-Marc Cavedon



Pt-Partikel auf dem Oxidfilm einer rostfreien Stahlprobe nach einem Noblechem-Experiment unter simulierten SWR-Bedingungen mit einer über einen Zeitraum von 65 Stunden eingespiessenen Pt- Menge von insgesamt 18 Mikrogramm.

Einleitung

Die nukleare Energieforschung findet in der Schweiz hauptsächlich im Forschungsbereich Nukleare Energie und Sicherheit (NES) des Paul Scherrer Instituts (PSI) statt, während die Ausbildung in der Kerntechnik primär die Aufgabe der Eidgenössischen Technischen Hochschulen von Zürich und Lausanne ist. Die Verordnung über die Forschungsanstalten des ETH-Bereichs bildet die Basis für die Mission des Forschungsbereichs NES. Sie wird ferner bestimmt durch die Bedürfnisse an Forschung und wissenschaftlichen Dienstleistungen der nuklearen Gemeinschaft in der Schweiz, d.h. der Betreiber der Kernkraftwerke (KKW), die einen sicheren und wirtschaftlichen Betrieb ihrer (alternden) Reaktoren anstreben, der Entsorgungsorganisation Nagra und der Aufsichtsbehörde ENSI, welche die Einhaltung der Sicherheitsanforderungen durch die Betreiber der KKW kontrolliert. Alle diese Partner sind zudem daran interessiert, dass mittel- und langfristig eine adäquate Anzahl von Nachwuchsspezialisten der Kerntechnik erhalten bleibt.

Für die strategische Planung wird angenommen, dass heutige Reaktoren durch neue, mit den Nachhaltigkeitsgebieten noch kompatiblere ersetzt werden, was inzwischen durch die Einreichung von drei Rahmenbewilligungsgesuchen auch bestätigt wurde, und dass ein Lager für radioaktive Abfälle in der Schweiz gebaut werden soll. Die erforderliche hohe Flexibilität und Robustheit der Forschung werden durch Forschung auf generischen Gebieten, durch Verstärkung der Vernetzung innerhalb des PSI und durch Aufnahme neuer Hauptaktivitäten im Rahmen internationaler Zusammenarbeiten sichergestellt.

Die strategischen Arbeitsgebiete des NES umfassen daher folgende Hauptpunkte:

- Beiträge zum sicheren und wirtschaftlichen Betrieb der existierenden Kernkraftwerke in der Schweiz und zu Sicherheitsnachweisen für die geologische Endlagerung von Abfällen durch Stärkung der wissenschaftlichen Grundlagen in den entsprechenden Gebieten;

- Unterstützung der KKW-Betreiber und der Sicherheitsbehörde sowie die Sicherstellung einer Stand-by-Funktion in Schlüsselgebieten, insbesondere jene, welche ein Hotlabor benötigen;
- Bereitstellung von Input für Entscheidungen der Stakeholders;
- Förderung der Kernenergie mittels Forschung und Entwicklung in Richtung erhöhter Nachhaltigkeit, einschliesslich Sicherheit und Wirtschaftlichkeit;
- Angebot eines breiten Spektrums von Möglichkeiten für die Ausbildung junger Kernfachleute mit Erfahrung auch in anderen Energiequellen; insbesondere die Unterstützung des gemeinsamen Programms der ETHZ und der EPFL «Master of Science in Nuclear Engineering»;
- Unterstützung von und Nutzen aus der weltweit eingeleiteten «Renaissance» der Kernenergie, und deren Anwendung auf die aktuellen Bedürfnisse in der Schweiz.

Der NES ist entsprechend spezifischen wissenschaftlichen und technischen Kompetenzfeldern in fünf Forschungslabors und eine Abteilung strukturiert:

- Labor für Reaktorphysik und Systemverhalten (LRS);
- Labor für Thermohydraulik (LTH);
- Labor für Nukleare Materialien (LNM);
- Labor für Endlagersicherheit (LES);
- Labor für Energiesystem-Analysen (LEA);
- Abteilung Hotlabor (AHL).

Der NES betreibt das einzige Hotlabor in der Schweiz, sowie darüber hinaus die Reaktorschule für angehende Reaktoroperateure (Techniker HF). Die Aktivitäten im NES haben einen engen Bezug zur Kerntechnikausbildung an der ETHZ (Nukleare Energiesysteme) und an der EPFL (Reaktorphysik und Systemverhalten); die Forschungsprojekte im Labor bestimmen weitgehend den Rahmen von Doktor- und Diplomarbeiten.

IEA-Klassifikation: 4.1 Nuclear

Schweizer Klassifikation: 3.1.1 Nukleare Sicherheit

Programmschwerpunkte

Die Hauptprojekte im Rahmen der aktuellen Sicherheitsstudien für die Schweizer KKW sind:

- STARS: umfangreiches Codesystem für Sicherheitsanalysen in den KKW;
- HRA: Risiko und menschliche Zuverlässigkeit. Lösung aktueller und aufkommender Fragen bei der Behandlung menschlicher Faktoren (HRA);
- Nukleare Brennstoffe: Mikrostrukturelle/mikromechanische Untersuchungen und Modellierung der Alterung von Kerneinbauten;
- Bauteilsicherheit (Integer): Experimentelle Charakterisierung und Modellierung wichtiger Alterungsmechanismen (Risskorrosion, Ermüdung, Strahlenversprödung) in Druck führenden Komponenten, die einen sicheren Langzeitbetrieb beeinträchtigen können;
- Schwere Unfälle: Experimentelle Untersuchung hauptsächlich zum Aerosolverhalten und der Jodchemie während postulierter schwerer Unfälle; Entwicklung und Validierung von Modellen zur Bestimmung der Quellterme.

Die Hauptprojekte, die meistens die Grossanlagen am PSI benutzen, sind:

- Alpha: Bestätigung von Auslegungsmerkmalen passiver Sicherheitssysteme für Leichtwasserreaktoren (LWR); grundlegende Phänomene im Primärkreislauf und im Containment; Entwicklung und Validierung neuer Methoden;
- Proteus: Messung reaktorphysikalischer Grunddaten für moderne, komplexe Brennstoffbündel in der kritischen Anlage Proteus;
- Hotlabor: Untersuchung aller Arten von radioaktiven Materialien und stark radioaktiver Komponenten von Kraftwerken und Beschleunigeranlagen
- Hochtemperaturmaterialien: Charakterisierung, Modellierung und Validierung durch fortgeschrittene spektroskopische Methoden von fortschrittlichen Werkstoffen für Reaktoren der Generation IV bei signifikant höherer Betriebstemperatur und stärkerer Strahlung.

Die Hauptprojekte im Rahmen des Brennstoffkreislaufs und des technologischen Gesamtüberblicks sind:

- FAST: Entwicklung und Implementierung eines integrierten Codesystems (Neutronik, Thermo-Hydraulik, Brennstabverhalten) für die vergleichende Analyse von Reaktoren mit schnellen Neutronenspektren;
- Geochemie von Tiefenlagersystemen, insbesondere Transport von Radionukliden in Grundwassersystemen und ihre geochemische Immobilisierung und Rückhaltung;
- Technologie-Bewertung (Projekt GaBe): Entwicklung und Implementierung von modernsten Methoden und Datenbanken, sowie die Bewertung von Energieversorgungsoptionen zur Unterstützung rationeller und nachhaltiger Entscheidungen;
- Energieökonomie: Durchführung quantitativer Analysen von Energiesystemen auf schweizerischer, europäischer und globaler Ebene zum Verständnis der Wechselwirkungen zwischen Energie, Ökonomie, Umwelt und Technik.

Rückblick und Bewertung 2010

Im Jahr 2010 wurden die Ziele aller Projekte erreicht. Wir haben die Erneuerung und den Abschluss der Forschungsverträge mit den Partnern sowohl auf nationaler Ebene (ENSI, Swissnuclear, Nagra und Kernkraftwerke) wie auch auf internationaler Ebene (Forschungsinstitute, Universitäten, europäische und internationale Sicherheitsbehörden) auf bilateralen wie auch multilateralen Wegen verfolgt. Grosses Gewicht legen wir auf die Kontakte und Partnerschaften mit den internationalen Organisationen, welche uns Zugriff auf das beste Expertenwissen ermöglichen, wie beispielsweise OECD, IAEA, GIF, EU.

Die Kompetenzen für die Zukunft aufzubauen ist eine weitere wichtige Aufgabe. Das Master-Ausbildungsangebot der beiden Technischen Hochschulen (ETHZ und EPFL), mit Unterstützung des PSI bei der Ausbildung und Betreuung der Studenten, befindet sich im dritten Durchführungsjahr, womit sich abzeichnet, dass sich das Personalnachwuchsproblem im Nuklearbereich befriedigend auffangen lassen wird.

Ausblick 2011

Eine wichtige Aufgabe für das Jahr 2011 wird die Begleitung der Entwicklungen bei unseren nationalen Partnern (Sicherheitsbehörden und Betreiber) sein die sich aus der Perspektive des Baus von neuen Kraftwerksanlagen in der Schweiz ergeben. Dabei steht insbesondere das Bedürfnis nach vertieften Informationen über die Reaktoren der dritten Generation im Vordergrund. Das Forschungsprogramm wird mit Expertenwissen und spezifischen Forschungsprojekten die Schweizer Verantwortlichen dabei unterstützen.

Weiter werden auch die Grossanlagen am PSI wie Panda und Proteus auf die kommenden Bedürfnisse, welche sich aus dieser neuen Forschungsrichtung ergeben, vorbereitet. Eine wichtige Aktivität in diesem Rahmen wird die Nachrüstung des Nulleistungsreaktors Proteus zur Erweiterung des wissenschaftlichen Programms sein. Dazu ist insbesondere die Erlangung einer Baubewilligung mit niedrigem Gefährdungspotenzial Voraussetzung. Bezüglich des OECD-Projekts EDARS finden umfangreiche Verhandlungen und Partnerabsprachen hinsichtlich einer Weiternutzung der PANDA-Anlage für thermohydraulische Studien nach 2010 statt und die Forschung im Bereich der Siede- und Druckwasserreaktoren.

Highlights 2010

Sicherheitsstudien

STARS [1-5]

Der EPR (Evolutionary Pressurized Water Reactor) gehört zur dritten Generation von Leichtwasserreaktoren (LWR). Das Design dieser neuen Reaktoren wird voraussichtlich eine Grundlage für die Flotte neuer kommerzieller Reaktoren in den Ländern bilden, in denen die Nuklearenergie eine Option für die Energieversorgung im 21. Jahrhundert bleiben bzw. sein wird. Ein allen neuen LWRs der dritten Generation gemeinsames Hauptmerkmal ist eine deutlich verringerte Wahrscheinlichkeit für schwere Unfälle (Kernschmelze). Dies wurde erreicht entweder durch eine erhöhte Redundanz und Diversifikation aller aktiven Sicherheitssysteme (GIII «evolutionäre» Reaktordesigns) oder durch die Einführung von passiven Sicherheitssystemen, die auf den bekannten physikalischen Gesetzen beruhen (GIII+ «revolutionäre» Reaktordesigns). Im europäischen Rahmen werden Reaktoren des Typs GIII EPR zurzeit sowohl in Frankreich als auch in Finnland gebaut. Der EPR gilt auch bei den nationalen Energieversorgern als Anwärter für Neubauprojekte in der Schweiz.

Am PSI-Laboratorium für Reaktorphysik und Systemverhalten hat das STARS-Projekt (stars.web.psi.ch) den Auftrag, hoch entwickelte Multi-Physik-, Mehrskalen- (Anlage/Reaktorkern/Brennstoff) Rechenmethoden für die deterministische Sicherheits-

analyse der Schweizer Reaktoren zu entwickeln («von der Turbine zur Tablette»). Obwohl dessen Hauptaugenmerk auf die bestehenden Schweizer Reaktoren gerichtet ist, wurde in 2007/2008 eine Zusammenarbeit mit dem finnischen Nuklearsicherheitsinspektorat (STUK) begonnen, um eine unabhängige Sicherheitsbeurteilung des in Bau befindlichen EPR bei Olkiluoto (Finnland) zu erstellen. Dieses Projekt wurde für STARS als besonders wertvoll erachtet, da es erlaubt, auch eine Fachkompetenz im Bereich der «GIII/III+»-Systeme aufzubauen. Die erste Phase dieser Zusammenarbeit wurde kürzlich beendet, und Simulationsmodelle wurden auf der Grundlage von detaillierten EPR-Zeichnungen und -Daten entwickelt. Darunter befindet sich ein umfassendes Anlagenmodell (z. B. Reaktordruckbehälter, Dampferzeuger, Dampfleitungen, Pumpen, Kontroll- und Sicherheitssysteme), das im Rahmen des TRACE-best-estimate-Programms implementiert wurde, um die zeitliche Entwicklung von Durchfluss, Druck, Temperatur und Energieverteilung in der ganzen Anlage während eines angenommenen Unfalls zu untersuchen [1-3].

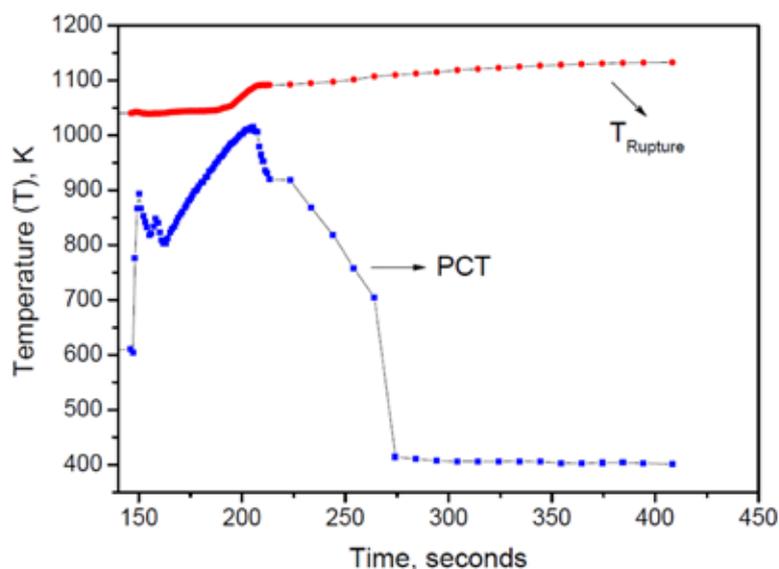
In Ergänzung zu TRACE, wurde für Analysen, die eine detaillierte Modellierung von Durchfluss, Druck und Temperatur erfordern, ein umfassendes CAD-Modell entwickelt und verwendet, um ein detailgetreues Rechengitter für die numerische Strömungssimulation mit Hilfe des CFD-Programms STAR-CD(CCM+)

zu erzeugen [4]. Ausserdem wurde kürzlich auch ein prototypisches EPR-Brennstabmodell mit dem auf der Finite-Elemente-Methode basierenden Brennstabprogramm FALCON entwickelt, um das thermo-mechanische Verhalten des Systems Brennstofftablette / Spalt / Hüllrohr zu untersuchen.

Ein Auslegungsunfall, der am PSI bereits untersucht wurde, ist der Kühlmittelverlust nach grossem Bruch (LBLOCA). Erste Simulationen mit dem TRACE-Programm wurden für diese Transiente unter der Annahme eines grossen Bruchs in einem kalten Strang des Primärkreislaufs durchgeführt, um nachzuweisen, ob die Kühlbarkeit des Reaktorkerns gegeben ist, unter der Annahme, dass sämtliche Druckspeicher und 2 (von 4) Sicherheitseinspeisungen für die Kern-Notkühlung verfügbar sind. Die Kühlbarkeit des Kerns wird anhand der berechneten maximalen Oberflächentemperatur aller Hüllrohre (PCT) im Kern beurteilt, welche unterhalb des Sicherheitsgrenzwerts von 1'477 K bleiben muss (Figur 1).

Dieser Grenzwert in Verbindung mit dem maximal erlaubten Oxidationsgrad des Hüllrohrs wurde herangezogen, um die Versprödung des Hüllrohrs (die erste Barriere für den Austritt von Radioaktivität in die Umgebung) zu verhindern und somit sicherzustellen, dass das Hüllrohr im Falle eines thermischen Schocks während und/oder nach einer Flutungsphase seine strukturelle Integrität nicht verliert. Die zeitliche Entwicklung der Hüllrohrtemperatur für verschiedene Kernhöhen wurde ca. 59,2 Sekunden nach dem Bruch eine PCT von knapp über 1'000 K berechnet.

In der Folge wurden Analysen zum Brennstoffverhalten basierend auf [4] durchgeführt. Um repräsentative Bedingungen für den Brennstab zu Beginn der Transiente sicherzustellen (Wärmeleitfähigkeit des Spalts, Spaltgasmenge und Hüllrohrinnendruck), wurden zuerst stationäre Bestrahlungsrechnungen mit dem FALCON-Programm durchgeführt, welches mit dem PSI-Modell für Spaltgasfreisetzung und gasgetriebener Schwellung gekoppelt worden war. Danach wurde eine Analyse der FALCON-Transienten durchgeführt, wobei als weitere Randbedingungen die Hüllrohroberflächentemperatur und der mit TRACE



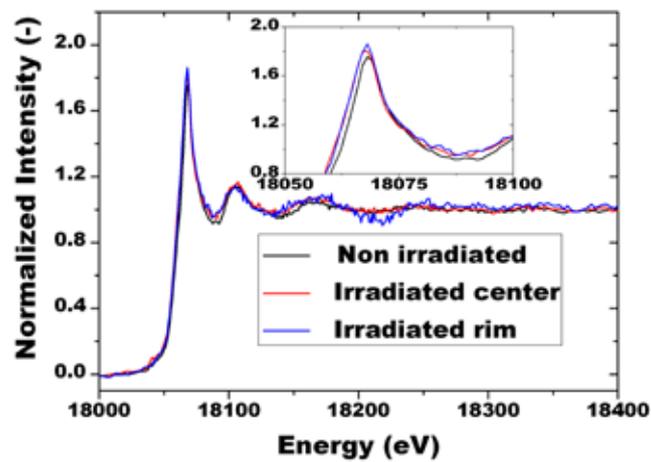
Figur 1: Ergebnisse der FALCON-EPRTM-LBLOCA-Analyse.

berechnete Kühlmitteldruck verwendet wurden. Die FALCON-Ergebnisse zeigen, dass die PCT deutlich unter der Hüllrohrbruchtemperatur (T_{Rupture}) bleibt, welcher als Funktion des Differenzdruckes über das Hüllrohr unter Verwendung einer empirischen Korrelation, die anhand von Experimenten validiert wurde, berechnet wurde. Dies ist in Abbildung a für die Kernhöhe mit der kleinsten Differenz ($T_{\text{Rupture}} - \text{PCT}$) gezeigt. Wie man sieht, zeigen die FALCON-Ergebnisse, dass ein deutlicher Abstand von ca. 80 K bis zur Grenzkurve für Hüllrohrris besteht. Dies lässt sich hauptsächlich auf den von TRACE vorhergesagten niedrigen PCT-Wert zurückführen und von dem angenommen wird, dass er eine direkte Konsequenz der verbesserten Auslegung des EPR-Reaktors ist.

Risk and Human Reliability

Bei probabilistischen Sicherheitsanalysen von Kernkraftwerken werden Kombinationen von Systemversagen und menschlichem Versagen, welche zu Unfällen führen, untersucht. Ein Modell zur Unterstützung der Analyse des Verhaltens der Betriebsmannschaft und zur Berechnung der Fehlerwahrscheinlichkeit wurde entwickelt und bei der Analyse von Kühlmittelverlustszenarien angewendet (Mercurio, Diss. ETHZ, 2010). Das Modell besteht aus einer Simulation des physikalischen Verhaltens der Anlage sowie einer Simulation der Betriebsmannschaft. Beim Eintreten der Bedingungen für automatische oder manuelle Massnahmen simuliert das Modell das Stattfinden oder Ausbleiben von diesen, sowie deren zeitlichen Ablauf. Es wird ein Ereignisbaum dynamisch erstellt. Beispielsweise wird beim einen Drucksturz im Primärkreislauf eine Verzweigung geschaffen, bei der die Sicherheitseinspeisung entweder erfolgreich startet oder versagt. Auf diese Weise werden Variationen des Szenarios abgeleitet und untersucht.

Die Simulation umfasst die Vorgaben der Störfallvorschriften sowie die Massnahmen der Operateure auf Basis ihrer Ausbildung, sowie der Zeit, welche für die Lagebeurteilung, Entscheidungsfindung und Umsetzung von Massnahmen benötigt wird. Basierend auf diesen Elementen, die durchaus auch vom jeweiligen Szenarioverlauf beeinflusst sind, sagt die Simulation voraus, wie die Betriebsmannschaft auf das simulierte Systemverhalten reagiert.



Figur 2: Plutonium-LIII-XAFS-Spektrum für bestrahlten MOX-Brennstoff, einmal im Brennstoffzentrum und einmal an der Peripherie sowie das Spektrum der unbestrahlten Referenzprobe.

Für die Analyse dieses Szenarios ist die Zeit, die benötigt wird, bis der Reaktor durch die Operateure in einen Niederdruck-Zustand gebracht worden ist, von Interesse. Durch Modellierung des kombinierten System- und Operateurverhaltens konnte gezeigt werden, wie aufgrund der multiplen Rahmenbedingungen, welche berücksichtigt werden müssen, Unterbrechungen und Verzögerungen entstehen können, z. B. wenn die zur Druckentlastung nötigen Einzelschritte in zu schneller Abfolge eingeleitet werden.

Die Simulation der Anlage und der Betriebsmannschaft mittels eines dynamischen Ereignisbaums stellt ein Instrument zur Analyse der Eignung der Ressourcen, welche der Mannschaft zur Verfügung gestellt werden, sowie der besonderen Herausforderungen des jeweiligen Szenarios, dar. Diese Art von Modellen, kombiniert mit Beobachtungen aus Trainingssimulatoren, könnten zu zukünftigen HRA-Analysen beitragen.

LWR-Brennstoff

An der Swiss Light Source (SLS), der Schweizer Synchrotron Strahlquelle am Paul Scherrer Institut, können Materialien beispielsweise hinsichtlich Röntgenbeugung und Absorption untersucht werden. Dies gilt auch für radioaktive Proben, die speziell an der micro-XAS-Strahllinie gehandhabt werden dürfen. Dort kommt ein Mikrometer-feiner Synchrotronstrahl für Methoden wie die micro-XRF (X-ray Fluorescence), micro-XRD (X-ray Diffraction) und micro-XAFS (X-ray Absorption Fine Structure) Spektrometrie zum Einsatz. Hiermit

lassen sich Elementverteilungen, kristallographische Strukturen sowie das atomare Umfeld der durch die Energie des Röntgenstrahls angeregten Atome bestimmen. Letztere Methode gibt ebenfalls Aufschluss über die Oxidationszustände des entsprechend angeregten Elements.

Nachdem in der Vergangenheit bereits aktivierte Materialien wie Proben von Hüllrohren, die im Reaktor im Einsatz gewesen waren, untersucht wurden, konnten nunmehr auch bestrahlte Brennstoffe in äusserst geringer Menge an der microXAS-Strahllinie der SLS erforscht werden. Hierbei handelte es sich um einen experimentellen MOX-Brennstoff, der am PSI Anfang der Neunziger Jahre mittels Sol-Gel-Methode hergestellt und im Schweizer Leistungsreaktor in Beznau (KKB I) bestrahlt worden war. Der Abbrand betrug 60 MWd/kg, was im Vergleich zu konventionellem nuklearem Brennstoff relativ hoch ist. Eine wichtige Frage bei den Untersuchungen war, ob sich das im Brennstoff befindliche Plutonium hinsichtlich seines Oxidationszustands ändern würde. Und, wenn ja, ob es dann in einen Zustand erhöhter Löslichkeit in Wasser überführt werden würde.

Zunächst wurden die Proben im Fluoreszenz Modus angeschaut, um Stellen mit hoher Plutoniumkonzentration identifizieren zu können. Nachdem der Röntgenstrahl dann auf die jeweiligen Stellen fokussiert war, konnte das Absorptionsspektrum an der LIII-Kante des Plutoniums aufgenommen werden. Die Absorptionskante bei 18'062 eV wurde durch die Bestrahlung nicht verändert (Figur 2). Die Ana-

lyse an der Absorptionskante (white line) ergab, dass das Plutonium durch Bestrahlung zu mehr als 95 % Pu-IV blieb, beziehungsweise dass weniger als 5 % Pu-V oder Pu-VI erzeugt wurden. Daher kann im Rahmen der Messgenauigkeit davon ausgegangen werden, dass durch die Bestrahlung von MOX sich die Wasserlöslichkeit von Plutonium nicht in einen gefährlichen Bereich entwickelt.

INTEGER

Das Projekt INTEGER befasst sich mit Alterungsmechanismen in Druck führenden Primärkreislaufkomponenten sowie mit deren möglichen Auswirkungen auf die Lebensdauer und Sicherheit von Kernkraftwerken, und wird stark durch die Schweizer Aufsichtsbehörde ENSI und durch Kernkraftwerkbetreiber finanziell unterstützt. Die Teilprojekte KORA-II und NORA befassen sich dabei u. A. mit aktuellen Fragestellungen zur Spannungsrissskorrosion (SpRK) in KKW. Die SpRK ist der häufigste Schadensmechanismus in KKW und kann zur Bildung und Wachstum von Rissen führen, wie sie z. B. im Kernmantel des KKW Mühleberg aufgetreten sind.

Zur Vermeidung von solchen Rissbildungen in Reaktoreinbauten und Rohrleitungen von Siedewasserreaktoren (SWR) wurde von General Electric die sogenannte Edelmetall-Technologie (NobleChem) entwickelt, mit der negative Nebeneffekte der klassischen Wasserstoffchemiefahrweise vermieden werden können. Bei der in den Schweizer SWR-Anlagen angewendeten on-line-Methode wird hierbei Platin in Form von $\text{Na}_2\text{Pt}(\text{OH})_6$ in sehr geringen Mengen während des Reaktorbetriebes in das Reaktorkühlmittel eingespeist. Dabei geht man davon aus, dass sich das Platin wie in Laborversuchen in Autoklaven auf allen wasserbenetzten Oberflächen als sehr kleine, fein verteilte metallische Pt-Nano-Partikel relativ dauerhaft abgelagert (Titelbild). Diese Pt-Partikel wirken als Katalysator für die Rekombination des Radiolyse-Sauerstoffs und -Wasserstoffperoxids mit dem eingespeisten Wasserstoff zu Wasser. Dadurch lässt sich das Korrosionspotenzial und somit die SpRK-Anfälligkeit mit wesentlich weniger Wasserstoff absenken, als bei der klassischen Wasserstoffchemiefahrweise. Die Wirkungsweise dieser neuen Technologie wurde durch anspruchsvolle SpRK-Risswachstumsexpe-

rimente im Labor nachgewiesen und die wiederkehrenden zerstörungsfreien Ultraschallmessungen an den Rissen im Kernmantel in Mühleberg scheinen dieses Verhalten auch in der Anlage zu bestätigen. Über das Ablagerungs- und Umverhaltensverhalten des Pt im Reaktorkühlmittelkreislauf ist hingegen praktisch nichts bekannt. Für eine Beurteilung der Effektivität dieser Methode im Langzeitbetrieb sind aber Kenntnisse hierzu mitentscheidend. Zur Klärung dieser Fragen wurde 2010 im Labor für Nukleare Materialien und in der Abteilung Hotlabor das vom ENSI finanziell unterstützten und international einzigartigen Projekt NORA unter Beteiligung der KKW Leibstadt und Mühleberg gestartet. In hierfür eigens im ersten Projektjahr konstruierten Heisswasserkreislauf-Autoklavensystemen wird das Pt-Ablagerungsverhalten auf glatten Oberflächen und in Rissen im ppt Pt-Konzentrationsbereich systematisch untersucht und durch Auslagerungsversuche von entsprechenden Proben im KKW Leibstadt unterstützt. Parallel dazu wird an einer zerstörungsfreien Methode geforscht, mit der zukünftig Grösse und Verteilung der Pt-Partikel auf (radioaktiven) KKW-Komponenten und Monitoring-Proben aus den Kraftwerken (halb-)quantitativ charakterisiert werden können.

Schwere Unfälle

Die in Betrieb befindlichen kommerziellen Kernkraftwerke besitzen einen kompakten Kern, von welchem die thermische Energie zu einem energiekonvertierenden System transportiert wird, welches Wasser als Kühl- und Transportmedium benutzt. Die hohe und kontinuierliche Effizienz dieses Prozesses bedingt einen störungsfreien Verlauf des Kühlprozesses, da es sonst zum Beispiel durch einen Kühlmittelverluststörfall (LOCA), zu einem starken Temperaturanstieg der Brennstäbe führen kann. Falls dieser nicht unterbunden wird, kann es zu einem ernsthaften Schaden am Reaktor und zu einer potenziellen Sicherheitsgefährdung der Umgebung des Kernkraftwerkes führen. Aus diesem Grund besitzen Kernkraftwerke Notkühlsysteme (NKS), welche automatisch den Kühlmittelverlust ausgleichen. Eines dieser Systeme ist die direkte Einspritzung von Kühlwasser von oben auf den Kern. Die Effektivität dieser Systeme hängt von komplizierten thermohydraulischen Zweiphasenverhalten

und Wärmeübergangsprozessen ab, welche in Experimenten mit skalierten Simulationen von Reaktorkernzuständen erforscht werden müssen.

Das PARAMETER-Projekt wird durchgeführt von LUCH (Podolsk, Moskau Oblast) unter der Aufsicht von dem internationalen Wissenschafts- und Technologie-Zentrum (ISTC) von Russland und ist geeignet, um Daten für die Kühlwassereinspeisung oberhalb eines überhitzten Kernes zu ermitteln. Diese Daten werden verwendet, um Computermodelle zum Berechnen der NKS-Leistungsfähigkeit zu verbessern und zu überprüfen. Die Finanzierung der ISTC-Projekte erfolgt hauptsächlich durch die Europäische Kommission, und die Teilnahme ist für alle EU-Staaten und assoziierten Länder möglich. Das PSI nimmt mit anderen Forschungsinstituten aus Frankreich, Deutschland und Russland am PARAMETER-Projekt teil. Der Versuchsaufbau besteht aus einem elektrisch geheizten Brennelementbündel mit ansonsten prototypischen Kernreaktoren. Vier Experimente wurden bisher durchgeführt: SF1 war ein Vorversuch, um das charakteristische Verhalten des Brennelements bei einer Kühlmittelzugabe zu ermitteln. SF2 und SF3 beinhalteten zusätzlich kombinierte Kühlmittelzugaben von ober- und unterhalb des Bündels, und SF4 untersuchte das Verhalten bei einer Kühlung von unten nach einer Phase des Lufteinbruchs. Das PSI beteiligte sich bei der Versuchsvorbereitung und der Auswertung der Versuche SF3 und SF4 und übernahm zusätzlich die Koordination der Versuchsvorbereitung und Planung des Experiments SF4.

Der Kühlprozess beim Experiment SF3 war anfänglich langsam und von oben nach unten initiiert bei einer aufwärtsgerichteten Gegenströmung von Dampf, ein Phänomen, welches als «counter-current flow limitation» (CCFL) bekannt ist. Der Übergang zu einer schnellen aufwärtsgerichteten Kühlphase fand erst nach einer deutlichen Verzögerung statt. Diese Situation kann von standardmässig verwendeten Zwei-Phasen-Rechen-Modellen nur unvollständig simuliert werden. Das Benutzen eines speziellen CCFL-Modells, entwickelt mit der Hilfe von neueren Experimenten unter repräsentativer Geometrie und Randbedingungen, führte zu einer erfolgreichen Berechnung des beobachteten Verhaltens.

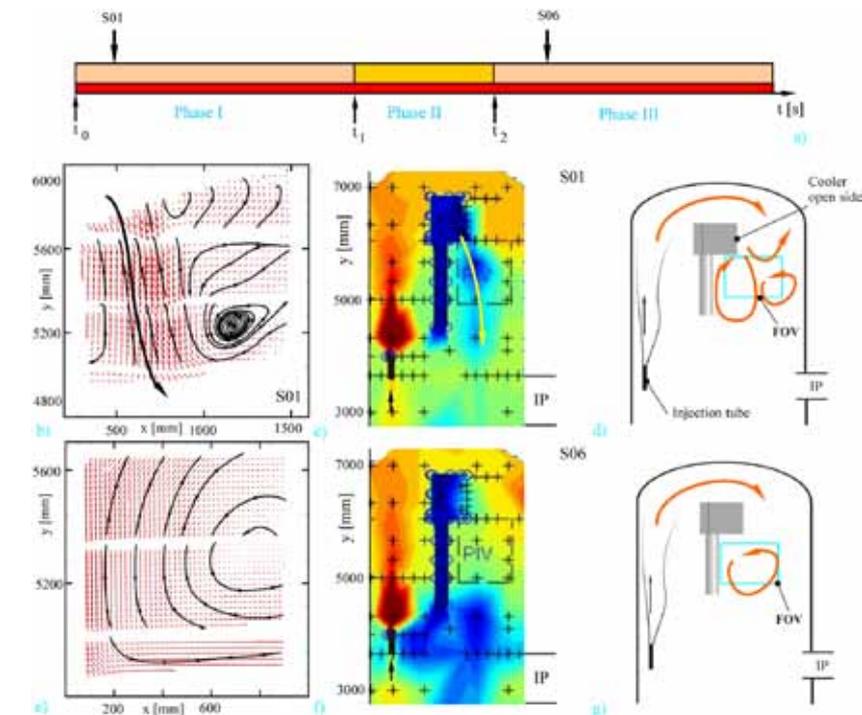
Studien mit Grossanlagen

Alpha

Die Analyse von thermohydraulischen Vorgängen, die unter Störfallbedingungen im Sicherheitsbehälter (Containment) eines Leichtwasserreaktors (LWR) auftreten können, ist sehr komplex. Die Komplexität ergibt sich einerseits aus der grossen Anzahl von einander abhängiger Parameter, die bei der Analyse berücksichtigt werden müssen, und andererseits aus der Unterschiedlichkeit der verschiedenen Reaktoren (wie zum Beispiel Siede- und Druckwasserreaktoren). Darüber hinaus hängt die Wirksamkeit von aktiven (Sprayeinrichtungen, Kühler, etc.) und/oder passiven (Wasserstoffrekombinatoren, Berstscheiben, etc.) Sicherheitssystemen zur Beherrschung von postulierten Störfallszenarien vom thermohydraulischen Ausgangszustand im Reaktorsicherheitsbehälter ab. Letztere hängen auch vom Zeitpunkt der Aktivierung der Sicherheitssysteme im Störfallablauf ab. Während eines Störfalles können innerhalb des Reaktorsicherheitsbehälters physikalische Phänomene auftreten, deren Modellierung als Einzelphänomen bereits eine Herausforderung darstellt. Dazu gehören sogenannte Freistrahlen (jets) und Auftriebsfahnen (plumes), turbulente Vermischungsvorgänge, sowie geschichtete Strömungen oder Schichtungen, die durch Dichteunterschiede entstehen. Die Kondensation von Dampf an kalten Wänden oder auf der Oberfläche von Tropfen (nach der Aktivierung des Spraysystems) und die Wiederverdampfung von Wasserfilmen auf heissen Wänden sind ebenfalls dichtegetriebene Transportvorgänge.

Alle aufgezählten Phänomene, die während eines möglichen Störfallszenarios auftreten können, müssen mit Hilfe von System- (lumped parameter) und/oder Fluidodynamik- (CFD) - Rechenprogrammen zuverlässig analysiert werden können. Aktuell verhindert die fehlende Validierung eine generelle Anwendung der Rechenprogramme für die Beurteilung der Auswirkungen von Störfallszenarien.

Die Validierung von Rechencodes erfolgt typischerweise durch das Nachrechnen von Experimenten, die die zur Diskussion stehenden Störfallszenarien simulieren. Um Skalierungsfehler zu vermeiden werden solche Experimente bevorzugt an Versuchsständen durchgeführt, die dem Original in der Grösse möglichst nahe kommen. Die Instru-



Figur 3: Geschwindigkeits- und Temperaturfelder der Kühler-Experimente.

mentierung für solche Validierungsexperimente muss in räumlicher und zeitlicher Auflösung so ausgelegt werden, dass die Ergebnisse für die Validierung sowohl von Lumped Parameter wie insbesondere auch von CFD (Computational Fluid Dynamics)-Rechenprogrammen geeignet sind.

Die Experimente im Rahmen des OECD/SETH-2-Projektes in der PANDA-Anlage am Paul Scherrer Institut wurden so ausgelegt, dass mit den Ergebnissen eine Datenbasis geschaffen wurde, die die weiter oben beschriebenen unterschiedlichen Phänomene, die während eines LWR-Störfalles auftreten können, abdeckt.

Die erstellte Datenbasis wird zur Verbesserung sowohl der aktuellen als auch der nächsten Generation von Rechencodes verwendet. Das OECD/SETH-2-Projekt wurde in einer Kooperation mit neun Ländern durchgeführt und im Dezember 2010 erfolgreich abgeschlossen. Während des Projektes wurden mehr als 40 verschiedene Tests durchgeführt. Bei sechs dieser Tests wurde die Wechselwirkung verschiedener Freistrahlfkonfiguration mit einer stratifizierten Atmosphäre untersucht. Dabei wurde die Entstehung der Wasserstoffschicht im oberen Teil des Reaktorsicherheitsbehälters sowie die anschliessende Erosion dieser Wasserstoffschicht durch vertikale, horizontale und wandnahe Freistrahlen

untersucht. Anstelle von Wasserstoff wurde im Experiment Helium verwendet. In weiteren Experimenten wurde die Wechselwirkung von Wärmequellen und Wärmesenken mit der Heliumschicht untersucht. Dabei simuliert eine Wärmequelle die Wärme, die bei der Rekombination von Sauerstoff und Wasserstoff innerhalb des Sicherheitsbehälters entsteht. Die Wärmesenken wurden wie im realen Reaktor durch die Aktivierung des Spraysystems oder durch kalte Wände in der Teststrecke simuliert. Bei andern Experimenten zur Untersuchung von Wärmesenken wurde ein Kühler in verschiedenen Höhen montiert und es wurde die Kühlleistung, sowie die Interaktion des Kühlers mit der Umgebung untersucht. In weiteren Experimenten wurde die zeitliche Entwicklung der Gasverteilung in zwei grossen, miteinander verbundenen Behältern untersucht, die anfänglich unterschiedliche Gaszusammensetzungen bei unterschiedlichem Druck enthielten, nachdem ein Schnellschaltventil zwischen den beiden Behältern geöffnet wurde.

Durch diese Experimente wurde eine Datenbasis mit einer hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung geschaffen. Diese Daten werden im Moment von den Kooperationspartnern verwendet, um die Fähigkeiten und Limitationen von Rechenprogrammen bei der Simulation von Störfallszenarien im Reaktorsicherheitsbehälter zu bewerten.

Ein Beispiel für die Ergebnisse eines Experiments ist in Figur 3 in Form von Geschwindigkeits- und Temperaturfeldern zu sehen. Bei den Temperaturfeldern (mittlere Bilder) entspricht blau einer niedrigen und rot einer hohen Temperatur. Beim vorgestellten Beispiel handelt es sich um Experimente zur Untersuchung des Einflusses eines Kühlers auf eine mögliche Heliumschichtung im oberen Teil des Sicherheitsbehälters. Das Experiment wurde in drei Phasen durchgeführt.

In der ersten Phase wurde durch ein Rohr (Figur 3) überhitzter Dampf in das Behälterpaar eingespeist, anschliessend in der zweiten Phase ein Dampf-Helium-Gemisch und letztlich in der dritten Phase wiederum überhitzter Dampf. In der ersten Phase sieht man sowohl im Geschwindigkeits- als auch im Temperaturfeld eine Gasströmung, die die offene Seite des Kühlers nach unten verlässt. Der nominelle Kühleraustritt besteht aus einem Rohr und wird, wie am Temperaturfeld unterhalb des Rohres zu erkennen ist, während der ersten Phase nur wenig oder gar nicht benutzt. Das grossräumige Geschwindigkeitsfeld in der Umgebung des Kühlers besteht aus einer Überlagerung der Dampfeinspeisung mit dem nach unten gerichteten Gasstrom aus dem Kühler einlass.

In Phase zwei des Experimentes wird ein Dampf-Helium-Gemisch eingespeist und es bildet sich eine Heliumschichtung im oberen Bereich des Behälters aus. Diese Helium-Schichtung führt in Phase drei des Experimentes nun dazu, dass sich zum einen das Geschwindigkeitsfeld und damit die Strömung durch den Kühler gegenüber Phase eins grundlegend ändert. Unterhalb des Kühlers finden wir nun eine grosse Wirbelstruktur, die durch die Naturkonvektion an der kalten Rohraussenwand verursacht wird. Im Temperaturfeld sieht man unterhalb des Rohres einen Bereich niedriger Temperatur, der darauf hindeutet, dass jetzt kaltes Gas durch das Auslassrohr strömt – im Gegensatz zu Phase eins. Die Kühlerexperimente haben gezeigt, dass die Strömung durch den Kühler nicht nur von den Umgebungsbedingungen abhängt, sondern auch ganz wesentlich von der vertikalen Kühlerposition im Behälter.

Die experimentelle Datenbasis für die Validierung von Lumped Parameter und CFD-Rechenprogrammen, die in der PANDA-Anlage im Rahmen des

OECD/SETH-2-Projektes geschaffen wurde, ist weltweit einzigartig für die untersuchten Sicherheitsaspekte von Leichtwasserreaktoren. Ein OECD/NEA-Workshop, der am 13./14. September 2011 in Paris stattfindet, wird die Verwendung der SETH-2-PANDA-Experimente im Rahmen von Simulationsrechnungen durch die verschiedenen internationalen Teilnehmer im Detail beleuchten und bewerten.

Proteus – RISE Programm und Proteus Upgrade

Im Berichtsjahr 2010 waren die Arbeitsschwerpunkte der Gruppen Experimentelle Reaktorphysik und PROTEUS-Betrieb zwei wesentliche Projekte für die Zukunft des Forschungsreaktors PROTEUS: das Forschungsprogramm Re-Irradiated Spent-fuel Experiments (RISE) und PROTEUS Upgrade Project, das sich mit der Modernisierung des Reaktors befasst.

RISE basiert auf dem ehemaligen LIFE@PROTEUS Programm [1] und zielt weiterhin auf die Verbesserung des Verständnisses der Neutronik im Übergang zwischen frischen und abgebrannten DWR Brennelementen hin. Anstelle der ursprünglich vorgesehenen 4m langen (40 GWd/t bis 60 GWd/t) abgebrannten DWR Brennstoffstäbe ist nun neu geplant, kurze, abgebrannte Brennstoffsegmente mit neuen Hüllrohren einzusetzen. Mit diesem Schritt wird die Aktivität im Reaktor deutlich reduziert, die Handhabung des abgebrannten Brennstoffs wesentlich vereinfacht und die Kosten der Modernisierung des Reaktors verringert. Zudem bleibt die Repräsentativität der zu untersuchenden Konfigurationen des zukünftigen PROTEUS Experiments erhalten.

Die PROTEUS Testzone wird deshalb mit einer grösseren Anzahl (mehr als 6x6) von abgebrannten Brennstoffsegmenten beladen, die von frischen Brennstäben umgeben sind. Die Spaltverteilung im Übergangsbereich zwischen den frischen und den abgebrannten Brennstäben wird gemessen. Die Messdaten, die weltweit erstmals mit dieser Auflösung ermittelt werden, dienen der Validierung der entsprechenden Rechenmethoden. Dazu wurden neue Messtechniken entwickelt, um die Leistungsverteilung auch im abgebrannten Brennstoff ermitteln zu können. Zum einem basieren sie auf verzögerten Neutronen und zum andern auf von Spaltprodukten

emittierten Gammastrahlen. Die beiden Methoden wurden 2009 durch Bestrahlungen mit abgebrannten Brennstabsegmenten (Abbrand bis 64 GWd/t) getestet. Im Jahre 2010 wurde das theoretische Verständnis für beide Methoden vertieft und ihre Messunsicherheit und SENSitivitäten bestimmt sowie die Ergebnisse mit Rechnungen verglichen. Diese Ergebnisse werden zusätzlich gebraucht, um das Auslegung der Messstation, die während RISE verwendet werden soll, zu verbessern und ihre Leistungsfähigkeit betr. der Unterdrückung von Fehlsignalen quantitativ zu bestimmen.

Für die geplanten Experimente mit grösseren Mengen von abgebrannten Brennstoffsegmenten muss die gesamte PROTEUS Anlage modernisiert und der Reaktor neu ausgelegt werden. Das Ziel des PROTEUS Upgrade Projektes ist die Erstellung der neuen Bau- und Betriebsbewilligungen. Durch die Neuausrichtung des Projektes von LIFE@PROTEUS zu RISE wurde in 2010 mit den entsprechenden Anpassungen der Gesuchsunterlagen für die zukünftige Bau- und Betriebsbewilligung begonnen.

Hotlabor

Das PSI-Hotlabor ist als einzige schweizerische Forschungsanlage zur Bearbeitung und Untersuchung aller Arten von radioaktiven Materialien und stark radioaktiver Komponenten (oder Teilen davon) von Kraftwerken und Forschungs-Beschleunigeranlagen ausgerüstet.

Das Hotlabor als PSI-Grossanlage, ist gemäss Kernenergieverordnung eine der schweizerischen Kernanlagen und erfüllt den für solche Anlagen erforderlichen Sicherheitsstandard. Seit Anfang 2008 ist die neue PSI Abteilung Hotlabor (AHL) zuständig für den Betrieb des Labors und auch gleichzeitig der Hauptbenutzer der Anlage.

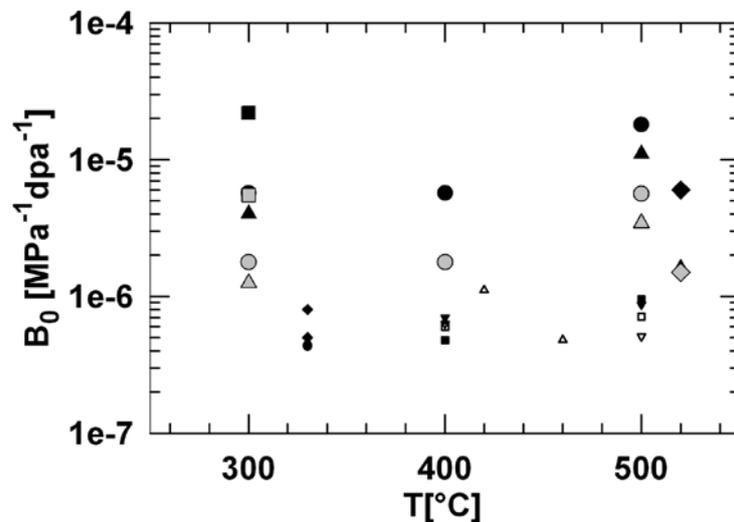
Der Anlagebetrieb ist mit 35 AHL-Mitarbeitern gesichert. Sie sind verantwortlich für die Hausinstallationen, die heissen Zellen aber auch für die anspruchsvollen fortschrittlichen Instrumentalanalysen. Dazu benutzen regelmässig ca. 50 PSI- und externe Mitarbeiter die Anlage für ihre Forschungsarbeit. Nachfolgend sind die hauptsächlich zu bearbeitenden wissenschaftlichen Dienstleistungen- und Forschungsschwerpunkte aufgelistet:

- Kleinstprobenvorbereitung von bestrahlten, hochradioaktiven Keramiken und Metallen für externe Benutzer;
- Charakterisierung des Bestrahlungsverhaltens von heutigen und fortschrittlichen LWR-Brennstäben;
- Analyse von verschiedenen Ablagerungen auf Reaktorkomponenten (z. B. Brennstoffe und Hüllrohre);
- Beurteilung der Radionuklidausbreitung aus einem zukünftigen Abfall-Endlager;
- Eignungsabklärung von Containments aus einer Blei/Bismuth-Legierung für das PSI-Spallations-target.

Das Berichtsjahr wurde mit den intENSIVEN Nachbestrahlungsuntersuchungen von verschiedenen Brennstabtypen aus schweizerischen Kernkraftwerken geprägt. Diese Untersuchungen leisten einen wesentlichen Beitrag für den sicheren Betrieb der Kernkraftwerke und die Weiterentwicklung hinsichtlich Sicherheit und Wirtschaftlichkeit der Brennstäbe.

HT MAT

Strahlungsinduziertes Kriechen von Strukturwerkstoffen, die im Betrieb hoher Neutronenbelastung ausgesetzt sind wie Hüllrohre von schnellen Reaktoren erleiden verschiedene Strahlenschäden. Besonders bedeutend sind «Schwellen» und «strahlungsinduziertes Kriechen». Diese Art der Verformung unter Last ist nicht gleichbedeutend mit thermischem Kriechen, das ab Temperaturen, die grösser als $0,35 T_m$ (T_m Schmelzpunkt in K) auftritt. Strahlungsinduziertes Kriechen ist eine Folge der hohen Punktdefektkonzentration, die durch die Bestrahlung bedingt ist. Als Mass für strahlungsinduziertes Kriechen kann die entsprechende «Compliance» B_0 herangezogen werden, die im wesentlichen die Dehnung pro Spannungseinheit und Dosis einheit beschreibt. Da strahlungsinduziertes Kriechen eine werkstoffabhängige Eigenschaft ist, sind entsprechende Untersuchungen für die Entwicklung neuer Werkstoffe für nukleare Anwendungen sehr wichtig. Ergebnisse von Werkstoffen für die nächste Generation von schnellen Reaktoren sind in Figur 4 gezeigt.



Figur 4: Vergleich der Compliances für strahleninduziertes Kriechen als Funktion der Bestrahlungstemperatur. Die grossen Symbole repräsentieren Ergebnisse aus Versuchen mit Helium-Bestrahlung. Die kleinen Symbole stammen von Versuchen mit Neutronen.

In dieser Figur sind sowohl Daten aus Versuchen mit Neutronen, als auch solche aus Versuchen mit Ionen wie Helium eingetragen. Die (leichten) Unterschiede in den verschiedenen Arten der Bestrahlung sind wahrscheinlich auf unterschiedliche Schädigungsraten zurückzuführen. Qualitativ zeigen jedoch beide Arten der Bestrahlung vergleichbare Ergebnisse. Man erkennt, dass es im Gegensatz zu thermischem Kriechen für strahleninduziertes Kriechen praktisch keine Temperaturabhängigkeit gibt. Es zeigt sich ausserdem, dass fortschrittliche Werkstoffe, wie Oxid-dispersionsgehärtete Stähle (ODS) bezüglich strahleninduzierten Kriechens weniger Unterschied zu traditionellen Werkstoffen haben, als dies für thermisches Kriechen gilt. Die Ergebnisse zeigen, dass strahleninduzierte Kriechvorgänge mit Ionenbestrahlung hinreichend zuverlässig charakterisiert werden können und dass damit zeitintensive und kostspielige Untersuchungen mit Neutronen minimiert werden können.

Brennstoffkreislauf und Gesamtüberblick

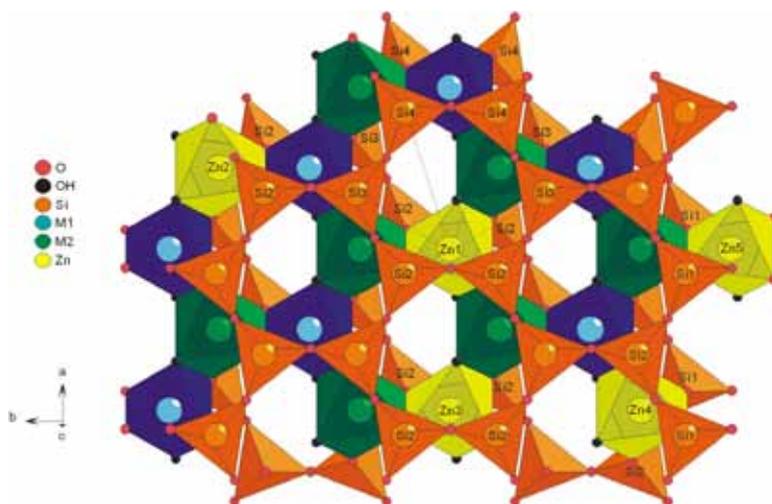
Entsorgung radioaktiver Abfälle

Die Sorption von radioaktiven Elementen an Tonmineralien des Nah- und Fernfeldes eines potenziellen radioaktiven geologischen Endlagers ist der vorherrschende Prozess, welches das Freisetzen von Radioaktivität verhin-

dert. Ein molekulares mechanistisches Verständnis von Sorptionsprozessen ist daher ein Kernelement um Langzeitvorhersagen über die Aufnahme von Radionukliden an Tonmineralien in Sicherheitsanalysen machen zu können. In diese Studie wurde die Aufnahme von Zink an Montmorillonit, einem dioctaedrischen Smektit, untersucht. Smekтите sind aus einer oktaedrischen Aluminium- und zwei tetraedrischen Silizium-Schichten aufgebaut. Aufgrund von isomorphen Austauschungen in den oktaedrischen Schichten ergibt sich eine permanente Ladung der 001-Oberflächen. Kationen, die an diesen Oberflächen aufgenommen werden, formen nur schwach gebundene Komplexe, welche sich leicht durch andere Ionen in Lösung entfernen lassen. Neben diesen Kationenaustauschprozessen ergeben sich an den Kanten der Montmorillonitstruktur pH-bhängige Sorptionsprozesse. Sorptionsmodelle, wie z. B. das «2 site protolysis non electrostatic surface complexation and cation exchange» (2SPNE SC/CE) Model“, beschreiben quantitativ Sorptionsprozesse von Metallen mit Valenzahlen von II bis VI [1]. Eine Hauptannahme in diesem Modell ist, dass es zwei Arten von Oberflächenkomplexen an den Kanten der Montmorillonitstruktur geben muss. Der eine dieser Komplexe hat eine Beladungskapazität bis zu 2 mmol/kg und wurde als «starker Komplex» benannt. Mit einer Beladungskapazität von bis zu 40 mmol/kg gibt es einen zweiten, der als »schwacher Komplex« bezeichnet wurde.

Im Rahmen dieser Röntgenabsorptionsmessungen wurden drei unterschiedliche Zink-Proben untersucht. Zink wurde als repräsentatives Element für zweiwertige Radionuklide (z. B. Ni, Co) ausgewählt, da es erlaubt, die Röntgenabsorptionsuntersuchung an umweltrelevanten Konzentrationen (einige wenige mmol/kg, welches einigen hundert ppm entspricht) durchzuführen. Die erste dieser Proben ist der natürliche Montmorillonit, der bis zu 2 mmol/kg Zink, eingebaut in die Kristallstruktur, enthalten kann. Die Datenanalyse der Röntgenabsorptionsmessungen zeigte, dass das Zink, neben sechs Sauerstoffatomen bei 2,07 Å, von drei Aluminiumatomen bei 3,02 Å and vier Siliziumatomen bei 3,22 Å umgeben ist (Zn1 in Figur 5). Diese Strukturparameter zeigen, dass das Zink in solche oktaedrische Position eingebaut ist, in denen die Sauerstoff-Wasserstoff-Gruppen transversal zum Oktaeder stehen (M1 in Figur 5). Die fouriertransformierten Daten der Röntgenabsorptionsmessungen an niedrig konzentrierten Proben (~2 mmol/kg) zeigten Unterschiede zu den eingebauten Zink Komplexen. Die Datenanalyse ergab, dass die lokale Zinkumgebung aus ungefähr einem Aluminiumatom bei 3,07 Å, einem Siliziumatom bei 3,07 Å and zwei Siliziumatomen bei 3,26 Å besteht.

Diese Ergebnisse lassen sich mit einer Mischung von verschiedenen Oberflächenkomplexen in der Fortsetzung der Aluminiumschichten erklären (zum Vergleich Zn2–Zn5 in Figur 5). Im Falle der hohe Zink-Oberflächenbelastungen (~30 mmol/kg) ergeben die Spektren ein anderes Bild. Die Intensität der Spektren ist im Vergleich mit den zwei vorhergehend diskutierten Proben erheblich reduziert. Dies deutet darauf hin, dass das sich die lokale Umgebung der Zinkkomplexe signifikant von den zuerst diskutierten unterscheidet, und dass die Sorptionskomplexe weit weniger geordnet sind. Die Datenanalyse ergab, dass das Zn von ungefähr einem Aluminiumatom bei 3,04 Å and einem Siliziumatom bei 3,33 Å umgeben ist. Die höhere Unordnung dieser Komplexe und die längeren Zn–Si-Bindungsabstände deuten darauf hin, dass diese nicht stark in oktaedrischen Positionen gebunden sind, sondern eher relativ frei und zufällig an der Oberfläche variieren können. Die Röntgenabsorptionsuntersuchung konnten daher fundamental zugrunde liegende Annahmen im ZSPNE-SC/CE-Sorptions-



Figur 5: Illustration von Zink-Komplexen inkorporiert in Montmorillonit und Zink-Komplexe sorbiert an oktaedrischen Positionen (Zn2–Zn5) (M1 kennzeichnet trans- and M2 cis-oktaedrische Aluminium-Positionen).

modell, nämlich die Bildung von zwei Arten von Oberflächenkomplexen, bei der Zink-Sorption an den Kanten der Montmorillonitstruktur zweifelsfrei bestätigen.

Fast : Optimierung der sicherheitsrelevanten Parameter des natriumgekühlten Reaktors

Die fortgeschrittenen Reaktorkonzepte der vierten Generation mit schnellem Neutronenspektrum sollten in der Lage sein, ihren Brennstoff selber aus schlecht spaltbarem ²³⁸U zu erzeugen und die minoren Aktinide aus ihrem abgebrannten Brennstoff zu rezyklieren. Ein vielversprechendes Projekt ist hierbei der mit flüssigem Natrium gekühlte schnelle Brüter (SFR). Ein deutlicher Nachteil dieses Reaktortyps ist allerdings sein positiver Voidkoeffizient.

Das Ziel dieser Studie ist die Analyse und Anwendung von drei Optimierungsverfahren für die sicherheitsrelevanten Parameter, die aus der Literatur bekannt sind:

- die Auswirkung des oberen Natrium-Plenums mit einer Borschicht darüber;
- die Verwendung von mehreren Moderatorstäben statt Brennstäben;
- das Höhe/Querschnitt (H/D) Verhältnis.

Alle drei Optimierungen haben eine andere Auswirkung auf die leistungs- und sicherheits-relevanten Parameter: die Reaktivität, den Brutgewinn BG,

die Dopplerkonstante DC und den Voidkoeffizienten.

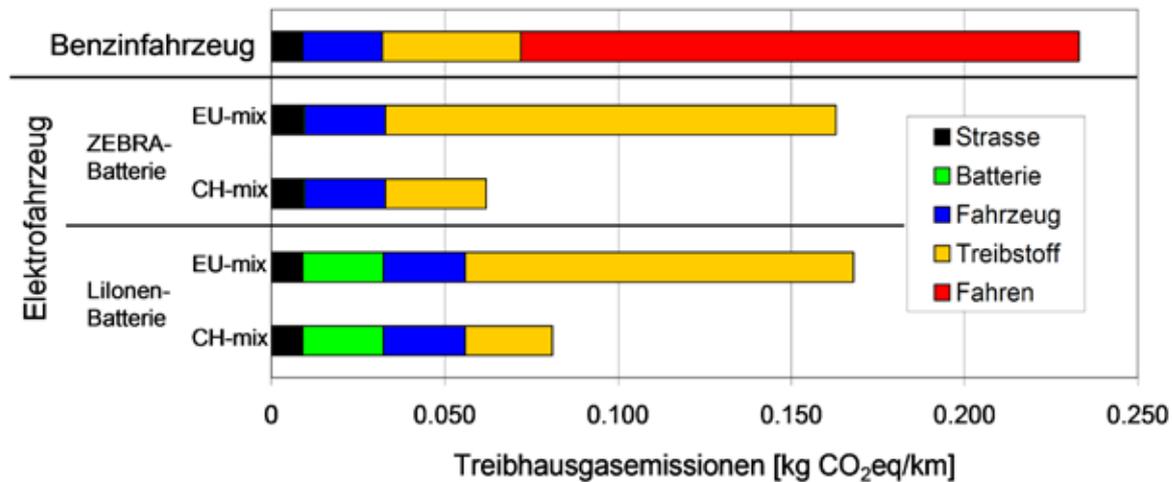
Die drei Optimierungsoptionen können auch kombiniert werden. Zwei unterschiedlich optimierte Reaktoren waren vorgeschlagen worden:

- Reaktor mit 30 cm Plenum und einer 5 cm dicken Borschicht darüber, mit einem H/D-Verhältnis von 0,152 (wobei die Brennstoffhöhe 0,8 m ist).
- Reaktor mit 30 cm Plenum und einer 5 cm dicken Borschicht darüber, mit einem H/D-Verhältnis von 0,280 (wobei die Brennstoffhöhe 1,2 m ist) und mit 10 Moderatorstäben.

Diese zwei Reaktorooptionen sollen in Zukunft weiter analysiert und mit dem ursprünglichen Reaktor verglichen werden, wobei nicht nur die leistungs- und sicherheitsrelevanten Parameter neu berechnet werden sollen, sondern auch das Verhalten beim Sieden des Natriums soll erforscht werden.

Technologie Bewertung

Die Technologie Assessment Gruppe war im Jahr 2010 in eine Vielzahl von Projekten involviert: Ein EU-Projekt zur Energiesicherheit (SECURE), Forschung im Verbund mit den ETH-Kompetenzzentren zu CO₂-Management bei der Stromerzeugung (CARMA) sowie Emissionen durch Biomasseverbrennung (IMBALANCE) und Elektromobilität (THELMA), Arbeiten im Rahmen von ecoinvent und eine Reihe von kleineren Projekten für Industrie, nationale und internationale Organisationen, so-



Figur 6: Treibhausgasemissionen aus dem Lebenszyklus von Benzin- und Elektrofahrzeugen pro Fahrzeugkilometer (Bauer und Simons, 2010; Bauer 2010).

wie Behörden.

Teil der Ökobilanzaktivitäten war die Analyse der Umweltauswirkungen von verschiedenen Personenwagen, darunter auch batteriebetriebene Elektrofahrzeuge für die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) bzw. für Volkswagen (VW). Figur 6 zeigt erste Ergebnisse: Die Treibhausgasemissionen pro Fahrzeugkilometer eines Benzinfahrzeugs (Renault Twingo) im Vergleich mit Elektrofahrzeugen (e-Twingo) im Stadtverkehr, entweder mit einer ZEBRA-Batterie oder einer Lilonen-Batterie als Energiespeicher. Zum Laden der Batterien wird der Schweizer Versorgungs- oder der EU-Strommix verwendet. Die Gesamtemissionen des Benzinfahrzeugs sind höher. Mit dem EU-Mix wird eine Reduktion von rund 30 % erreicht, mit dem Schweizer Mix (inkl. Importen) je nach Batterietyp eine Reduktion von 65–70 %. Beim Benzinauto stammt der grösste Anteil der Emissionen aus dem Verbrennungsmotor, bei den Elektrofahrzeugen je nach Stromquelle für die Batterieladung aus der Stromproduktion oder aus der Fahrzeug- und Batterieherstellung.

Die Ergebnisse der Ökobilanz für weitere Schadstoffemissionen bzw. Umweltindikatoren müssen differenziert betrachtet werden: einerseits sind sie für die Batteriefahrzeuge teilweise stark von den Stromquellen für die Batterieladung abhängig; andererseits können Batteriefahrzeuge bei Indikatoren, zu denen die Batterieherstellung grosse Beiträge liefert und die Benzinverbrennung kaum ins Gewicht fällt, schlechter als moderne Benzinfahrzeuge abschneiden.

Dieser Vergleich stellt einen ersten Schritt zu einer umfassenden Bewertung einer Vielzahl von heutigen und zukünftigen Fahrzeugtechnologien bzgl. ihrer Umweltauswirkungen insgesamt dar, die im Rahmen des breit abgestützten, multi-disziplinären Projekts THELMA (Technology-centered Electric Mobility Assessment, www.thelma-emobility.net/) umfassend untersucht werden.

Energiewirtschaft

In der Forschungsgruppe Energiewirtschaft (EEG) werden quantitative Analysen von Energiesystemen auf schweizerischer, europäischer und globaler Ebene zur Verbesserung des Verständnisses der Wechselwirkungen zwischen Energie, Ökonomie, Umwelt und Technik durchgeführt.

Als Beispiel wurde in der Berichtsperiode ein Forschungsprojekt zusammen mit dem Automobilhersteller Volkswagen AG durchgeführt. Ziel war es, mit Hilfe einer Szenarioanalyse die Erfolgsaussichten zukünftiger Antriebstechnologien in Automobilen und von alternativen Treibstoffen besser beurteilen zu können. Die EEG verwendete hierzu das multiregionale, globale Energiemodell (GMM), welches die diskontierten Gesamtkosten eines zukünftigen Energiesystems minimiert. Im Modell können die einzelnen Energieträger von der Erzeugung oder fossilen Extraktion über mögliche Umwandlungen bis hin zur Nachfrage in den verschiedenen Wirtschaftssektoren abgebildet werden.

Mit Hilfe der Szenarioanalyse konnte der Einfluss von Schlüsselfaktoren auf die Anteile möglicher Antriebstechnologien am globalen Flottenmix bestimmt werden – gleichzeitig auch kosteneffektive Produktionswege und Anteile der dazugehörigen Treibstoffe, zu denen auch Elektrizität oder Wasserstoff gehören. Untersuchte Schlüsselfaktoren waren zum Beispiel der Marktanteil möglicher Kurzstreckenautos («City Car»), die Stringenz der Klimapolitik und die verfügbaren Volumina der fossilen Energievorräte («Peak Oil»).

Die Resultate zeigen, dass Elektro-Kurzstreckenautos mit Hilfe einer ausreichenden Klimapolitik kosteneffektiv sein können und eine stringente Klimapolitik sogar Elektrofahrzeuge ermöglichen könnte, die eine ähnliche Tankreichweite wie heutige Verbrennungsautos haben. Voraussetzung wäre eine schrittweise Verbilligung von Batterien durch den technologischen Fortschritt. Erfolgsentscheidend ist eine partielle Dekarbonisierung der Elektrizitätsproduktion, was zum Beispiel durch fossile Kraftwerke mit CO₂-Abscheidung und Speicherung kosteneffektiv möglich wäre.

Die Studie zeigt auch die Potenziale anderer Technologien im Automobilssektor auf: z. B. sind Brennstoffzellen auf lange Sicht eine ernstzunehmende Alternative, und falls pessimistischere Schätzungen fossiler Vorräte zuträfen, könnten vor allem effiziente Hybridautos profitieren, die mit Biotreibstoffen oder mit dem noch länger verfügbaren und emissionsärmeren Erdgas betrieben werden könnten.

Nationale Zusammenarbeit

Viele der im NES durchgeführten Projekte werden aufgrund ihrer Thematik in enger Zusammenarbeit mit den Betreibern der Schweizer Kernkraftwerke, der Elektrizitätswirtschaft und dem ENSI durchgeführt. Arbeiten zur Entsorgung radioaktiver Abfälle finden in Zusammenarbeit und mit Unterstützung der Nagra statt. Aufgrund

gemeinsamer Projekte und der engen personellen Verbindungen mit den Schweizer Universitäten, den Eidgenössischen Technischen Hochschulen, sowie einer Vielzahl von Fachhochschulen ergeben sich auch im Bereich der Ausbildung enge Verbindungen, insbesondere auch im Rahmen von Dissertationen, Master- und Diplomarbeiten sowie von Semesterarbeiten.

Internationale Zusammenarbeit

Alle im NES laufenden und oben aufgeführten Projekte finden im Rahmen intENSiver internationaler Zusammenarbeiten statt. Über die Beteiligung an Projekten internationaler Organisationen wie der Euratom, der OECD/NEA, des Internationalen Forums der Reaktor-Generation IV und der IAEA, sowie durch direkte ver-

tragliche Vereinbarungen ergeben sich Zusammenarbeiten mit rund 30 Partnern aus etwa 10 Ländern, wobei sowohl alle wichtigen Forschungsinstitutionen als auch die grössten Hersteller von Nuklearsystemen, aber auch diverse Aufsichtsbehörden vertreten sind. Eine detaillierte Auflistung befindet sich auf: nes.web.psi.ch/int_cooperations.html.

Referenzen

1.[1] J. Freixa, T.-W. Kim, *TRACE Nodalization Description of the Olkiluoto-3 EPR*, PSI TM-41-09-22, November 2009.

1.[2] O. Zerkak, *Development of a TRACE 3-D VESSEL Component describing the EPR Reactor Pressure Vessel*, PSI TM-41-09-04, April 2010.

1.[3] J. Freixa, A. Manera, *Verification of a TRACE EPR model on the basis of a scaling calculation of an SBLOCA ROSA test*, *Nucl. Eng. Design*, angenommen, Januar 2011.

1.[4] V. Petrov, A. Manera, *Development of a CFD model for the EPR pressure vessel*, In: *Int. Congress Advances in NPPs, ICAPP10, San Diego, US, 13-17 Juni 2010*.

1.[5] Y. Yun et al, *Analysis of Fuel rod Behaviour in EPR during base irradiation and LOCA transient utilizing FALCON*, In: *LWR Fuel Performance, TopFuel 2010 Meeting, Orlando, US, 26-29 September 2010*.

5.[a] A. KISSELEV, *»Short overview on the PARAMETER program at LUCH«*, *Proceedings of 15th Int. QUENCH Workshop, Karlsruhe, Germany, (November 2009) ISBN 978-3-923704-71-2*.

5.[b] H. C. No, K-W Lee and C-H. Song, *»An Experimental Study on Air-Water Countercurrent Flow Limitation in the Upper plenum with a Multi-Hole Plate«*, *Nucl. Engrg. Tech.*, 37 (6), pp. 557-564, (2005).

5.[c] J.C. Birchley, L. Fernandez Moguel, *»Assessment of SCDAP/RELAP5 Modelling of Top-down Reflood, using PARAMETER Bundle Experiments«*, Paper 11031, *Proceedings of ICAPP '11, Nice, France, May 2011*.

7.[1] BFE Bericht (2009).

10.[1] M. H. Bradbury and B. Baeyens, *J. Contam. Hydrol.* 27, 223-248 (1997).

BFE Forschungsprogramm Kerntechnik und Nukleare Sicherheit

Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Paul Scherrer Institut
CH-5232 Villigen PSI

Programmleiter BFE (Autor):

Dr. Jean-Marc Cavedon, Paul Scherrer Institut (jean-marc.cavedon@psi.ch)

Bereichsleiter BFE:

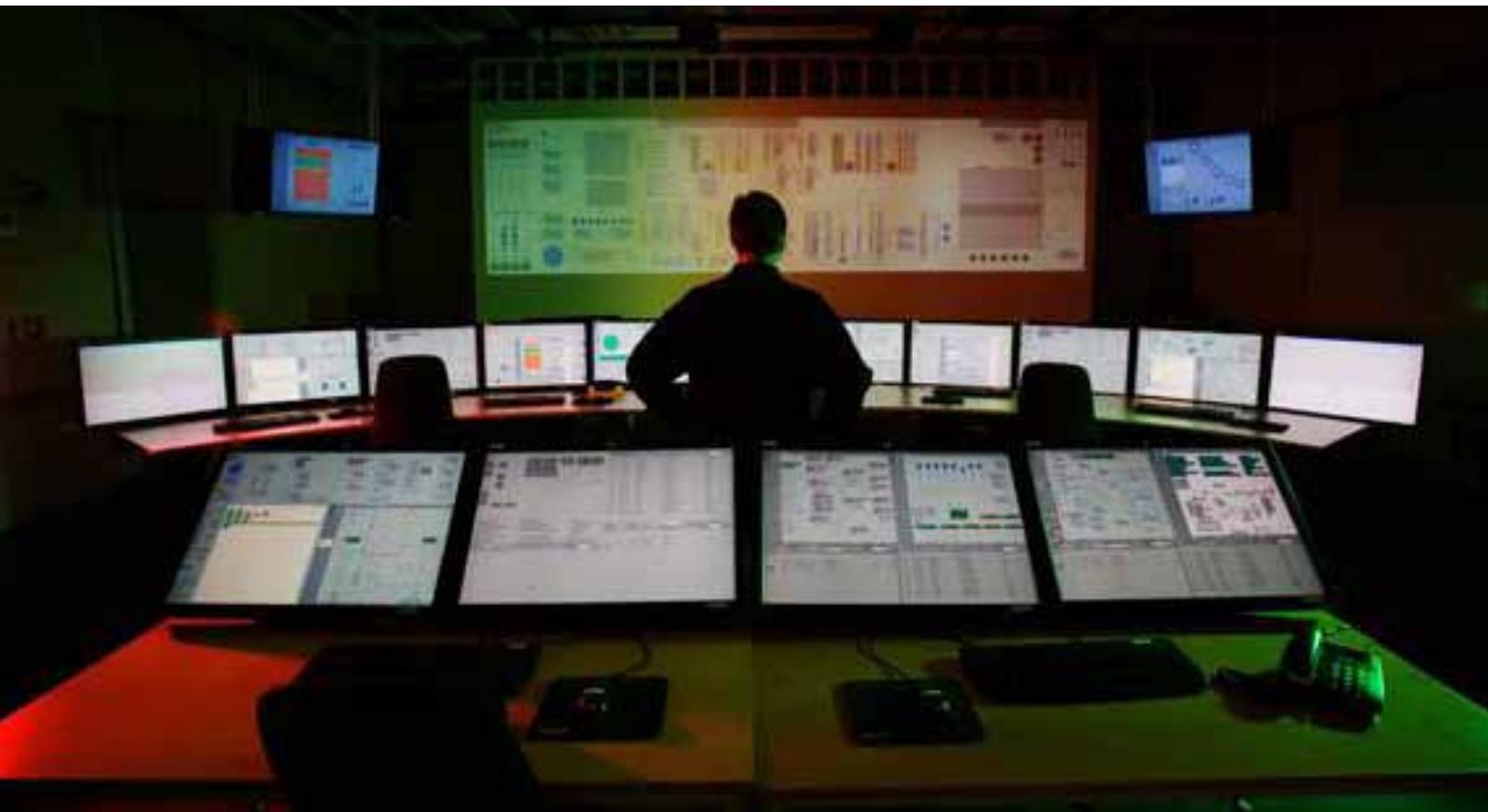
Dr. Christophe de Reyff (Christophe.deReyff@bfe.admin.ch)

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

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Regulatorische Sicherheitsforschung

Reiner Mailänder



OECD Halden Reactor Project: Blick in das Halden Man-Machine Laboratory (HAMMLAB)

Das Halden Reactor Project [1] untersucht in seinem Bereich Mensch – Technik – Organisation (MTO) den Einfluss von Arbeitsumgebung und Organisation auf die Sicherheit von Kernkraftwerken. Dazu werden auch Experimente mit Operateur-Teams unter simulierten Notfallbedingungen im speziell dafür eingerichteten Halden Man-Machine Laboratory durchgeführt. Sie dienen dazu, die Zuverlässigkeit menschlicher Handlungen zu bestimmen und die Gestaltung von Kontrollräumen zu verbessern (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.

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:

- Die Resultate von Forschungsprojekten sollen unmittelbar der laufenden Aufsichtstätigkeit des ENSI dienen. Forschungsergebnisse gehen einerseits in vom ENSI zu erstellende Richtlinien ein, die rechtliche Anforderungen in den Bereichen Kernenergie und Strahlenschutz konkretisieren. Andererseits zieht das ENSI auch für konkrete Einzelentscheide die Ergebnisse von Forschungsprojekten als Grundlage heran.
- Die vom ENSI geförderten Forschungsprojekte dienen dem Kompetenzerhalt nicht nur innerhalb des ENSI, sondern darüber hinaus auch bei Forschungsinstitutionen. Das ENSI will mit diesen Forschungsprojekten insbesondere die Ausbildung im Bereich der nuklearen Sicherheit fördern.

- 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 auch Resultate, die in der Schweiz alleine nicht erzielt werden könnten. Dazu muss das ENSI auch eigene Beiträge leisten können. 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 in die Aufsichtstätigkeit ein und dienen damit direkt der Sicherheit. Gerade die Projektbegleitung verschafft den Fachsektionen auch 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, der geplante Bau von neuen Kernkraftwerken und die Entsorgung der radioaktiven Abfälle. Diesen Herausforderungen trägt das ENSI in den Programmschwerpunkten Rechnung. Die vom Bund geförderten Projekte stellen nur einen Teil des Forschungsprogramms dar. Der überwiegende Teil der Kosten wird vom ENSI den Beaufichtigten in Rechnung gestellt.

IEA-Klassifikation: 4.1.4 Nuclear supporting technology

Schweizer Klassifikation: 3.1.1 Kernenergie – Sicherheit

Programmschwerpunkte

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 abgebrannt sind und ausgetauscht werden; beim Brennstoff und den Brennstab-Hüllrohren 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 (Containment); bei diesen sind eher 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 eingegeben werden. 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 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 hier Projekte der OECD sowie der In-

ternationalen Atomenergie-Agentur IAEA. Einerseits wird die Robustheit von sicherheitsrelevanten elektrischen Systemen gegenüber den Auswirkungen von Überspannungen betrachtet; diese können vom Hochspannungsbereich ausgehen und sich wegen ihres hohen Energiegehalts auf eine grosse Zahl von Kraftwerkssystemen negativ auswirken. Andererseits geht es um die Auswirkungen von Erdbeben und Flugzeugabstürzen auf die Tragwerke von sicherheitsrelevanten Gebäuden. Weil dabei aufwändige Experimente und Simulationen durchgeführt werden, ist die internationale Zusammenarbeit wichtig.

Menschliche Faktoren

Übergeordnetes Ziel in diesem Bereich ist die Reduktion der Unsicherheit menschlicher Handlungen bei der probabilistischen Sicherheitsanalyse (PSA), die das Risiko von Störfällen in Kernkraftwerken quantitativ erfasst. Der Bereich umfasst zwei Schwerpunkte. Erstens geht es um den Einfluss menschlicher Handlungen auf Störfälle und deren Beherrschung. Dabei wird vor allem die Zuverlässigkeit des Operateurerhaltens unter verschiedenen Bedingungen mit der so genannten Human Reliability Analysis (HRA) untersucht. Während die versehentliche Unterlassung erforderlicher Eingriffe relativ gut untersucht ist, sind fehlerhafte Handlungen, welche den Verlauf eines Störfalles negativ beeinflussen können, weniger gut erforscht. Diese so genannten Errors of Commission werden daher im Projekt HRA systematisch identifiziert und quantifiziert. Zweiter Schwerpunkt ist der Einfluss der Kontrollraumgestaltung auf die Leistung der Operateure.

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 und mit Hilfe von Experimenten validiert. Sie dienen auch als

Grundlage für die quantitative Ermittlung des Anlagenrisikos in probabilistischen Sicherheitsanalysen. Zunehmend werden verschiedene Modelle gekoppelt, um das Anlageverhalten umfassender simulieren zu können. Das ist auch wichtig für die Beurteilung der Sicherheitseinrichtungen neuer Kernkraftwerke. Diese verwenden vermehrt so genannte passive Komponenten, die als zuverlässiger gelten im Vergleich zu aktiv betriebenen Komponenten wie Pumpen. Sie funktionieren allein auf der Grundlage einfacher physikalischer Vorgänge, welche an die in der Anlage ablaufenden Phänomene wie Druck- und Temperaturänderungen gekoppelt sind.

Strahlenschutz

Die Arbeiten in diesem umfassen ein breites Spektrum anwendungsbezogener Themen. Sie reichen von der Überprüfung und Kalibrierung von Messsystemen für ionisierende Strahlung und der Messung der Ortsdosisleistung in der Umgebung von Kernanlagen aus der Luft (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.

Entsorgung

Bei der geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle spielt die Untersuchung geeigneter Gesteinsformationen eine zentrale Rolle. Dazu werden hydrogeologische, geochemische und felsmechanische Eigenschaften des Opalinustons im Felslabor Mont Terri untersucht. Die Auslegung eines Tiefenlagers und dessen Überwachung wird ebenso beleuchtet wie die Eigenschaften der darin einzulagernden Abfälle. Zudem werden die in einem Tiefenlager ablaufenden physikalisch-chemischen Prozesse betrachtet. Schliesslich wird auch die atmosphärische Zirkulation während der letzten Eiszeit erforscht, um daraus Rückschlüsse auf eine zukünftig mögliche Klimaentwicklung und Gletscherbreitung ziehen zu können.

Highlights 2010

KORA-II – Korrosionsrisswachstum in austenitischen Strukturwerkstoffen

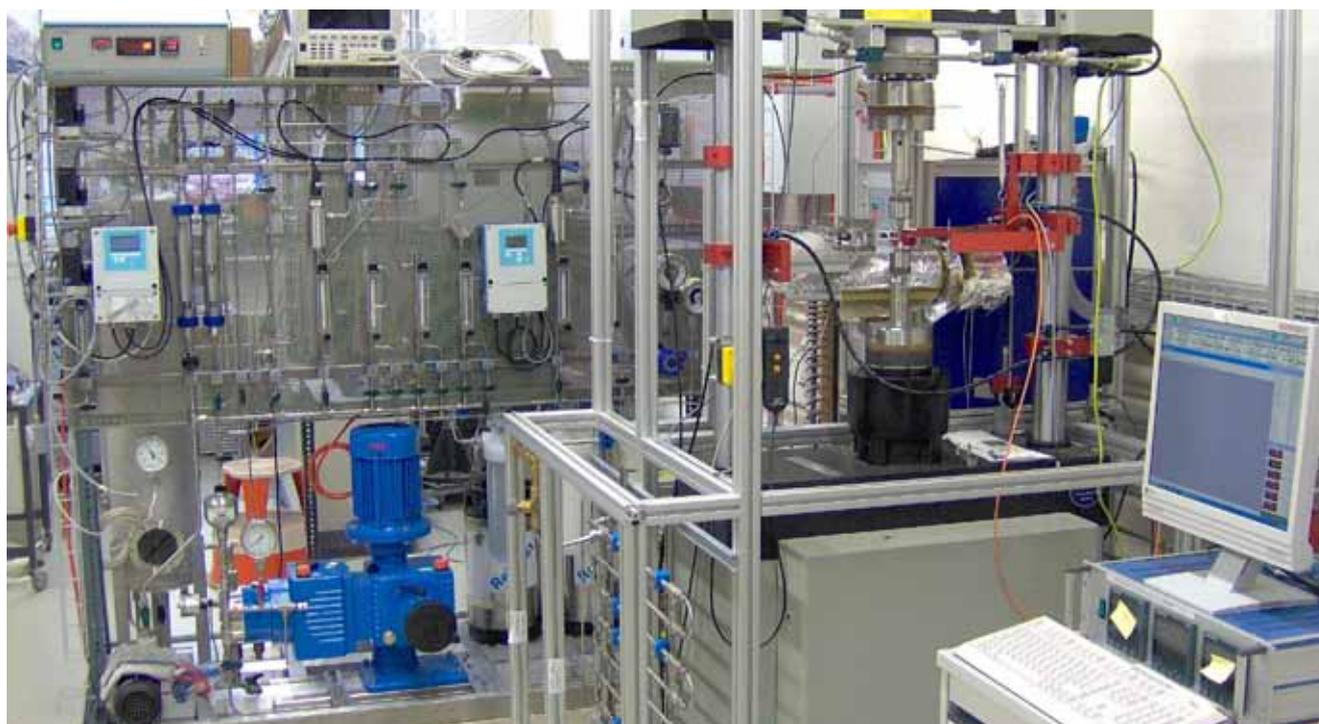
Das Projekt KORA wird am Labor für Nukleare Materialien des Paul Scherrer Instituts PSI durchgeführt. Es beschäftigt sich mit Schädigungsmechanismen an Stahlkomponenten des Primärkreislaufs von Kernkraftwerken, namentlich mit zwei Prozessen: Spannungsrisskorrosion und Schwingrisskorrosion. Spannungsrisskorrosion kann auftreten, wenn ungünstige Bedingungen für mechanische Belastung, Wasserchemie im Primärkreislauf und Werkstoffzustand zusammentreffen. In diesen Fällen können dann relativ lange, verzweigte Risse entstehen. Schwingrisskorrosion ist eine spezielle Form des umgebungsbedingten Risswachstums, in der mechanische Belastungen zyklisch auftreten. Das Projekt KORA gliedert sich in der zweiten Phase 2009–2011 in drei Teilprojekte.

- Im Teilprojekt I (*Schwingrisskorrosion in austenitischen Stählen*) wurden 2010 zwei neu konzipierte Prüfstände in Betrieb genommen. Mit ihnen können Versuche an durchströmten Hohlproben durchgeführt werden. Deren komplexe thermomechanische Belastungen

und die verschiedenen Umgebungsbedingungen kommen denjenigen an Komponenten im Kernkraftwerk sehr nahe. Dazu gehören insbesondere last- und dehnungskontrollierte Versuche mit kleiner Dehnamplitude, die mit Temperaturwechseln der durch die Proben strömenden Flüssigkeit überlagert werden. In weiteren Experimenten wurden relativ lange Phasen konstanter Belastung im Anschluss an eine Folge schnell ablaufender Lastwechsel nachgefahren, wie sie im typischen Kraftwerksbetrieb auftreten. Die bisherigen Ergebnisse zeigen keinen wesentlichen Einfluss der Haltezeiten auf die Rissausbreitungsgeschwindigkeit unter typischen Wasserchemie-Bedingungen für Leichtwasserreaktoren.

- Das Teilprojekt II beschäftigt sich mit *Spannungsrisskorrosion in Mischnähten*. Diese stellen eine Kombination einer Nickelbasislegierung als Schweißmaterial, hier Inconel-182, mit einem niedriglegierten ferritischen Stahl wie dem des Reaktordruckbehälters (RDB) dar. Das Ausbreitungsverhalten von Spannungskorrosionsrissen im Grenzbereich zwischen diesen Materialien wurde weiterhin untersucht.

Einerseits wird die Rissausbreitung bei hohen Beanspruchungen charakterisiert, un andererseits wird der Einfluss des Schwefelgehalts im RDB-Stahl sowie sehr geringer Chloridkonzentrationen im Wasser des Primärkreislaufs analysiert. Unter den oxidierenden Bedingungen der Normalwasserchemie für Siedewasserreaktoren können demnach bereits sehr geringe Chloridkonzentrationen ausreichen, um eine Rissverlängerung aus dem Inconel-182 in das ferritischen Grundmaterial zu ermöglichen. Unter den reduzierenden Bedingungen der Wasserstoffchemie-Fahrweise, die heute in den schweizerischen Siedewasserreaktoren angewendet wird, ist Risswachstum aus dem Inconel-182-Schweißgut in den Behälterwerkstoff hinein dagegen nicht beobachtet worden. Zudem wurden Probekörper mit Mischnähten hergestellt, in die realitätsnahe Spannungskorrosionsrisse eingebracht und zerstörungsfrei untersucht wurden. Sie sind auch für das neue internationale Projekt PARENT vorgesehen, mit dem die zerstörungsfreie Prüftechnik weiter entwickelt werden soll und an dem sich das ENSI seit Ende 2010 ebenfalls beteiligt.



Figur 1: Einer der neu in Betrieb genommenen Versuchsstände zur Untersuchung der thermomechanischen Ermüdung von Werkstoffen unter realitätsnahen Umgebungs- und Lastbedingungen (Quelle: PSI).



Figur 2: Im Halden-Labor für virtuelle Realität. (Quelle: HRP)

- Im Teilprojekt III wird die *Initiierung von Spannungskorrosionsrissen in rostfreien und niedrig legierten Stählen* untersucht. Die Arbeiten im Berichtsjahr konzentrierten sich auf den Einfluss unterschiedlicher Chloridkonzentration auf die Korrosionsrisanfälligkeit für einen ferritischen Reaktorstahl. Dabei wurde auch die im Rahmen des KORA-Projektes optimierte Methode des elektrochemischen Rauschens eingesetzt.

Das Projekt KORA leistet wertvolle Beiträge für die Aufsichtstätigkeit des ENSI im Hinblick auf den Langzeitbetrieb der bestehenden Kernkraftwerke. Dabei ist die Materialalterung vor allem der nicht austauschbaren Komponenten ein wichtiges Thema, wie zum Beispiel der Umgebungseinfluss bei der Ermüdung austenitischer Reaktorstähle. So sind Erkenntnisse aus dem Projekt in der neuen Richtlinie ENSI-B01 zur Alterungsüberwachung berücksichtigt worden.

OECD Halden Reactor Project, Bereich Mensch – Technik – Organisation

Das OECD Halden Reactor Project (HRP) ist ein seit über 50 Jahren laufendes gemeinsames Forschungsprogramm von über 100 Institutionen aus 18 Staaten. Es hat zwei Stossrichtungen: Brennstoff- und Materialverhalten sowie Mensch – Technik – Organisation (MTO). Experimentelle Arbeiten werden primär im norwegischen Halden von rund 250 wissenschaftlichen Mitarbeitenden durchgeführt. Dort

stehen ein Versuchsreaktor, eine Werkstatt zur Herstellung instrumentierter Brennstoff-Versuchsanordnungen, ein Labor sowie ein Simulationszentrum zur Verfügung. Forschungseinrichtungen in den Mitgliedsländern (z. B. PSI) oder die Nuklearindustrie (z. B. Kernkraftwerk Leibstadt) beteiligen sich ebenfalls an Experimenten. Das ENSI hat Einsitz im Board of Management, dem leitenden Gremium des Projekts, und stellte 2010 dessen Vorsitzenden.

Der Bereich MTO umfasst Studien zu wichtigen Themen für den sicheren Betrieb bestehender Kernanlagen, für die Modernisierung von Kontrollräumen und digitalen Systemen sowie für die Auslegung zukünftiger Kernkraftwerke:

- Analysemethoden für die *menschliche Zuverlässigkeit* werden evaluiert, indem die Reaktionen von Operateur-Teams auf verschiedene simulierte Notfälle im Halden Man – Machine Laboratory (HAMMLAB) getestet werden. So läuft unter massgeblicher Beteiligung des PSI eine Studie, bei der 13 Gruppen von Wissenschaftlern ihre Methoden und die damit gemachten Voraussagen mit den Testergebnissen von 14 Operateur-Teams vergleichen.
- Kontrollanzeige- und Steuerungselemente der nahen Zukunft werden im Versuchslabor implementiert und von Fachleuten bewertet. Dabei stellt sich vor allem die Frage, wie die *Schnittstellen zwischen Menschen und technischen Systemen* (Human – System Interface HSI) einzuschätzen sind. Gerade die bei neuen Kontrollräumen verstärkt eingesetzten

Bildschirme mit Berührungseingabe (Touch Interfaces) sowie innovative, stärker automatisierte Systeme wurden im Berichtsjahr 2010 getestet.

- *Elektronische Visualisierungsinstrumente*, die mit virtueller Realität arbeiten, gelten als viel versprechend sowohl für die HSI-Gestaltung als auch für die Planung und Schulung (Fig. 1). Für die Bewertung von 3D-Modellen von Kontrollraum-Auslegungen wurde im Berichtsjahr eine Prototyp-Software erarbeitet. Zudem wurden ein Hilfsmittel zur Strahlungsfeld-Visualisierung für portable Geräte und ein zugehöriger Prüfstand entwickelt. Dieses Hilfsmittel besteht aus einem Echtzeitsystem zur Positionsbestimmung in Innenräumen und einem Strahlungsrechner mit Visualisierungs-Software.
- Bei komplexen technischen Systemen wie Kernanlagen ist die *Verlässlichkeit von Software und digitaler Leittechnik*, wie sie bei neuen und bei der Modernisierung bestehender Anlagen eingesetzt werden, eine zentrale Fragestellung. Die Anforderungen an sicherheitsrelevante digitale Systeme müssen in Form des so genannten Requirements Engineering erhoben werden. Für diesen Prozess werden Vorgaben anhand bestehender Erfahrungen entwickelt. Für Sicherheitsanalysen bedeutsam ist ein Projekt des HRP zur Entwicklung einer Testmethode für Software, die aus Komponenten zusammengesetzt ist, die bereits in bestehenden Systemen genutzt werden. Ein weiterer Forschungsbereich des HRP betrifft Techniken zur



Figur 3: Nische des RC-Experiments mit den Beobachtungsbohrungen parallel zur Galerie-2008 (Quelle: ENSI)

Online-Überwachung, die wichtig für die Validierung von Signalen und die Entdeckung von Fehlern sind.

Im Berichtsjahr wurde das Forschungsprogramm für die kommende Dreijahresperiode 2012–2014 aufgeleitet. Die Projektleitung besuchte alle Mitgliedsstaaten und diskutierte das Programm mit den beteiligten Organisationen. In der Schweiz fand hierzu am 23. November 2010 unter Leitung des ENSI ein eintägiges Kolloquium am PSI statt. Die Mitgliedsländer konnten ihre Präferenzen hinsichtlich der vorgeschlagenen Projekte einbringen. Auf dieser Basis wird das HRP das Programm im Jahre 2011 finalisieren. Bereits im Dezember 2010 bestätigten alle Mitglieder des Board of Management, dass ihre Länder sich weiterhin am HRP beteiligen wollen.

Forschungsprojekt Felslabor Mont Terri

Die geologische Tiefenlagerung in der Schweiz konzentriert sich auf Gesteinschichten mit hohem Tongehalt. Das Forschungsprojekt im Felslabor Mont Terri [2] hat zum Ziel, die hydrogeologischen, geochemischen und felsmechanischen Eigenschaften des Opalinustons zu untersuchen. Dieses für die Tiefenlagerung wichtige Gestein liegt am Mont-Terri bei St. Ursanne vor und

ist über einen horizontalen Zugangstollen gut zugänglich. Das Felslabor mit seinem Stollensystem hat eine Gesteinsüberdeckung von rund 300 m und befindet sich unmittelbar neben dem Sicherheitsstollen des Autobahntunnels der Transjurane. Am seit 1996 laufenden Forschungsprojekt beteiligen sich heute 14 Organisationen aus 7 Ländern (Schweiz, Frankreich, Deutschland, Spanien, Belgien, Japan und USA). Das ENSI beteiligt sich seit 2003 mit eigenen Arbeiten, die vor allem von der Ingenieurgeologie der ETH Zürich durchgeführt werden, und an denen auch die Technische Universität Graz, die deutsche Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe BGR (Geophysik), die Firma Chevron (Felsmechanik) und die Swisstopo als Geoinformationszentrum des Bundes (Geodäsie) beteiligt sind.

- Kontinuierliche Messungen des Verformungsverhaltens des Opalinustons während des Vortriebs der Galerie zeigten wechselnd Dehnung (Extension) und Kompression. Extension wurde jeweils vor der Tunnelbrust der Galerie beobachtet, kompressives Verhalten dagegen hinter der Tunnelbrust. Während der damit verbundenen Spannungumlagerungen hatten stoffliche und tektonische Diskontinuitäten (Unstetigkeiten) einen starken Einfluss auf das Deformationsverhalten. Tektonische Störungszonen zeigten

dabei mehrheitlich kompressives Verhalten oder wirkten als mechanische Barrieren bei der Weiterleitung der extensiven Deformation. Scherzonen erwiesen sich als bevorzugte Orientierung für longitudinale (längsgerichtete) Verformungen. Nach Fertigstellung der Galerie wurden die Messungen weiter geführt, um das langfristige Verformungsverhalten des Gebirges zu verstehen. Die Auswertung dieser Messergebnisse ist derzeit im Gang.

- Die ausgeprägten Schichtung im Opalinuston beeinflusst das mechanische Gebirgsverhalten massgeblich (Anisotropie). Daher wurden im Labor an Probekörpern aus der tonigen Fazies umfangreiche felsmechanische Tests durchgeführt. Mit einaxialen und triaxialen Druckversuchen wurden erste Rissbildungen bei Differentialspannungen von rund 2,0 MPa beobachtet; sie sind eine Folge von Spannungskonzentrationen im Mikrobereich. 100 felsmechanische Spaltzugversuche an Bohrkernproben zeigten, dass bei einem Wassergehalt von 7,5–8,6 Gewichtsprozent die mittlere Zugfestigkeit parallel zur Schichtung bei 1,65 MPa +/- 12 % liegt. Trockene Proben zeigten eine deutlich höhere Zugfestigkeit; diese war zudem nicht abhängig vom Karbonatgehalt der Probe. Mittels Scherversuchen wurden ferner die mechanischen

Eigenschaften tektonischer Trennflächen untersucht, in Kombination mit hoch auflösenden Oberflächenscans sowie anhand von Dünnschliffen auch deren Bruchverhalten. Die tektonische Scherung führte zur Ausbildung von einigen Zentimeter mächtigen Scherbändern. Diese bestehen aus mehreren Trennflächen mit Rutschharnischen und wurden in den Laborversuchen erneut verschert. Die Bewegungen verteilten sich dabei auf der gesamten Breite des Scherbandes. Basierend auf zehn Versuchen wurde im Massstabsbereich der Prüfkörper für die Spitzen- und Rest-Scherfestigkeit ein ähnlicher Reibungswinkel von 20° und eine ähnliche Kohäsion von 0,2 MPa ermittelt. Ein Einfluss der Oberflächenmorphologie

(Rauigkeit) war nicht zu erkennen. Die Scherfestigkeit bestehender Trennflächen entspricht somit der Restscherfestigkeit. Steifigkeitskontrollierte Scherversuche an intakten Proben ergaben Restfestigkeiten in derselben Grössenordnung.

- Die Detailauswertung der geodätischen Vermessungsdaten im Experimentabschnitt der Galerie zeigte, dass die dortigen Verschiebungsbeiträge unterschiedlich sind und vom Grad der Zerklüftung abhängen. Ziel ist nun, mittels eines numerischen Modells das mechanische Verhalten des Gebirges grossräumig abzubilden.

Daneben beteiligt sich das ENSI weiterhin an zwei kleineren Experimenten. Das Cyclic-Deformation (CD-)

Experiment einerseits untersucht das zyklische Austrocknungsverhalten der Stollenwand in Abhängigkeit des Stollenklimas (Temperatur, Luftfeuchtigkeit), und mit dem Evaporation-Logging (FM-D-)Experiment evaluiert das ENSI andererseits zusammen mit der Swisstopo eine neue Methode der Durchlässigkeitsbestimmung in Bohrungen.

Die Gesteinseigenschaften sind für die Beurteilung der Sicherheit und die Abklärung der bautechnischen Machbarkeit eines geologischen Tiefenlagers massgebend. Dafür liefert das Mont Terri-Projekt dem ENSI wertvolle Daten. Zugleich erhält und fördert es die Fachkompetenz beim ENSI und seinen Experten.

Nationale Zusammenarbeit

Der wichtigste inländische Partner des ENSI beim Programm «Regulatorische Sicherheitsforschung» ist mit Abstand das Paul Scherrer Institut PSI. Insbesondere der PSI-Bereich Nukleare Energie und Sicherheit NES 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 der Swisstopo zusammen, die das internationale Forschungsprojekt Mont Terri koordiniert.

Internationale Zusammenarbeit

Bei der Forschung zur nuklearen Sicherheit ist von den internationalen Organisationen die Kernenergieagentur NEA der OECD der wichtigste Partner des ENSI. 29 der 34 OECD-Staaten sind Mitglied der NEA. Zusammen verfügen sie über 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 OPDE, OECD ICDE, OECD COMP-SIS, OECD FIRE, MSWI, OECD MCCI, Mont Terri Project. Darüber hinaus kooperieren folgende vom Bund geförderte Projekte mit internationalen Partnern: KORA, Genesischer Strahlenschutz.

Referenzen

[1] OECD/NEA Halden Reactor Project (<http://www.oecd-nea.org/jointproj/halden.html>)

[2] Mont Terri Projekt (<http://www.mont-terri.ch>)

BFE Forschungsprogramm Regulatorische Sicherheitsforschung

Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI
Industriestrasse 19
CH-5200 Brugg

Programmleiter BFE (Autor):

Dr. Reiner Mailänder, Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI (reiner.mailaender@ensi.ch)

Bereichsleiter BFE:

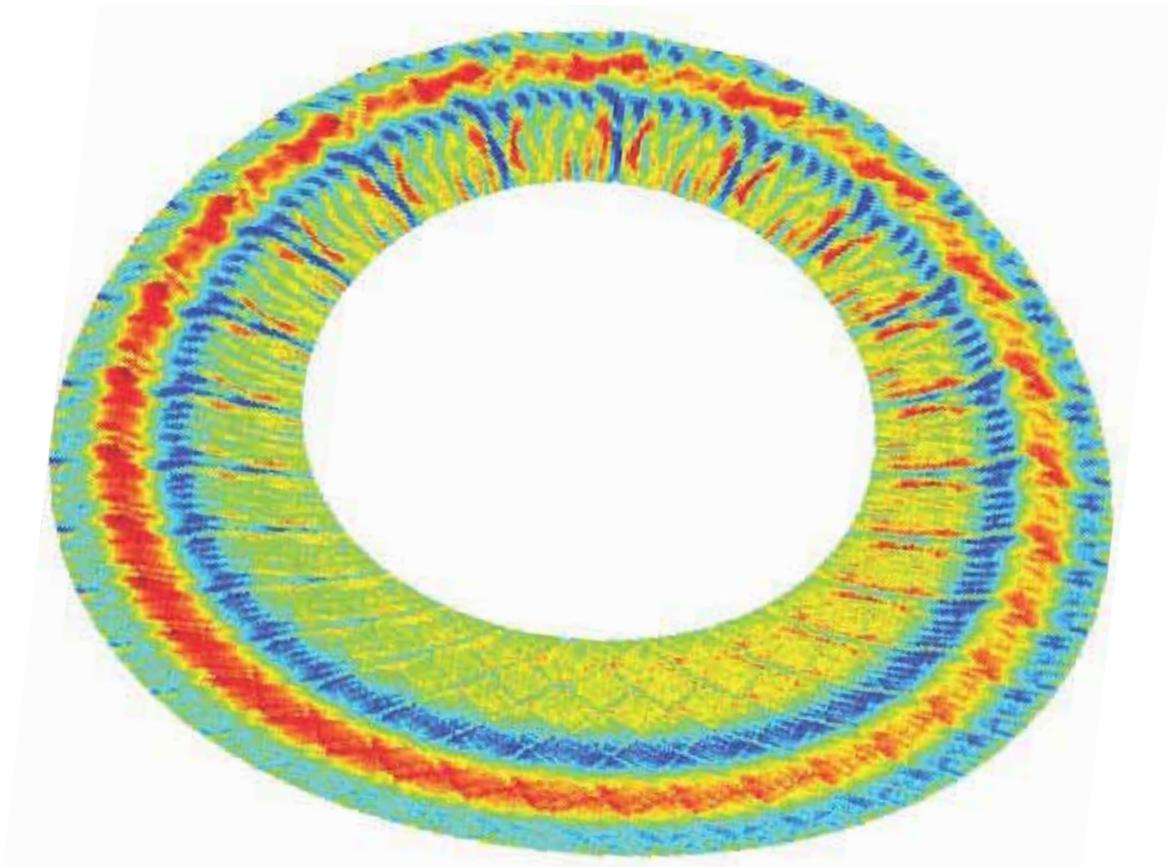
Dr. Christophe de Reyff (Christophe.deReyff@bfe.admin.ch)

Jahresberichte zu allen Projekten des Forschungsprogramms inklusive Publikationen und Details zur nationalen und internationalen Zusammenarbeit finden sich im Erfahrungs- und Forschungsbericht 2010 des ENSI. Er kann unter www.ensi.ch heruntergeladen oder dort als Druckversion bestellt werden.

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Fusion thermonucléaire contrôlée

C. Vaucher (Coordinateur), M. Q. Tran, L. Villard et L. Marot



Vue instantanée de la turbulence dans un tokamak, obtenue par la simulation numérique

Introduction

Il n'existe pas à proprement parler de programme fusion thermonucléaire en Suisse. Depuis 1978, 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. La Suisse participe 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 ?

Classification de l'AIE : 4.2 Nuclear Fusion

Classification Suisse : 3.2.2 Fusionstechnologie

Centres de gravité du programme

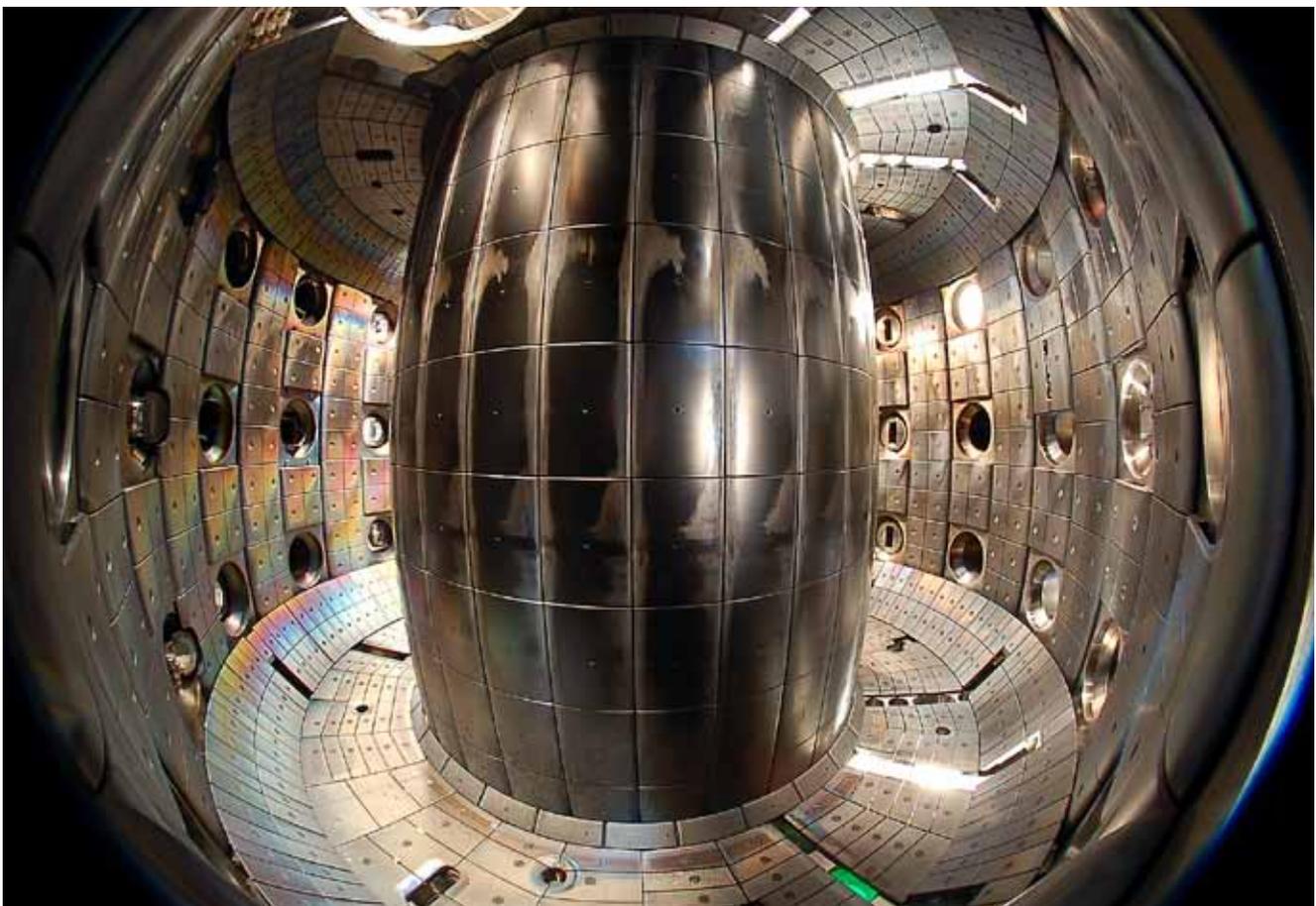
2010 fut une année importante pour le projet ITER. Le Conseil d'ITER, qui rassemble les représentants des sept partenaires du projet (Union Européenne + Suisse, Chine, Corée, Inde, Japon, Russie, USA) a approuvé ce qui est appelé « ITER Baseline ». L'ITER Baseline comprend les objectifs du projet, sa planification et le budget. Le premier plasma est prévu en 2019. L'opération scientifique est prévue avec des phases qui correspondent à l'installation échelonnée des composants de la machine, une phase avec un plasma d'hydrogène, puis de deutérium-deutérium et finalement de deutérium-tritium. Cette dernière phase sera celle où les réactions de fusion auront lieu pour produire 500 MW thermique pendant 500 s. Elle est prévue pour 2026.

La direction du projet ITER a également été remaniée. Un nouveau directeur général (DG) a été nommé en la personne du Prof. Osamu Motojima, qui fut l'ancien directeur du grand projet stellarator japonais Large Helical Device. Le Deputy Director General pour

la construction d'ITER est M. Remmelt Haange, un des responsables du projet européen Wendelstein Stellarator (W7-X) à l'IPP (Institut für Plasmaphysik) de Greifswald (Allemagne).

Le Conseil d'ITER a demandé au nouveau DG un important effort pour diminuer les coûts du projet à travers un réexamen des options techniques ainsi que dans le domaine de la gestion du projet.

L'Agence domestique européenne Fusion for Energy (F4E) a également été restructurée en 2010. Un nouveau directeur, M. Frank Briscoe, a été nommé. L'organisation de F4E a été remodelée et l'organigramme final a été publié au début de 2011. Le budget de F4E pour la phase de construction d'ITER a été augmenté à 6,6 milliards d'Euros. Pour les deux dernières années (2012 et 2013) du 7^e Programme Cadre, la somme prévue est de 1,4 milliards d'€. Le financement de ce supplément est encore en discussion au niveau européen (Commission, Conseil et Parlement).



Points forts 2010

>> Liste des projets

Le CRPP : l'Association Suisse/EURATOM et ITER

En 2010, le Centre de Recherche en Physique des Plasmas (CRPP) de l'EPFL a continué à participer aux activités scientifiques et technologiques du programme EURATOM. Ses recherches en matière de fusion thermonucléaire contrôlée sont effectuées sur deux sites : à l'EPFL, les activités portent sur la physique du confinement magnétique, en particulier 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 hyper-fréquences ; au PSI, les activités sont consacrées à la supraconductivité et aux matériaux.

Le TCV (Tokamak à configuration variable) est la plus grande installation expérimentale exploitée 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 2010 a été particulièrement intense, interrompue seulement pour de brèves périodes pour des interventions techniques.

Parmi les nombreux résultats obtenus sur TCV, mentionnons en particulier :

- La flexibilité du système de contrôle de la forme du plasma a permis d'obtenir et de contrôler, pour la première fois, des configurations dites « snowflake » et d'étudier en détail ses propriétés, en présence de chauffage micro-ondes et en régime de confinement amélioré (figure 1). Des comparaisons avec des configurations traditionnelles « single null » ont été faites et démontrent le potentiel des configurations « snowflakes » pour résoudre les problèmes de déposition de puissance et de relaxation du bord du plasma.
- Le système micro-ondes de haute puissance de TCV a aussi été utilisé pour la génération de courant dans le plasma. Des expériences de modulation de puissance ont permis d'étudier la relation entre le profil de courant et le transport turbulent de chaleur. Des simulations numériques ont été faites et confirment avec une bonne robustesse les résultats expérimentaux.
- Les phénomènes de relaxation cyclique du bord du plasma posent des problèmes de première importance pour l'opération d'un réacteur de fusion, car ils peuvent conduire à des densités de puissance instantanée atteignant la paroi qui risqueraient d'endommager celle-ci. Sur le TCV, nous avons pu établir l'influence cruciale de la forme du plasma sur le comportement de ces relaxations. En particulier, un changement de la forme du plasma d'une triangularité positive à négative conduit à des relaxations de plus faible amplitude, ce qui est favorable (figure 2).

- Un des phénomènes étonnants observés sur le TCV est la rotation du plasma en l'absence de couple de forces appliqué. Plus surprenant encore, briser la symétrie haut-bas

de la forme du plasma conduit à des profils de vitesse de rotation différents (figure 3). Les mesures sont en accord avec les prédictions théoriques basées sur l'étude de la turbulence.

- Des mesures de fluctuations de température électronique au cœur du plasma ont été prises dans le TCV. Elles confirment l'effet de la forme du plasma sur la qualité du transport : passer d'une triangularité positive à négative réduit l'amplitude et la longueur de corrélation de la turbulence et conduit à un transport de chaleur plus faible, et donc à un confinement amélioré.
- De multiples applications des capacités améliorées du nouveau système de contrôle digital ont été faites, par exemple le contrôle de la période de relaxation interne et de l'amplitude de certains modes saturés dans le plasma.
- Le tokamak TCV est le seul au monde qui a pu obtenir un plasma stable dans lequel le courant plasma est entièrement généré de façon interne par le phénomène dit de « bootstrap ». Il a même été possible de générer plus de courant « bootstrap » que nécessaire et ainsi de recharger le transformateur central.

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 (magnétohydrodynamique) des tokamaks et stellarators, l'application d'ondes radiofréquence et la prospection et l'optimisation de nouvelles configurations de confinement magnétique. Pour l'étude de la turbulence, les codes de calcul numérique développés au CRPP ont permis de résoudre une controverse concernant l'effet de la taille du plasma sur le transport de chaleur. Pour la première fois, les incertitudes liées au caractère chaotique de la turbulence ont pu être quantifiées de façon précise. Ces codes sont continuellement améliorés pour leur utilisation sur les superordinateurs à haute performance comportant jusqu'à plusieurs dizaines de milliers de processeurs. Dans le domaine de la MHD, des études ont montré un phénomène

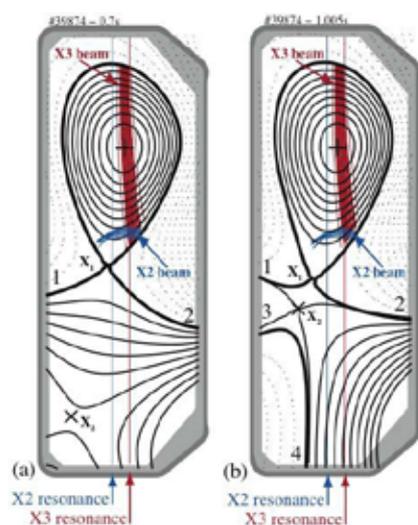


Figure 1 : une configuration « traditionnelle » (à gauche), comparée à une configuration « snowflake » (à droite), dans le tokamak TCV. La position des faisceaux micro-ondes est indiquée (X2 et X3).

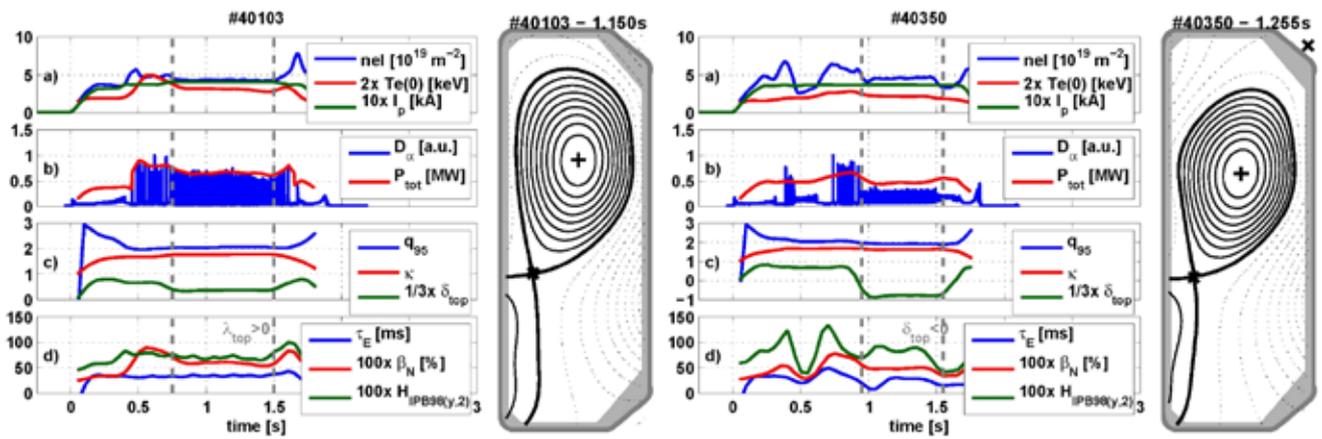


Figure 2 : un changement de la forme du plasma d'une triangularité positive (à gauche) à une triangularité négative (à droite) conduit à une réduction de l'amplitude des relaxations au bord du plasma (D_α).

de brisure spontanée de symétrie de l'équilibre : dans certaines conditions, le cœur du plasma exhibe une configuration hélicoïdale alors que l'extérieur du plasma conserve sa symétrie axiale (figure 4).

Pour la modélisation du chauffage radiofréquence, la propagation et l'absorption des ondes, leur effet sur la distribution en vitesse des particules et sur l'équilibre ont été calculés de façon consistante, en couplant trois codes de calcul numérique. Un autre résultat important a porté sur l'effet du chauffage radiofréquence sur les phénomènes de relaxation du cœur du tokamak, et une nouvelle série d'expériences dédiées sur le tokamak JET a été conduite : les résultats ont permis de valider la nouvelle théorie au détriment des théories précédentes.

Le programme de recherches conduit sur la machine TORPEX est motivé 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. Parmi les résultats obtenus en 2010, mentionnons l'étude de la génération et de la propagation de filaments de plasmas (ou « blobs »), la quantification de l'effet de la turbulence et des structures observées sur le transport de particules et de chaleur grâce à des diagnostics nouvellement développés, et de la dynamique des ions suprathérmiqes (figure 5). Des développements spécifiques ont été entrepris pour l'imagerie de l'évolution du plasma de façon non invasive et avec une résolution spatio-temporelle améliorée. Le niveau de dé-

tail et la gamme étendue de conditions obtenues lors de telles investigations fournissent un banc d'essai exceptionnel pour des évaluations quantitatives et contribuent ainsi à la validation de différents aspects de la théorie et des codes de calcul numérique qui sont utilisés pour prédire le comportement expérimental.

Le groupe Fusion Technology Materials, au PSI, a pour objectif principal l'étude des effets des dégâts provoqués par l'irradiation des matériaux structuraux entourant les futurs réacteurs de fusion. Dans ces machines, les neutrons de fusion à haute énergie produiront des cascades de déplacements et des transmutations nucléaires. Les activités de Recherche et Développement (R&D) se sont portées sur

- Le développement de matériaux métalliques avancés pour la première paroi et les composantes du manteau de surgénération des futurs réacteurs de fusion, en particulier des aciers à activation réduite et des matériaux à base de tungstène.
- La modélisation numérique des dommages dus à la radiation.
- Le développement de la technologie de petits spécimens destinée à la future installation IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility).
- La qualification des matériaux métalliques pour ITER.

Les expériences d'irradiation ont été effectuées avec des protons et des neutrons sur le Swiss Spallation Neu-

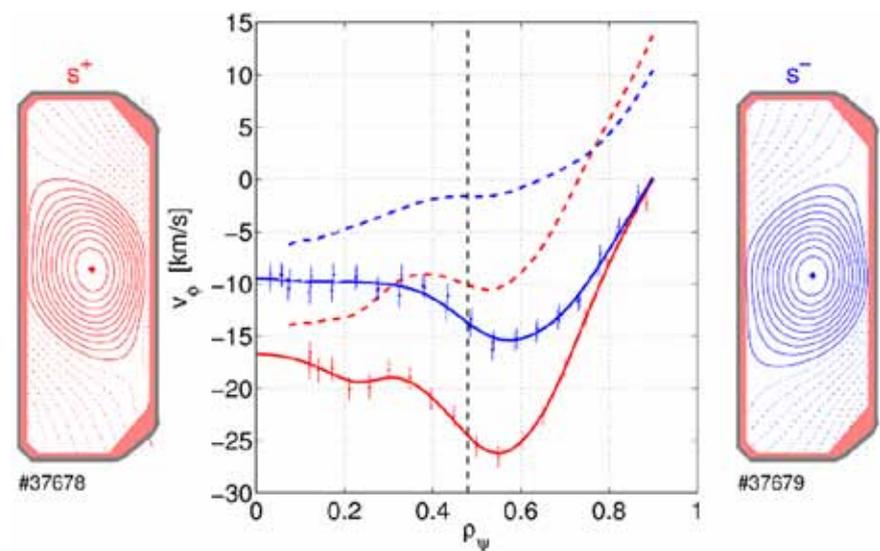


Figure 3 : un changement de la forme du plasma (ρ_ψ : coordonnée réduite) dans des configurations asymétriques conduit à des profils de vitesse de rotation différents : en rouge, forme de gauche ; en bleu, forme de droite.

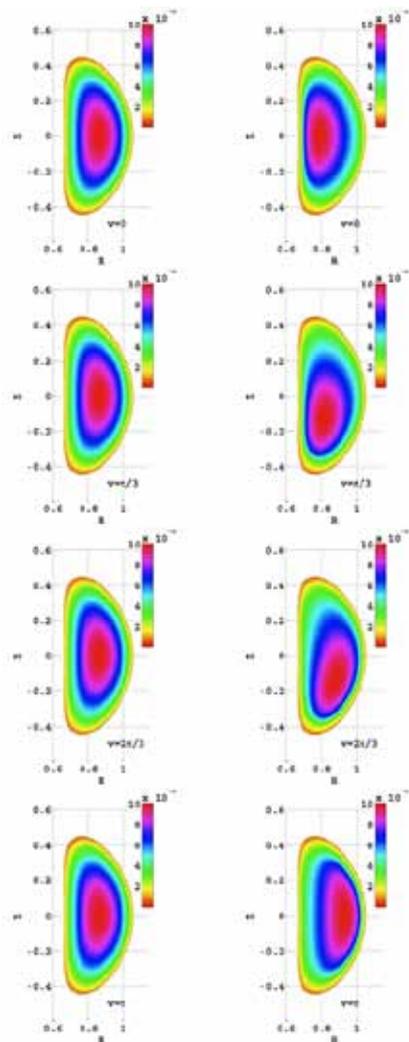


Figure 4 : bifurcation de l'équilibre MHD pour une configuration compatible avec le tokamak TCV : à gauche, l'équilibre conserve la symétrie axiale ; à droite, le cœur du plasma exhibe une structure hélicoïdale.

tron Source (SINQ) au PSI, avec des ions sur l'installation Joint Accelerators for Nanoscience and Nuclear Simulations (JANNuS) à Orsay-Saclay en France, et avec des neutrons de fission dans des réacteurs en Belgique, en Hongrie et aux Pays-Bas. Le volet modélisation s'est notamment porté sur des simulations numériques de dynamique moléculaire pour l'étude de la plasticité et de la fracture, le durcissement dû aux défauts induits par les radiations, la mobilité des dislocations en présence d'obstacles nanométriques et le comportement de bulles d'hélium (figure 6).

Le groupe Superconductivity, au PSI, a été actif principalement pour le test des supraconducteurs pour ITER sur l'installation SULTAN, pour la préparation d'une nouvelle installation de

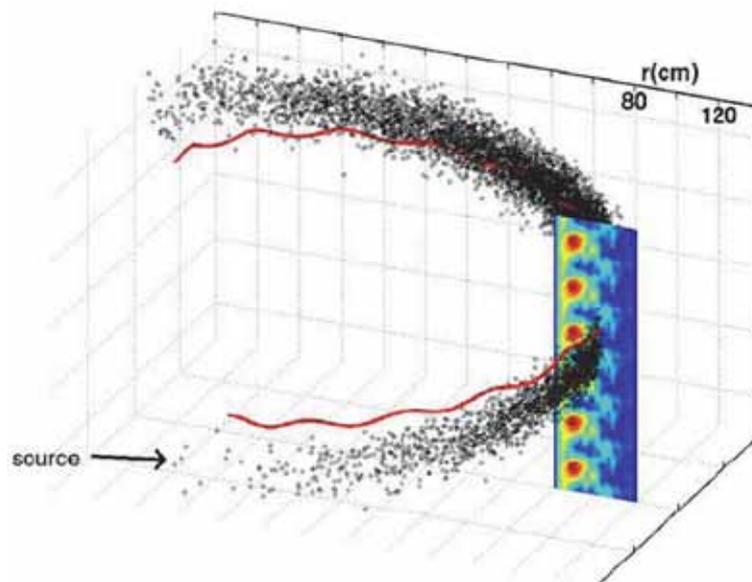


Figure 5 : simulation d'une population d'ions rapides injectés dans TORPEX et montrant leur dispersion due à la turbulence. Les marqueurs noirs représentent leur position peu de temps après l'injection. La courbe rouge montre une des trajectoires.

test (EDIPO) impliquant des activités de R&D portant sur les supraconducteurs à haute température. L'opération de SULTAN a dû être interrompue pendant trois mois à cause d'un court-circuit dans le moteur du compresseur. Néanmoins, huit échantillons, délivrés par différents partenaires d'ITER, ont pu être testés. Cette interruption a eu comme conséquence bénéfique une intensification des travaux d'assemblage pour EDIPO : installation et test de la chambre à vide, des pompes et des écrans thermiques, assemblage des amenées de courant supraconducteurs à haute température (HTS), du transformateur et du porte-échantillon. Les amenées de courant HTS ont été testées à différentes valeurs du courant, jusqu'à 18 kA, et du débit de l'hélium à 75 K. Les résultats montrent que la marge de température est suffisante pour l'opération subséquente de l'installation EDIPO quand celle-ci sera en fonction.

Une part importante des travaux effectués au CRPP en 2010 est étroitement liée à ITER :

- Le développement de sources hyperfréquences (gyrotrons) pour ITER. La remise à neuf d'un premier prototype de gyrotron à 170 GHz / 2 MW, incluant une re-conception complète de certains de ses composants, a été poursuivie. Des tests entrepris sur une maquette ont été accomplis avec succès.

- L'installation d'un banc d'essai pour le test des gyrotrons d'ITER s'est poursuivie, avec des tests du générateur de haute puissance et haute tension et des améliorations de son installation.
- Le design du lanceur de micro-ondes d'ITER a reçu une évaluation très positive par un panel d'experts international, ce qui a abouti à l'acceptation formelle du système conçu par le CRPP.
- L'installation SULTAN a été utilisée pour le développement et le test des supraconducteurs d'ITER. L'installation SULTAN est unique au monde pour qualifier les supraconducteurs qui seront utilisés pour ITER. En 2010, huit échantillons destinés aux bobines de champ toroïdal et poloidal et du solénoïde central ont été testés pour leurs propriétés de courant critique et de pertes
- Le développement des diagnostics magnétiques sur ITER s'est poursuivi en 2010, avec le développement de prototypes et la calibration de senseurs destinés à être placés en dehors de la chambre à vide.
- Des activités de simulations numériques complètes du tokamak ITER ont été poursuivies, servant à la modélisation de scénarios expérimentaux et leur optimisation.

Le CRPP a activement participé à l'exploitation du tokamak Européen JET.

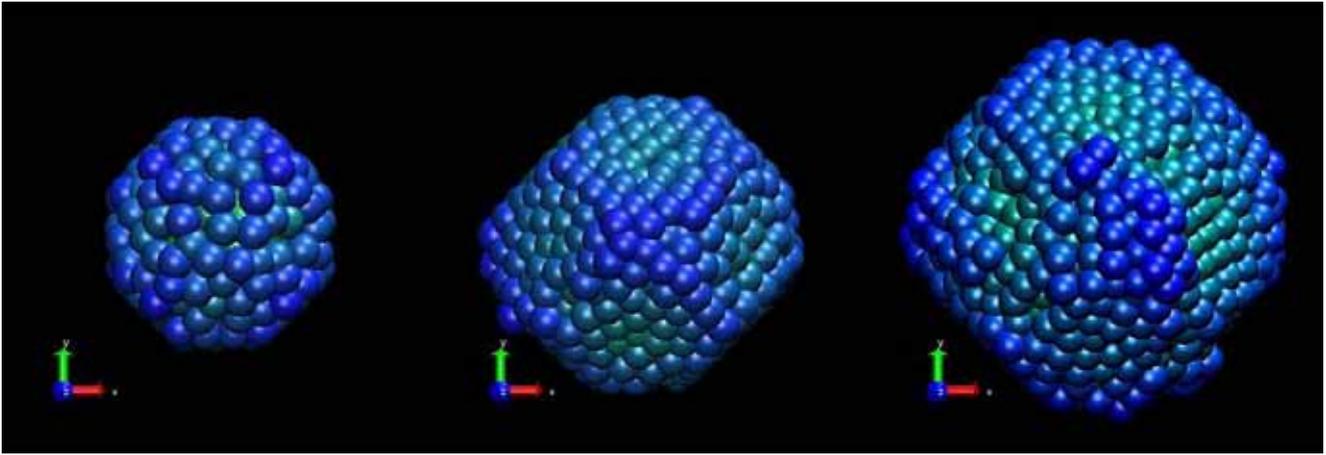


Figure 6 : simulation de dynamique moléculaire d'une bulle nanométrique d'hélium dans un réseau de fer contenant 1 (à gauche), 3 (au milieu) et 5 (à droite) atomes d'hélium par site.

De nouvelles expériences de contrôle des phénomènes de relaxation interne, appelés « dents-de-scie » et susceptibles de déclencher d'autres instabilités dégradant la qualité du confinement, ont été accomplies. Les ions rapides sont en effet susceptibles de créer des conditions dans lesquelles les « dents-de-scie » sont géantes, et il est important de pouvoir les éviter. Ceci a été fait avec succès par le CRPP sur JET en générant du courant à certains endroits bien spécifiques du plasma grâce à l'injection d'ondes radiofréquence. Ces résultats ouvrent la perspective de pouvoir contrôler ces phénomènes sur ITER. D'autres modes peuvent être déstabilisés par les ions rapides dans un réacteur de fusion ; c'est pourquoi la mesure de leur fréquence et de leur amortissement est essentielle. Grâce aux travaux du CRPP, ces modes peuvent être détectés de façon routinière sur JET et leur longueur d'onde automatiquement identifiée, ce qui a permis l'accumulation d'une riche base de données de résultats, y compris aux longueurs d'ondes potentiellement les plus dangereuses pour ITER.

Toutes ces activités de recherches ont abouti en 2010 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 40 doctorants sur un effectif total d'environ 160 personnes. Enfin, en 2010, 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.

Approche élargie

En 2010, la Suisse a annoncé un redimensionnement de ses activités dans le cadre de l'Approche Élargie (« Broader Approach »). Un « Agreement of Cooperation » a été signé avec F4E dans le domaine de l'étude mécanique des mini-échantillons, un des points inclus dans le cadre de l'Approche élargie.

Le CRPP a poursuivi les actions confiées par le SER/SBF dans les domaines suivants :

- Étude d'ingénierie pour des alimentations haute tension pour gyrotron (suivi d'un contrat industriel existant)

- La conception d'une cellule de test (« creep fatigue test cell ») pour IFMIF (International Fusion Material Irradiation Facility),
- La R&D en vue de la caractérisation des matériaux en utilisant des mini échantillons ou éprouvettes dans le cadre de DEMO.

En plus, le CRPP assure la tâche de promotion industrielle dans le domaine de la fusion et d'ITER. En particulier grâce à un financement spécial du Seco, une présence importante des industries suisses a été assurée lors du Symposium on Fusion Technology à Porto en 2010.



Figure 7 : maquette d'un miroir pour ITER : film de rhodium (5 μ m) sur un substrat en acier inoxydable.

Collaboration nationale

Etudes concernant l'interaction plasma - paroi dans ITER (PWIS), Université de Bâle [2, 8] :

Pour le développement des miroirs qui feront face au plasma dans ITER, plusieurs dépôts de couches minces ont été entrepris. Ces miroirs ont été ensuite exposés dans le tokamak TEXTOR à Jülich, en Allemagne, et ont démontré des performances acceptables dans des conditions d'érosion relativement douces. Ces conditions correspondent à plus de 350 décharges d'ITER pour des miroirs placés aux ports équatoriaux et une dizaine de décharges pour des miroirs aux ports supérieurs. Dans une autre expérience où les conditions correspondaient à respectivement 850 et 25 décharges, les résultats mon-

trèrent que le miroir recouvert d'une couche de molybdène a conservé l'essentiel de ses propriétés optiques, alors que celui recouvert d'une couche de rhodium subissait une perte de réflectivité atteignant 25 % dans le domaine ultraviolet (figure 7).

Dans un autre projet, la faisabilité de la production de dépôt en couches minces des miroirs a été étudiée. Trois types de maquettes ont été conçues et fabriquées : un film de rhodium sur un substrat en acier inoxydable, du molybdène sur un substrat d'alliage molybdène - titane - zirconium, et un film de molybdène sur un substrat en acier inoxydable.

Collaboration internationale

Euratom et la Suisse

L'accord de coopération entre la Confédération Suisse et Euratom dans le domaine de la fusion, conclu le 14 septembre 1978, est un accord-cadre de durée illimitée. Trois accords généraux d'exécution fixent les modalités d'exécution avec Euratom : l'Accord sur la Mobilité qui encourage et facilite les échanges de personnel dans le cadre de la fusion, le Contrat d'Association et l'European Fusion Development Agreement (EFDA). Ces deux derniers accords règlent les modalités de collaboration entre les laboratoires suisses associés au programme Fusion d'une part, et Euratom et les autres laboratoires européens d'autre part. De plus EFDA, à travers des « Implementing Agreements », permet à la Suisse de participer à l'exploitation de grandes infrastructures communes. En 2009 deux Implementing Agreements sont en force : le JET Implementing Agreement qui règle l'utilisation du tokamak européen JET et le High Performance Computer Implementing Agreement (HPC-IA). Le HPC-IA a été mis en œuvre en 2009 et permet aux laboratoires européens de fusion d'exploiter un ordinateur européen extrêmement performant dédié seulement à la R&D en fusion. La Suisse a signé le HPC-IA en 2010.

Coopération européenne dans le cadre d'Euratom

L'année 2010 a été consacrée à l'installation des upgrades du tokamak européen JET. L'opération recommencera en 2011. Le financement des années 2012 et 2013 du programme Fusion n'est pas encore décidé. Il le sera en 2011 et devra couvrir tous les éléments du programme : programme des Associations, programme de l'European Fusion Development Agreement (EFDA). Le programme de l'EFDA inclut l'exploitation de JET et des

activités en vue des réacteurs de démonstration DEMO. Le budget européen pour les Associations est en baisse continue depuis 2008. 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. Il en résulte que la contribution européenne aux activités des laboratoires nationaux est elle aussi en baisse d'une manière significative. Par exemple, pour la Suisse, la contribution européenne a passé à 65 % de sa valeur de 2008.

Collaboration dans le cadre de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) [9]

Le programme de l'AIE en fusion nucléaire est étroitement coordonné avec les programmes de recherche nationaux et avec d'autres programmes internationaux, y compris le programme EURATOM. Les Implementing Agreements (IA) de l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE) permettent de réaliser des activités de R&D en exploitant efficacement le savoir combiné d'experts et en évitant des duplications inutiles. Neuf IA sont actuellement en cours d'exécution. Ils couvrent des thèmes divers liés à la physique des plasmas, aux matériaux et aux aspects socio-économiques de la fusion. EURATOM participe à tous ces IA, et les chercheurs suisses sont directement impliqués dans deux de ces IA, l'un concernant la recherche sur les matériaux (CRPP), l'autre étudiant les interactions plasma-paroi du réacteur (Université de Bâle).

A travers l'Euratom, le CRPP poursuit des collaborations avec les laboratoires de fusion du monde entier.

Références

[1] Site internet CRPP : <http://crppwww.epfl.ch>

[2] Site internet Universität Basel: <http://nanolino.unibas.ch/pages/research.htm>

[3] Site internet Joint Undertaking F4E : http://fusionforenergy.europa.eu/index_en.htm, Informations sur le Joint Undertaking « Fusion For Energy » et ses activités, incluant des appels d'offres ou des offres d'emplois

[4] Site internet ITER-industry : <http://www.iter-industry.ch>
Informations sur les offres d'emplois et sur les appels d'offres en relation avec le projet ITER ou sur la recherche européen dans le domaine de la fusion

[5] Site internet EFDA : <http://www.efda.org>, Informations sur la recherche européenne dans le domaine de la fusion

[6] Site internet ITER : <http://www.iter.org>, Informations sur le projet ITER

[7] Site internet JET : <http://www.jet.efda.org>, Informations sur le Joint European Torus JET

[8] L. Marot, E. Meyer, Universität Basel : Studies related to plasma-wall interaction in ITER (RAIJB) <http://nanolino.unibas.ch/pages/research/fusion.htm>

[9] Site internet des Accords d'exécution en fusion nucléaire de l'AIE : <http://www.iea.org/Textbase/techno/technologies/fusion.asp>

Programme de recherche de l'OFEN Fusion thermonucléaire contrôlée

Rapport de synthèse 2010

Mandant :

Office fédéral de l'énergie OFEN
CH-3003 Berne

Chef de programme (auteur) :

C. Vaucher (Coordinateur), Secrétariat d'Etat à l'éducation et à la recherche (claude.vaucher@sbf.admin.ch)
Dr. M. Q. Tran et Dr. L. Villard (EPFL), Dr. L. Marot (Uni Bâle)

Responsable de domaine de l'OFEN :

Dr. Christophe de Reyff (Christophe.deReyff@bfe.admin.ch)

<http://crppwww.epfl.ch/>

Les auteurs de ce rapport portent seuls la responsabilité de son contenu et de ses conclusions.

Radioaktive Abfälle

Simone Brander



Schmelzen von radioaktiven Abfällen im CARLA-Schmelzbetrieb (Quelle: Siempelkamp Nukleartechnik)

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), der Kommission für die Sicherheit von Kernanlagen (KSA) sowie einer Fachhochschule in den Jahren 2006/07 erarbeitet und mit der Arbeitsgruppe des Bundes für die nukleare Entsorgung (Agneb) konsolidiert. Eine Ad-hoc-Untergruppe der Agneb entwarf im April 2008 einen Zeitplan für die anstehenden Forschungsprojekte und diskutierte die Abhängigkeiten der einzelnen Forschungsprojekte untereinander. An der Agneb-Sitzung

vom 12. September 2008 wurde das Forschungsprogramm *Radioaktive Abfälle* verabschiedet. Mit diesem ist der Forschungsbedarf im Bereich Entsorgung radioaktiver Abfälle des Bundes bis ca. 2013 abgedeckt. Das BFE betreut die geisteswissenschaftlichen 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 und/oder Hochschulen sowie weitere Expertinnen und Experten. Im Jahr 2010 bildeten die Themen *Abfallbewirtschaftung im Vergleich, Lagerauslegung, Pilotlager: Auslegung und Inventar, Monitoringkonzept und -einrichtungen* (ENSI) sowie *Werthaltungen und Meinungen* (BFE) die Schwerpunkte des Forschungsprogramms.

IEA-Klassifikation: 4.1.Nuclear

Schweizer Klassifikation: 3.1.2 Radioaktive Abfälle

Programmschwerpunkte

Das Forschungsprogramm Radioaktive Abfälle umfasst 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, materialwissenschaftliche Fragen, Sicherheitskriterien für lange Zeiträume, Folgen aus Ungewissheiten über Parameter;
- *Ethik/Recht*: Umweltpolitische Fragen, Schutzziele, Gesellschaftliche Veränderung und Entsorgung.

Ausblick 2011

Im Jahr 2011 wird das BFE das Projekt *Gesellschaftliche Veränderung und Entsorgung* aus dem Schwerpunkt *Ethik/Recht* starten.

Die weitere Bearbeitung des Projekts *Abfallbewirtschaftung im Vergleich* umfasst im ersten Halbjahr 2011 das Arbeitspaket *Risiko-orientierte Abfallbewirtschaftung*. Dabei werden die bezüglich der geologischen Tiefenlagerung sicherheitsrelevanten Abfalleigenschaften identifiziert und beurteilt. Wo angezeigt, werden Massnahmen zur Minderung des Sicherheitsrisikos entwickelt. Gemäss aktuellem Terminplan wird das Projekt mit einer Gesamtbeurteilung und der Erarbeitung von Handlungsempfehlungen im zweiten Halbjahr 2011 abgeschlossen.

Im Jahr 2011 werden bei den Projekten *Lagerauslegung, Pilotlager: Auslegung und Inventar, Monitoringkonzept und -einrichtungen* die in den drei Projektplänen aufgezeigten Arbeitspakete

gestartet. Zu den geplanten Arbeitssitzungen und Kolloquien sollen nationale wie internationale Expertinnen und Experten beigezogen werden, um ein möglichst umfassendes Bild von Fachmeinungen zu den aufgeworfenen Fragen einzuholen. Die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete werden ausgewertet und dokumentiert.

Highlights 2010

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. Mit zunehmender Dauer wird die Weitergabe dieser Informationen aufgrund unterschiedlichster Veränderungen immer schwieriger werden. Der erste Teil des Projekts wurde im Sommer 2008 mit dem Ziel gestartet, einen Überblick über den heutigen Stand der Kenntnisse bezüglich des möglichen Vorgehens zur langfristigen Weitergabe von Informationen sowie über den internationalen Stand der Vorhaben und Anforderungen an die Markierung von Tiefenlagern [M. Buser, «Literaturstudie zum Stand der Markierung von geologischen Tiefenlagern», BFE 2010] zu erlangen. Am 2. Juli 2010 wurde die Literaturübersicht zum Stand der Markierung von geologischen Tiefenlagern mit einer Medienmitteilung veröffentlicht. Die Studie kommt zum Schluss, dass die wichtigsten Fragen zum Wissenserhalt frühzeitig erkannt wurden. Was konkret getan werden soll, um ein Tiefenlager zu markieren, erfordert jedoch noch eine gesellschaftliche Diskussion und weitere Forschungsarbeiten. Die Studie soll eine Grundlage zu dieser Diskussion liefern, wie die Schweiz - und auch andere Länder -

die Frage der Markierung von Tiefenlagern handhaben soll. Aus diesem Grunde sollen die Erkenntnisse der Studie in die internationale Diskussion einfließen. Die Schweiz wird sich an einem Projekt der Nuklearenergie-Agentur (NEA) – ein spezialisiertes Organ der Organisation für europäische und wirtschaftliche Zusammenarbeit (OECD) – beteiligen, welches sich mit Fragen rund um die Markierung befasst wird. Das BFE hat deshalb im November 2010 an einer entsprechenden Vorbereitungssitzung der OECD in Paris teilgenommen.

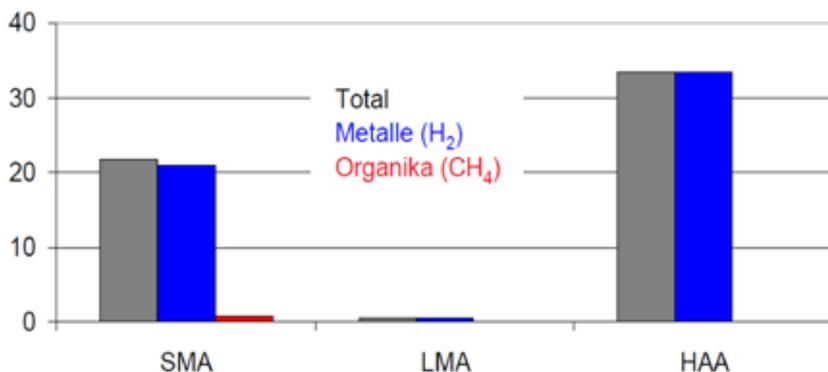
Werthaltungen und Meinungen

Im Frühling 2010 wurde das Forschungsprojekt *Werthaltungen und Meinungen in der Entsorgung radioaktiver Abfälle* gestartet. Das Forschungsprojekt dient dazu, neue und aktuelle Informationen über die Werte- und Meinungslandschaft bezüglich der Entsorgungsthematik in der Schweiz zu gewinnen. Das Zusammenwirken von Werthaltungen und Meinungen wurde bisher nicht eingehend untersucht. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts sollen es dem BFE ermöglichen, die Kommunikations- und Informationsbedürfnisse der betroffenen Bevölkerung im Sachplanverfahren besser abzudecken. Zum Forschungsprojekt wurde eine Begleitgruppe unter der Leitung des BFE eingesetzt, die sich im Jahr 2010 zu drei Sitzungen getroffen hat. In der Begleitgruppe sind neben Professoren

aus den Gebieten Sozialpsychologie und Publizistikwissenschaft auch vom Sachplanverfahren betroffene Gemeinden und Kantone sowie ein Startmoderator vertreten. In einem ersten Teilprojekt wurden vorhandene Wertemodelle gegeneinander abgewogen und hinsichtlich der Tauglichkeit für den Themenbereich Standortsuche für geologische Tiefenlager überprüft. Anschliessend wurde mit einer Literaturlauswertung nach Verknüpfungen zwischen bereits vorhandenen Daten und den gewählten Wertemodellen gesucht. Dabei wurde überprüft, welche Werte im Standortuchprozess effektiv angesprochen werden. Mit einer Erhebung anhand eines Fragebogens wurden die identifizierten Wertetypen sowie die Meinung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle in- und ausserhalb der provisorischen Standortregionen erhoben. Diese Erhebung erlaubte die gezielte Auswahl von Interviewpartnerinnen und Interviewpartner aus dem gesamten Wertespektrum. Die Interviewten sollen die für sie wichtigen Werte einbringen und deren Verknüpfung zum Thema radioaktive Abfälle konkretisieren können. Weiter soll ausgelotet werden, welche Bedeutung Werte in der Meinungsbildung für die interviewten Personen haben. Das Forschungsprojekt wird voraussichtlich im Frühling 2011 abgeschlossen.

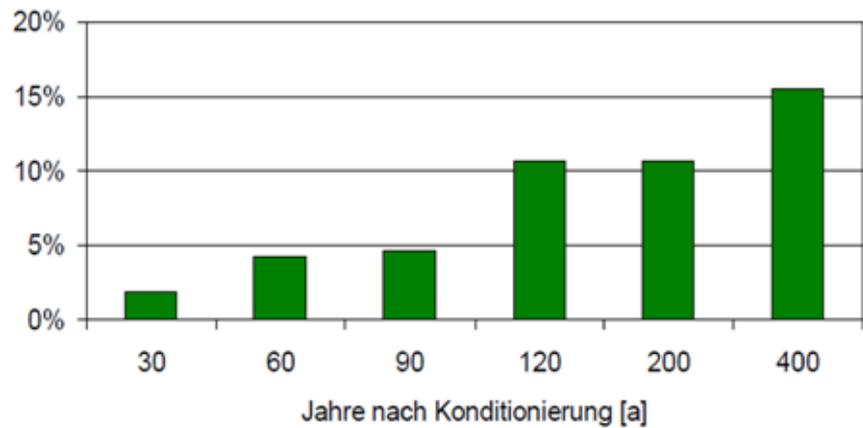
Abfallbewirtschaftung im Vergleich

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 werden 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 nichtradioaktiven Abfälle. Sie betreffen unter anderem die Abfallminimierung, den Umgang mit Organika haltigen radioaktiven Abfällen und die Verbringung metallischer Werkstoffe in geologische Tiefenlager. Die Zielsetzung für



Figur 1: Herkunft der produzierten Gesamtgasmenge im Lager SMA (schwach und mittelaktive Abfälle), LMA (langlebige mittelaktive Abfälle) bzw. HAA (hochaktive Abfälle). Beiträge zur Gasmenge aus der Korrosion von Metallen (Bildung von Wasserstoff H₂) und dem Abbau organischer Substanzen (Bildung von Methan CH₄) in Millionen m³ (STP = Standardbedingungen bezüglich Temperatur und Druck).

das Projekt *Abfallbewirtschaftung im Vergleich* ist eine systematische Analyse der heutigen Bewirtschaftungspraxis für radioaktive und nichtradioaktive Abfälle. Es wird geprüft, ob relevante Regelungen und Prinzipien des Umweltschutzgesetzes in der Gesetzgebung zur Bewirtschaftung radioaktiver Abfälle nicht oder nur ungenügend berücksichtigt werden. Die Studie soll aufzeigen, wo bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle diesbezüglich Handlungsbedarf besteht und welche Massnahmen angezeigt sind. In Bereichen, wo kein Handlungsbedarf besteht, soll die Studie dafür überzeugende Begründungen liefern. Im Berichtsjahr wurden die vorgesehenen Arbeiten bezüglich Vermeidungspotenzial und Behandlungsverfahren fortgesetzt. Dazu wurden weitere Abfallproduzenten (Kernkraftwerke Mühleberg und Gösgen, Zwischenlager Würenlingen AG) nach ihren Prinzipien und Methoden der Abfallbewirtschaftung befragt. Im Hinblick auf eine möglichst geringe Gasproduktionsrate im geologischen Tiefenlager stand insbesondere die Vermeidung metallischer Abfälle im Vordergrund. Ein Fachgespräch in einem Schmelzwerk für radioaktive metallische Abfälle vermittelte einen wertvollen Einblick in die praktischen Möglichkeiten einer Dekontamination durch das Einschmelzen und die Rückführung der gereinigten Metalle in den industriellen Stoffkreislauf. 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 Organika und Metalle) ist bekannt und in den entsprechenden Abfallsortenberichten umfassend dokumentiert. Oberstes Prinzip der Abfallbewirtschaftung in Kernkraftwerken ist die Abfallvermeidung. Dazu verhelfen optimierte betriebliche Abläufe, aber auch weiter entwickelte Verfahren zur Dekontamination der Abfälle mit anschliessender Freimessung (Tätigkeiten zur Entlassung von Material aus dem Geltungsbereich der Strahlenschutzverordnung, insbesondere der Nachweis und die Dokumentation, dass ein Material nicht mehr radioaktiv ist). Bei der Prüfung neuer Abfallbehandlungsverfahren stehen vor allem Fragen der industriellen Reife, technischen Umsetzbarkeit, Kosten und Strahlenschutz



Figur 2: Einsparpotenzial der Abklinglagerung für metallische radioaktive Abfälle. Reduktion des Abfallvolumens für schwach- und mittelaktive Abfälle (SMA) als Funktion der Abklingzeit.

im Vordergrund. Die Möglichkeiten für eine alternative Behandlung organischer Ionenaustauscherharze oder eine verlängerte Abklinglagerung speziell für metallische Grosskomponenten aus den Sekundärkreisläufen werden gegenwärtig durch die Abfallverursachenden ausgewertet. Auf den Einsatz von organischen Ionenaustauscherharzen wird vermutlich in allfälligen neuen Anlagen nicht vollständig verzichtet werden können.

Lagerauslegung, Pilotlager: Auslegung und Inventar, Monitoringkonzept und -einrichtungen

Ein geologisches Tiefenlager für radioaktive Abfälle besteht gemäss Kernenergieverordnung (KEV) aus einem Hauptlager, aus einem Pilotlager und aus Testbereichen. Die Schweiz ist zurzeit weltweit das einzige Land, das im Lagerkonzept eines geologischen Tiefenlagers ein Pilotlager vorschreibt. Das Pilotlager enthält einen kleinen, aber repräsentativen Anteil des Lagerinventars. Mit Hilfe des Pilotlagers ist das Verhalten der Abfälle, der Verfüllung und des Wirtgesteins bis zum Ablauf der Beobachtungsphase zu überwachen. Die Ergebnisse dienen der Erhärtung des Sicherheitsnachweises und müssen auf das Hauptlager übertragbar sein. Die Ergebnisse aus dem Pilotlager bilden somit eine wichtige Grundlage für den Entscheid des Lagerverschlusses.

Das Kernenergiegesetz fordert vor dem Verschluss eines Tiefenlagers eine Beobachtungsphase, die in der Kernenergieverordnung konkretisiert wird. Das Monitoring während dieser Phase erfolgt einerseits von der Oberfläche aus, andererseits auf Lagerebene in

den Testbereichen (Felslabor) und anhand der Messinstrumentierung um das Pilotlager. Die Ergebnisse dieser Überwachung dienen der Erhärtung des Sicherheitsnachweises und bilden die Grundlagen für den Entscheid über den endgültigen Verschluss des Tiefenlagers.

Die Projekte *Lagerauslegung, Pilotlager: Auslegung und Inventar* und *Monitoringkonzept und -einrichtungen* wurden in der zweiten Jahreshälfte 2010 gestartet. Diese drei vom ENSI betreuten Projekte haben viele Schnittstellen untereinander, was eine enge Koordination und Kooperation erfordert. Für das Jahr 2010 lag die Zielsetzung auf der Abfassung der Projektpläne, dem Abschluss der Verträge mit den notwendigen Expertinnen und Experten sowie der thematischen Abgrenzung der drei Projekte voneinander. Diese Ziele wurden erreicht. Gemäss den Projektplänen werden sich die Projekte mit folgenden Aspekten befassen:

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 von Juli 2010 bis Juni 2012.

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 werden sich eng an den Aktivitäten und Resultaten des internationalen EU-Forschungsprogramms MoDeRn (Monitoring Deve-

lopments for Safe Repository Operation and Staged Closure) orientieren, das sich mit allen Aspekten des Monitorings im Umfeld eines geologischen Tiefenlagers auseinandersetzt. Das Projekt dauert unter Berücksichtigung der Dauer des EU-Projekts MoDeRn von August 2010 bis Dezember 2013.

Das Projekt *Lagerauslegung* schliesslich beschäftigt sich mit den Grundzügen der Auslegung der verschiedenen Lagerteile, wobei die lokale geologische Situation und die Eigenschaften des Wirtgesteins zu berücksichtigen sind. Das Projekt wurde im Oktober 2010 gestartet und dauert bis Juni 2012.

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. Zu diesem Zweck traf sich die Umsetzungsgruppe *Forschungsprogramm* am 19. März 2010 zu einer Sitzung. Die Umsetzungsgruppe setzte sich aus Vertretungen von BFE, ENSI, KNS, PSI und Swisstopo zusammen. Die Agneb wurde am 16. März 2010 und am 30. November 2010 über den Stand der Umsetzung des Forschungsprogramms informiert.

Am 29. Januar 2010 wurde das Forschungsprogramm *Radioaktive Abfälle* der Eidgenössischen Energieforschungskommission (CORE) vorgestellt.

Im Rahmen der Umsetzung des Sachplanverfahrens geologische Tiefenlager wurde das Forschungsprogramm *Radioaktive Abfälle* am 14. Juni 2010 dem Beirat Entsorgung und am 18. November 2010 der Arbeitsgruppe Information und Kommunikation (AG I&K) vorgestellt.

Das BFE veröffentlichte im Jahr 2010 zwei Medienmitteilungen zum Forschungsprogramm *Radioaktive Abfälle*. Am 2. Juli 2010 wurde die *Literaturstudie zum Stand der Markierung von geologischen Tiefenlagern* mit einer Medienmitteilung publiziert, was zu ausführlichen Berichten in den Tageszeitungen führte. Am 28. Juli 2010 wurde das Forschungsprojekt *Werthaltungen und Meinungen bei der Entsorgung radioaktiver Abfälle* mit einer Medienmitteilung lanciert. Dabei wurde der Versand von Fragebogen an die Bevölkerung kommuniziert und die Durchführung von Interviews angekündigt.

Internationale Zusammenarbeit

OECD/NEA – Radioactive Waste Management Committee

Im März 2010 fand das 43. Treffen des *Radioactive Waste Management Committee* (RWMC) der OECD/NEA in Paris (F) statt. Neben der Berichterstattung aus diversen Arbeitsgruppen sowie aktuellen Informationen aus den Mitgliedstaaten wurden die zwei Schwerpunkte «Radiologische Schutzkriterien für geologische Tiefenlager» sowie «Langzeitdokumentation» diskutiert. Ein wichtiges Traktandum bildete weiter das Thema «Reversibilität und Rückholbarkeit».

OECD/NEA – Forum on Stakeholder Confidence

Im September 2010 fand das alljährliche und insgesamt elfte Treffen des *Forum on Stakeholder Confidence* (FSC) der OECD/NEA in Paris (F) statt. Nebst dem Informationsaustausch über die Tätigkeiten des RWMC sowie internationaler Gremien wurde das Thema «Memory» eingehend behandelt. An dieser Stelle wurde die Literaturstudie *Markierung von geologischen Tiefenlagern* des BFE vorgestellt. Zudem wurde das Thema «Transparenz» ausführlich diskutiert. Dabei zeigte sich, dass unter «Transparenz» länderspezifisch Unterschiedliches verstanden wird, insbesondere was Offenheit sowie Art

und Weise von transparenten Verfahren anbelangt. Ein Kolloquium zum zehnten Jubiläum des FSC beinhaltete einen umfassenden Rückblick über die bisherigen Inhalte und Tätigkeiten des FSC.

Internationale Konferenz «Reversibility and Retrievability»

Im Dezember 2010 fand in Reims (F) die internationale Konferenz «Reversibility and Retrievability – An International Conference and Dialogue» statt. Im Rahmen von Referaten, Panels und Gruppendiskussionen wurden Reversibilität und Rückholbarkeit aus der Sicht von Politik, Wissenschaft und Forschung, Gesetzgebung sowie lokalen Akteurinnen und Akteuren beleuchtet. Die Konferenz hat gezeigt, dass Reversibilität und Rückholbarkeit heute in den meisten Ländern diskutiert, erforscht und zum Teil bereits umgesetzt bzw. erprobt werden. Wichtige Differenzen bestehen bei der Frage nach der Zielsetzung (technische Notwendigkeit, gesellschaftliche Anforderung, Massnahme zur Erreichung von Akzeptanz, Kombination), bei der technischen Umsetzung und beim Zeithorizont (wie lange sollen Abfälle «einfach» zurückgeholt werden können?). Es wurden auch grundsätzliche Bedenken zur Rückholbarkeit geussert, weil damit die langfristige Sicherheit in Frage gestellt werden könnte.

BFE Forschungsprogramm Radioaktive Abfälle

Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiterin BFE (Autorin):

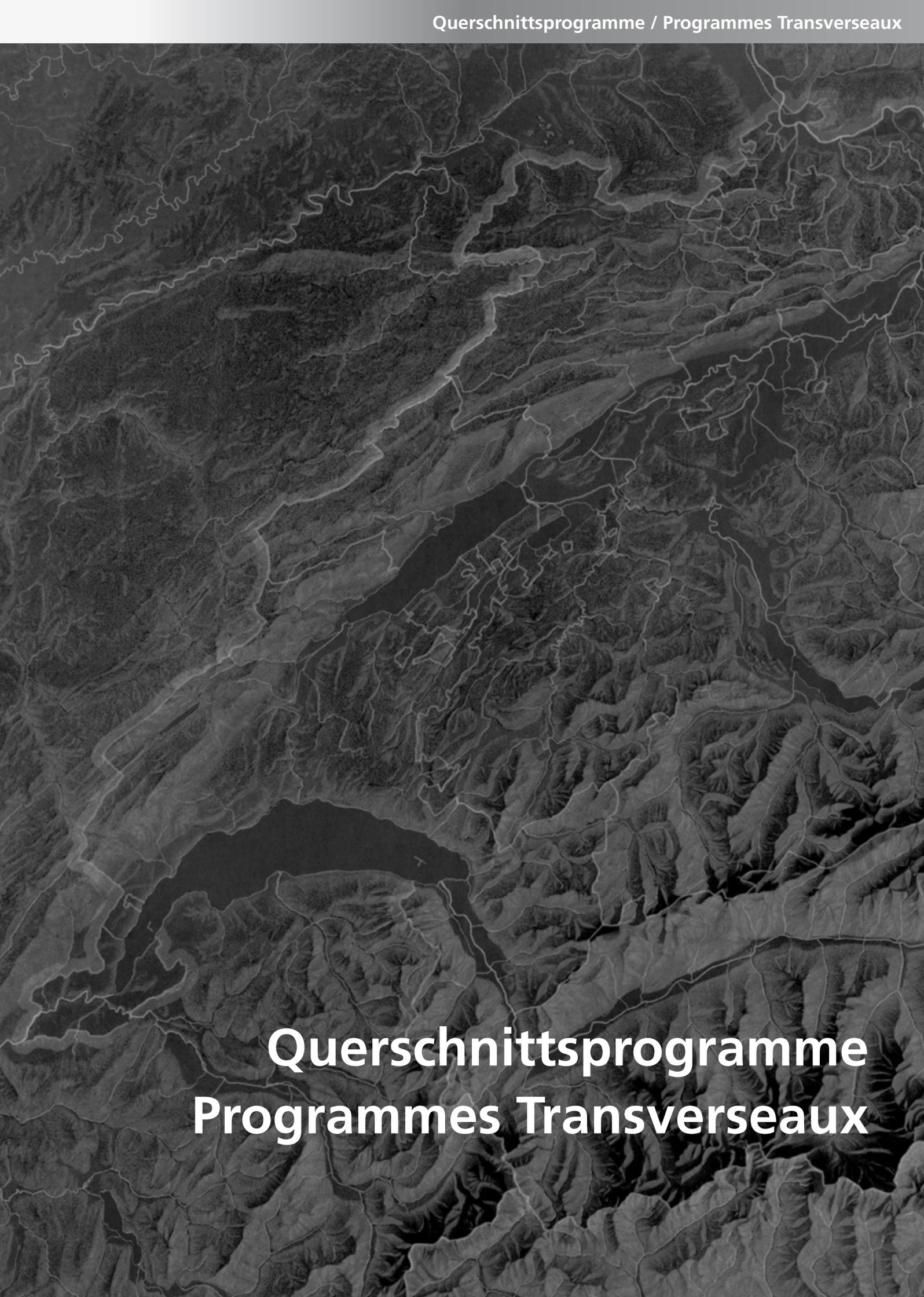
Simone Brander, Bundesamt für Energie (simone.brande@bfe.admin.ch)

Bereichsleiterin BFE:

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

www.bfe.admin.ch/forschungradioaktiveabfaelle/

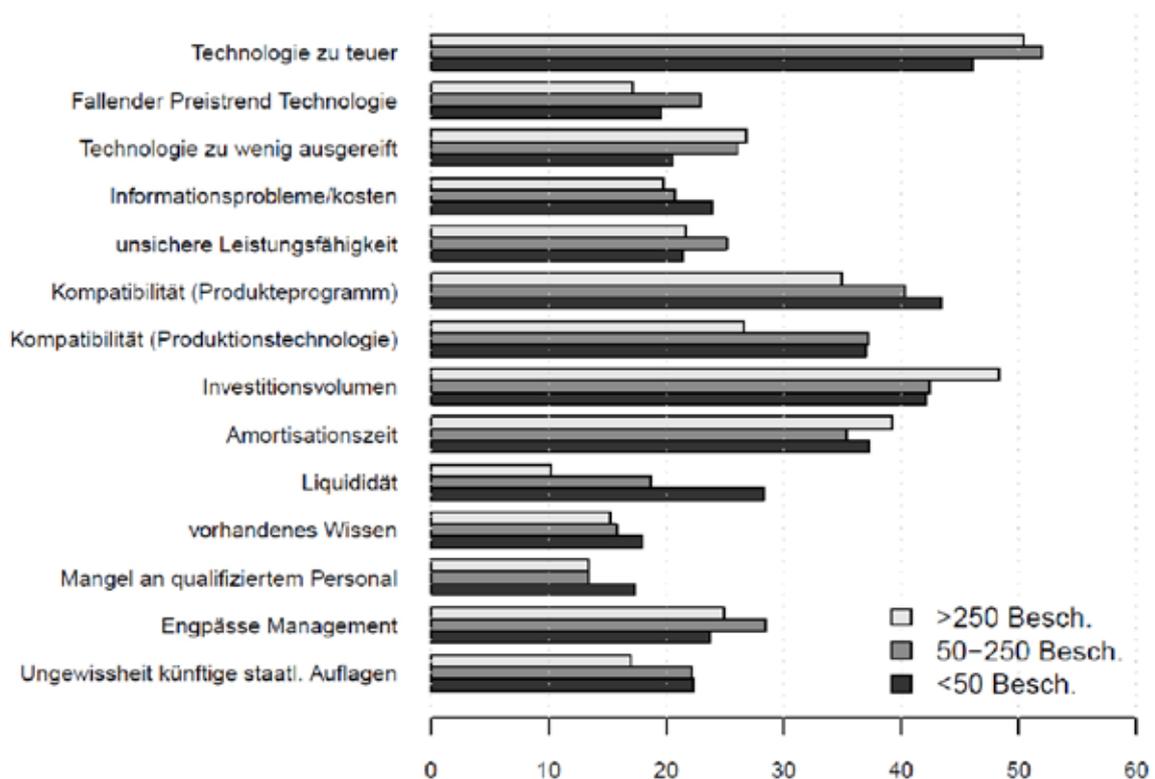
Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich die Autorin dieses Berichts verantwortlich.



**Querschnittsprogramme
Programmes Transverseaux**

Energie – Wirtschaft – Gesellschaft

Nicole Mathys



Hinderungsgründe zum Einsatz von Energieeffizienztechnologien

Häufigkeit der Nennung verschiedener Hinderungsgründe zum Einsatz von Energieeffizienztechnologien, abgestuft nach Unternehmensgrösse (Anzahl Beschäftigte) in % (Source: Arvanitis und Ley, 2010).

Einleitung

Es sind Individuen und Firmen, welche in ihrem Alltag Energie verbrauchen und energierelevante Investitionen tätigen. Die 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 ökonomischen, sozialen, psychologischen und politischen Aspekten, welche das individuelle Verhalten und somit die Märkte beeinflussen, ist die nötige Basis für die Konzipierung effizienter Massnahmen.

IEA-Klassifikation: 7.2 Other

Schweizer Klassifikation: 4.1 Energie – Wirtschaft – Gesellschaft (EWG)

Programmschwerpunkte

Im Forschungsprogramm Energie – Wirtschaft – Gesellschaft (EWG) werden ökonomische, soziologische, psychologische sowie politische Fragestellungen bezüglich der Umwandlung, der Verteilung und der Nutzung von Energie untersucht. Ziel ist es, Marktversagen sowie sozial nicht gewollte Zustände zu identifizieren und geeignete energiepolitische Instrumente zu entwickeln, welche zum grösstmöglichen gesamtwirtschaftlichen Wohlstand führen. 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. Es dient somit der Erarbeitung neuer und der Überprüfung bestehender politischer Instrumente. Die Forschungsergebnisse kommen nebst der Wissenschaft, den Kantonen, der Energiewirtschaft sowie verschiedenen Verbänden und Organisationen zugute.

Die sozio-ökonomische Forschung befasst sich mit den energiepolitischen Rahmenbedingungen und dem Verhalten der Akteure 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 Wärmezeugung 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 raren Ressourcen in verschiedenen Bereichen verwendet werden können, ist es wichtig, das Verhalten der Marktakteure und das Zusammenspiel der Märkte besser zu verstehen.

Das Forschungsprogramm verfolgt zudem aktiv alle wesentlichen nationalen und internationalen Aktivitäten im sozio-ökonomischen Bereich.

Rückblick und Bewertung 2010

Dieses Jahr wurden drei Themenschwerpunkte gesetzt:

Erstens konnten die Treiber von Innovation und Adoption in energierelevanten Produkten und Politiken identifiziert werden (siehe Highlights). Laufende Arbeiten werden Antworten geben können auf die Frage der wirtschaftlichen Bedeutung von erneuerbaren Energien. Die Wertschöpfungsstufen von den Dienstleistern, Ausrüstern und Zulieferern über die Hersteller bis zur Montage und zum Betrieb werden dabei mit einer Kombination von angebots- und nachfrageseitigem Ansatz erforscht.

Zweitens analysieren mehrere Studien die Kauf- und Verhaltensentscheidungen sowohl für Gebäude als auch für Haushaltapparate. Verschiedene Experimente und Feldstudien wurden dazu konzipiert. Sie sollen Auskunft geben, wieso teilweise grosse Energieeinsparpotenziale, welche sich aus finanzieller Sicht auch lohnen würden, nicht ausgenutzt werden. Bei der Beurteilung, ob sich ein Kauf lohnt (unmittelbare Ausgaben für den Kaufpreis und zukünftige Nutzen und Energieeinsparungen), spielt die Diskontierungsrate, mit der zukünftige Kosten und Nutzen auf den Entscheidungspunkt abgezinst werden, eine zentrale Rolle. Weiter soll besser verstanden werden, inwiefern Grosszügigkeit, Risiko- und Ungleichheitsaversion die Entscheidungen von Individuen beeinflussen.

Drittens wurden Modelle aufgebaut, um die Effekte energiepolitischer Instrumente auf den Energietechnologiemix und die daraus folgenden Auswirkungen auf die Wirtschaft zu illustrieren. Dies ist wichtig, um verschiedene Szenarien und deren Konsequenzen zu vergleichen. Die Modelle analysieren das Investitionsverhalten von Stromproduzenten in Abhängigkeit von Kosten, Risiken sowie politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Sie sollen ebenfalls Szenarien mit Strukturänderungen im Energiesystem und Handelsliberalisierungen rechnen und die möglichen Effekte aufzeigen können.

Das Forschungsprogramm EWG organisierte im Jahr 2010 verschiedene Workshops. Das Treffen «Experiments for Energy Insights» wurde bereits

zum zweiten Mal an der ETH Zürich durchgeführt. Doktoranden aus fünf Forscherteams und verschiedenen Disziplinen stellten den Stand ihrer Forschung vor und diskutierten spezifische Annahmen. Alle Forscherteams untersuchen aus einem bestimmten Blickwinkel das Konsumentenverhalten bei energierelevanten Entscheidungen.

Im Mobilitätsbereich wurden Forschungsergebnisse aus verschiedenen Studien einem auserlesenen Publikum in Workshops und Vorträgen vorgestellt. Die zu diskutierende Frage dabei war, wie veränderte Treibstoffpreise und Einkommen sich auf den Treibstoffverbrauch und das Verkehrsverhalten auswirken.

Weiter trafen sich Modellexperten zum «Swiss Energy Modeling» Workshop. Die in der Schweiz bestehenden Modelle wurden vorgestellt und diskutiert. Eine Spezialausgabe zu diesem Thema in der Schweizerischen Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik ist geplant.

Ausblick 2011

Viele der aktuellen Projekte werden auch im Jahr 2011 weiterlaufen. Gleichzeitig werden aber zusätzlich neue Schwerpunkte gesetzt. Es ist die Aufgabe des BFE, die Voraussetzungen für eine sichere Energieversorgung zu schaffen, und sich für eine effiziente Energienutzung, die Erhöhung des Anteils an erneuerbaren Energien sowie die Senkung der Treibhausgasemissionen einzusetzen. Als wichtiges Instrument zur Erreichung dieser Ziele wird die Vision eines «intelligenten Netzes», eines sogenannten «Smart Grids» erachtet. Weiter steht der zweite Schritt der Strommarktliberalisierung bevor, was ebenfalls zu neuen Herausforderungen führen wird. Das Energiesystem wird also in den nächsten Jahren grundlegend revolutioniert werden müssen, und dem Netz wird eine grössere Bedeutung zukommen. Um die bevorstehenden Entscheidungen auf fundierte Informationen basieren zu können, werden Projekte zu intelligenten Netzen (und intelligenten Zählern) sowie zu verschiedenen Modellarbeiten stattfinden, welche es erlauben werden, die Konsequenzen von verschiedenen energiepolitischen Instrumenten miteinander zu vergleichen.

Highlights 2010

Determinanten des Vollzugs energiepolitischer Massnahmen auf kantonaler Ebene

Im schweizerischen politischen System mit seinem ausgeprägten Föderalismus entwickeln sich in den Kantonen unterschiedliche Ansätze zu innovativen Lösungen energiepolitischer Probleme. Da die Mehrheit der Kantone erst seit rund zwanzig Jahren eine eigene Energiepolitik führt, existieren noch kaum Erkenntnisse über die Ausarbeitung und Ausbreitung von Massnahmen in diesem Politikfeld. Ganz allgemein weiss man aufgrund wissenschaftlicher Untersuchungen sehr wenig über den horizontalen Austausch von Politikinnovationen zwischen den Kantonen. Dieses Projekt befasst sich mit den Prozessen, die zu einer Ausbreitung oder Nichtausbreitung energiepolitischer Massnahmen im Gebäudebereich führen, ein Bereich der weitgehend in die Kompetenz der Kantone fällt. Das Ziel besteht also darin zu erklären, wie es zur abgebildeten Dynamik kommt.

In einem ersten Schritt wurden die Einführungen der fünf Massnahmen «Höchstanteil an nicht erneuerbaren Energien», «Elektrische Energie nach SIA 380/4», «Grossverbrauchermodul», «Ausführungsbestätigung durch Private» und «Minimalanforderungen an beheizte oder gekühlte Bauten» für alle 26 Kantone erhoben (siehe Figur 1). Der Untersuchungszeitraum beläuft sich auf die Jahre 1990–2007. Anhand einer statistischen Auswer-

tung konnten anschliessend die unterstützenden Faktoren der Einführungen in den Kantonen eruiert werden.

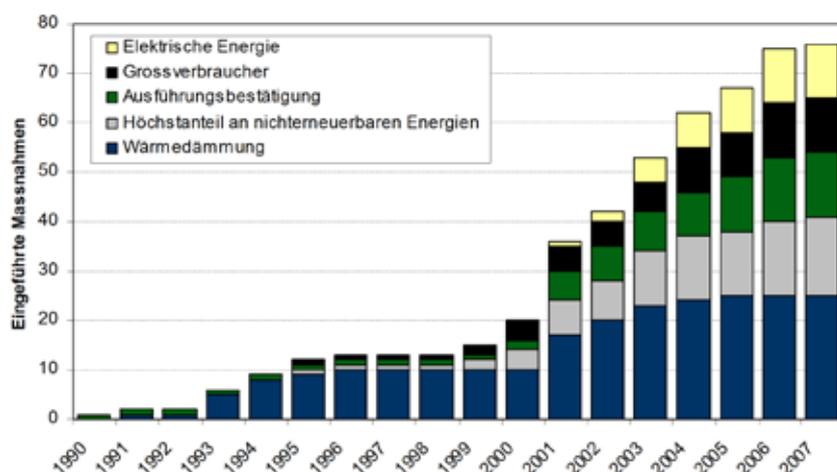
Aufgrund der Analysen kann festgestellt werden, dass die Kantone Massnahmen im Energiebereich nicht unabhängig voneinander einführen. Verschiedene Institutionen üben Einfluss auf die Einführungen in den Kantonen aus. Die regionalen Fachstellenkonferenzen sowie die von der Energiedirektorenkonferenz verabschiedeten Mustervorschriften aus dem Jahr 2000 (MuKE) erweisen sich als Schlüsselfaktoren für die Ausbreitung kantonaler Massnahmen. Nur wenig Evidenz wurde hingegen für die kantonsübergreifende Kommunikation in Parteinetzwerken gefunden, was sich auf den technischen Charakter der Massnahmen zurückführen lässt. Auffällig ist, dass in den Deutschschweizer im Vergleich zu den Westschweizer Kantonen für die Einführungen neben der Diffusion eine starke linke Fraktion im Parlament unterstützend wirkt. Zusätzlich kann anhand der Analyse erkannt werden, dass die Diffusion der einzelnen Massnahmen durch unterschiedliche Institutionen verläuft. So breiten sich beispielsweise politisch brisantere Massnahmen eher aufgrund der MuKE aus, während bei solchen mit technischem Charakter den regionalen Fachstellenkonferenzen eine tragende Rolle zukommt. Kantone mit gut dotierten Energiefachstellen führen zudem Massnahmen, die kom-

plexe Vollzugshilfen voraussetzen, vermehrt ein.

Die Thematik der Diffusion wurde in dieser Untersuchung mit einem Methoden-Mix angegangen. Die quantitative Vorgehensweise wurde mit einer qualitativen Untersuchung kombiniert. Letztere ermöglicht eine vertiefende Auseinandersetzung mit dem Untersuchungsgegenstand.

Ausgangspunkt für den qualitativen Teil bildet der Fallstudienvergleich von verschiedenen Übernahmeprozessen. Dabei wurden die Übernahmen von drei Massnahmen in sechs Kantonen genauer unter die Lupe genommen und verglichen. Mit der Analyse wird die Erkenntnis aus dem ersten Teil gestützt, dass die von den Energiedirektorinnen und -direktoren erlassenen MuKE einen starken Einfluss auf die Rechtsgrundlagen in den Kantonen haben und das Ziel der Harmonisierung kantonaler Gesetzgebungen unterstützen. Die Massnahmen werden nicht nur aufgrund der Suche nach einer passenden Lösung auf ein Problem, sondern verschiedentlich auch aufgrund eines Gefühls der Verpflichtung eingeführt. In diesen Fällen steht jedoch nicht immer der zielgerichtete Vollzug der Massnahme im Zentrum.

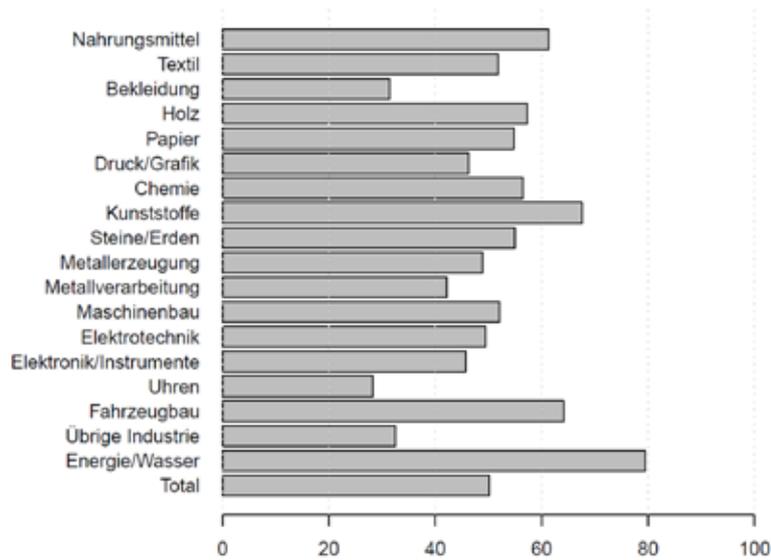
Mit diesem Projekt wurde ein Beitrag zum Verständnis kantonaler Energiepolitik und zur Integration der politikwissenschaftlichen Diffusions- und Transferforschung geleistet.



Figur 1: Anzahl eingeführter Massnahmen in den verschiedenen Aktionsfelder «Elektrische Energie», «Grossverbraucher», «Ausführungsbestätigung», «Höchstanteil an nicht erneuerbaren Energien» und «Wärmedämmung» in den 26 Kantonen zwischen 1990 und 2007.

Generierung und Übernahmen von Energietechnologien und energiepolitische Förderung in der Schweiz

Technologische Neuerungen sind der Schlüssel zu einer nachhaltigeren Energiezukunft. Die Schweiz als Wirtschafts- und Technologiestandort kann einen Beitrag zur Verminderung des CO₂-Ausstosses und zum Umstieg auf erneuerbare Energien leisten – mit einer Forcierung der Entwicklung von Technologien zur effizienteren Energienutzung und zur Erschliessung alternativer Energiequellen. Vorwiegend durch die öffentliche Hand getragene Hochschulen erbringen grundlegende Leistungen in Forschung und Ausbildung. Letztendlich ist für den



Figur 2: Verbreitungsgrad von Energieeffizienztechnologien in verschiedenen Branchen der Industrie in Prozent.

technologischen Erfolg aber entscheidend, dass die Privatwirtschaft entsprechende Tätigkeiten in Forschung und Entwicklung (F&E) vorantreibt, erfolgreiche Neuerungen in Produkten und Prozessen auf den Markt bringt und schliesslich bei Investitionsentscheidungen auf nachhaltige Energienutzung setzt. Mit dem vorliegenden Forschungsprojekt wurde erstmals auf umfassende Art und Weise eine Datengrundlage geschaffen, dank derer die vielfältigen Aktivitäten des privaten Sektors in Sachen Energieeffizienz und Nachhaltigkeit erfassbar werden.

Eingang in diese Datenbasis fanden die Antworten von mehr als 2000 Firmen des KOF-Unternehmenspanels. Dieses wiederum ist eine repräsentative Stichprobe der in der Schweiz tätigen Unternehmungen der Privatwirtschaft mit mehr als fünf Beschäftigten, sowohl aus dem Industrie- als auch aus dem Dienstleistungssektor. Die befragten Unternehmungen konnten auf einer breiten Palette von spezifischen Energietechnologien (die Spannweite reicht von Prozesstechnik über Fahrzeuge bis zu Gebäude- und Energieerzeugungstechnologien) angeben, ob sie Anwender oder gar selbst Entwickler sind. Daneben wurde eine Reihe von weiteren Variablen erfasst, die für die Charakterisierung der antwortenden Unternehmungen sowie für politikrelevante Rückschlüsse von Bedeutung sind.

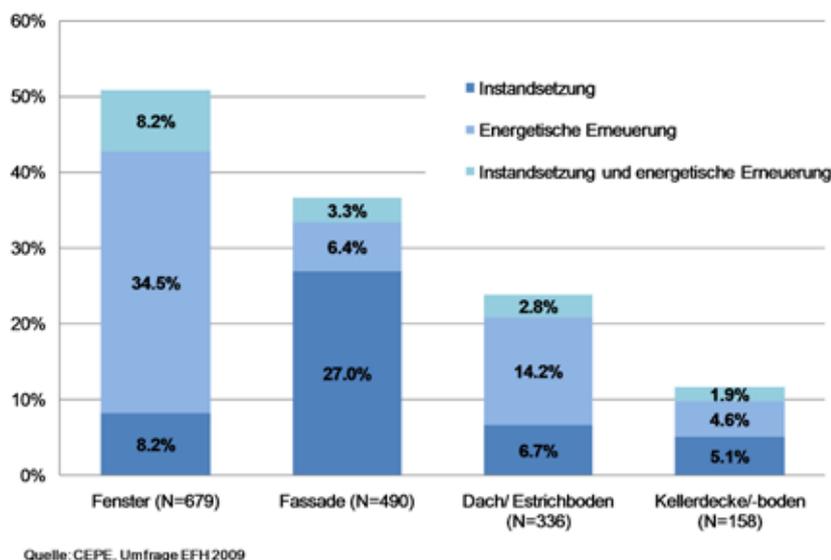
So stellt sich etwa heraus, dass von den befragten Unternehmungen der Industrie nahezu die Hälfte in Tech-

nologien investiert hat, welche die Effizienz in Einsatz und Umwandlung von Energie erhöhten. Figur 2 gibt Aufschluss darüber, wie gross die entsprechenden Anteile in den verschiedenen Industriebranchen ist. Aber auch bei den Unternehmungen des Bau- und Dienstleistungssektors findet sich ein beachtlicher Anteil von Anwendern solcher Technologien. Naturgemäss geringer ist der Anteil jener Unternehmungen, die selbst in der Entwicklung dieser Technologien tätig sind – zu finden sind diese vornehmlich in den Branchen Maschinenbau, Elektrotechnik und Elektronik.

Aufschlussreich ist auch die Häufigkeit der Nennung von diversen Hindernissen, welche bei der Einführung von Energietechnologien auftraten. Das Titelbild liefert hierzu eine Übersicht, aufgeschlüsselt nach drei Grössenklassen für Unternehmungen. So stellen in Unternehmungen sämtlicher Grössen die hohen Kosten gewisser neuer Technologien in ähnlich hohem Masse einen Hinderungsgrund dar. Die Argumente eines zu hohen Investitionsvolumens und einer zu langen Amortisationszeit hingegen betreffen häufiger die grossen Unternehmungen mit mindestens 250 Beschäftigten. Anders die fehlende Verfügbarkeit von Technologien, welche zur bestehenden Produktions- und Prozesspalette kompatibel sind: dieser Hinderungsgrund wurde häufiger von kleinen und mittelgrossen (bis 250 Beschäftigte) Unternehmungen genannt.

Aufbauend auf dieser Datenbasis war es auch möglich, weiter gehende Fragestellungen über ökonomische Zusammenhänge im Kontext von Energietechnologien zu bearbeiten. So zeigt etwa eine Analyse der Bestimmungsfaktoren des Einsatzes solcher Technologien, dass neben Firmencharakteristika wie Grösse oder F&E-Aktivitäten auch «epidemische» Effekte von Bedeutung sind. Mit anderen Worten: ein bereits bestehender hoher Verbreitungsgrad energieeffizienter Technologien begünstigt auch die weiter gehende Verbreitung solcher Technologien in Unternehmungen der gleichen Branche. Eine weitere Analyse befasst sich mit der Wirksamkeit von Fördermassnahmen zum Technologieeinsatz. So wurden von der Stiftung Klimarappen oder von Kantonen und Gemeinden unterstützte Unternehmungen einer Gruppe von ähnlichen Firmen gegenübergestellt, die ihren Technologieeinsatz ohne entsprechende Unterstützung finanzieren mussten. Es zeigte sich, dass die Intensität des Einsatzes solcher Technologien in den unterstützten Unternehmungen durchwegs höher war. Die Fördermassnahmen erfüllten also ihren beabsichtigten Zweck – nämlich die Herbeiführung einer Erhöhung der Energieeffizienz durch technologische Massnahmen, welche ohne Förderung nicht im gleichen Ausmass stattgefunden hätte.

Zusammenfassend lassen die Ergebnisse der im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Umfrage auf einen hohen Stellenwert von Energieeffizienztechnologien in Schweizer Unternehmungen schliessen. Hervor geht dies einerseits aus der für freiwillige Erhebungen dieser Art guten Rücklaufquote von nahezu 40 %, andererseits aus den hohen gemessenen Anteilen von Anwendern solcher Technologien. Neben den bereits erwähnten Analysen liefert ein weiteres Kapitel des Projektberichtes Aufschluss über das Innovationsverhalten Schweizer Unternehmungen im Energiebereich, und die erarbeitete Datenbasis steht in der Zukunft für die Bearbeitung weiterer für die Forschung relevanter Fragestellungen zur Verfügung.



Figur 3: Anteil durchgeführter Erneuerungen und Art der Erneuerung nach Bauteil zwischen 1996 und 2009 (N=1335).

Mikroökonomische Analyse des Erneuerungsverhaltens von Einfamilienhausbesitzern

Durch energetische Erneuerungen können bedeutende Energieeinsparpotenziale erzielt werden. Angesichts der langen Renovationszyklen ist es wichtig, dass bei heutigen Erneuerungen energetische Kriterien mitberücksichtigt werden. Im Durchschnitt werden in der Schweiz jährlich bei 1–2 % der Gebäude Erneuerungsarbeiten an der Gebäudehülle (Fassade, Fenster, Dach/ Estrichboden, Kellerdecke/-boden) durchgeführt. Allerdings nur bei einem Teil dieser Massnahmen handelt es sich um energetische Erneuerungen, die bedeutende Energieeinsparungen bringen. Bei 30 bis 50 % der sanierten Gebäude werden energetische Massnahmen durchgeführt. Dieser Anteil erhöht sich auf 50 bis 70 % bei Gebäuden, die vor 1970 gebaut wurden.

Das Projekt befasst sich mit den Renovationsentscheiden von EFH-Besitzern und -Besitzerinnen und analysiert, welche (energetischen) Erneuerungen an der Gebäudehülle in den letzten Jahren durchgeführt worden sind. Spezielle Beachtung wird auf die Beweggründe gelegt, welche einem Entscheid für eine bestimmte Art von Erneuerung (Unterhalt oder energieeffiziente Erneuerung) zugrunde liegen. Weiter sollen mit dem Projekt Informationen gewonnen werden, weshalb viele energetische Erneuerungen nicht realisiert werden, obwohl sie technisch und auch wirtschaftlich interessant sind.

Mit einer schriftlichen Umfrage in fünf Kantonen (AG, BE, BL, TG, ZH) wurde das tatsächliche Erneuerungsverhalten von rund 1580 EFH-Besitzern und -Besitzerinnen erfasst. Aus der Umfrage wurde ersichtlich, dass rund 60 % der Befragten in den letzten 15 Jahren eine Erneuerung an einem oder mehreren Teilen der Gebäudehülle vorgenommen haben. Die Umfrageergebnisse zeigen, dass (siehe auch Figur 3):

- die wichtigsten Auslöser, um eine Erneuerung an der Gebäudehülle vorzunehmen, die Werterhaltung des Gebäudes und die Energieeinsparpotenziale sind. Bei der Fassadenerneuerung spielen ästhetische Aspekte, bei den anderen Bauteilen die Steigerung des Wohnkomforts eine bedeutende Rolle;
- am häufigsten wurden Fenstererneuerungen, gefolgt von Massnahmen an der Fassade, am Dach/ Estrichboden und schliesslich an Kellerdecke/-boden durchgeführt; Erneuerungen von mehreren Gebäudeteilen gleichzeitig kommen häufig vor (insbesondere die Kombination von Fenster- und Fassadenerneuerung);
- Fenster werden meistens energetisch erneuert – auch weil durch den technischen Fortschritt neue Fenster fast immer energetisch effizienter sind als die alten;
- die Fassade wird dagegen meistens nur instandgesetzt (sogenannte «Pinselsanierung»);

- Erneuerungen am Dach sind meistens mit energetischen Massnahmen verbunden, Erneuerungsmassnahmen am Kellerboden oder an der Kellerdecke dagegen teilen sich in etwa gleichmässig auf energetische Erneuerungen und Instandsetzungen auf;
- obwohl die Erneuerungsrate der Gebäudehülle in den letzten 15 Jahren etwas zugenommen hat, stellen viele Erneuerungen allerdings immer noch reine werterhaltende Massnahmen dar, welche die energetischen Einsparpotenziale nicht ausschöpfen.

Die wichtigsten Gründe, weshalb Besitzer und Besitzerinnen in den letzten 15 Jahren sich für reine Unterhaltsarbeiten entschieden haben (statt energetische Erneuerungen durchzuführen) sind zum einen eine energetische Erneuerung als finanziell nicht interessant bzw. nicht rentabel eingestuft wurde, zum andern die finanziellen Mittel dafür gefehlt haben.

Die Umfrage zeigt zudem, dass Personen, die Entscheide über energetische Erneuerungen treffen:

- häufig über mangelnde Informationen hinsichtlich des Zustandes ihres Gebäudes und der erzielbaren Energieeinsparpotenziale verfügen;
- keine detaillierten Wirtschaftlichkeitsrechnungen durchgeführt haben. Falls doch, dann häufig ohne Berücksichtigung der Energieeinsparungen; dementsprechend häufig werden vereinfachte oder heuristische Verfahren gewählt, um einen Entscheid zu treffen;
- den Renovationsentscheid oft an Handwerker bzw. Gewerbe- und Bauunternehmer abgeben.

Eine Mehrheit der Befragten erachten Abzugsmöglichkeit der Renovationskosten vom Einkommen und Subventionen als die wichtigsten Instrumente, um in Zukunft energetische Investitionen attraktiver zu machen.

Die Umfrage liefert erste Hinweise dafür, dass Marktbarrieren und Markthemmnisse eine verstärkte Investitionstätigkeit in energetische Erneuerungen verhindern. Die fehlenden Informationen über die technischen und architektonischen Möglichkeiten bei energetischen Erneuerungen sowie über die bestehenden Fördermassnahmen können wichtige Marktbarrieren darstellen. Auch Transaktionskosten, die

durch die Planung und Durchführung einer Erneuerung entstehen, hemmen die (energetische) Erneuerungstätigkeit. Schliesslich deuten gewisse Antworten darauf hin, dass auch die Zugänglichkeit zu den Kapitalmärkten, die im Allgemeinen geringe Bedeutung von energiepolitischen Fragen und die begrenzte Rationalität der Befragten energetische Erneuerungen hemmen.

Eine wirksame Förderung von energetischen Erneuerungen durch die öffentliche Hand müsste dementsprechend folgende grundlegende Bereiche berücksichtigen damit das «window of opportunity» für energetische Gebäuderenovationen genutzt werden können:

- Informationstand der Hausbesitzer und der Berufsgruppen, die an

den Erneuerungsarbeiten beteiligt sind, verbessern;

- Energieberatung bei Erneuerungsprojekten fördern;
- finanzielle Anreize setzen;
- organisatorische Massnahmen ergreifen, welche Transaktionskosten und weitere Hemmnisse reduzieren.

Nationale Zusammenarbeit

Im Rahmen des Forschungsprogramms Energie – Wirtschaft – Gesellschaft (EWG) wird eine intensive Zusammenarbeit mit privaten Forschungsstellen, Universitäten, Fachhochschulen, Instituten, anderen BFE-Forschungsprogrammen, Bundesämtern und Kompetenzzentren gepflegt. Auf eine intensivere Vernetzung unter den Forschungsstellen wird grossen Wert gelegt und es werden regelmässig themenspezifische Workshops durchgeführt.

Der Einbezug und die Zusammenarbeit mit den Kantonen, insbesondere den kantonalen Energiefachstellen

und den interessierten Fachverbänden in den Bereichen Stromversorgung und Bauen, sind ebenfalls sehr wichtig. Die Projekte des Forschungsprogramms werden von speziell eingesetzten Begleitgruppen betreut. Damit kann die vorhandene Fachkompetenz aus der Praxis und aus der Wissenschaft berücksichtigt werden, und die Umsetzung der Forschungsergebnisse wird erleichtert.

Zur Kommunikation der EWG-Schlussberichte werden Resultate jeweils mit einer Medienmitteilung 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 etc. stellt dabei eine Selbstverständlichkeit dar.

Die Schweiz beteiligt sich am IEA Implementing Agreement Energy Technology Systems Analysis Program (ETSAP) (www.iea-etsap.org).

Referenzen

[1] Arvanitis S. und M. Ley (2010), «Generierung und Übernahme von Energietechnologien und energiepolitische Förderung in der Schweiz», BFE-Schlussbericht, Projekt Nr.102586.

[2] Workshops und Vorträge 2010: www.bfe.admin.ch/forschungewg/03750/index.html?lang=de&dossier_id=04652

BFE Forschungsprogramm Energie – Wirtschaft – Gesellschaft

Überblicksbericht 2010

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiterin BFE (Autorin):

Dr. Nicole A. Mathys, Bundesamt für Energie (nicole.mathys@bfe.admin.ch)

Bereichsleiterin BFE:

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

www.ewg-bfe.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich die Autorin dieses Berichts verantwortlich.

**Laufende und im Berichtsjahr
abgeschlossene Projekte**

**Projets en cours et terminés
dans l'année de référence**

Energie in Gebäuden

(* IEA-Klassifikation)

- | | | | |
|---------------------------------------|---|----------|-----------|
| ● | 2000-WATT-KOMPATIBLE AREALENTWICKLUNG | F+E | 1.2* |
| Lead: | Intep/Lemon Consult | Funding: | BFE |
| Contact: | Kelleneberger Daniel
kelleneberger@intep.com | Period: | 2010–2011 |
| Abstract: | Dieses Projekt bezweckt den SIA Effizienzpfad Energie für die Entwicklung von 2000-Watt-kompatiblen Arealen zu erweitern. | | |
- | | | | |
|---------------------------------------|---|----------|-----------|
| ● | 4-FAMILIENHAUS B35 IN ZERO-CARBON-LOWEX-TECHNOLOGIE | P+D | 1.2 |
| Lead: | HLU | Funding: | BFE |
| Contact: | Leibundgut Hansjürg
leibundgut@hbt.arch.ethz.ch | Period: | 2009–2010 |
| Abstract: | Erfolgskontrolle des 4-Familienhaus B35 in Zero-Carbon-lowEx-Technologie. | | |
- | | | | |
|---------------------------------------|--|----------|-----------|
| ● | ANFORDERUNGEN AN BEHÖRDENTAUGLICHE DYNAMISCHE SIMULATIONSPROGRAMME
PROBLEMANALYSE UND EXEMPLARISCHER LÖSUNGSVORSCHLAG | F+E | 1.2 |
| Lead: | EMPA Abt. 118 Bautechnologie | Funding: | BFE |
| Contact: | Frank Thomas
thomas.frank@empa.ch | Period: | 2009–2010 |
| Abstract: | Mit dynamischen Simulationsprogrammen kann eine verbesserte integrale Planung des Gebäudes erreicht werden. Das Anforderungsprofil an behördentaugliche EDV-Programme der EnFK deckt zur Zeit nur die Rechenmethode nach SIA 380/1 mit dem Monatsbilanzverfahren ab. Für dynamische Gebäude-simulationsmodelle ist deshalb ein analoges und erweitertes Anforderungsprofil erforderlich. | | |
- | | | | |
|---------------------------------------|--|----------|-----------|
| ● | AUTOMATIC CONTROL OF AN ELECTROCHROMIC WINDOW | F+E | 1.2 |
| Lead: | EPFL/ENAC/ICARE/LESO-PBX | Funding: | BFE |
| Contact: | Morel Nicolas
nicolas.morel@epfl.ch | Period: | 2009–2011 |
| 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. | | |
- | | | | |
|---------------------------------------|--|----------|-----------|
| ● | BERECHNUNG DER WÄRMEKAPAZITÄT VON INHOMOGENEN KONSTRUKTIONEN | F+E | 1.2 |
| Lead: | Hochschule für Technik und Architektur Luzern | Funding: | BFE |
| Contact: | Gadola Reto
reto.gadola@hslu.ch | Period: | 2009–2010 |
| Abstract: | Ziel der Arbeit ist, eine einfache Methode für die Berechnung der wirksamen Wärmekapazität von inhomogener Konstruktionen zu entwickeln. | | |
- | | | | |
|---------------------------------------|--|----------|-----------|
| ● | BILANZIERTES NULLENERGIEBÜROGEBÄUDE « MARCHÉ INTERNATIONAL SUPPORT CENTER
KEMPTHAL » | P+D | 1.2 |
| Lead: | Naef Energietechnik | Funding: | BFE |
| Contact: | Naef René
naef@naef-energie.ch | Period: | 2007–2010 |
| Abstract: | Das Bürogebäude Marché International Support Office wurde als erstes bilanziertes Nullenergiegebäude der Schweiz geplant. Das vollflächig mit Photovoltaikmodulen bedeckte Dach sollte genug Elektrizität liefern für die Haustechnik und die Büronutzung. | | |

● **BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS (BIPV) – ASPECTS THERMIQUES** F+E 1.2

Lead:	SUPSI-DACD-ISAAC, Cannobio	Funding:	BFE
Contact:	Nagel Kim isa.zanetti@supsi.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Considering that in the near future PV will be used more and more often as a building material, the intentions of this project are to analyze building integrated PV products in order to define their electrical and thermal characteristics, to analyze the interaction between these materials and the building in order to demonstrate what BiPV modules look like and how to integrate them into the building concept.		

● **COP5 - SOURCE FROIDE SOLAIRE POUR POMPE À CHALEUR AVEC UN COP ANNUEL DE 5 GÉNÉRALISABLE DANS LE NEUF ET LA RÉNOVATION** F+E 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.		

● **DESIGN PERFORMANCE VIEWER 2.0** F+E 1.2

Lead:	ETH Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Thesseling Frank thesseling@hbt.arch.ethz.ch	Period:	2008–2010
Abstract:	Ziel des Projektes ist die Weiterentwicklung des Design Performance Viewers (DPV), eines Softwarewerkzeuges, welches dem Architekten bereits in der frühen Phase des Entwurfes die Auswirkungen seiner Planung auf den Energie- und Exergieverbrauch und die damit verbundenen Kosten schnell und integriert anzeigt.		

● **ENERGETISCHE BEURTEILUNG VON GEBÄUDEN MITTELS INFRAROTBILDERN (QUALI-THERMO)** F+E 1.2

Lead:	QC-Expert AG, Dübendorf	Funding:	BFE
Contact:	Tanner Christoph bct@bauchek-tanner.ch	Period:	2008–2010
Abstract:	Ziel des Projekts ist die Validierung und Weiterentwicklung der empirischen Methode QualiThermo® welche in begrenztem Rahmen eine energetische Beurteilung von Gebäuden mittels Infrarotbildern zulässt.		

● **ENERGY EFFICIENT COMMUNITIES: CASE STUDIES AND STRATEGIC GUIDANCE FOR URBAN DECISION MAKERS (IEA ECBCS ANNEX 51)** F+E 1.2

Lead:	EPFL/ENAC/ICARE/LESO-PBX	Funding:	BFE
Contact:	Robinson Darren darren.robinson@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.		

● **ENTWICKLUNG EINES GEBÄUDEKONZEPTS FÜR DIE 2000-WATT-GESELLSCHAFT UNTER DEM NAMEN SWISSWOODHOUSE** F+E 1.2

Lead:	Reuss Engineering AG	Funding:	BFE
Contact:	Koschensch Markus Markus.Koschensch@reuss-engineering.ch	Period:	2008–2010
Abstract:	Entwicklung eines Gebäudekonzepts für die 2000-Watt-Gesellschaft unter dem Namen SWISSWOODHOUSE.		

● **ERACOBUILD: SCHOOL VENT COOL** F+E 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.		

● **ERFOLGSKONTROLLE PLUS-ENERGIE-MEHRFAMILIENHAUS IN BENNAU (SZ)** P+D 1.2

Lead:	amena ag	Funding:	BFE
Contact:	Gütermann Andreas ag@amena.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	Um die Zielerreichung des ersten Plus-Energie-MFH bezüglich Wärme- Elektrizitätsbilanz und Temperaturverhalten zu überprüfen (Erfolgskontrolle) wird ein Messprojekt durchgeführt. Dieses ermittelt alle wesentlichen Parameter des Gebäudes und des Anlageverhaltens (PV, Fassadenkollektoren, Speicherbewirtschaftung) über einen Zeitraum von 2 Jahren.		

● **ERFOLGSKONTROLLE WOHNIEDLUNG BURGUNDER BERN MINERGIE®-P-ECO** P+D 1.2

Lead:	BSR Bürgi Schärer Raaflaub	Funding:	BFE
Contact:	Bürgi Hanspeter hanspeter.buergi@bsr-architekten.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Die autofreie Wohnsiedlung Burgunder in Bern setzt mit seinen Zielen einen schweizweit neuen Massstab. In den drei Hauptbereichen der Nachhaltigkeit sind dies z. B. : Ökologie: Standard Minergie-P-ECO (Gebäude), Autofreies Wohnen (Mobilität), Ökonomie: Günstige Mietwohnungen und Gesellschaft: Autofreies Wohnen, Mitwirkung NutzerInnen.		

● **ERHÖHUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ VON KLEINLÜFTUNGSANLAGEN IN 2000W-GEBÄUDEN** F+E 1.2

Lead:	Hochschule für Technik +	Funding:	BFE
Contact:	Frei Beat beat.frei@hslu.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Interne Leckagen in Kompaktlüftungsgeräten und externe Leckagen in Luftverteilsystemen führen zur merklichen Minderung der Energieeffizienz und zu empfindlichen Komforteinbussen bei Geruchsübertragung. Bei zukünftig verstärktem Einsatz von Kleinlüftungsanlagen besteht somit ein grosses Effizienzsteigerungs-Potenzial.		

● **G-BOX POUR LA MESURE IN SITU DES PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES DE FAÇADES TRANSPARENTES ET TRANSLUCIDES** F+E 1.2

Lead:	Ecole d'Ingénieurs de Genève	Funding:	BFE
Contact:	Pahud Daniel daniel.pahud@supsi.ch	Period:	2009–2011
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.		

● **GEBÄUDEINTEGRIERTE POLYVALENTE ENERGIEBEREITSTELLUNG (MICROPOLYGEN)** F+E 1.2

Lead:	Ökozentrum Langenbruck	Funding:	BFE
Contact:	Gaegauf Christian gaegauf@oekozentrum.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Das Projekt Gebäudeintegrierte polyvalente Energiebereitstellung (MicroPolygen), das von Partnern des Kompetenznetzwerkes Gebäudetechnik und Erneuerbare Energien (brenet) bearbeitet wird, strebt die Entwicklung von neuartigen Konzepten für eine nachhaltige, gebäudeintegrierte, polyvalente Energieversorgung an. Der Hauptakzent des Projekts liegt auf der Systemuntersuchung von Kraft-Wärme-Kopplungs-Systemen.		

● **GRAUE ENERGIE VON SANITÄR- UND ELEKTROANLAGEN** F+E 1.2

Lead:	Büro für Umweltchemie	Funding:	BFE
Contact:	Klingler Matthias m.klingler@umweltchemie.ch	Period:	2010–2011
Abstract:	Die Sanitär- und Elektroanlagen von je 7 Gebäuden werden in diesem Projekt untersucht. Bestehende Daten werden überprüft und ergänzt.		

● **HEIZEN UND KÜHLEN ÜBER THERMISCH AKTIVIERTE AUSSENFLÄCHEN - POTENTIALSTUDIE** F+E 1.2

Lead:	Fachhochschule Nordwestschweiz	Funding:	BFE
Contact:	Wemhöner Carsten carsten.wemhoener@fhnw.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Projektziel ist die Ermittlung und Bewertung des Potenzials, über aussenliegende Gebäudebauteile eine Kühlfunktion für das Gebäude bereitzustellen.		

- **IEA ECBCS ANNEX 49 – LOW EXERGY SYSTEMS FOR HIGH PERFORMANCE BUILDINGS AND COMMUNITIES** F+E 1.2
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | ETHZ Inst. für Hochbautechnik | Funding: | BFE |
| Contact: | Meggers Forrest
meggers@hbt.arch.ethz.ch | Period: | 2008–2010 |
- Abstract: This project explores the potential of exergy analysis as applied to buildings. This is being carried out as part of the international collaboration of the IEA ECBCS Annex 49 «Low Exergy Systems for High Performance Buildings and Communities».
- **IEA ECBCS, ANNEX 56 «ENERGY AND GHG OPTIMISED BUILDING RENOVATION»** F+E 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 SHC TASK 37** F+E 1.2
- | | | | |
|----------|----------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | amena ag | Funding: | BFE |
| Contact: | Andreas Gütermann
ag@amena.ch | Period: | 2006–2010 |
- Abstract: Bei jeder Fassadenisolation im Sanierungsbereich mit Dämmstärken von 20 cm oder mehr stellen sich immer die gleichen «Anschlussprobleme». Ziel dieses Projekts ist es gute «Standard-Detaillösungen» mit bewährten, marktgängigen Produkten zu untersuchen und zu dokumentieren.
- **IEA SHC TASK 37** F+E 1.2
- | | | | |
|----------|-------------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | Université de Genève | Funding: | BFE |
| Contact: | Weber Willy
willi.weber@unige.ch | Period: | 2006–2010 |
- Abstract: Renovation of Historical and Protected Buildings
- **IEA SHC TASK 37: SOLAR POTENTIAL OF OUR BUILT NEIGHBOURHOODS** F+E 1.2
- | | | | |
|----------|-----------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | Kämpfen Architektur | Funding: | BFE |
| Contact: | Kämpfen Beat
beat@kaempfen.com | Period: | 2006–2010 |
- Abstract: Ziel der Arbeit ist eine nachvollziehbare und objektivierbare Aussage, inwieweit der solare Ertrag durch spezifische Massnahmen an der Gebäudehülle und der Gebäudetechnik erhöht werden kann. Der Ertrag wird verglichen mit der Situation vor und nach den Erneuerungen.
- **IEA-TASK 41 «SOLAR ENERGY AND ARCHITECTURE»** F+E 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.
- **INTEGRATED MULTIFUNCTIONAL GLAZING FOR DYNAMICAL DAYLIGHTING** F+E 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.

- | | | | |
|---------------------------------------|--|----------|-----------|
| ● | INTERNETBASIERTES SYSTEM ZUR ENERGETISCHEN OPTIMIERUNG DER HAUSTECHNIK MIT FUNKTECHNOLOGIE IM ALTBAUBESTAND | F+E | 1.2 |
| Lead: | Huber Energietechnik | Funding: | BFE |
| Contact: | Woodtli Michael michael.woodtli@hetag.ch | Period: | 2009–2011 |
| Abstract: | In diesem Projekt soll ein internetbasiertes System entwickelt werden, das den Bewohnern ermöglicht, ihre Präsenzzeiten und die Sollwerte für die Raumtemperatur auf einer einfach zu bedienenden Webseite einzutragen. Das System soll keine Softwareinstallation voraussetzen, die Bedienung soll in einem Web Browser (z. B. Internet Explorer, Firefox etc.) erfolgen. | | |
- | | | | |
|---------------------------------------|--|----------|-----------|
| ● | JAHRESBEITRÄGE IEA : AIC U. EXCO ENERGY CONSERVATION IN BUILDINGS & COMMUNITY SYSTEMS | F+E | 1.2 |
| Lead: | Oscar Faber Group UK Egin. Ltd, St Albans Herts | Funding: | BFE |
| Contact: | Andreas Eckmanns andreas.eckmanns@bfe.admin.ch | Period: | 1989–2010 |
| Abstract: | Jahresbeiträge IEA : AIC u. ExCo Energy Conservation in Buildings & Community Systems. | | |
- | | | | |
|---------------------------------------|--|----------|-----------|
| ● | KRAFTWERK HAUS IM LÄNDLICHEN RAUM | F+E | 1.2 |
| Lead: | Ökozentrum Langenbruck | Funding: | BFE |
| Contact: | Sattler Michael michael.sattler@oekozentrum.ch | Period: | 2009–2011 |
| 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. | | |
- | | | | |
|---------------------------------------|--|----------|-----------|
| ● | LAMPE AU SOUFRE À BULBE SÉPARÉ | F+E | 1.2 |
| Lead: | Haute Ecole d'Ingénierie et de | Funding: | BFE |
| Contact: | Courret Gilles gilles.courret@heig-vd.ch | Period: | 2009–2010 |
| Abstract: | Le but final de ce projet est de réaliser un prototype industrialisable dont les coûts de fabrication soient acceptables | | |
- | | | | |
|---------------------------------------|--|----------|-----------|
| ● | METHODIK ZUR UMSETZUNG VON SOLAREN STRATEGIEN IN DER ARCHITEKTUR | F+E | 1.2 |
| Lead: | Hochschule für Technik und Arc | Funding: | BFE |
| Contact: | Ehrbar Doris doris.ehrbar@hslu.ch | Period: | 2009–2011 |
| Abstract: | Das Projekt untersucht anhand von zwei Fallstudien das Potential von aktiv- und passivsolaren Stragien für die Sanierung von Siedlungen und den Ersatzneubau im urbanen Kontext. | | |
- | | | | |
|---------------------------------------|--|----------|-----------|
| ● | MONTE ROSA-HÜTTE: INTEGRIERTE HAUSSYSTEME FÜR OPTIMALE ENERGIE- UND STOFFBEWIRTSCHAFTUNG | P+D | 1.2 |
| Lead: | ETHZ IMRT | Funding: | BFE |
| Contact: | Guzzella Lino lguzzella@ethz.ch | 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. | | |
- | | | | |
|---------------------------------------|---|----------|-----------|
| ● | NACHHALTIGE ERNEUERUNG HISTORISCH WERTVOLLER BAUTEN | F+E | 1.2 |
| Lead: | Empa Building Technologies / BFH | Funding: | BFE |
| Contact: | Carmeliet Jan Jan.Carmeliet@empa.ch | Period: | 2009–2011 |
| Abstract: | The aim of this project is to evaluate and to further develop sustainable renovation technologies for historical buildings (end 19th – beginning 20th century). | | |

- **NACHHALTIGE MODERNISIERUNG EINES TYPISCHEN SCHWEIZER MEHRFAMILIENHAUSES DER 1950ER JAHRE** P+D 1.2
- | | | | |
|----------|-----------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | Kämpfen Architektur | Funding: | BFE |
| Contact: | Kämpfen Beat
beat@kaempfen.com | Period: | 2009–2010 |
- Abstract: The purpose is to test prefabricated elements for building retrofit in an appartement house of the 1950's.
- **NULLENERGIE-GEBÄUDE - DIE NÄCHSTE GENERATION ENERGIEEFFIZIENTER BAUTEN (IEA ECBCS ANNEX 52 / IEA SHC TASK 40)** F+E 1.2
- | | | | |
|----------|------------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | Fachhochschule Nordwestschweiz | Funding: | BFE |
| Contact: | Hall Monika
monika.hall@fhnw.ch | 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.
- **OPEN ABSORPTION SYSTEM FOR AIR CONDITIONING USING MEMBRANE CONTACTORS** F+E 1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | CONDE ENGINEERING | Funding: | BFE |
| Contact: | Conde-Petit Manuel
mconde.petit@mrc-eng.com | 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.
- **OPTIMIERTE AUTOMATISCHE FENSTERLÜFTUNG IN WOHNBAUTEN** F+E 1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Fachhochschule Nordwestschweiz | Funding: | BFE |
| Contact: | Huber Heinrich
Heinrich.huber@Minergie.ch | Period: | 2009–2011 |
- Abstract: Ziel des Forschungsprojektes ist es, für Wohnungen in Mehrfamilienhäusern ein standardisiertes System der automatischen Fensterlüftung zu entwickeln. Für typische Wohnungen sollen Lüftungsstrategien festgelegt und mit einer optimalen Steuerung umgesetzt werden.
- **OUTIL INFORMATIQUE DE CONCEPTION ET VISUALISATION DE SYSTÈMES D'ECLAIRAGE NATU-REL** F+E 1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | EPFL/ENAC/ICARE/LESO-PBX | Funding: | BFE |
| Contact: | Scartezzini Jean-Louis
jean-louis.scartezzini@epfl.ch | Period: | 2009–2011 |
- Abstract: Le projet vise à tirer profit d'un goniophotomètre bidirectionnel à imagerie numérique permettant de caractériser les propriétés bidirectionnelles de transmission lumineuse (Bidirectional Transmission Density Function) de ces systèmes.
- **PARAMETERUNTERSUCHUNG DES SOMMERLICHEN RAUMKLIMAS VON WOHNGEBÄUDEN IN HOLZBAUWEISE** F+E 1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Berner Fachhochschule | Funding: | BFE |
| Contact: | Müller Andreas
andreas.mueller@bfh.ch | Period: | 2009–2011 |
- Abstract: Für Holzbauten mit ihren mittlerweile sehr unterschiedlichen Bauweisen (u.a. Holzrahmen-, Holzmassiv- und Holzbetonverbundbau) liegen nur vereinzelte Erkenntnisse zum sommerlichen Komfortklima vor. Diese Lücke zu schliessen, ist besonders von Bedeutung, da viele Minergie und Minergie P-Bauten in Holz errichtet werden.
- **PRAXISTEST LUFTDICHTIGKEITS-MESSUNGEN BEI MINERGIE-P-BAUTEN** F+E 1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Hochschule für Technik + | Funding: | BFE |
| Contact: | Notter Gregor
gregor.notter@hslu.ch | Period: | 2009–2010 |
- Abstract: Damit die geforderten Grenzwerte betreffend Luftdichtigkeit begründet werden können und auch die die Messwerte beeinflussenden Faktoren bekannt sind, soll in einer Studie durch Recherche, Gespräche mit Fachleuten und durch eigene Messungen mehr Klarheit geschaffen werden.

- PREFABRICATED RETROFIT OF BUILDINGS/ VORBEREITUNG IEA ECBCS ANNEX 50** F+E 1.2

Lead: EMPA Abt. 118 Bautechnologie	Funding: BFE
Contact: Zimmermann Markus mark.zimmermann@empa.ch	Period: 2006–2010

Abstract: Das Projekt entwickelt neue Lösungen für die Wohnbauerneuerung auf der Basis standardisierter Renovations-module, welche auf ein gesamtheitliches Renovationskonzept abgestimmt sind. Das Ziel sind Bauerneuerungen, die dem Stand von Neubauten entsprechen und energetisch mindestens den Minergie-Standard erreichen.
- PRÉVISION ET JUSTIFICATION DES CONSOMMATIONS D'ÉLECTRICITÉ POUR 3 CATÉGORIES DE BÂTIMENT** F+E 1.2

Lead: Weinmann Energies SA	Funding: BFE
Contact: Gass Francine francine.gass@weinmann-energies.ch	Period: 2008–2011

Abstract: Les travaux de recherche entrepris visent à comprendre la consommation d'électricité d'un bâtiment et de développer une méthode d'analyse simplifiée à partir des informations figurant sur la facture d'électricité.
- RENO_HP: INSTALLATION TECHNIQUE DÉCENTRALISÉE POUR LA RÉNOVATION À HAUTE PERFORMANCE DE BÂTIMENT** P+D 1.2

Lead: HEIG-VD LESBAT	Funding: BFE
Contact: Citherlet Stéphane stephane.citherlet@heig-vd.ch	Period: 2010–2011

Abstract: Ce projet vise à effectuer différentes mesures durant une année sur un bâtiment d'habitation rénové Minergie-P. Les performances d'un système compact, intégré et décentralisé pour la distribution de la ventilation et de l'eau chaude pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire est analysée.
- REMOVE RÉNOVATION DES BÂTIMENTS: ASPECTS ÉNERGÉTIQUES ET ÉCONOMIQUES** F+E 1.2

Lead: Ecole d'Ingénieurs du Valais	Funding: BFE
Contact: Bonvin Michel michel.bonvin@hevs.ch	Period: 2009–2011

Abstract: renovE consistera en un outil de communication accessible depuis n'importe quel navigateur Web et visant à motiver le grand public à entreprendre une rénovation énergétique de sa maison. Après une évaluation de l'état actuel du bâtiment au moyen d'un questionnaire dynamique clair et ludique, des améliorations énergétiques seront proposées de même que les investissements nécessaires correspondant.
- SANIERUNG DER FASSADE DES DENKMALGESCHÜTZTEN MEHRFAMILIENHAUSES AUS DEM JAHR 1877 MIT VERPUTZTER AEROGEL-HOCHLEISTUNGSWÄRMEDÄMMUNG** F+E 1.2

Lead: Architekturbüro Vera Gloor AG	Funding: BFE
Contact: Wenger Martin wenger@veragloor.ch	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.
- STORES INTELLIGENTS: GESTION PIÈCE PAR PIÈCE DES STORES ÉLECTRIQUES** F+E 1.2

Lead: HES-SO Valais	Funding: BFE
Contact: Bützberger Fariba Fariba.Moghaddam@hevs.ch	Period: 2009–2011

Abstract: Le but du projet est d'optimiser la consommation d'énergie de chauffage ou de climatisation des bâtiments, en profitant au mieux des apports naturels par un pilotage intelligent des stores électriques.
- 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: 2009–2011

Abstract: Das Pilotprojekt swisswoodhouse soll 1 zu 1 die Umsetzbarkeit der 2000-Watt-Gesellschaft im Gebäudebereich aufzeigen. 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 soll das Produkt, trotz den hohen Anforderungen, wirtschaftlich sein.

● **SYSTEMNACHWEIS MINERGIE ECO 2010** F+E 1.2

Lead:	Intep/E4Tech	Funding:	BFE
Contact:	Kelleneberger Daniel kellenberger@intep.com	Period:	2010–2011
Abstract:	Die heute vorhandenen Produkte der erweiterten Erprobungsphase bestehen aus einem aktualisierten Tageslichterfüllungstool für Neubauten und Modernisierungen, dem Vorgehen zur Bestimmung der Pauschalgrenzwerte, aus einer überarbeiteten Fragen- und Anforderungsliste für den Schallschutz, aus einem Entwurf für die Ergänzung und Überarbeitung des Vorgabenkatalogs, aus einer überarbeiteten Bewertungsmatrix und aus einem überarbeiteten Nachweisinstrument.		

● **UMNUTZUNG VON HEIZÖLTANKS ZU NIEDERTEMPERATURSPRICHERN FÜR DIE SOLARTHERMISCHE ENERGIENUTZUNG IN GEBÄUDEN** F+E 1.2

Lead:	Spörri Schmitter Architekten	Funding:	BFE
Contact:	Spörri M. m.spoerri@spoerri-schmitter.ch	Period:	2010–2011
Abstract:	Bei Renovation oder Umbau von Gebäuden mit Ölheizung, bei welchen diese durch ein anderes Heizsystem ersetzt werden soll, besteht die Optionen den Heizöltank als Wärmespeicher in das neue zu integrieren		

● **URBAN CLIMATE AND ENERGY DEMAND IN BUILDINGS** F+E 1.2

Lead:	EMPA Abt. 118 Building Technol	Funding:	BFE
Contact:	Dorer Viktor victor.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.		

● **VAKUUMDÄMMUNG IM BAUBEREICH – DEKLARATION UND AUSLEGUNG** F+E 1.2

Lead:	Dr. Eicher + Pauli AG	Funding:	BFE
Contact:	Erb Markus markus.erb@eicher-pauli.ch	Period:	2007–2010
Abstract:	Mit diesem Projekt wird der Einsatz von Vakuum-Paneelen (VIP) im Baubereich auf ein sicheres Fundament gestellt.		

● **VAKUUMDÄMMUNG IN FASSADENANWENDUNGEN – MESSTECHNISCHE BEGLEITUNG UND LEISTUNGSUNTERSUCHUNG** F+E 1.2

Lead:	EMPA Abt. 118 Building Technol	Funding:	BFE
Contact:	Ghazi Wakili K. karim.ghaziwakili@empa.ch	Period:	2008–2010
Abstract:	Vakuumdämmung in Fassadenanwendungen - messtechnische Begleitung und Leistungsuntersuchung		

● **VERTRETUNG DES BUNDESAMTS FÜR ENERGIE IM ERA-NET ERACOBUILD** F+E 1.2

Lead:	Basler & Hofmann AG	Funding:	BFE
Contact:	Eric Langensjöld Eric.Langenskiold@baslerhofmann.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	Vertretung des Bundesamts für Energie im ERA-Net Eracobuild		

● **WÄRMEVERLUST VON FUNKTIONSÖFFNUNGEN** F+E 1.2

Lead:	HSLU ZIG	Funding:	BFE
Contact:	Plüss Iwan iwan.pluess@hslu.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Vorstudie zur Quantifizierung des Wärmeverlusts von Gebäuden über Funktionsöffnungen infolge Einrohrzirkulation		

Rationelle Energienutzung im Verkehr & Akkumulatoren

(* IEA-Klassifikation)

● 20 KW RANGE EXTENDER FÜR ELEKTRISCH ANGETRIEBENE AUTOMOBILE R&D 1.3*

Lead:	swissauto / Burgdorf	Funding:	BFE
Contact:	Kohler Beat b.kohler@swissauto.com	Period:	2009–2010
Abstract:	Swissauto entwickelt einen kleinen, hoch effizienten 1 Zylinder 4-Takt Motor. Dieser wird zusammen mit einem Elektroantrieb der Firma Brusa in einen VW Polo verbaut. Am Fahrzeug selbst werden Optimierungsmassnahmen getroffen.		

● BEGLEITFORSCHUNG ZU INNOVATION UND DIFFUSION VON ALTERNATIVEN FAHRZEUGEN UND TREIBSTOFFEN R&D 1.3

Lead:	Novatlantis	Funding:	BFE
Contact:	Perret Samuel samuel.perret@sustainerv.com	Period:	2009–2010
Abstract:	Das Projektteam untersucht im Rahmen Pilotregion Basel die Wirkung von Fördermassnahmen auf die Diffusion von Erdgasfahrzeugen.		

● DER BLUE ANGEL ALS PLUG IN HYBRID R&D 1.3

Lead:	HSLu / Horw	Funding:	BFE
Contact:	Härrli Vinzenz vinzenz.haerri@hslu.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Der Blue Angel, ein Seriehybridfahrzeug aus der ersten Generation (1996), wird mit neusten Baugruppen elektrifiziert und zum Plug in Hybrid Fahrzeug umgebaut.		

● 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.		

● ENERGIEEFFIZIENTER VOLLVARIABLER VENTILTRIEB R&D 1.3

Lead:	EMPA / Dübendorf	Funding:	BFE
Contact:	Bach Christian Christian.Bach@empa.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	Die EMPA entwickelt ein hybrides Erdgasfahrzeug mit voll variablem Ventiltrieb. Diese R&D Arbeit setzt quasi das CLEVER Forschungsprojekt fort.		

● ENERGIEVERBRAUCH IM ÖFFENTLICHEN VERKEHR: FAHRZEUGHÜLLEN R&D 1.3

Lead:	Uni Basel	Funding:	BFE
Contact:	Oelhafen Peter peter.oelhafen@unibas.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Dieses Projekt erforscht Möglichkeiten zur energetischen Optimierung der Fahrzeughüllen von Schienen- wie auch Busfahrzeugen.		

● ENTWICKLUNG EINES HYBRIDEN ANTRIEBSYSTEMS

R&D 1.3

Lead:	ETH Zürich / IDSC	Funding:	BFE
Contact:	Guzzella Lino lguzzella@ethz.ch	Period:	2006–2011
Abstract:	Das IDSC erforscht auf dem dynamischen Prüfstand einen pneumatischen Hybridantrieb für die Polo-Klasse. Bis anhin hat das kostengünstig herstellbare System eine Verbrauchseinsparung von bis 35 % nachgewiesen.		

● E-SCOOTERS: MARKTENTWICKLUNG, ANALYSE DER AKTEURE

R&D 1.3

Lead:	Uni Bern	Funding:	BFE
Contact:	Hofmann Heidi hofmann@ikaoe.unibe.ch	Period:	2009–2013
Abstract:	IKAÖ, EMPA, PSI und e'mobile 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.		

● FUEL AND TECHNOLOGY ALTERNATIVES FOR BUSES IM RAHMEN DER IMPLEMENTING AGREEMENTS AMF UND HEV DER IEA

R&D 1.3

Lead:	HTI Biel	Funding:	BFE
Contact:	Czerwinski Jan jan.czerwinski@bfh.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Das Implementing Agreement Advanced Motor Fuels (IA AMF) ist eine Fachgruppe, die sich mit den Problemen der Kraftstoffe, der Alternativkraftstoffe, der Energie und Emissionen befasst. Diese Fachgruppe besteht aus Vertretern der Behörden, der Industrie, der Forschungsinstitute und der Universitäten der Mitgliedsländer.		

● IMPLEMENTING AGREEMENT HYBRID- AND ELECTRIC VEHICLES HEV

R&D 1.3

Lead:	Solarcenter Muntwyler (Zollikofen)	Funding:	BFE
Contact:	Kleindienst Muntwyler Sigrid s.kleindienst@solarcenter.ch	Period:	2007–2010
Abstract:	Das Implementing Agreement Hybrid- and Electric Vehicles HEV der IEA bearbeitet in den dazu gehörenden Annexes Themen wie Informationsverbreitung, Akkumulatoren, Hybride Fahrzeuge, Brennstoffzellen, Nutzfahrzeuge und stellt ein wichtiges Bindeglied zum IA AMF dar.		

● LAMPO-ELEKTROFAHRZEUG

P&D / WTT 1.3

Lead:	Protoscar SA (Rovio)	Funding:	BFE
Contact:	Piffaretti Marco m.piffaretti@protoscar.com	Period:	2009–2010
Abstract:	Protoscar SA entwickelt in dieser Projektreihe sportliche Fahrzeuge als Demonstratoren. Diese werden u. A. am Autosalon in Genf präsentiert, können jedoch vom Publikum bei andern Anlässen erprobt werden.		

● LEICHTBAU IM AUTOMOBIL MIT HILFE VON BIONIK-SIMULATION UND VERBUNDWERKSTOFFEN

R&D 1.3

Lead:	Georg Fischer AG (Schaffhausen)	Funding:	BFE
Contact:	Rau Guido guido.rau@georgfischer.com	Period:	2007–2010
Abstract:	Georg Fischer entwickelt ein Methodenset, mit dem Automobile Baugruppen bezogen auf die physikalischen und sicherheitstechnischen Anforderungen derselben, ein Gewichtsminimum erzielt wird (Bioniksimulation).		

● LIGHT-TEC I - LEICHTBAU MIT THERMOPLASTISCHEN COMPOSITES

R&D 1.3

Lead:	Esoro AG (Fällanden)	Funding:	BFE
Contact:	Jaggi Diego diego.jaggi@esoro.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	In LIGHT-TEC-I wird ein Produktionsverfahren für Faserverbund-Materialien, der sogenannte Schmelzprägeprozess, entwickelt, welches 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: Gewichtsreduktion im Fahrzeug, soll damit einen erheblichen Schritt weitergebracht werden.		

● **MINT: MODEL AND DECISION SYSTEM FOR EVALUATION OF INTERMODAL TERMINAL NETWORKS (ERA-NET TRANS)** R&D 1.3

Lead:	Rapp Trans (Zürich)	Funding:	BFE
Contact:	Ruesch Martin Martin.Ruesch@rapp.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	MINT ist ein transnationales strategisches Projekt zur Verbesserung von bestehenden und Erarbeitung von neuen Modellen und Methoden für die Planung und Evaluierung von intermodalen Terminals und Terminalnetzwerken. Die Ergebnisse dienen zur Verbesserung der Grundlagen für Entscheide zu Terminalnetzen, Terminalstandortkonzepten sowie die Beurteilung von Terminalgesuchen. Das Projekt wird im Rahmen der europäischen Forschungsinitiative ERANET Transport durchgeführt.		

● **MOBILITY THROUGH COMMUNICATION, COMPUTATION AND CONTROL (MC3)** R&D 1.3

Lead:	ETH Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Guzzella Lino lguzzella@ethz.ch	Period:	2007–2011
Abstract:	Im Grundlagenprojekt MC3 – Future Mobility using Communication, Computation and Control, untersucht die ETH Zürich, zusammen mit der EPF Lausanne, die Möglichkeiten und die Voraussetzungen für einen radikalen Leichtbau von Fahrzeugen, der eine Absenkung des spezifischen Verbrauchs um den Faktor 3 zum Ziel hat.		

● **SWISSCLEANDRIVE** R&D 1.3

Lead:	SwissCleanDrive	Funding:	BFE
Contact:	Bolliger Martin mb@nextwave.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	SwissCleanDrive GmbH entwickelte auf Basis eines Fiat 500 ein kleines Plug in Hybrid Fahrzeug das künftig in einer Kleinserie zum Verkauf angeboten werden soll.		

● **TESS – INTERMODAL SOLUTIONS FOR TRANS-EUROPEAN TEMPERATURE SENSITIVE SHIPMENTS** R&D 1.3

Lead:	ETH Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Wichser Jost wichser@ivt.baug.ethz.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Das transnationale Projekt TESS entwickelt innerhalb ERA NET Trans intermodal Solutions for Trans-European Temperature Sensitive Shipments		

● **TRENDWATCHING GROUP SMART GRID / PLUG-IN-FAHRZEUGE** R&D 1.3

Lead:	ENCO AG (Liestal)	Funding:	BFE
Contact:	Horbaly Robert robert.horbaly@enco-ag.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Das Projekt bildet eine Drehscheibe für die Schnittstelle Smart Grid und Plug-In-Fahrzeuge mit den Teilaufgaben Informationsaustausch, Vernetzung und Initiierung von Forschungsprojekten in der Autoindustrie		

● **WIRKUNGSGRADKETTE PW-ANTRIEB** R&D 1.3

Lead:	ETH Zürich (LAV)	Funding:	BFE
Contact:	Boulouchos Konstantinos noembrini@lav.mavt.ethz.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Das LAV der ETH Zürich untersucht in diesem Projekt den Wirkungsgrad von Antriebsketten. Projektgegenstand ist die Untersuchung unterschiedlicher Fahrzeug-Antriebsarten in Bezug auf ihren Energiebedarf und CO2-Emissionen mit Berücksichtigung der Umwandlungsschritte auf der gesamten Energiekette. Auf dieser Basis werden die Wechselwirkungen mit der Elektrizitätswirtschaft, bezogen auf die Gegebenheiten der Schweizer Flotte, gerechnet und die Auswirkungen auf die Netze abgebildet.		

● **FIAT 500 TWINAIR ERDGAS TURBO** P&D / WTT 1.3

Lead:	Gasmobil (Arlesheim)	Funding:	BFE
Contact:	Tschopp Ralph ralph.tschopp@gasmobil-ag.ch	Period:	2010–2011
Abstract:	Gasmobil liess im Rahmen dieses Projektes einen Fiat 500 serienah auf den Erdgasantrieb umrüsten. Das Fahrzeug wurde vom VCS, neben dem Lexus 200h zum umweltfreundlichsten Fahrzeug erkoren und kann jetzt bestellt werden (Kleinserie).		

● **ABLIM** R&D 6.1

Lead:	KWO / HTI Biel / Battery Consult	Funding:	BFE
Contact:	Ursin Max urh@kwo.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Im Projekt ABLIM der KWO wird ein Lebensdauermodell für NaNiCl-Zellen (ZEBRA) aufgestellt. Mit diesem Modell sollte es möglich werden, die Lebensdauer von ZEBRA-Batterien in Elektroautos besser vorherzusagen und Hinweise zu bekommen, wie solche Zellen weiter entwickelt werden sollen, damit sie eine höhere Lebenserwartung erreichen. Das wiederum sollte die ZEBRA-Batterien wirtschaftlicher, (günstiger) und zuverlässiger machen.		

● **HIBA PAC: HOCHLEISTUNGS-BATTERIE AUF BASIS LIFE-PO4 ALS ERSATZ FÜR BLEI-STARTERBATTERIEN** R&D 6.1

Lead:	Drivetek AG (Ipsach)	Funding:	BFE
Contact:	Raible Christoph christoph.raible@drivetek.ch	Period:	2008–2010
Abstract:	Drivetek erarbeitete auf Basis einer Lithium Nanophosphat Zelle eine Hochleistungsbatterie. Einsatzgebiet solcher Batterien sind Hybrid- (Strasse, Luftfahrt) und Elektrofahrzeuge mit kurzer Reichweite (Pendlerfahrzeuge) sowie Starterbatterien. Der Vorteil der Lithium Nanophosphat Technologie liegt in der Schnellladefähigkeit (4C) und hohen Leistungsdichte (3000 W/kg). Weiter gilt diese Zellenchemie als relativ eigensicher.		

Elektrizitätstechnologien und -anwendungen

(* IEA-Klassifikation)

● **ADVANCED 3-PHASE MULTIPULSE RECTIFIERS AND INVERTERS** F+E 1.1*

Lead:	Schaffner EMV AG	Funding:	BFE
Contact:	Häberle Norbert 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.		

● **ANALYSE UND VORGEHEN ZUR ENERGETISCHEN OPTIMIERUNG VON PUMPEN BEI WASSER-VERSORGUNGEN** F+E 1.1

Lead:	Ryser Ingenieure	Funding:	BFE
Contact:	Roth Yann yann.roth@rysering.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines zweistufigen Pumpenchecks. In einem ersten Schritt kann ein Betreiber eine erste Grobanalyse vornehmen und das Optimierungspotential seiner Pumpen abklären. In einem zweiten Schritt wird eine detaillierte Analyse der Wasserversorgung durchgeführt, in der die Wirtschaftlichkeit eines Pumpenersatzes aufgezeigt wird.		

● **COST-EFFECTIVE AND RELIABLE THERMOELECTRIC CONVERTERS FOR INDUSTRIAL WASTE HEAT RECOVERY** P+D 6.1

Lead:	EMPA	Funding:	BFE
Contact:	Weidenkaff Anke 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 SCHICHT-STRUKTUREN (LTEC)** F+E 6.1

Lead:	EMPA	Funding:	BFE
Contact:	Weidenkaff Anke Anke.Weidenkaff@empa.ch	Period:	2008–2012
Abstract:	Ziel des Projekts ist eine effiziente Abwärmennutzung 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.		

● **EFFIZIENTER BETRIEB VON ASYNCHRONMASCHINEN** F+E 1.1

Lead:	FHNW	Funding:	BFE
Contact:	Jenni Felix felix.jenni@fhnw.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Der grösste Anteil der Verluste kann Käfigläufer-Asynchronmotoren (ASM) im mittleren Leistungsbereich zugeordnet werden. Das Verhalten der Maschinen mit einem Frequenzumrichter in verschiedenen Betriebsfällen wird mittels Simulationen untersucht und beschrieben.		

● **EFFIZIENZSTEIGERUNG IM HAUSHALT DURCH DIGITALSTROM** F+E 1.2

Lead:	Encontrol Gmbh	Funding:	BFE
Contact:	Huser Alois alois.huser@encontrol.ch	Period:	2008–2012
Abstract:	Mit dem vorliegenden Projekt sollte untersucht werden, ob die DigitalSTROM-Initiative einen wesentlichen Einfluss auf den Strombezug der schweizerischen Haushalte haben könnte. Weil die Komponenten nicht geliefert werden konnten, hat das Bundesamt für Energie entschieden, das Projekt abubrechen.		

● **ERSTELLEN EINES THERMOELEKTRISCHEN DEMONSTRATORS** F+E 6.1

Lead:	EMPA	Funding:	BFE
Contact:	Weidenkaff Anke Anke.Weidenkaff@empa.ch	Period:	2007–2010
Abstract:	Thermoelektrische Generatoren (TEG) dienen zur direkten Umwandlung von Sonnenwärme in Elektrizität. Mit Hilfe eines Sonnenlichtsimulators wurde untersucht, welche Parameter die Leistungsabgabe und den Wirkungsgrad der TEG beeinflussen.		

● **FERNSTEUERUNGEN FÜR RAUMHEIZUNGEN** F+E 1.2

Lead:	Bush Energie GmbH	Funding:	BFE
Contact:	Bush Eric eric.bush@bush-energie.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Eine ferngesteuerte Heizung ermöglicht es, in zeitweise bewohnten Wohnungen die Raumtemperatur bei Abwesenheit maximal abzusenken (Frostschutzbetrieb). In dieser Arbeit werden Fernsteuergeräte vorgestellt, die aktuell auf dem Markt erhältlich sind. Ihre Vor- und Nachteile, ihre technischen Eigenschaften sowie ihre Einsatzmöglichkeiten werden diskutiert.		

● **FUNKTIONSMUSTER EINES DRUCKLUFTSPEICHERS** F+E 6.3

Lead:	Enairys Powertech Ltd	Funding:	BFE
Contact:	Lemofouet Sylvain sylvain.lemofouet@enairys.com	Period:	2009–2010
Abstract:	Le but du présent projet est de réaliser 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.		

● **HOCHEFFIZIENTE ISOLATION FÜR HAUSHALTSGERÄTE** F+E 1.2

Lead:	Helbling Technik AG	Funding:	BFE
Contact:	Tischhauser Hans hans.tischhauser@helbling.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	An den beiden Beispielen „Kaffeemaschine“ und „Kühlschrank“ wurden Ansätze für eine hocheffiziente thermische Isolation von Haushaltsgeräten untersucht. Die Machbarkeitsstudie hat sich auf Strukturen mit Vakuum-Spalt ohne Kernmaterialien konzentriert.		

● **HOCHEFFIZIENTE ISOLATION FÜR HAUSHALTSGERÄTE–ZYLINDRISCHER KÜHLSCHRANK** F+E 1.2

Lead:	Helbling Technik AG	Funding:	BFE
Contact:	Tischhauser Hans hans.tischhauser@helbling.ch	Period:	2010–2012
Abstract:	Im vorliegenden Projekt geht es darum, den Prototypen eines Vakuum-isolierten, zylindrischen Kühlschranks in Originalgrösse, d. h. beispielsweise mit Ø 600 mm und Höhe 1400 mm aufzubauen und zu testen.		

● **HOEFFIZIENTE ISOLATION IN HAUSHALTSGERÄTEN–KAFFEEMASCHINEN** F+E 1.2

Lead:	Helbling Technik AG	Funding:	BFE
Contact:	Tischhauser Hans hans.tischhauser@helbling.ch	Period:	2010–2011
Abstract:	Das Projekt "Hocheffiziente Isolation für Haushaltsgeräte–Kaffeemaschine" hat zur Zielsetzung die Erstellung und Untersuchung von Prototypen einer Heisswasser-Aufbereitung mit hocheffizienter Isolation für Kaffeemaschinen, wobei Alternativen zur Heisswasser-Aufbereitung und zur Isolation mit Vakuum-Spalt geprüft werden.		

● **HOEFFIZIENTE ISOLATION FÜR HAUSHALTSGERÄTE–TECHNOLOGIEABKLÄRUNGEN FÜR VAKUUMPANEL** F+E 1.2

Lead:	Helbling Technik AG	Funding:	BFE
Contact:	Tischhauser Hans hans.tischhauser@helbling.ch	Period:	2010–2011
Abstract:	Im vorliegenden Projekt wird untersucht, inwiefern bei kubischen Kühlschränken die Vakuum-Isolation mit Vakuum-Panels realisiert werden kann und zwar derart, dass die Resultate ganz allgemein auf Vakuum-Panels anwendbar sind und auch durch Drittanwendungen genutzt werden können.		

● **IEA 4E IMPLEMENTING AGREEMENT STANDBY ANNEX** Int. 1.2

Lead:	Australian Government	Funding:	BFE
Contact:	Holt Shane shane.holt@iea.org	Period:	2009–2011
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. Standby ist dabei ein wichtiges Thema und die Schweiz nimmt in diesem Agreement eine aktive Rolle ein.		

● **IEA 4E IMPLEMENTING AGREEMENT: MOTOR ANNEX** Int. 1.1

Lead:	A+B International	Funding:	BFE
Contact:	Brunner Conrad U. cub@cub.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	Der Electric Motor Systems Annex (EMSA) versucht, 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.		

● **IEA 4E EXCO-VERTRETER IMPLEMENTING AGREEMENT 4E** Int. 1.2

Lead:	R. Brüniger AG	Funding:	BFE
Contact:	Brüniger Roland roland.brueiniger@r-brueiniger-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 Themen Motoren, Standby, Mapping & Benchmarking und LED stehen dabei im Vordergrund.		

● **IEA-HTSL-IMPLEMENTING AGREEMENT EXCO** Int. 7.2

Lead:	R. Flükiger	Funding:	BFE
Contact:	Flükiger René 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.		

● **KOMPETENZZENTRUM ENERGIE UND INFORMATIONSTECHNIK** F+E 1.2

Lead:	CEPE	Funding:	BFE
Contact:	Aebischer Bernard baebischer@ethz.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	Das Kompetenzzentrum Energie und Informationstechnik leistet einen Beitrag zu einem rationelleren Energieeinsatz bei Informationstechnik/Unterhaltungselektronik. Dazu werden in erster Linie die relevanten Informationen im In- und Ausland gesammelt, aufbereitet und verbreitet. Daneben werden umsetzungsorientierte Forschungsthemen analysiert.		

● **LOREMA LOAD RECOGNISED METER AND ACTOR** F+E 1.2

Lead:	lhomeLab	Funding:	BFE
Contact:	Klapproth Alexander 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** F+E 1.2

Lead:	awtech AG	Funding:	BFE
Contact:	Kaiser Andreas andreas.kaiser@awtec.ch	Period:	2010–2011
Abstract:	In der Schweiz verbrauchen die installierten Elektrospeicheröfen ca. 1'000 GWh Strom pro Jahr. Bei einer angestrebten Jahresarbeitszahl (JAZ) einer Einzelraumwärmepumpe von 3.0 ergibt sich somit ein Energiesparpotential von 2/3 des aktuellen Verbrauchs. Mit einem Industriepartner wird deshalb ein Prototyp einer Einzelraumwärmepumpe entwickelt.		

● **MEGA-MEHR ENERGIEEFFIZIENZ DURCH GEZIELTE ANWENDERINFORMATIONEN** F+E 1.2

Lead:	Hochschule Luzern, CEESAR	Funding:	BFE
Contact:	Rold Kistler rolf.kistler@hslu.ch	Period:	2008–2010
Abstract:	Personen sind eher motiviert Energie zu sparen, wenn ihnen Informationen über ihren persönlichen Energieverbrauch zur Verfügung gestellt werden. Mit diesem Projekt wurde der Aufbau von technisch und wirtschaftlich realisierbaren Möglichkeiten aufgezeigt, die das Bewusstsein für Energie und diesbezügliche Sparmöglichkeiten fördern.		

● **MIKROSTRUKTURIERUNG VON HOCHLEISTUNGSPOLYMEREN FÜR THERMOELEKTRISCHE GENERATOREN MITTELS LASER** F+E 6.1

Lead:	Fachhochschule Nordwestschweiz /GreenTEG GmbH	Funding:	BFE
Contact:	Armin Stumpff armin.stumpff@fhnw.ch	Period:	2010–2011
Abstract:	Die grossflächige Mikrostrukturierung von Polymerfolien ist ein essentieller Schritt zur wirtschaftlichen Produktion neuartiger, thermoelektrischer Generatoren (TEGs). In diesem Projekt wird die Eignung der Picosekunden-Lasertechnologie zur Strukturierung der Folien untersucht.		

● **MODIFIZIERTER A++-KÜHLSCHRANK MIT HALBEM ENERGIEVERBRAUCH** F+E 1.2

Lead:	awtech AG	Funding:	BFE
Contact:	Stahl Stefan stefan.stahl@awtec.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Kühlschränke verbrauchen in Europa je nach Quelle 14–20 % der elektrischen Energie in Haushalten. Die ca. 6 Millionen Kühlgeräte in der Schweiz verbrauchen etwa 2500 GWh/a. In diesem Projekt wird gezeigt, dass durch einfache Modifikationen an einem handelsüblichen Kühlschrank der zurzeit besten Energieklasse A++ bis zu 27 % der elektrischen Energie eingespart werden kann.		

● **NOVEL HARMONICS 3-PHASE RECTIFIER FOR EFFICIENT MOTOR SYSTEMS** F+E 1.1

Lead:	Schaffner EMV AG	Funding:	BFE
Contact:	Häberle Norbert norbert.haeberle@schaffner.com	Period:	2009–2010
Abstract:	Zur effizienten Nutzung elektrischer Energie müssen Netzoberschwingungen minimiert werden. Im Projekt wurde eine Machbarkeitsstudie durchgeführt, welche nachweist, dass neue passive Multipuls-Strom-Splitter kostengünstige, kompakte und hoch zuverlässige Oberwellen-Kompensatoren für dreiphasige Lasten sind.		

● **PROTOTYP EINES VAKUUM-WÄSCHETROCKNERS** F+E 1.2

Lead:	innostarter AG	Funding:	BFE
Contact:	Ganz Jochen jochen.ganz@awtec.ch	Period:	2010–2013
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.		

● SMART METERING CONSUMPTION

F+E, Int 1.4

Lead:	Ecodesign Company, Wien	Funding:	BFE
Contact:	Wimmer Wolfgang 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.		

● SMART METERING POUR ÉCO-CITÉ

F+E 1.4

Lead:	HES-SO Valais	Funding:	BFE
Contact:	Gabioud Dominique dominique.gabioud@hevs.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Le projet Smart metering pour éco-cités a pour but de fournir aux gestionnaires de réseau de distribution un accompagnement scientifique pour le déploiement du smart metering. Le projet traite les éléments contribution au développement durable, modèles de financement, tarification dynamique, modélisation du système d'information, gestion de la charge, technologie et normalisation.		

● STANDBY-OPTIMIERUNG BESTEHENDER AUFZUGSANLAGEN

F+E 1.2

Lead:	Inventio AG / Schindler AG	Funding:	BFE
Contact:	Lindegger Urs urs.lindegger@ch.schindler.com	Period:	2009–2010
Abstract:	Dieses Projekt hat als Ziel die Standby-Optimierung bestehender Aufzugsanlagen. Mittels einem speziell in diesem Projekt entwickelten Standby-Reduktions-Gerät werden Aufzüge automatisch vom Netz getrennt und bei Bedarf wieder eingeschaltet.		

● THERMOELEKTRISCHER GENERATOR FÜR STROMERZEUGUNG AUS NIEDERTEMPERATURWÄRME

P+D 6.1

Lead:	ETH Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Bitschi Andreas abitschi@eeh.ee.ethz.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Im vorliegenden Projekt wird ein thermoelektrisches Energieerzeugungssystem entwickelt und realisiert, mit welchem die grundsätzliche Realisierung der Stromerzeugung aus Niedertemperaturenergie aufgezeigt wird und somit auch als Demonstrationsobjekt eingesetzt werden kann.		

● ÜBERBLICK DEUTSCHSPRACHIGER FORSCHUNGSAKTIVITÄTEN IM BEREICH HOME AUTOMATION

F+E 1.2

Lead:	Bus House	Funding:	BFE
Contact:	Staub Richard richard.staub@bus-house.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	In diesem Projekt wurde untersucht, welche Forschungsstellen in Deutschland und Österreich im Zeitraum von 2004–2009 Projekte zum Thema Home Automation / Smart Home durchgeführt haben. Daraus wurden die besonders relevanten identifiziert sowie eine Kategorisierung von Untersuchungsgebieten festgelegt.		

● VERLUSTE VON FREQUENZUMFORMERN IM MOTORENBEREICH

F+E 1.1

Lead:	Schnyder Ingenieure AG	Funding:	BFE
Contact:	Schnyder Gilbert gilbert.schnyder@sing.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Zur Erhöhung der Effizienz von Antriebssystemen mit elektrischen Motoren werden Frequenzumrichter eingesetzt. Die heute eingesetzten Frequenzumrichter (FU) sind Quellen von Oberschwingungen. Diese bewirken im speisenden elektrischen Verteilnetz Verluste. Diese gilt es zu quantifizieren.		

● ZENTRALE MAGNETISCHE KÜHL- UND KÄLTEMASCHINE (CHILLER) UND IHRE BEWERTUNG

F+E 6.1

Lead:	HEIG-VD	Funding:	BFE
Contact:	Egolf Peter peter.egolf@heig-vd.ch	Period:	2008–2010
Abstract:	Diese Arbeit stellt eine thermodynamische und ökonomische Analyse von Anwendungen von rotativen magnetischen Kältemaschinen (Chillern) dar.		

Netze

(* 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: | 2008–2011 |
| 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. It intends to provide new business opportunities to enterprises. | | | |
- | | | | |
|---|---|----------|-----------|
| ● | 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. On the way from our actual electricity grid to the Smart Grids challenging regulatory, economic, social and technical challenges must be solved and scientific system questions answered. | | | |
- | | | | |
|---|--|----------|------------------|
| ● | BI-DIRECTIONAL CHARGER FOR SWISS2G | R+D | 6.2 |
| Lead: | Drivetek AG | Funding: | BFE, SER, Privat |
| Contact: | Peter Baumann peter.baumann@drivetek.ch | Period: | 2009–2011 |
| Abstract: The future integration of more renewable energy sources to the public AC grid will be a big challenge. With so called vehicle to grid (V2G) concepts energy from the traction batteries of electric cars can be used for grid regulation. The Swiss2G project studies a new approach to control this regulation concept locally in every electric car based on measured AC grid parameters. To realize the Swiss2G project a bidirectional charger is needed, a prototype is being developed in this project. | | | |
- | | | | |
|--|---|----------|-----------|
| ● | IEA IA ENARD ANNEX II: DG SYSTEM INTEGRATION IN DISTRIBUTION NETWORKS | R+D, Int | 6.2 |
| Lead: | Bacher Energie AG | Funding: | BFE |
| Contact: | Rainer Bacher rainer.bacher@bacherenergie.ch | Period: | 2008–2011 |
| Abstract: IEA ENARD Annex II addresses key policy making questions around distributed generation systems integration into low and medium voltage. First, a detailed actual distribution network analysis regarding technical, economical and regulatory aspects has been made. Secondly, barriers on the way from the actual distribution grid to the Smart Grids have been identified. Finally recommendations were worked out during the project how to overcome these barriers. | | | |
- | | | | |
|---|---|----------|-------------|
| ● | IEA IA ENARD ANNEX IV: TRANSMISSION SYSTEMS | R+D, Int | 6.2 |
| Lead: | Swissgrid AG | Funding: | BFE, Privat |
| Contact: | Christof Duthaler christof.duthaler@swissgrid.ch | Period: | 2009–2011 |
| Abstract: The aim of the IEA ENARD Annex IV is to establish a long term vision for developments in transmission systems beyond 2020. The scope of the work includes addressing the main barriers towards a necessary development of transmission capacity and to identify the most promising solutions and challenges in terms of expansion planning and market analysis, secure operation of the transmission networks and the need for new transmission technology. | | | |
- | | | | |
|---|--|----------|-----------|
| ● | 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 Loock; Rainer Bacher moritz.loock@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 and influence on the future energy market, and the role's impact on established structures will be highlighted. | | | |

- **INTERAKTION VON KOMMUNIKATIONS- UND STROMNETZ DER SCHWEIZ BEI GROSSFLÄCHIGEN SCHADENSEREIGNISSEN** R+D 6.2
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | ETH Zürich | Funding: | BFE, SER |
| Contact: | Wolfgang Kröger
kroeger@mavt.ethz.ch | Period: | 2008–2010 |
- Abstract: The aim of the project is to combine models of the Swiss electricity transmission grid and Swiss ICT networks with models of large scale natural hazards such as, e.g., earthquakes and thunderstorms. Considering interactions between these infrastructure networks the probabilities of single components as well as of the system to fail are being estimated.
- **PRODUKTIONSPROGNOSEN FÜR NEUE ERNEUERBARE ENERGIEN: BASISDATEN, GRUNDLAGEN UND MARKTRECHERCH** R+D 6.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | METEOTEST; Enersis Suisse | Funding: | BFE |
| Contact: | René Cattin; Thomas Koller
rene.cattin@meteotest.ch | Period: | 2009–2010 |
- Abstract: The present report aims at determining the Potenzial of improved feed-in forecasts for new renewable energies (NRE) considering the characteristics of the Swiss energy market. Benefits of and Potenzial for improvement are identified and recommendations for additional measures are given.
- **PROJEKTL EITUNG «KOOPERATION D-A-CH SMART GRIDS»** Int 6.2
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Encontrol AG | Funding: | BFE |
| Contact: | Alois Huser
alois.huser@encontrol.ch | Period: | 2009–2011 |
- 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.
- **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 within the so-called SmartGrids ERA-Net (European Research Area Network) 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; Rainer Bacher
roman.rudel@supsi.ch | Period: | 2009–2013 |
- 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 »try“ to reproduce these measured phenomena with help of load flow simulation software programmes.
- **TOWARDS FUTURE ELECTRICITY NETWORKS** R+D, Int 6.2
- | | | | |
|----------|---|----------|-------------|
| Lead: | ETH Zürich | Funding: | BFE, Privat |
| Contact: | Göran Andersson
andersson@eeh.ee.ethz.ch | Period: | 2007–2011 |
- Abstract: The overall goal of this project is to develop an analysis and planning tool for electricity transmission systems taking into account economic, environmental and social requirements. Based on studies and investigations using the tool, sustainable transmission investment plans supporting the transition to future grids are being developed. In addition to standard power planning tools, it embraces future power plants, power transmission system, indirect costs caused by the electric power system and others.
- **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: | 2009–2013 |
- 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. By means of a pilot project the aim is to prepare the accordingly necessary knowledge and to gain the experience.

● **VOFEN – VISION OF FUTURE ENERGY NETWORKS**

R+D, Int 6.2

Lead:	ETH Zürich	Funding:	BFE, Privat
Contact:	Göran Andersson andersson@eeh.ee.ethz.ch	Period:	2004–2011
Abstract:	The objective of the Vision of Future Energy Networks (VoFEN) project is to develop scenarios how the systems for transmission and distribution of (electrical) energy should look like in 30 to 50 years for the improvement of ecology, economy and functionality. The idea is to build a fictitious optimum system from scratch neglecting the current system structure and to identify the differences between the present situation and the desirable system (backcast).		

Wärmepumpen, Wärme-Kraft-Kopplung, Kälte

(* IEA-Klassifikation)

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

R+D 7.2*

Lead:	Hochschule Luzern – Technik und Architektur, Horw	Funding:	BFE
Contact:	Beat Wellig beat.wellig@hslu.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	Als Ziel sollen Auslegungs- und Planungsgrundlagen für L/W-WP mit kontinuierlicher Leistungsregelung erarbeitet werden. Das Potenzial der Leistungsregelung wurde durch drei verschiedene Prototypen leistungsgeregelter L/W-WP bestätigt. Bei der Verwendung effizient regelbarer Kompressoren und Ventilatoren liegen die erreichbaren Jahresarbeitszahlen leistungsgeregelter L/W-WP im Bereich von heutigen Ein/Aus-geregelten Sole/Wasser-Wärmepumpen.		

● **EFFIZIENTE KÄLTEERZEUGUNG – INTEGRATION EINER EXPANSIONSMASCHINE IN EIN CO2-KÄLTESYSTEM**

R+D 7.2

Lead:	Frigo-Consulting AG, Gümligen	Funding:	BFE
Contact:	Raphael Gerber r.gerber@frigoconsulting.ch	Period:	2009–2011
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. In einer realen Anlage im Feld ist eine Expansions-Kompressions-Maschine in Betrieb genommen worden. Die Hubkolbenmaschine mit Verdichtungs- und Expansions-teilen und variabler Förderleistung wurde in Zusammenarbeit mit der TU Dresden entwickelt.		

● **XHOST HARVESTER – MEHR EFFIZIENZ MIT DEM GLEICHEN MOTOR**

R+D 7.2

Lead:	Ökozentrum Langenbruck, Langenbruck	Funding:	BFE
Contact:	Martin Schmid martin.schmid@oekozentrum.ch	Period:	2010–2011
Abstract:	Xhost Harvester ist eine patentierte Vorrichtung, welche einen kleinen Teil der Abgas-Abwärme eines thermischen Prozesses benutzt, um einen Unterdruck im Abgasstrang zu erzeugen. Dieser Unterdruck bewirkt eine Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades. In diesem Projekt wird dieses Konzept an einem Erdgas-BHKW getestet. Die gemessene Effizienzsteigerung betrug 2.6% bei 16 hPa Unterdruck. Erwartet waren 6% bei einem Unterdruck von bis zu 65 hPa. Theorie und Praxis korrespondieren dennoch gut.		

● **IEA-HPP-ANNEX 38: SOLAR AND HEAT PUMP SYSTEMS**

R+D 7.2

Lead:	IEA Heat Pump Programme, Borås, Sweden	Funding:	BFE
Contact:	Andreas Eckmanns www.heatpumpcentre.org	Period:	2010–2014
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 Potential aufzeigen. Die Resultate werden den Herstellern offengelegt und die aufgezeigten Verbesserungen sollen in der Praxis umgesetzt werden.		

● **SOFOWA – KOMBINATION VON SOLAROTHERMIE, FOTOVOLTAIK UND WÄRMEPUMPEN**

R+D 7.2

Lead:	Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut am Bau	Funding:	BFE
Contact:	Thomas Afjei thomas.afjei@fhnw.ch	Period:	2010–2014
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 Leitfaden zu erstellen.		

- **OPTIMIERUNG DER EINBINDUNG EINES 28 M3 WASSER SPEICHERS IN DIE BEHEIZUNG UND DIE WW-VERSORGUNG EINES EFH MIT W/W-WÄRMEPUMPE UND SOLARKOLLEKTOREN** R+D 7.2
- Lead: EIA-FR Ecole d'ingénieurs et d'architectes Funding: BFE
- Contact: Peter Kurmann peter.kurmann@hefr.ch Period: 2010–2012
- 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 Potential des Gesamtsystems aufzeigen. Bisher wurden die technischen Einrichtungen während mehreren Tagen mit und ohne Heizlast simuliert und mit realen Messdaten validiert.
- **ZIRKULATIONSVERLUSTE IN BRAUCHWARMWASSERANLAGEN – PHASE 1: ANALYSE** R+D 7.2
- Lead: Hochschule für Technik Buchs Funding: BFE
- Contact: Stefan Bertsch stefan.bertsch@ntb.ch Period: 2010–2011
- Abstract: Das Ziel ist die Untersuchung der Zirkulationsverluste in Wohnanlagen mit zentraler Brauchwarmwasser-Aufbereitung. Die Zirkulation wird vornehmlich in Mehrfamilien-Überbauungen, Hotels und Spitalern eingesetzt, um die geforderte Mindesttemperatur an der Zapfstelle garantieren zu können. Diese Mindesttemperatur wiederum wird benötigt, um einen wirkungsvollen Legionellenschutz zu gewährleisten. Es werden die optimalsten technischen Möglichkeiten evaluiert und mehrdimensional bewertet.
- **SEK – STANDARDLÖSUNGEN ZUM ENERGIEEFFIZIENTEN HEIZEN UND KÜHLEN MIT WÄRMEPUMPEN** R+D 7.2
- Lead: Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut für Energie am Bau Funding: BFE
- Contact: Thomas Afjei thomas.afjei@fhnw.ch Period: 2006–2010
- Abstract: Das Projekt SEK zeigt, mit welchen Wärmepumpensystemen der sommerliche Komfort im Wohnbereich energieeffizient gesteigert werden kann. Wärmepumpen können neben Heizwärme und Warmwasser auch Kühlenergie bereitstellen. Steigende Wärmelasten und höhere Behaglichkeitsansprüche im Sommer führen auch in Wohnbauten zu einem Kühlbedarf. Hohe Energieeffizienz wird jedoch nur erreicht, wenn vor dem Einsatz einer Kühlfunktion alle Reduktionsmöglichkeiten der Wärmelasten ausgeschöpft werden.
- **ÖLFREIER CO₂-KOMPRESSOR FÜR GROSSWÄRMEPUMPEN ZUR WARMWASSERERZEUGUNG – FUNKTIONSMUSTER** R+D 7.2
- Lead: awtec AG für Technologie und Innovation, Zürich Funding: BFE
- Contact: Dirk Uhlenhaut Dirk.Uhlenhaut@awtec.ch Period: 2009–2011
- Abstract: Das Projektziel ist die Entwicklung eines Verdichters für das natürliche Kältemittel CO₂ für Grosswärmepumpen, v.a. für Warmwasserbereitung. Aus Gründen der erforderlichen Lebensdauer soll der Kompressor schmierstofffrei ausgeführt werden, wozu sich ein Turbokompressor aufgrund der geringen Querkräfte in den Rotorlagern anbietet. Weitere Vorteile der Ölfreiheit sind die daraus resultierende Vereinfachung des Systems sowie die potentiell höheren Wirkungsgrade in den Wärmetauschern.
- **DYNAMISCHER WÄRMEPUMPENTEST, PHASE 3 UND 4** R+D 7.2
- Lead: Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs NTB Funding: BFE
- Contact: Stefan Bertsch stefan.bertsch@ntb.ch Period: 2008–2011
- Abstract: Das Projekt untersucht die Auswirkungen des Taktens (Leistungsregelung durch Ein- und Ausschalten) von Wärmepumpen auf die Leistungszahl. Luft/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen werden mit einem physikalischen Modell nachgebildet und mit Daten aus Feld- und Labormessungen messtechnisch validiert. In parametrischen Studien wird der Einfluss von Zyklusdauer und Laufzeitverhältnis auf die Leistungszahl und die Wärmeleistung untersucht.
- **MAGNETISCHE WÄRMEPUMPE MIT ERDWÄRME-QUELLE – OPTIMIERTER PROTOTYP** R+D 7.2
- Lead: Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud, Yverdon-les-Bains Funding: BFE
- Contact: Peter W. Egolf Peter.egolf@heig-vd.ch Period: 2007–2010
- Abstract: In einer früheren Machbarkeitsstudie wurde gezeigt, dass eine magnetische Wärmepumpe mit Erd-Sonde und Boden-Heizung wirtschaftlich sein kann. Im vorliegenden Projekt sollte die Planung, die Optimierung, der Bau und die experimentelle Untersuchung eines Prototyps umgesetzt werden. Es sollten hydrierte Lanthan Legierungen La(Fe, Si, H) eingesetzt werden, die aber sehr brüchig sind. Der Bau des Prototyps und dessen experimentelle Untersuchung konnten leider nicht realisiert werden.
- **HEIZEN MIT DER ERDGEKOPPELTEN DIFFUSIONS-ABSORPTIONS-WÄRMEPUMPE UND DIREKTKÜHLUNG IM KUNDENZENTRUM IWB STEINENVORSTADT BASEL** R+D 7.2
- Lead: Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut am Bau Funding: BFE
- Contact: Daniel Mollet daniel.mollet@fhnw.ch Period: 2008–2010
- Abstract: Das Kundenzentrum der Industriellen Werke Basel IWB ist ein MINERGIE-P®-Gebäude. Die Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser sollte mit einer erdgekoppelten gasbetriebenen Diffusions-Absorptions-Wärmepumpe mit integriertem Gas-Brennwertkessel erfolgen. Die Effizienz wurde mit einer Erfolgskontrolle überprüft. Im Sommer wurden 22 bis 30 °C und im Winter 20 bis 26 °C gemessen. Die Kühlleistung der Erdwärmesonden ist ungenügend. Leider funktionierte die DAWP-Wärmepumpe nicht.

- 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: Andreas Eckmanns www.heatpumpcentre.org	Period: 2011–2013

Abstract: Das internationale Gemeinschaftsprojekt IEA-HPP Annex 37 hat das Ziel, das Potential von Wärmepumpen für den Einsatz in verschiedenen Gebäuden ausgehend von existierenden Feldmessungen aufzuzeigen. Es sollen nur die besten technischen Lösungen einbezogen werden. Die berücksichtigten Feldmessungen werden auf gleichartige Auswertungsmethodik verglichen und Unterschiede sollen quantifiziert werden. Hier wird auch ein Vergleich zum SEPOMO-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: Andreas Eckmanns 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.
- 10TH INTERNATIONAL IEA HEAT PUMP CONFERENCE, 16–19 MAY 2011, TOKYO, JAPAN** R+D 7.2

Lead: IEA Heat Pump Programme	Funding: BFE
Contact: Thomas Kopp www.heatpumpcentre.org	Period: 2011

Abstract: Die 10. Internationale IEA Heat Pump Conference vom 16. bis 19. Mai 2011 in Tokyo beleuchtet die internationalen Aspekte in den Bereichen staatliche Programme und Tendenzen, Forschung und Entwicklung sowie Markt. Die Konferenz beinhaltet ca 250 wissenschaftliche Arbeiten. Die Resultate können in Form der über das Heat Pump Center in Borås Schweden bezogen werden.
- NEWS AUS DER WÄRMEPUMPENFORSCHUNG, TAGUNGSBAND 17. TAGUNG DES BFE FORSCHUNGSPROGRAMMS WÄRMEPUMPEN, WÄRME-KRAFT-KOPPLUNG, KÄLTE** R+D 7.2

Lead: Bundesamt für Energie	Funding: BFE
Contact: Thomas Kopp www.energieforschung.ch	Period: 2011

Abstract: Der Tagungsband berichtet über alle Referate, die an der 17. BFE-Wärmepumpentagung vom 29.6.2011 an der HTI Burgdorf präsentiert wurden. Die Referate beleuchten Highlights aus der laufenden Forschung, zum Beispiel aus den Bereichen CO₂-Anlagen oder Kombination von Wärmepumpen und thermischer Solartechnik und zeigen verschiedene interessante Anlagenbeispiele aus der Praxis.

Verbrennung

(* IEA-Klassifikation)

- BRENNSTOFFE FÜR HOMOGENE, SELBSTGEZÜNDETE VERBRENNUNGSPROZESSE** R+D 2.1.4*

Lead: ETHZ – Laboratorium für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme (LAV)	Funding: BFE
Contact: Boulouchos Konstantinos boulouchos@lav.mavt.ethz.ch	Period: 2005–2010

Abstract: Theoretische und experimentelle Untersuchung der Selbstzündungs- und Verbrennungseigenschaften von Brennstoff-Luft Gemischen wie sie in Verbrennungsmotoren im selbstgezündeten, homogenen Betriebsbereich (HCCI, Homogeneous Charge Compression Ignition) vorhanden sind. Mit dem Ziel eine geeignete Kennzahl zu definieren, die das Selbstzündungsverhalten der Kraftstoffe unter HCCI Bedingungen gut charakterisieren kann werden 10 Brennstoffe untersucht.
- ERWEITERUNG UND VALIDIERUNG DER CFD-SIMULATION FÜR NEUE MOTORISCHE BRENNVERFAHREN UND KRAFTSTOFFE** R+D 2.1.4

Lead: ETHZ – Laboratorium für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme (LAV)	Funding: BFE
Contact: Boulouchos Konstantinos boulouchos@lav.mavt.ethz.ch	Period: 2008–2011

Abstract: Erweiterung von Simulationswerkzeugen und deren 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 DIE CHARAKTERISIERUNG VON DIESELBRENNVERFAHREN AN DER NAHTSTELLE ZUR ABGASNACHBEHANDLUNG** R+D 2.1.4
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | ETHZ – Laboratorium für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme (LAV) | Funding: | BFE |
| Contact: | Boulouchos Konstantinos
boulouchos@lav.mavt.ethz.ch | Period: | 2008–2011 |
- 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).
- **GRUNDLAGEN ZUR ERWEITERUNG DES LEISTUNGSBEREICHS UN DER BRENNSTOFF-FLEXIBILITÄT VON ÖLBRENNERN MIT VORVERDAMPFERTECHNIK (VVT)** R+D 2.1.4
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | FHNW – Institut für Thermo- und Fluid-Engineering | Funding: | BFE |
| Contact: | Griffin Timothy
timothy.griffin@fhnw.ch | Period: | 2008–2011 |
- Abstract: Untersuchung der rückstandsfreien Verdampfung von biogenen Brennstoffen wie FAME, FMEE, RME oder AME in zwei verschiedene Verfahren der VVT. Toby-Verfahren: Zentrifugalzerstäubung mit einem rotierenden Becher und Oberflächenverdampfung durch Wärmeleitung. CatVap Verfahren: Katalytischen Reaktion an einer beschichteten Oberfläche eines kleinen Teils des Brennstoffs und Nutzung der entstandenen Wärme zur Verdampfung des übrigen Brennstoffs.
- **MODELING OF ENERGY CONVERSION PROCESSES AT THE MICROSCALE** R+D 2.1.4
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | PSI – Combustion Research | 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 Energieumwandlung 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.
- **INFLUENCES OF BIOCOMPONENTS (FAME) ON EMISSIONS AND ON EXHAUST SYSTEMS OF HD-DIESEL ENGINES (BIOEXDI)** R+D 2.1.4
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | BFH TI – Abgasprüfstelle und Motorenlabors (AFHB) | Funding: | BFE |
| Contact: | Czerwinski Jan
Jan.Czerwinski@bfh.ch | Period: | 2009–2010 |
- 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.
- **INSULATED AND CATALYST-COATED PISTONS (INCA)** R+D 2.1.4
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | EMPA – Verbrennungsmotoren | Funding: | BFE |
| Contact: | Bach Christian
christian.bach@empa.ch | Period: | 2009–2010 |
- Abstract: Untersuchung von keramisch isolierten und katalytisch beschichteten Kolben im ottomotorischen Betrieb mit Methan. Ziele sind Verbesserung der Abgasemissionen (unverbranntes Methan) und Erhöhung des Wirkungsgrads. Durchführung vergleichender Messungen am Motorenprüfstand mit herkömmlichen und beschichteten Kolben. Auswertung der Messwerte werden zur Quantifizierung der Auswirkungen auf thermischen Wirkungsgrad, Brennverlauf, Verluste, Schadstoffemissionen.
- **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. Anwendung (laser-)optischer Diagnoseverfahren sowie Erprobung von Komponenten zur Unterstützung der Produktentwicklung.
- **DARSTELLUNG DES TECHNOLOGIEPOTENTIALS VON ZUKÜNFTIGEN DIESELMOTOREN ZUR ERFÜLLUNG ZUKÜNFTIGER EMISSIONSVORSCHRIFTEN BEI NIEDRIGEM CO₂-AUSSTOSS** R+D 2.1.4
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | ETHZ – Laboratorium für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme (LAV) | Funding: | BFE |
| Contact: | Boulouchos Konstantinos
boulouchos@lav.mavt.ethz.ch | Period: | 2002–2006 |
- Abstract: Untersuchung von Möglichkeiten zur weiteren Reduktion der Schadstoffemissionen bei weiterhin niedrigem Brennstoffverbrauch zukünftiger „Heavy-Duty“ Dieselmotoren. Fokus auf die messtechnische Erfassung der Russ- und NO_x-Emission im Brennraum während der Verbrennung. Entwicklung eines schnellen Entnahmeventils und Vorbereitung der nachgeschalteten Messtechnik zur Russpartikelcharakterisierung.

Kraftwerk 2020 & Carbon Capture & Storage (CCS)

(* IEA-Klassifikation)

- ENTWICKLUNG VON VERDICHTERN FÜR DIE ERZEUGUNG VON BRENNGAS AUS BIOMASSE**

Lead: MAN Turbo AG	Funding: BFE
Contact: Lauber Uwe	Period: 2006–2010

Abstract: Für die Förderung der Produktgase aus Vergasungsprozessen von Biomasse (aber auch von fossilen, nicht gasförmigen Energieträgern und kohlenwasserstoffhaltigen Prozessrückständen) werden hocheffiziente Verdichter benötigt, die auf die speziellen Gaseigenschaften hin optimiert sind

2.3*
- TURBOGENERATOR MIT ELEKTRISCHEM WIRKUNGSGRAD VON >99 %**

Lead: Alstom (Schweiz) AG, Baden	Funding: BFE
Contact: Keller Stefan	Period: 2006–2010

Abstract: Heutige grosse Kraftwerks-Generatoren erreichen knapp 99 % elektrischen Wirkungsgrad. Ventilationsverluste stellen dabei den Hauptanteil an den Gesamt-Verlusten. Durch Optimierung der Ventilator-Geometrie und der Kühlluft-Führung am Eintritt in den Generator sollen diese Verluste drastisch reduziert werden. Neue Isolationsmaterialien, die eine effektivere Kühlwirkung erlauben, tragen ebenfalls zur Wirkungsgrad-Steigerung bei.

2.3
- CARMA – CARBON DIOXIDE MANAGEMENT IN POWER GENERATION**

Lead: ETH Zürich	Funding: BFE
Contact: Mazzotti Marco	Period: 2009–2012

Abstract: Im CARMA-Projekt wird eine breite Themen-Palette im Zusammenhang mit der Abscheidung und Einlagerung von Kohlendioxid (Carbon Capture and Storage) behandelt. Neben Gesamt-Systemanalysen und techno-ökonomischen Bewertungen unter länderspezifischen Bedingungen und Akzeptanzstudien zur Einführung von CCS, werden auch eine Vielzahl von technisch-wissenschaftliche Fragestellungen bearbeitet.

2.3
- WANDINTEGRIERTE KÜHLUNGSSYSTEME: PRALLKÜHLUNG MIT KOMPLEXEN GEOMETRIEN**

Lead: EPFL/STI/ISE/LTT	Funding: BFE
Contact: Ott Peter	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.

2.3
- COOLING OF NEXT GENERATION TURBOGENERATORS**

Lead: ALSTOM Schweiz Ltd.	Funding: BFE
Contact: Diestel-Feddersen Lennart	Period: 2009–2013

Abstract: Turbogeneratoren, Synchronmaschinen die im 50/60-Hz-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.

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

Lead: MAN Turbo AG	Funding: BFE
Contact: Lauber Uwe	Period: 2009–2013

Abstract: Die Erzeugung gasförmiger Brennstoffe aus fester Biomasse erfolgt durch Vergasungsprozesse, bestehend aus der Erzeugung des für die Vergasung benötigten Sauerstoffs, und dem Vergasungsprozess der festen Einsatzstoffes (Biomasse, Kohle, Raffinerie-Rückstände). Für die Verwendung der Vergasungsprodukte in Gasturbinen-Kraftwerken müssen diese Produktgase auf ein höheres Druckniveau gebracht werden.

2.3

Brennstoffzellen

(* IEA-Klassifikation)

- **2R-CELL – A RELIABLE ANODE SUPPORTED THIN ELECTROLYTE SOFC CELL RESISTANT TO MULTIPLE THERMAL AND REDOX-CYCLES** R+D 5.2.1*

Lead:	Fiaxell Sarl	Funding:	BFE
-------	--------------	----------	-----

Contact:	Ihringer Raphaël	raphael.ihringer@fiaxell.com	Period:	2009–2010
----------	------------------	------------------------------	---------	-----------

Abstract: Because of their high power density in a wide range of temperature, anode supported thin film electrolytes are nowadays the mostly used cells in the SOFC area. Unfortunately, the latter suffer from an important problem that remained unsolved till today: they are totally destroyed when re-oxidation occurs in the anode chamber. This happens, for instance when fuel supply inappropriately stops. Cell peripheral re-oxidation is another well known figure where failures are initiated.

- **ACCELENT – ACCELERATED TESTING OF SOFC COMPONENTS** R+D 5.2.1

Lead:	Hexis AG	Funding:	BFE / HyCo-ERA-NET
-------	----------	----------	--------------------

Contact:	Andreas Mai	andreas.mai@hexis.com	Period:	2008–2011
----------	-------------	-----------------------	---------	-----------

Abstract: Festoxid-Brennstoffzellen (Solid Oxide Fuel Cells, SOFC) sind ein typischer Brennstoffzellen-Typus für stationäre Anwendungen. Als solche müssen sie Lebensdauern von 40.000 Std. und mehr erfüllen. In diesem Bereich ist es unmöglich, Prüfungen auf garantierte Lebensdauern im Labor durchzuführen. Stattdessen müssen Methoden gefunden werden, die Alterung der SOFC Komponenten so zu beeinflussen, dass ihre Haltbarkeit aus Tests mit ‚vernünftiger‘ Dauer abgeleitet werden kann.

- **ASSENT – ANODE SUB-SYSTEM DEVELOPMENT & OPTIMISATION FOR SOFC SYSTEMS** R+D 5.2.1

Lead:	Htcearmix	Funding:	EU-JU FCH
-------	-----------	----------	-----------

Contact:	Olivier Bucheli	olivier.bucheli@htceramix.ch	Period:	2010–2013
----------	-----------------	------------------------------	---------	-----------

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 ([www.fch-ju.eu/sites/default/files/assent\[1\].pdf](http://www.fch-ju.eu/sites/default/files/assent[1].pdf)).

- **ASTERIX3 – ASSESSMENT OF SOFC CHP SYSTEMS BUILD ON THE TECHNOLOGY OF HTCERAMIX 3** R+D 5.2.1

Lead:	Htcearmix	Funding:	EU-FP7
-------	-----------	----------	--------

Contact:	Olivier Bucheli	olivier.bucheli@htceramix.ch	Period:	2011–2012
----------	-----------------	------------------------------	---------	-----------

Abstract: The objective of the collaboration was to evaluate HTceramix's SOFC technology in perspective of development of a residential micro-CHP application with a strong and well defined market focus. The project has achieved its goals in providing a serious evaluation of the feasibility of fuel cell based micro CHP. The viability of the technology has been validated and a proof of concept, for most aspects of the system, has been developed and tested.

- **LOTUS – LOW TEMPERATURE SOLID OXIDE FUEL CELLS FOR MICRO-CHP APPLICATIONS** R+D 5.2.1

Lead:	Htcearmix / SOFCPower	Funding:	EU-JU FCH
-------	-----------------------	----------	-----------

Contact:	Olivier Bucheli	olivier.bucheli@htceramix.ch	Period:	2009–2012
----------	-----------------	------------------------------	---------	-----------

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.

- **MODELING OF ENERGY CONVERSION PROCESSES AT THE MICROSCALE** R+D 5.2.1

Lead:	PSI Paul Scherrer Institut	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).

- MODVAL 7 – 7TH SYMPOSIUM ON FUEL CELL MODELING AND EXPERIMENTAL VALIDATION** R+D 5.2.1

Lead:	EPFL	Funding:	BFE
Contact:	Jan van Herle jan.vanherle@epfl.ch	Period:	2010

Abstract: The 2-day symposium is the 7th of an established annual event, initiated in 2004 by the Swiss Federal Energy Office. Taking place yearly in March, it alternates locations between Switzerland and Germany, and is hosted by a local academic institution. Focus of the venue is to present advances in modeling on mainly SOFC and PEFC, as well as experimental work for model validation. Attendance is 50 to 100 participants, from both academia and industry, many Europe, but increasingly from other continents as well.
- POWERTOWER – 5 KW SOFC-STACK POWERTOWER DEMONSTRATION** P+D 5.2.1

Lead:	HTceramix SA	Funding:	BFE
Contact:	Bucheli Olivier olivier.bucheli@htceramix.ch	Period:	2009–2010

Abstract: The recent progress in stack technology (durability, robustness) has lead to an unprecedented increase in customer demand for large SOFC stacks (2.5-5kWe), generating electricity and high quality heat for process heating or cooling. The basic capability of the technology and its 5 kWe PowerTower need to be demonstrated, as the implied resources are of important magnitude also for the system integrators in the various sectors.
- REAL-SOFC – REALISING RELIABLE, DURABLE, ENERGY EFFICIENT AND COST EFFECTIVE SOFC SYSTEMS** R+D 5.2.1

Lead:	HTceramix SA, EPFL, Hexis	Funding:	EU-FP6
Contact:	Olivier Bucheli olivier.bucheli@htceramix.ch	Period:	2004–2008

Abstract: The aim of the EU Integrated Project Real-SOFC is to solve the persisting problems of ageing with planar Solid Oxide Fuel Cells (SOFC) in a concerted action of the European fuel cell industry and research institutions. This includes gaining full understanding of degradation processes, finding solutions to reduce ageing and producing improved materials that will then be tested in stacks. In this process further consideration will be given to the design of cost effective materials and low cost components.
- ROBANODE – UNDERSTANDING AND MINIMIZING ANODE DEGRADATION IN HYDROGEN AND NATURAL GAS FUELLED SOFCs** R+D 5.2.1

Lead:	EPFL	Funding:	EU-JU FCH
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.
- ROBUST MICROTUBULAR SOLID OXIDE FUEL CELL DESIGN BY CHEAP PROCESSING AND USING A NEW MATERIAL** R+D 5.2.1

Lead:	EPFL-LENI	Funding:	BFE
Contact:	Jan van Herle jan.vanherle@epfl.ch	Period:	2009–2011

Abstract: The goal of this project is to fabricate and test small tubular solid oxide fuel cells (SOFC) that are cathode-supported on a new, promising cathode material for intermediate temperature operation. Porous cathode tubes of neodymium nickelate, were prepared by cold-isostatic pressing (CIP), extrusion and slip-casting by collaborating institutes and industrial partners in this project. The nickelate powder was commercially obtained from Marion Technologies, France.
- SCOTAS – SULPHUR, CARBON, AND RE-OXIDATION TOLERANT ANODES AND ANODE SUPPORTS FOR SOFC** R+D 5.2.1

Lead:	Hexis AG	Funding:	EU-JU FCH
Contact:	Andreas Mai www.scotas-sofc.eu	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). Such a cell mitigates three major failure mechanisms which today have to be addressed at the system level. Having a more robust cell will thus enable the system to be simplified, something of particular importance for small systems, e.g. for combined heat and power (CHP).
- SOF-CH – ENHANCING THE LIFETIME OF SOFC STACKS FOR COMBINED HEAT AND POWER APPLICATIONS** R+D 5.2.1

Lead:	Hexis AG	Funding:	BFE / SER
Contact:	Andreas Mai andreas.mai@hexis.com	Period:	2007–2010

Abstract: Within the SOF-CH project, progress has been made in the understanding of degradation phenomena on the cell, stack and system level. Cathode degradation was shown to correlate with the layer thickness and the ceramic component of the LSM/Ceramic composite. For the anode, a reorientation of Ni crystals was observed with increasing reduction temperature and the Ni-particle size distribution was changing over time.

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

R+D 5.2.1

Lead:	EMPA / EPFL u.a.	Funding:	EU-JU FCH
Contact:	Jan van Herle r.steinberger@fz-juelich.de	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.		

● **SOFTSEAL – DEVELOPMENT OF A LOW COST AND ADAPTIVE SOFC GLASS-FREE SEALING**

R+D 5.2.1

Lead:	Fiaxell Sarl	Funding:	BFE
Contact:	Ihringer Raphaël raphael.ihringer@fiaxell.com	Period:	2009–2010
Abstract:	Between interconnect and cell, a sealing has to take place in order to tight the repeat element. A pasty or a compressive seal is used. The advantage of using a soft pasty seal is that it can be directly applied on the pins which simplifies the interconnect pattern design (contrary to a compressive seal that needs a flat surface to be applied) allowing better sealing on rough surfaces and equalizing of the manufacturing tolerances.		

● **STUDY ON THE INFLUENCE OF BALANCE-OF-PLANT METAL COMPONENTS ON THE LONG TERM STABILITY OF SOFC STACKS**

R+D 5.2.1

Lead:	EPFL-LENI	Funding:	BFE
Contact:	Jan van Herle jan.vanherle@epfl.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Balance-of-Plant (BoP) components around Solid Oxide Fuel Cell stacks, such as a heat exchanger, gas feed tubing, electrical pre-heaters, etc. are typically high temperature alloys, containing elements as precursors to volatile species (Cr, Si, Mo,...), that further downstream can contaminate the stack itself (mainly the active electrodes) and thereby affect its long term stability. The proposal is to do post test analysis and in particular to test methodologies for reliable trace contaminant analysis.		

● **WOODGAS-SOFC – INTEGRATED BIOMASS – SOLID OXIDE FUEL CELL COGENERATION**

R+D 5.2.1

Lead:	EPFL u.a.	Funding:	CCEM
Contact:	Jan van Herle jan.vanherle@epfl.ch	Period:	2007–2010
Abstract:	The strategic goal is to prove the techno-economical feasibility of wood gas as representative case of a (renewable) fuel obtained by gasification fed to a temperature-compatible, emerging Combined Heat and Power (CHP) system like the solid oxide fuel cell (SOFC), and identify optimal scales of such integrated systems.		

● **MCFC-BRENNSTOFFZELLEN-PILOTANLAGE GRÜNAU.**

P+D 5.2.1

Lead:	EWZ	Funding:	EWZ, Erdags Zürich
Contact:	Mevina Feuerstein Mevina.Feuerstein@ewz.ch	Period:	2010–2022
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%.		

● **SOFC600 – DEMONSTRATION OF SOFC STACK TECHNOLOGY FOR OPERATION AT 600 C**

R+D 5.2.1

Lead:	HTceramix SA / EMPA	Funding:	EU-FP6
Contact:	Olivier Bucheli www.sofc600.eu	Period:	2006–2010
Abstract:	The objective of this Integrated Project is the specification of stack components for the operation of SOFC systems at 600°C. Reducing the operating temperature to this level will have a large impact on lifetime and costs of SOFC system, thereby facilitating the commercial introduction of clean and efficient SOFC technology for combined heat and power generation in society, as well as auxiliary power for transport applications.		

● **FCTESQA – FUEL CELL SYSTEMS TESTING, SAFETY & QUALITY ASSURANCE**

R+D 5.2.1

Lead:	HTceramix SA	Funding:	EU-FP6
Contact:	Olivier Bucheli fctesqa.jrc.ec.europa.eu	Period:	2006–2010
Abstract:	The main aim of FCTESQA is to address the aspects of pre-normative research, benchmarking, and validation through round robin testing of harmonised, industry-wide test protocols and testing methodologies for fuel cells. This activity will provide support for the essential pre-normative research efforts towards standardisation, thereby contributing to the early and market-oriented development of specifications and pre-standards.		

● **AUTOSTACK – AUTOMOTIVE FUEL CELL STACK CLUSTER INITIATIVE FOR EUROPE**

R+D 5.2.2

Lead:	PSI / Belenos	Funding:	EU-JU FCH
Contact:	Felix Büchi felix.buechi@psi.ch	Period:	2010–2011
Abstract:	The project aims to develop approaches to address the critical barriers for substantial improvement of collaboration between major stakeholders and establishing a solid business model for an independent European stack integrator for automotive applications. In the work proposed, key European players including automotive OEMs, component suppliers, and research organizations are involved to provide a structured approach to establish fuel cells as a mass product ready for market.		

● **CAL.PEF-CH – MODEL BASED INVESTIGATION OF PEM FUEL CELL PERFORMANCE WITH FOCUS ON POROUS LAYER PROPERTIES**

R+D 5.2.2

Lead:	PSI Paul Scherrer Institut	Funding:	BFE
Contact:	Felix Büchi felix.buechi@psi.ch	Period:	2007–2010
Abstract:	Understanding of mass transport limitations in PEFC is of prime importance for optimizing performance and for better understanding of degradation. The anisotropic, porous gas diffusion structures (GDL) play an important role in the transport between channel and catalyst. Under condensing conditions (the general case), liquid water will occupy part of the void in the porous structure and thus change the properties of the pore network for gas transport.		

● **CHIC – CLEAN HYDROGEN IN EUROPEAN CITIES**

P+D 5.2.2

Lead:	Postauto AG	Funding:	EU-JU FCH
Contact:	Werner Blatter werner.blatter@postauto.ch	Period:	2010–2016
Abstract:	The Clean Hydrogen in European Cities (CHIC) Project is the essential next step to full commercialisation of hydrogen powered fuel cell (H2FC) buses. CHIC will reduce the 'time to market' for the technology and support 'market lift off' 2 central objectives of the Joint Undertaking.		

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

R+D 5.2.2

Lead:	PSI / Belenos	Funding:	EU-JU FCH
Contact:	Felix Büchi felix.buechi@psi.ch	Period:	2010–2012
Abstract:	The state of the art high temperature PEM fuel cell technology is based on H3PO4 imbibed polymer electrolytes. The most challenging areas towards the optimization of this technology are: (i) the development of stable long lasting polymer structures with high ionic conductivity and (ii) the design and development of catalytic layers with novel structures and architectures aiming to more active and stable electrochemical interfaces with minimal Pt corrosion. emical interface.		

● **DEVELOPMENT OF A 25 KW HYDROGEN/OXYGEN FUEL CELL SYSTEM**

R+D 5.2.2

Lead:	PSI Paul Scherrer Institut	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 H2-O2 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 Paul Scherrer Institut	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 Tracergasen und in-situ Analytik ist neu und einzigartig.		

● **GO.PEF-CH – ENHANCING PEFC DURABILITY AND RELIABILITY UNDER APPLICATION-RELEVANT CONDITIONS**

R+D 5.2.2

Lead:	PSI Paul Scherrer Institut	Funding:	BFE
Contact:	Lorenz Gubler lorenz.gubler@psi.ch	Period:	2007–2010
Abstract:	Understanding of mass transport limitations in PEFC is of prime importance for optimizing performance and for better understanding of degradation. The anisotropic, porous gas diffusion structures (GDL) play an important role in the transport between channel and catalyst. Under condensing conditions (the general case), liquid water will occupy part of the void in the porous structure and thus change the properties of the pore network for gas transport.		

● **HY.MUVE – HYDROGEN DRIVEN MUNICIPAL VEHICLE**

P+D 5.2.2

Lead:	EMPA	Funding:	CCEM / BFE u.a.
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 im praktischen Einsatz in schweizerischen Städten eingesetzt (www.empa.ch/hy.muve).		

● **IHPOS-E – BRENNSTOFFZELLEN-MINIBAR**

P+D 5.2.2

Lead:	CEKAtec AG	Funding:	BFE
Contact:	Marco Santis Marco.Santis@ceka.ch	Period:	2010–2012
Abstract:	Das Projekt sieht die Einführung von einer Kleinserie innovativer Brennstoffzellensystemen (BZ-System) inklusive Wasserstofflogistik (Speicherung, Befüllung, Lieferung) für die Firma elvetino (Catering Firma der SBB) vor. Dabei soll das BZ-System die heute von elvetino eingesetzten Li-Ionen Batterien ersetzen. Motivation für die Firma elvetino ist die Möglichkeit durch den Einsatz von einem BZ-System über praktisch unbegrenzte elektrische Energie zu verfügen und somit die Limitierung in der Energie zu eliminieren.		

● **IHPOS-E – MODULARES BRENNSTOFFZELLENSYSTEM**

R+D 5.2.2

Lead:	Berner Fachhochschule	Funding:	KTI
Contact:	Michael Höckel Michael.Hoeckel@bfh.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Im Rahmen des Projektes IHPOS-E wird ein modular aufgebautes und gesteuertes PEM-Brennstoffzellensystem entwickelt. Bedingt durch die Systemmodularität kann ein sehr breiter Leistungs- und Anwendungsbereich gedeckt werden (200W - 5kW), was den Einsatz und Vertrieb ähnlicher IHPOS-E Systeme in verschiedensten spezifischen Anwendungen ermöglicht. Im Rahmen des Projektes wird ein Systemtyp bis zur Produktreife entwickelt und mit Hilfe der relevanten Industriepartnern in eine Anwendung integriert.		

● **MECHANISMEN DER CHEMISCHEN STABILISIERUNG IN STRAHLENGEPFROPFTEN BRENNSTOFFZELLEN-MEMBRANEN**

R+D 5.2.2

Lead:	PSI Paul Scherrer Institut	Funding:	BFE
Contact:	Lorenz Gubler lorenz.gubler@psi.ch	Period:	2007–2012
Abstract:	Die Zielsetzung der Arbeit ist, Membran-Degradationsmechanismen zu ermitteln und zu bestimmen, wie die Schädigungsrate von Betriebsbedingungen und Membran-zusammensetzung abhängt. Diese Quantifizierung der Degradationsprozesse erlaubt es, beschleunigte Alterungsversuche an Membranen durchzuführen und damit den Proben-durchsatz deutlich zu erhöhen. Damit werden die Innovationszyklen signifikant kürzer.		

● **PEM-BRENNSTOFFZELLEN TESTSTAND BIEL (KLEINE LEISTUNGEN)**

R+D 5.2.2

Lead:	Berner Fachhochschule	Funding:	BFE
Contact:	Michael Höckel Michael.Hoeckel@bfh.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Das Testlabor der BFH-TI ist auf die Entwicklung und den Test von PEM-Brennstoffzellenstapeln mit reinem Wasserstoff für eine Leistung von 100 – 10 kWe ausgelegt. In Hinblick auf die Weiterentwicklung des IHPOS ist eine Erweiterung des Teststandes auf kleinere Leistungen und Einzelzellen wichtig.		

● **PROTONENLEITENDE POLYMERMEMBRANEN FÜR BRENNSTOFF- UND ELEKTROLYSEZELLEN**

R+D 5.2.2

Lead:	PSI Paul Scherrer Institut	Funding:	BFE
Contact:	Günther G. Scherer lorenz.gubler@psi.ch	Period:	2007–2010
Abstract:	Membranes prepared by radiation grafting of monomers onto prefabricated films are potentially cheaper compared to commercially available state-of-the-art membranes in PEFC, perfluorinated ionomers such as Nafion. At the Paul Scherrer Institut (PSI), styrene grafted, divinylbenzene (DVB) crosslinked, poly(tetrafluoroethylene-co-hexafluoropropylene) (FEP) and poly(ethylene-alt-tetrafluoroethylene) (ETFE) based membranes are developed and their properties continuously improved.		

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

R+D 5.2.2

Lead:	PSI Paul Scherrer Institut	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.		

● **S-CHAIN FUNDAMENTALS (SCF)**

R+D 5.2.2

Lead:	PSI Paul Scherrer Institut	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.		

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

R+D 5.2.2

Lead:	e.mobil	Funding:	EU-FP7
Contact:	Susanne Wegmann swegmann@e-mobile.ch	Period:	2010–2013
Abstract:	The European hybrid, electric and fuel cell vehicle industry represents 1,600 SME manufacturers and suppliers. They commercialise small volumes of low-emission vehicles, including taxis, delivery vans, factory vehicles and domestic cars. However with current technologies their market is limited and their development has been split between low-cost mass market and expensive high-performance vehicles.		

● **POLYMER-ELECTROLYTE FUEL CELLS AND FUEL CELL SYSTEMS**

R+D 5.2.2

Lead:	PSI-Electrochemistry Laboratory	Funding:	diverse
Contact:	Günther Scherrer guenther.scherer@psi.ch	Period:	2010
Abstract:	Kompetenzzentrum für PEFC-Brennstoffzellen und -Brennstoffzellensysteme. Diverse Industrieprojekte (http://ecl.web.psi.ch/).		

● **FELDTEST USV FÜR GSM/UMTS-BASISSTATIONEN MIT BRENNSTOFFZELLEN**

P+D 5.2.3

Lead:	HTA Luzern	Funding:	BFE
Contact:	Ulrike Trachte ulrike.trachte@hslu.ch	Period:	2007–2010
Abstract:	An der Hochschule Luzern – Technik & Architektur wurde von Januar 2006 bis August 2009 ein Feldtest mit Brennstoffzellen zur Unterbrechungsfreien Stromversorgung durchgeführt. Das Projekt fand in Zusammenarbeit mit den Industriepartnern Swisscom (Schweiz) AG, als Anwenderin und American Power Conversion Corporation, als Hersteller von Unterbrechungsfreier Stromversorgungs-Anlagen statt. Bei Stromausfall lieferte statt einer Blei-batterie eine Brennstoffzelle den erforderlichen Strom.		

● **FITUP – FUEL CELL FIELD TEST DEMONSTRATION FOR PORTABLE GENERATORS, BACKUP AND UPS POWER SYSTEM APPLICATIONS**

P+D 5.2.3

Lead:	HTA Luzern	Funding:	EU-JU FCH / BFE
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 (start-up time, reliability, durability, number of cycles) that qualifies them for market entry.		

● **MINIATURIZED RECIPROCATING PUMPS FOR BIOMEDICAL AND FUEL CELL APPLICATIONS**

R+D 5.2.3

Lead:	EPFL-LMIS2	Funding:	KTI
Contact:	Gijs Martin martin.gijs@epfl.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	We propose a micropump that is actuated by a set of arc-shaped permanent magnets, mounted in a 3-phase arrangement on the axis of a DC minimotor. This pump is addressed by the low voltage of a direct methanol fuel cell and its role is to avoid fuel-oxidant depletion effects near the fuel cell's electrodes. Pump and fuel cell together will form an integrated system for sustainable miniaturized power generation.		

● **REMOBILISIERUNG VON PHOSPHAT AUS AUSGEFAULTEM KLÄRSCHLAMM MIT HILFE EINER MIKROBIELLEN BRENNSTOFFZELLE**

R+D 5.2.3

Lead:	Haute école valaisanne (HEVs)	Funding:	BFE
Contact:	Fabian Fischer Fabian.Fischer@hevs.ch	Period:	2008–2010
Abstract:	Die Mobilisierung von Phosphat aus ausgefaultem Klärschlamm mit einer mikrobiellen Brennstoffzelle bietet ganz besondere Vorteile. Man nutzt einerseits die Energie, welche auf der Kläranlage bereits in Form mikrobieller Aktivität vorhanden ist, und die Mikroben liefern Elektronen und Protonen, wie diese für die Reduktion von Fe3+PO4 und den Ersatz von Fe-Kationen gebraucht werden. Daneben fällt der wertvolle Phosphatdünger an, welcher somit dosiert in den Kulturen angewendet werden kann.		

● **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.		

● **ONEBAT – BATTERY REPLACEMENT USING MINIATURIZED SOLID OXIDE FUEL CELL**

R+D 5.2.3

Lead:	ETHZ	Funding:	CCEM / SER
Contact:	Anja Bieberle-Hütter anja.bieberle@mat.ethz.ch	Period:	2007–2010
Abstract:	The main aim of the ONEBAT consortium is the development of a micro-Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) system. This is a very complex task and includes solving many different problems which can only be tackled within a multidisciplinary consortium consisting of material scientists, physicists, chemists, mechanical and chemical engineers. The main tasks are the development of a microfabricated thin film SOFC, a small-scale gas processing unit, a feasible thermal system and the integration of all subsystems into one single system.		

● **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 Implementing Agreement for a programme of research, development and demonstration on advanced fuel cells was signed by seven countries in Paris on April 2nd, 1990. Since that time, further countries have signed the Implementing Agreement and the programme has grown from two to twenty-seven annexes in total. The participating countries are Australia, Austria, Belgium, Canada, Denmark, Finland, France, Germany, Italy, Japan, Korea, Mexico, Netherlands, Norway, Sweden, Switzerland, Turkey, and USA.		

● **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.		

● **IEA ADVANCED FUEL CELL IMPLEMENTING AGREEMENT - ANNEX SOLID OXIDE FUEL CELLS**

R+D 5.2.1

Lead:	HTceramix SA	Funding:	HTceramix SA / BFE
Contact:	Olivier Bucheli olivier.bucheli@htceramix.ch	Period:	2010
Abstract:	To assist, through international co-operation, the development of SOFC technologies.		

Industrielle Prozesse

(* IEA-Klassifikation)

● **EFFIZIENZSTEIGERUNG VON LANDWIRTSCHAFTLICHEN TROCKNUNGSANLAGEN**

R+D 1.1*

Lead:	FHNW	Funding:	BFE
Contact:	Liseth Sandoval liseth.sandoval@fhnw.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	In diesem Projekt wurde gezeigt, dass der bei der Trockenfüttermittelherstellung anfallende, gebührenpflichtig zu entsorgende, Gras- (GPS) sowie Maispresssaft (MPS) durch biologische Umformungsprozesse zur Biogasproduktion, Bio-Ethanolgewinnung oder Milchsäureherstellung verwendet werden kann. Vor allem aber zeigten die Studien zur biotechnologischen Produktion organischer Säuren, dass eine mikrobielle Produktion von speziell Milchsäure aus beiden Pflanzenpresssäften möglich ist.		

● **ENERGY MODELING AN INTEGRATION AT SYNGENTA CHEMICAL BATCH PLANT** R+D 1.1

Lead:	EPFL/LENI-ISE-STI	Funding:	BFE
Contact:	François Marechal francois.marechal@epfl.ch	Period:	2007–2010
Abstract:	Das Projekt hat zum Ziel, einen neuen Ansatz zu entwickeln, der es erlaubt, die Aspekte des Produktionsprozesses, die energetische Ausbeute und das Abfallmanagement in Batch-Chemieanlagen in gegenseitiger Abhängigkeit zu betrachten und zu optimieren. Dabei werden auch Randbedingungen variable Produktportfolios, Verfügbarkeit der Anlage und Prozessauslegung berücksichtigt.		

● **ABWÄRMENUTZUNG MITTELS MOBILEN ZEOLITH-WÄRMESPEICHERN** R+D 3.7

Lead:	BSB + Partner	Funding:	BFE
Contact:	H. Kahlert Alexander.Kohli@bsb-partner.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Dieses Projekt ist eine Machbarkeitsstudie, welche die Rentabilität der neuen Zeolith-Akku-Abwärmennutzungstechnologie zeigen soll. Dabei wird eine Vollkostenbetrachtung der ganzen Nutzungskette an klar definierten Beispielen unter Einbezug der beteiligten Industriepartner gezeigt.		

● **MONITORING AND OPTIMIZATION TOOL FOR BATCH CHEMICAL INDUSTRY** R+D 1.1

Lead:	ETH Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Konrad Hungerbühler konrad.hungerbuehler@chem.ethz.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Main goal of the project is to develop, test and apply the «Energy Monitoring Tool» (EMT) in the case study plant. EMT represents a convenient way to analyze and localize the energy optimization potential focusing on the production equipment, recipes and the scheduling. Development of the EMT involves design of flexible interfaces between the industrial database and the modeling environment and user friendly graphical user interface.		

● **MARKTÜBERSICHT IN ENERGIEINTENSIVEN BEREICHEN DER SCHWEIZERISCHEN INDUSTRIE** R+D 1.1

Lead:	BMG Engineering AG	Funding:	BFE
Contact:	Reto Müller reto.mueller@bmgeng.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Ziel dieser Studie ist eine Marktübersicht in energieintensiven Bereichen der Schweizerischen Industrie (Chemie, Pharma, Kunststoff, Nahrungsmittel, Baustoff, Technologie). Hierbei soll die Verfügbarkeit und Nutzungsmöglichkeiten von industrieller Abwärme untersucht werden. Langfristig soll eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs durch eine bessere gegenseitige Abwärmennutzung resultieren. Zudem sollen Standortvorteile bei einer integralen Wärmenutzung aufgezeigt werden.		

● **IMPLEMENTATION OF MONITORING TOOL FOR TARGETING ENERGY SAVING POTENZIAL IN BATCH CHEMICAL INDUSTRY** R+D 1.1

Lead:	ETH Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Konrad Hungerbühler konrad.hungerbuehler@chem.ethz.ch	Period:	2010–2011
Abstract:	The goal of this project is to further apply and improve an «Energy Monitoring Tool (EMT)» already installed in a case study batch plant (Ciba/Basf, Grenzach). The tool in its present form facilitates model-based energy consumption allocation at different user-defined levels of aggregation in a production building (i.e. set of production steps, batches, equipments, product lines etc.). This analysis provides additional process insights compared to the overall building energy consumption.		

● **ABSCHÄTZUNG VON MASSEN- UND ENERGIEFLÜSSEN IN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE** R+D 1.1

Lead:	ETH Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Konrad Hungerbühler konrad.hungerbuehler@chem.ethz.ch	Period:	2010–2012
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.		

Chaleur solaire et Stockage de chaleur

(* IEA-Klassifikation)

● CAPTEURS SOLAIRES EN COULEUR

R+D 3.1.1*

Lead:	EPFL/ENAC/LESO-PB	Funding:	BFE
Contact:	Roecker Christian christian.roecker@epfl.ch	Period:	2003–2010
Abstract:	Le projet consiste en la réalisation d'une technologie avancée permettant d'obtenir des vitrages solaires colorés, utilisables pour les capteurs solaires. La solution trouvée doit rendre les verres aptes à refléter une couleur quelconque tout en laissant passer le maximum d'énergie solaire. Plusieurs méthodes sont testées: sol-gel, évaporation sous vide et pulvérisation magnétron. En outre une théorie doit pouvoir prédire les types et les épaisseurs de couches à déposer.		

● SOLAR RESOURCE MANAGEMENT IEA SHC 36

R+D 3.1.1

Lead:	Meteotest	Funding:	BFE
Contact:	Remund Jan jan.remund@meteotest.ch	Period:	2005–2011
Abstract:	Le programme AIE « Solar heating and cooling » a lancé la Tâche 36 « Solar Resource Knowledge Management ». Il s'agit d'explorer la qualité de la prévision du rayonnement, la tendance des dernières données internationales et la répartition des aérosols atmosphériques. Le groupe fait appel aux données satellitaires. Les résultats sont intégrés rapidement dans le logiciel suisse Meteonorm.		

● SOLAR RESOURCE MANAGEMENT IEA SHC 36

R+D 3.1.1

Lead:	Université de Genève	Funding:	BFE
Contact:	Ineichen Pierre Pierre.Ineichen@unige.ch	Period:	2005–2011
Abstract:	Le programme AIE « Solar heating and cooling » a lancé la Tâche 36 « Solar Resource Knowledge Management ». Il s'agit d'explorer la qualité de la prévision du rayonnement, la tendance des dernières données internationales et la répartition des aérosols atmosphériques. Le groupe fait appel aux données satellitaires. Les résultats sont intégrés rapidement dans le logiciel suisse Meteonorm.		

● THERMOCHROMIE: ADVANCED SWITCHABLE SELECTIVE ABSORBER COATINGS FOR OVERHEATING PROTECTION OF SOLAR THERMAL COLLECTORS

R+D 3.1.1

Lead:	EPFL/ENAC/LESO-PB	Funding:	BFE
Contact:	Schüeller Andreas andreas.schueler@epfl.ch	Period:	2007–2011
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 the development of such new coatings for thermochromic solar collectors.		

● SPF SOLAR TRINKWARMWASSERBEREITSTELLUNG 2009–2011

R+D 3.1.1

Lead:	Institut für Solartechnik, SPF	Funding:	BFE
Contact:	Frank Elimar Elimar.Frank@solarenergy.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Die Verwendung von Frischwassermodulen (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.		

● SPF TESTING 2009–2011

R+D 3.1.1

Lead:	Institut für Solartechnik, SPF	Funding:	BFE
Contact:	Bohren Andreas andreas.bohren@solarenergy.ch	Period:	2009–2012
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.		

● **SPF APPLIED RESEARCH** R+D 3.1.1

Lead:	Institut für Solartechnik, SPF	Funding:	BFE
Contact:	Frank Elimar Elimar.Frank@solarenergy.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	Mit dem vorliegenden Projekt sollen am SPF aktuelle Problemstellungen aus der Industrie geklärt und das gewonnene Know-how allgemein zugänglich gemacht werden. Ergänzend zum applied research ist für die nicht zwingend projektgebundene Kontinuität der nationalen und internationalen Vernetzung die F&E-bezogene Mitarbeit des SPF in verschiedenen Gremien und working groups sowie die aktive Mitgliedschaft in Verbänden nötig.		

● **SPF UNTERSUCHUNG VON EINGETAUCHTEN WÄRMEÜBERTRAGERN FÜR SOLARE WARMWASSER-SPEICHER** R+D 3.1.1

Lead:	Institut für Solartechnik, SPF	Funding:	BFE
Contact:	Frank Elimar Elimar.Frank@solarenergy.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Die Wahl der richtigen Konstruktions- und Dimensionierungsparameter für eingetauchte Wärmeübertrager ist von zentraler Bedeutung für die Be- und Entladung von Warmwasserspeichern. Anhand der neueren Methoden PIV und LIF sollen am SPF ideale Parameter für die Konstruktion und Dimensionierung eingetauchter Wärmeübertrager experimentell bestimmt werden. Die Messergebnisse werden anschliessend zur Validierung angepasster Modelle verwendet.		

● **SPF NEUE MATERIALIEN IN DER SOLARTHERMIE** R+D 3.1.1

Lead:	Institut für Solartechnik, SPF	Funding:	BFE
Contact:	Brunold Stefan Stefan.Brunold@solarenergy.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Im beantragten Forschungsprojekt sollen neue Kollektorkonzepte ausgearbeitet werden, insbesondere mit Hinblick auf den Einsatz von Polymeren. Diese sollen anhand moderner Simulationsmethoden optimiert und, bei Erfolgsaussicht, als Prototypen umgesetzt und hinsichtlich der Leistungsfähigkeit detailliert gemessen werden.		

● **SPF ABSCHLUSS LAUFENDER FORSCHUNGSPROJEKTE 2009** R+D 3.1.1

Lead:	Institut für Solartechnik, SPF	Funding:	BFE
Contact:	Frank Elimar Elimar.Frank@solarenergy.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Im Hinblick auf die aktuelle Forschung zu thermischer Speicherung soll die Evaluation vielversprechender Konzepte für die Möglichkeiten der Thermochemischen Speicherung abgeschlossen werden. Die laufenden Untersuchungen einer solarthermisch getriebenen Absorptionskältemaschine sollen fortgesetzt werden mit dem Ziel, das Systemoptimierungspotential zu bestimmen.		

● **LESOSAI-POLYSUN – SIMULATION TOOL FOR ARCHITECTS** R+D 3.1.1

Lead:	EPFL/ENAC/LESO-PB	Funding:	BFE
Contact:	Roecker Christian christian.roecker@epfl.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	The goals of this project are: combine in one tool the building energy model Lesosai and the active « solar » gains (windows, thermal collector, photovoltaics) Polysun, allowing the user to optimise his project by testing complete solar variants at once; simplify the user interface, by reducing the need of data by providing « intelligent » default values for solar systems and building elements, to broaden the use of this tool to the architects community.		

● **IEA SHC TASK 41 « SOLAR ENERGY AND ARCHITECTURE » – DIRECTION DE LA SOUS-TÂCHE A « CRITERIA FOR ARCHITECTURAL INTEGRATION »** R+D 3.1.1

Lead:	EPFL/ENAC/LESO-PB	Funding:	BFE
Contact:	Roecker Christian christian.roecker@epfl.ch	Period:	2009–2012
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.		

● **LEITUNG DES FORSCHUNGSPROGRAMMS « AKTIVE SOLARNUTZUNG »** R+D 3.1.1

Lead:	BASE CONSULTANTS SA	Funding:	BFE
Contact:	Hadorn Jean-Christophe jchadorn@baseconsultants.com	Period:	2008–2011
Abstract:	Le projet a pour but la gestion et la direction des activités du programme de recherche « Solaire actif et stockage de chaleur ». Il convient d'initier ou d'évaluer des projets, de les suivre, de les orienter, de les contrôler et de les valoriser.		

● SOLAR NAHWÄRME

R+D 3.1.1

Lead:	Institut für Solartechnik, SPF	Funding:	BFE
Contact:	Gantenbein Paul paul.gantenbein@solarenergy.ch	Period:	2008–2010
Abstract:	Für das Nahwärmenetz der HSR wurde ein Konzept zur Ganzjahresnutzung von Solarthermie mittels einer Retrofit-Lösung untersucht. Die Nutzung der Wärme aus der Solaranlage lokal im vorhandenen Brauchwarmwasserspeicher von Bau 4, dezentral in den Brauchwarmwasserspeichern der übrigen Bauten auf dem Campus der HSR oder zentral in den Pufferspeichern des BHKW in der Heizzentrale des HSR-Campus möglich wäre.		

● AQUAPAC SOL

R+D 3.1.1

Lead:	HEIG-VD / LESBAT	Funding:	BFE
Contact:	Citherlet Stéphane Stephane.Citherlet@heig-vd.ch	Period:	2009–2013
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.		

● SOLCOOL II

R+D 3.1.1

Lead:	HEIG-VD / LESBAT	Funding:	BFE
Contact:	Citherlet Stéphane Stephane.Citherlet@heig-vd.ch	Period:	2006–2010
Abstract:	Ce projet consiste à développer et utiliser un stand d'essais permettant de tester une machine de climatisation solaire à sorption en conditions réelles, de valider un modèle de simulation et d'étudier l'intérêt de solutions optimisées pour le climat suisse.		

● THERMOHYDRAULIK VON SOLARANLAGEN

R+D 3.1.1

Lead:	Eismann Ing.	Funding:	BFE
Contact:	Eismann Ralph eismann@lke.mavt.ethz.ch	Period:	2010–2012
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.		

● NAOH-SPEICHER FÜR SAISONALE WÄRMESPEICHERUNG

R+D 3.1.1

Lead:	EMPA	Funding:	BFE
Contact:	Weber Robert Robert.Weber@empa.ch	Period:	2007–2010
Abstract:	Im Projekt « NaOH » soll ein Wärmespeicher entwickelt werden, welcher eine hohe Speicherdichte aufweist und dessen Speicherverluste nur beim Laden bzw. Entladen des Speichers auftreten. Das Projekt gliedert sich grob auf in Machbarkeitsabklärungen, Bau eines einstufigen Laborprototyps und Erweiterung des Prototyps mit einer zweiten verbesserten Stufe.		

● SPF SOL HEAP AND IEA SHC 44 SUBTASK C LEADERSHIP

R+D 3.1.1

Lead:	Institut für Solartechnik, SPF	Funding:	BFE
Contact:	Haller Michel Michel.Haller@solarenergy.ch	Period:	2010-21013
Abstract:	In der IEA-SHC Task 44 « Solar and Heat Pump Systems », das SPF über das Projekt « SOL-HEAP » eingebunden ist. Für diesen Task wurde das SPF angefragt, die Leitung des Subtask C « Modeling and simulation » zu übernehmen. In diesem Subtask werden Simulationsmodelle für Komponenten und Systeme erarbeitet und neue Systemkonzepte mit der Hilfe von Simulationsrechnungen evaluiert und miteinander verglichen.		

● IEA SHC 44 OPERATING AGENT

R+D 3.1.1

Lead:	BASE CONSULTANTS SA	Funding:	BFE
Contact:	Hadorn Jean-Christophe jchadorn@baseconsultants.com	Period:	2010–2014
Abstract:	The project is to lead the IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38 Task. The scope of this Task is on small-scale residential heating and hot water systems that use heat pumps and any type of solar thermal collectors. More than 10 countries participate.		

Photovoltaik

(* IEA-Klassifikation)

*

- NEW PROCESSES AND DEVICE STRUCTURES FOR THE FABRICATION OF HIGH EFFICIENCY THIN FILM SILICON PHOTOVOLTAIC MODULES**

Lead: EPFL STI IMT-NE PV-LAB

Contact: Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch

Abstract: New processes and device structures for the fabrication of high efficiency thin film silicon photovoltaic modules. Focus is on layers with new or better properties, on improved processes, on improved devices and on enhanced cells and modules reliability.

R+D (1a) 3.1.2

Funding: BFE	
Period: 2007–2011	
- 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: 2009–2012	
- 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: SBF/EU	
Period: 2008–2012	
- IMPROVED MATERIAL QUALITY AND LIGHT TRAPPING IN THIN FILM SILICON SOLAR CELLS (SILOCON_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: SBF/EU	
Period: 2010–2012	
- 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: 2009–2011	
- HIGH-EF: LARGE GRAINED, LOW STRESS MULTI-CRYSTALLINE SILICON THIN FILM SOLAR CELLS ON GLASS**

Lead: EMPA Thun

Contact: Michler Johann johann.michler@empa.ch

Abstract: The objective of the HIGH-EF project is to provide the silicon thin film photovoltaic (PV) industry with a process allowing high solar cell efficiencies (>10%) by large grains in the material at competitive production costs.

R+D (1a) 3.1.2

Funding: SBF/EU	
Period: 2008–2010	

● **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:	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 two-dimensional periodic grating structures rigorously. The structures shall be optimized for broad-band absorption of both polarizations in thin films. This optimization should take into account the experimental requirements and limitations. Prototype structures will be fabricated with e-beam lithography by the Laboratory for Micro- and Nanotechnology at PSI.		

● **ALL-INORGANIC NANO-ROD BASED THIN-FILM SOLARCELLS ON GLASS (ROD-SOL)** R+D (1a) 3.1.2

Lead:	EMPA Thun	Funding:	SBF/EU
Contact:	Michler Johann johann.michler@empa.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	The ROD-SOL project aims at the synthesis of Si nano-rods, densely packed at sufficiently large diameters (few 100 nm's) and lengths (>1 µm) directly on cheap substrates like glass or flexible metal foils.		

● **HIGH EFFICIENCY THIN-FILM PASSIVATED SILICON SOLAR CELLS AND MODULES – THIFIC: THIN FILM ON CRYSTALLINE SI** R+D (1b) 3.1.2

Lead:	EPFL STI IMT-NE PV-LAB	Funding:	Elektrizitätswerk
Contact:	Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch	Period:	2007–2011
Abstract:	The THIFIC project aims at developing a new kind of ultra-high efficiency (20-22%) solar cells by depositing very thin silicon layers of amorphous and/or microcrystalline silicon on top of silicon wafers.		

● **ULTRA-HIGH CONDUCTIVITY METALLIZATION PASTES FOR HETEROJUNCTION SOLAR CELLS (TCOC)** R+D (1b) 3.1.2

Lead:	EPFL STI IMT-NE PV-LAB	Funding:	KTI
Contact:	Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	The TCOC project aims at developing nano-enabled low temperature curable silver pastes exhibiting very low resistivity compatible with high efficiency heterojunction solar cells (HJC).		

● **ELECTROPLATED FRONT GRID FOR CRYSTALLINE SI HETERO JUNCTION SOLAR CELL** R+D (1b) 3.1.2

Lead:	EPFL STI IMT-NE PV-LAB	Funding:	KTI
Contact:	Gutsche Martin christophe.ballif@epfl.ch	Period:	2010–2012
Abstract:	A new electroplating process for the fabrication of the front grid of hetero junction based silicon solar cells will be developed, characterized, and finally transferred to the industrial partner. The challenge 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.		

● **20 PERCENT EFFICIENCY ON LESS THAN 100 µM THICK INDUSTRIALLY FEASIBLE C-SI SOLAR CELLS** R+D (1b) 3.1.2

Lead:	EPFL STI IMT-NE PV-LAB	Funding:	SBF/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.		

● **HETSI - HETEROJUNCTION SOLAR CELLS BASED ON A-SI C-SI** R+D (1b) 3.1.2

Lead:	EPFL STI IMT-NE PV-LAB	Funding:	SBF/EU
Contact:	Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	Hetsi (Heterojunction solar cells based on a-Si:H/c-Si) is a project sponsored by the European Com-mision. Its short term target is to demonstrate in Europe the industrial feasibility of heterojunction solar cells, by depositing very thin film silicon layers (typically 5-10 nanometers of amorphous and/or microcrystalline silicon) on top of silicon wafers.		

● **FEBULAS** R+D (1c) 3.1.2

Lead:	EMPA Dübendorf	Funding:	BFE
Contact:	Tiwari Ayodhya N. ayodhya.tiwari@empa.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	FEBULAS - Flexible CIGS Solar Cells and Mini-Modules on polymer without - or with alternative buffer layer. Focus is on Cd-free buffer layers.		

● **IMPUCIS** R+D (1c) 3.1.2

Lead:	EMPA Dübendorf	Funding:	BFE
Contact:	Tiwari Ayodhya N. ayodhya.tiwari@empa.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	Influence of impurities on the performance of CIGS thin film solar cells. Focus is on achieving good performance CIGS solar cells with reduced material quality.		

● **NEW CONCEPTS FOR HIGH EFFICIENCY AND LOW COST IN-LINE MANUFACTURED FLEXIBLE CIGS SOLAR CELLS (HIPOCIGS)** R+D (1c) 3.1.2

Lead:	EMPA Dübendorf	Funding:	SBF/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.		

● **NON-VACUUM PROCESSES FOR DEPOSITION OF CI(G)S ACTIVE LAYER IN PV CELLS (NOVA-CI(G)S)** R+D (1c) 3.1.2

Lead:	EMPA Dübendorf	Funding:	SBF/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.		

● **MULTIFUNCTIONAL BACK ELECTRICAL CONTACT FOR FLEXIBLE THIN FILM SOLAR CELLS** R+D (1c) 3.1.2

Lead:	EMPA Dübendorf	Funding:	KTI
Contact:	Tiwari Ayodhya Nath ayodhya.tiwari@empa.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	The project will demonstrate development of next generation of high efficiency CIGS flexible thin film solar cells and monolithically interconnected modules based on 'alternative multilayer electrical back contact' that provides multi-functionality and overcomes the problems of conventionally used electrical back contact.		

● **APOLLO - EFFICIENT AREAL ORGANIC SOLAR CELLS VIA PRINTING** R+D (1d) 3.1.2

Lead:	ZHAW ICP	Funding:	BFE
Contact:	Ruhstaller Beat beat.ruhstaller@zhaw.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	This project aims to combine plastic electronics expertise in Europe for realizing organic solar cells for empowering printed electronics applications.		

● **HIOS-CELL** R+D (1d) 3.1.2

Lead:	EMPA Dübendorf	Funding:	BFE
Contact:	Heier Jakob jakob.heier@empa.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	The project explores nanoscale structuring of heterojunction ionic organic solar cells by liquid-liquid dewetting.		

● **TRANSPARENT FABRIC ELECTRODES FOR ORGANIC PHOTOVOLTAICS (FABRI-PV)** R+D (1d) 3.1.2

Lead:	EMPA Dübendorf	Funding:	KTI
Contact:	Nüesch Frank frank.nuesch@empa.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Solar cells require at least one transparent electrode which are commonly made of transparent conducting metal-oxide films (TCOs) since they ally excellent conductivity and high optical transmission in the visible domain. The project explores transparent fabric electrodes for organic photovoltaics (FABRI-PV).		

● **EFFICIENT SOLAR CELLS BASED ON ORGANIC AND HYBRID TECHNOLOGY (ESCORT)** R+D (1d) 3.1.2

Lead:	EPFL ISIC-LPI	Funding:	SBF/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.		

● **ALL-CARBON PLATFORMS FOR HIGHLY EFFICIENT MOLECULAR WIRE-COUPLED DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS (MOLESOL)** R+D (1d) 3.1.2

Lead:	EPFL ISIC-LPI	Funding:	SBF/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.		

● **NEUARTIGE SENSIBILISATOREN FÜR FARBSTOFFSOLARZELLEN: SQUARAIN- UND HEPTAME-THINFARBSTOFFE 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.		

● **ORDERED INORGANIC-ORGANIC HYBRIDS USING IONIC LIQUIDS FOR EMERGING APPLICATIONS (ORION)** R+D (1d) 3.1.2

Lead:	Solaronix SA	Funding:	SBF/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.		

● **EFFICIENT AND ROBUST DYE SENSITIZED SOLAR CELLS AND MODULES** R+D (1d) 3.1.2

Lead:	EPFL ISIC-LPI	Funding:	SBF/EU
Contact:	Thampi Ravindranathan ravindranathan.thampi@epfl.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	ROBUST DSC aims to develop materials and manufacturing procedures for Dye Sensitized Solar Cells (DSC) with long lifetime and increased module efficiencies (7% target). The project intends to accelerate the exploitation of the DSC technology in the energy supply market. The approach focuses on the development of large area, robust, 7% efficient DSC modules using scalable, reproducible and commercially viable fabrication procedures.		

● **MODELLIERUNG VON FARBSTOFFSOLARZELLEN MODSOL** R+D (1d) 3.1.2

Lead:	ZHAW ICP	Funding:	diverse
Contact:	Schmid Matthias matthias.schmid@zhaw.ch	Period:	2008–2010
Abstract:	The goal of the ModSol project is to develop validated numerical models for dye sensitized solar cells (DSC).		

● **EXTREMELY THIN ABSORBER SOLAR CELLS BASED ON ELECTRODEPOSITED ZNO NANOSTRUCTURES** R+D (1e) 3.1.2

Lead:	EMPA Thun	Funding:	BFE
Contact:	Laetitia Philippe laetitia.philippe@empa.ch	Period:	2009–2011

Abstract: The aim of the "ETA solar cells" project is to study separately the different materials used for the fabrication of this kind of photovoltaic device in order to improve the solar efficiency.

● **ENTWICKLUNG EFFIZIENTER LUMINESZENZKONZENTRATOREN BASIEREND AUF ANORGANISCH-ORGANISCHEN NANOMATERIALIEN ZUR SOLARENERGIEGEGWINNUNG** R+D (1e) 3.1.2

Lead:	Universität Zürich, Institut für anorganische Chemie	Funding:	KTI
Contact:	Brühwiler Dominik bruehwi@aci.uzh.ch	Period:	2008–2010

Abstract: Ziel des Projekts ist die Entwicklung von neuen, effizienten Lumineszenzkonzentratoren. Durch den Einschluss der Lumineszenzzentren in Zeolithe werden Stabilitätsprobleme gelöst, sowie Verluste durch Selbstabsorption verringert. In Kombination mit stabilen Lumineszenzkonzentratoren können Silizium-Solarzellen, ohne Verlust an Leistung, verkleinert werden.

● **NANOMATERIALS FOR HARVESTING SUB-BAND-GAP PHOTONS VIA UPCONVERSION TO INCREASE SOLAR CELL EFFICIENCIES (NANOSPEC)** R+D (1e) 3.1.2

Lead:	Universität Bern, Dept. Chemie & Biologie	Funding:	SBF/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.

● **INNOVATIVE MATERIALS FOR FUTURE GENERATION EXCITONIC SOLAR CELLS** R+D (1e) 3.1.2

Lead:	Solaronix SA	Funding:	SBF/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.

● **PLASMONS GENERATING NANOCOMPOSITE MATERIALS (PGNM) FOR 3RD GENERATION THIN FILM SOLAR CELLS (SOLAMON)** R+D (1e) 3.1.2

Lead:	Solaronix SA	Funding:	SBF/EU
Contact:	Meyer Toby toby.meyer@solaronix.com	Period:	2009–2011

Abstract: The objective of the SOLAMON project is to develop high potential Plasmon Generating Nanocomposite Materials (PGNM) which will pave the way to the generation III solar cells (high efficiency & low cost).

● **ADVANCED LASERS FOR PHOTOVOLTAIC INDUSTRIAL PROCESSING ENHANCEMENT (ALPINE)** R+D (1e) 3.1.2

Lead:	Oclaro (Switzerland) AG	Funding:	SBF/EU
Contact:	Schmid Manuel www.oclaro.com	Period:	2009–2012

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.

● **THINPV: COST EFFICIENT THIN FILM PHOTOVOLTAICS FOR FUTURE ELECTRICITY GENERATION** R+D (1e) 3.1.2

Lead:	EMPA Dübendorf	Funding:	diverse
Contact:	Nüesch Frank frank.nueesch@empa.ch	Period:	2006–2009

Abstract: THINPV: Cost efficient thin film photovoltaics for future electricity generation. This project brings the different Swiss PV research groups in thin film solar cells together and works on relevant crosscutting issues.

● **SMARTTILE: INNOVATIVE PHOTOVOLTAIK INDACHLÖSUNG** P+D (2a) 3.1.2

Lead:	3S Swiss Solar Systems AG	Funding:	BFE
Contact:	Szacsvey Tamás tamas.szacsvey@3-s.ch	Period:	2008–2010
Abstract:	Die zunehmende Industrialisierung der Fertigungsprozesse von Photovoltaik (PV) Modulen eröffnet neue Möglichkeiten für die Massenfertigung. Im Projekt SmartTile wird ein neues Solardachelement nach neusten Erkenntnissen entwickelt.		

● **BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS THERMAL ASPECTS** R+D (2a) 3.1.2

Lead:	SUPSI ISAAC	Funding:	BFE
Contact:	Frontini Francesco francesco.frontini@supsi.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	PV industries offering products that can be integrated as building materials represent so far a niche but promising market. The intentions of this project are to: Analyze building integrated PV products in order to define their electrical and thermal characteristics. Analyze the interaction between these materials and the building. Demonstrate what BiPV modules look like and how to integrate them into the building concept.		

● **UNIQUE AND INNOVATIVE SOLUTION OF THIN SILICON FILMS MODULES BUILDING INTEGRATION** P+D (2a) 3.1.2

Lead:	EPFL STI IMT-NE PV-LAB	Funding:	BFE
Contact:	Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch	Period:	2010–2013
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).		

● **LASERBEARBEITUNG VON SOLARPANELS** R+D (2a) 3.1.2

Lead:	FHNW IPPE	Funding:	KTI
Contact:	Lüscher Beat beat.luescher@fhnw.ch	Period:	2010–2011
Abstract:	Ziel des Projektes ist die Verringerung der Herstellkosten und die Effizienzsteigerung von Dünnschichtszellens mittels Einsatz neuester Laser-Technologie. Innovative Laserverfahren sollen in die industrielle Fertigung implementiert werden und konventionelle, zeitaufwändige Prozessschritte ersetzen.		

● **PROFILED PHOTOVOLTAIC MODULES** R+D (2a) 3.1.2

Lead:	EPFL-STI-IMX-LTC	Funding:	KTI
Contact:	Leterrier Yves yves.leterrier@epfl.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	The objective of this collaboration is to develop a materials system and process for profiled encapsulation of thin film silicon photovoltaic devices with improved efficiency for structured roofing elements.		

● **TEXTILE PHOTOVOLTAIK: INTEGRATION VON MINIATURISIERTEN SOLARMODULEN AUF TEXTILE FLÄCHEN MITTELS STICKEREITECHNIK** R+D (2a) 3.1.2

Lead:	NTB	Funding:	KTI
Contact:	Gutsche Martin martin.gutsche@ntb.ch	Period:	2010–2012
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.		

● **LARGE AREA SOLAR SIMULATOR INTEGRATING POWER LIGHT EMITTING DIODES FOR PERFORMANCE MEASUREMENT OF NEW GENERATIONS OF PHOTOVOLTAIC MODULES (SUNSIM)** R+D (2b) 3.1.2

Lead:	EPFL STI IMT-NE PV-LAB	Funding:	KTI
Contact:	Ballif Christophe christophe.ballif@epfl.ch	Period:	2009–2011
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.		

● **LED-BASIERTE QUALITÄTSKONTROLLE IM PRODUKTIONSABLAUF FÜR SOLARMODULE** R+D (2b) 3.1.2

Lead:	ZHAW ICP	Funding:	KTI
Contact:	Reinke Nils niils.reinke@zhaw.ch	Period:	2010–2010
Abstract:	Gegenstand der vorliegenden Machbarkeitsstudie ist die Untersuchung einer Lichtquelle auf Basis von lichtemittierenden Dioden (LEDs). Diese Lichtquelle soll für die Qualitätskontrolle von Solarmodulen in Produktionsanlagen integriert werden können.		

● **MULTI-PURPOSE PV MODULE TESTER (MPVT).** R+D (2b) 3.1.2

Lead:	SUPSI ISAAC	Funding:	KTI
Contact:	Chianese Domenico domenico.chianese@supsi.ch	Period:	2008–2010
Abstract:	The objective of this project is to develop a new high flexible electronic load which responds to the present needs of research and test laboratories and which is the basis for the development of a high efficient and cost effective in-line tester for module manufacturers.		

● **LIFETIME, MECHANICAL AND SECURITY TESTING FOR PV MODULE CERTIFICATION** R+D (2c) 3.1.2

Lead:	SUPSI ISAAC	Funding:	BFE
Contact:	Rudel Roman roman.rudel@supsi.ch	Period:	2008–2010
Abstract:	In the strongly expanding PV market certification capacities constitute a serious bottleneck. Based on the long experience in module testing at ISAAC (SUPSI), a PV module test center for certified module measurements according to IEC standards is being built up.		

● **QUALITÀ E RESA ENERGETICA DI MODULI PV, CENTRALE ISAAC-TISO - PERIODO VIII: 2007–2010** R+D (2c) 3.1.2

Lead:	SUPSI ISAAC	Funding:	BFE
Contact:	Rudel Roman roman.rudel@supsi.ch	Period:	2007–2010
Abstract:	With this project, the ISAAC (SUPSI) develops appropriate module measurement techniques in view of quality assurance and energy rating of PV modules. Extended measurement campaigns are carried out for market relevant PV modules and new technologies.		

● **MOBILES PV MESSSYSTEM** P+D (2c) 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.		

● **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.		

● **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:	In diesem Projekt soll mindestens ein Produkt aus PV und FOAMGLAS entwickelt werden.		

● **BISOL – BUILDING INTEGRATED SOLAR NETWORK – BRENET**

R+D (2e) 3.1.2

Lead:	SUPSI ISAAC	Funding:	BFE
Contact:	Rudel Roman roman.rudel@supsi.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	The aim of the BiSol project is to create a competence network between specialists from various stakeholders so as to maximize solar energy integration into the built environment and overcome the related technical and non technical issues.		

● **BIPV TOOLS**

WTT (2e) 3.1.2

Lead:	SUPSI ISAAC	Funding:	BFE
Contact:	Frontini Francesco francesco.frontini@supsi.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	The BiPV Tools project is addressed specifically to architects. Its aim is to provide information and tools which will allow a correct and appropriate integration of photovoltaics into the building design concept.		

● **PHOTOVOLTAIK SYSTEMTECHNIK 2007–2010**

R+D (3) 3.1.2

Lead:	HTI Burgdorf	Funding:	BFE
Contact:	Häberlin Heinrich heinrich.haeberlin@bfh.ch	Period:	2007–2010
Abstract:	Bau eines neuen Solargenerator-Simulators von 100 kW zusätzlich zu den bisherigen Geräten von 20 kW und 25 kW. Wartung und laufende Weiterentwicklung der Mess-Software der vorhandenen Solargenerator-Simulatoren.		

● **PRAXISTEST BACKUP WECHSELRICHTER**

P+D (3) 3.1.2

Lead:	Basler & Hofmann AG	Funding:	BFE
Contact:	Stettler Sandra sandra.stettler@baslerhofmann.ch	Period:	2008–2010
Abstract:	Das Projekt Praxistest Backup Wechselrichter soll auf der Basis von detaillierten Messungen eines aktuellen Produkts das genaue Verhalten und die Tauglichkeit eines Wechselrichters mit Back-up Funktion evaluieren.		

● **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:	2010–2012
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.		

● **SOLAR WINGS: SEIL-BASIERTES PHOTOVOLTAIK-NACHFÜHRSYSTEM 2-ACHSIG**

P+D (3) 3.1.2

Lead:	PAMAG Engineering	Funding:	BFE
Contact:	Kessler Hugo hke.pamag@flumroc.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Im Pilotprojekt Solar Wings wird erstmalig das Verhalten eines Seil-basierten 2-achsig nachgeführten Photovoltaiksystems erprobt und mit einer fix installierten Anlage verglichen.		

● **AUTONOMOUS CLEANING ROBOT FOR LARGE SCALE PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS IN EUROPE RESULTING IN 5% COST REDUCTION OF ELECTRICITY (PV-SERVITOR)**

R+D (3) 3.1.2

Lead:	HTI Burgdorf	Funding:	SBF/EU
Contact:	Häberlin Heinrich heinrich.haeberlin@bfh.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	The PV-Servitor project focuses on concepts for a fully autonomous cleaning robot for ground mounted large scale photovoltaic power plants consisting of several 100 kW units. The PV-Servitor shall be able to automatically clean glass surfaces of solar modules in several areas of up to 2,500 square meters in an unrestricted way.		

● **PV TESTANLAGE DIETIKON**

P+D (3) 3.1.2

Lead:	ZHAW IEFE	Funding:	diverse
Contact:	Baumgartner Franz franz.baumgartner@zhaw.ch	Period:	
Abstract:	In einer Testanlage werden verschiedene Photovoltaik-Modultechnologien erprobt und miteinander verglichen.		

● **INPHOCUS – INFLATED PHOTOVOLTAIC ULTRA-LIGHT MIRROR CONCENTRATORS**

R+D (4) 3.1.2

Lead:	SUPSI ICMSI	Funding:	KTI
Contact:	Boër Claudio claudio.boer@icimsi.ch	Period:	2010–2012
Abstract:	The goal of this project is to realize a commercially 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, will have an innovative fiber reinforced concrete structure and an original tilting mechanism to track the sun.		

● **MESSKAMPAGNE PHOTOVOLTAIK SCHALLSCHUTZANLAGE MÜNSINGEN**

R+D (4) 3.1.2

Lead:	TNC Consulting AG	Funding:	BFE
Contact:	Nordmann Thomas nordmann@tnc.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	In dieser Messkampagne wird das Verhalten der bifacialen Photovoltaik Schallschutzanlage beim Bahnhof Münsingen (Kt. BE) analysiert.		

● **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:	SBF/EU
Contact:	Emmer Andreas andreas.emmer@epag.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.		

● **SCHWEIZER PV ENERGIESTATISTIK**

R+D (4) 3.1.2

Lead:	Ingenieurbüro Hostettler	Funding:	BFE und weitere
Contact:	Hostettler Thomas hostettler_engineering@compuserve.com	Period:	
Abstract:	In der Schweizer PV Energiestatistik wird die Energieproduktion einer repräsentativen Menge von ausgewählten PV-Anlagen erfasst und auf die Gesamtanzahl PV-Anlagen hochgerechnet.		

● **NORMENARBEIT FÜR PV SYSTEME**

WTT (4) 3.1.2

Lead:	Basler & Hofmann AG	Funding:	Swissolar
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.		

● **LEITUNG DES FORSCHUNGSPROGRAMMS «PHOTOVOLTAIK»**

R+D (4) 3.1.2

Lead:	NET AG	Funding:	BFE
Contact:	Nowak Stefan stefan.nowak@netenergy.ch	Period:	1993–2012
Abstract:	Das Projekt umfasst Strategie und Leitung des Schweizer Photovoltaik-Forschungsprogramms, die Begleitung der Projekte (F+E, P+D) sowie die gesamtschweizerische Koordination.		

● **SCHWEIZER BEITRAG IEA PVPS TASK 1 – 2010**

R+D (5) 3.1.2

Lead:	Nova Energie GmbH	Funding:	BFE
Contact:	Hüsser Pius pius.huesser@novaenergie.ch	Period:	2010–2011
Abstract:	IEA PVPS Task 1 befasst sich mit Informationsaufgaben zum Stand der Photovoltaik in den Mitgliedländern 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**

R+D (5) 3.1.2

Lead:	ESU-Services AG	Funding:	BFE
Contact:	Frischknecht Rolf frischknecht@esu-services.ch	Period:	2006–2010
Abstract:	IEA PVPS Task 12 befasst sich mit Umweltaspekten der Photovoltaik ausgehend von Analysen in den Mitgliedländern des IEA PVPS Programms. Dazu leistet dieses Projekt den Schweizer Beitrag, insbesondere zur Lebenszyklusanalyse (LCA) von PV-Systemen.		

● **IEA PVPS – KICK-OFF MEETING IEA PVPS TASK 13**

R+D (5) 3.1.2

Lead:	TNC Consulting AG	Funding:	BFE
Contact:	Nordmann Thomas nordmann@tnc.ch	Period:	2010–2010
Abstract:	IEA PVPS Task 13 befasst sich mit Performance und Zuverlässigkeit von PV-Komponenten und PV-Anlagen in den Mitgliedländern des IEA PVPS Programms. Mit diesem Projekt wird der Schweizer Beitrag zu diesem neuen internationalen Vorhaben vorbereitet.		

● **SOLAR RESOURCE MANAGEMENT, IEA SOLAR HEATING & COOLING PROGRAMME, TASK 36**

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 36, Meteotest investigates the possibilities and quality of global radiation forecast, the trend of recent global radiation data and distribution of atmospheric aerosols.		

● **IEA SHC TASK 41 « SOLAR ENERGY AND ARCHITECTURE » – DIRECTION DE LA SOUS-TÂCHE A « CRITERIA FOR ARCHITECTURAL INTEGRATION »**

R+D (5) 3.1.2

Lead:	EPFL LESO	Funding:	BFE
Contact:	Roecker Christian christian.roecker@epfl.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	The main goals of IEA SHC Task 41 are to help achieving high quality architecture for buildings integrating solar energy systems, as well as improving the qualifications of the architects, their communications and interactions with engineers, manufactures and clients. Increased user acceptance of solar designs and technologies will accelerate the market penetration.		

● **PV ERA NET: NETWORKING AND INTEGRATION OF NATIONAL AND REGIONAL PROGRAMMES IN THE FIELD OF PHOTOVOLTAIC (PV) SOLAR ENERGY RESEARCH AND TECHNOLOGICAL**

R+D (5) 3.1.2

Lead:	NET AG	Funding:	diverse
Contact:	Nowak Stefan stefan.nowak@netenergy.ch	Period:	2004–2009
Abstract:	PV ERA NET: The objective of the network is to enhance the cooperation between regional and national PV RTD programmes in Europe. The activities include information exchange, best practice in PV RTD as well as specific joint calls between several regional/national PV RTD programmes.		

Solaire industriel à haute température

(* IEA-Klassifikation)

*

- SOLAIR – INNOVATIVE SOLAR COLLECTORS FOR EFFICIENT AND COST-EFFECTIVE SOLAR THERMAL POWER GENERATION**

Lead: ALE Airlight Energy SA	Funding: BFE
Contact: Andrea Pedretti andrea.pedretti@airlightenergy.com	Period: 2007–2012

Abstract: The present 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. Since this new arrangement reduces drastically the investment costs of the collector field, the solar thermal plant promises to be highly economic competitive.

R+D 3.1.3
- IEA-SOLARPACES-PROGRAMM**

Lead: DLR	Funding: BFE
Contact: Mörsdorf M. http://www.solarpaces.org	Period: 1989–2010

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.

3.1.3
- TOWARDS INDUSTRIAL SOLAR PRODUCTION OF ZINC AND HYDROGEN – REACTOR OPTIMIZATION AND SCALE-UP**

Lead: PSI	Funding: BFE
Contact: Anton Meier anton.meier@psi.ch	Period: 2007–2011

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 (10 kW Prototypreaktor) optimiert.

R+D 3.1.3
- SOLAR CO2-SPLITTING USING REDOX REACTIONS**

Lead: PSI	Funding: SNF
Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period: 2009–2011

Abstract: The 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. The first, endothermic step is the thermal dissociation of the metal oxide using concentrated solar radiation as the energy source of high-temperature process heat.

R+D 3.1.3
- SOLHYCARB**

Lead: PSI	Funding: EU FP6
Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period: 2006–2010

Abstract: The SOLHYCARB project addresses the development of an unconventional route for potentially cost-effective hydrogen production from solar energy without emitting carbon dioxide. The process thermally decomposes natural gas in a high temperature solar chemical reactor. Two products are obtained: H₂-rich gas and a marketable high-value nano-material, Carbon Black (CB).

R+D 3.1.3
- SOLREF**

Lead: PSI	Funding: EU FP6
Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period: 2005–2010

Abstract: The use of concentrated solar power for supplying high-temperature process heat to the steam-reforming of natural gas has the potential of avoiding up to 35% of the CO₂ emissions derived from the conventional fossil-fuel-based method. The cost of hydrogen is estimated at 0.05 EUR/kWh_{LHV-H₂}. The project aims at developing the technology to a pre-commercial phase.

R+D 5.1.1

● **HYCYCLES**

R+D 5.1.1

Lead:	PSI	Funding:	EU FP6
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	Project aimed at the development of materials and components for the sulfur-based water-splitting thermochemical cycles for hydrogen generation. Concentrated solar radiation is used as the energy source of high temperature process heat. The ultimate objective is to bring the technology closer to realization by improving efficiency, reliability, and costs.		

● **ENEXAL – SOLAR PRODUCTION OF ALUMINUM BY CARBOTHERMAL REDUCTION OF ALUMINA**

R+D 3.1.3

Lead:	PSI	Funding:	EU FP7
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2010–2014
Abstract:	Thermochemical equilibrium calculations indicate the possibility of significantly lowering the onset temperature of aluminum vapor formation via carbothermal reduction of Al ₂ O ₃ by decreasing the total pressure, enabling its vacuum distillation. Further, the use of concentrated solar energy as the source of high-temperature process heat offers considerable energy savings and reduced concomitant CO ₂ emissions.		

● **HITECO – HIGH-TEMPERATURE EFFICIENT COLLECTOR FOR CONCENTRATING SOLAR POWER APPLICATIONS**

R+D 3.1.3

Lead:	PSI	Funding:	EU FP7
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2010–2013
Abstract:	In order to accelerate the implementation of the CSP technology, the electricity cost has to be reduced by increasing the plants efficiency. The HITECO Project aims at doing so by increasing the operating temperature of the heat transfer fluid (HTF) up to 600°C and therefore raising the overall efficiency of the process. The current state-of-the-art designs are prevented to reach such temperatures without a dramatic efficiency drop by several key components.		

● **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**

R+D 3.1.3

Lead:	PSI	Funding:	others
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2003–2010
Abstract:	High-temperature thermochemical processes efficiently convert concentrated solar energy into storable and transportable fuels. In the long run, H ₂ O/CO ₂ -splitting thermochemical cycles based on metal oxide redox reactions are developed to produce H ₂ and CO, which can be further processed to synthetic liquid fuels. In a transition period, carbonaceous feedstocks (fossil fuels, biomass, C-containing wastes) are solar-upgraded and transformed into valuable fuels via reforming, gasification and decomposition processes.		

● **SOLSYN – SOLAR FUELS FOR CEMENT MANUFACTURING**

R+D 3.1.3

Lead:	PSI	Funding:	KTI
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2007–2011
Abstract:	Holcim, PSI and ETH Zurich have brought together most competent resources to perform long-term oriented research in exploring 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 (syngas)—mainly H ₂ and CO. The synthetic gas could be used for substituting fossil fuels in the cement kiln.		

● **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.		

- SOLRAD** R+D 3.1.3

Lead: PSI	Funding: SNF
Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period: 2008–2010

Abstract: The project aims at investigating the fundamentals of heat and mass transfer phenomena in high-temperature multiphase reactive flows exposed to high-flux irradiation. The application is focused on the development of solar reactor technology for the production of hydrogen via steam-gasification of carbonaceous materials using concentrated solar radiation.
- TOMOGRAPHY-BASED DETERMINATION OF EFFECTIVE HEAT/MASS TRANSPORT PROPERTIES FOR COMPLEX MULTI-PHASE MEDIA** R+D 3.1.3

Lead: PSI	Funding: SNF
Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period: 2009–2012

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. The morphological characterization and accurate determination of the effective transport properties are crucial for the optimal design and efficient operation of solar receivers and reactors.
- BIOMASS (ALGAE) GASIFICATION USING CONCENTRATED SOLAR ENERGY** R+D 3.1.3

Lead: PSI	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.
- 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: 2010–2012

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: The project deals with the realization of a pilot installation of a Concentrated Solar Power plant in Biasca. Solar energy will be harvested using the innovative Airlight solar concentrator. The plant will use air as working fluid and will have a rock packed bed thermal energy storage system. The hot air will be conveyed in a Heat Recovery Steam Generator to produce steam that will feed a turbine connected to an electric generator to finally produce electric power.
- PROZESSWÄRME MIT VAKUUMRÖHRENKOLLEKTOREN FÜR DIE BEHEIZUNG DES PARAFFINS FÜR FISCHER KERZEN AG** P+D 3.1.3

Lead: Theo Fischer AG	Funding: BFE
Contact: Martin Kretz m.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 81 m² (Absorberfläche) Kollektoren Typ Augusta DF6 (SPF Nr. C938) werden eine Wärmeproduktion von ca. 47'000 kWh generieren.
- CST RECEIVER TUBE QUALIFICATION, PHASE 1, INVESTIGATION** R+D 3.1.3

Lead: Energie Solaire SA	Funding: BFE
Contact: Jean-Pierre Rossy rossy@energie-solaire.com	Period: 2009–2010

Abstract: The possible methods for characterising and qualifying the concentrated solar thermal (CST) receivers with their embedded absorber tubes are investigated. In order to further increase the usage of the CST systems, it is of great importance to provide standards for the qualification and characterisation of the different components of the CST systems. Huge efforts are currently made to define a standard for evacuated receiver tubes.

● **EINSTEIN GOES SWISS**

R+D 3.1.3

Lead:	Institut für Solartechnik SPF	Funding:	BFE
Contact:	Elimar Frank elimar.frank@solarenergy.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Industry Audits in Schweizer Industriesektoren und Entwicklung eines Plug-Ins für Jahressimulationen zum Solarwärmebeitrag von Industrieprozessen in dem Expertensystem EINSTEIN.		

● **PREDESIGN STUDIE MOBILER TESTSTAND FÜR SOLARTHERMISCHE PROZESSWÄRMEANLAGEN**

R+D 3.1.3

Lead:	Institut für Solartechnik SPF	Funding:	BFE
Contact:	Andreas Bohren andreas.bohren@solarenergy.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Um die solare Hochtemperatur Technologie zu unterstützen müssen einerseits die Normen geschaffen oder erweitert werden und andererseits auch geeignete Messeinrichtungen verfügbar sein. Die notwendige Infrastruktur ist allerdings noch weitgehend nicht vorhanden. In diesem Projekt sollen deshalb die Grundlagen dafür geschaffen werden um ein entsprechende Messanlage zu bauen.		

● **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:	Georg Dubacher georg.dubacher@ewz.ch	Period:	2010–2013
Abstract:	Das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich realisiert im Molkereibetrieb Lesa Lalaria 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.		

Biomasse und Holzenergie

(* IEA-Klassifikation)

● **ANALYSE DE CYCLE DE VIE DE LA PRODUCTION CENTRALISÉE ET DÉCENTRALISÉE DE BIOGAZ EN EXPLOITATIONS AGRICOLES**

R+D 3.4*

Lead:	ENERS Energy Concept Co.	Funding:	BFE
Contact:	Dauriat Arnaud arnaud.dauriat@eners.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	La présente étude a pour objectif principal la comparaison de systèmes centralisés et décentralisés de production de biogaz en milieu agricole au moyen d'une analyse de cycle de vie. Les résultats de l'étude permettront de préciser le type d'installations de biogaz agricole le plus performant du point de vue environnemental, et de définir en particulier jusqu'à quel rayon de collecte moyen la production centralisée serait préférable à la production décentralisée.		

● **AUFBEREITUNGS- UND BETANKUNGSANLAGE FÜR KLEINERE BIOGASPRODUKTIONSMENGEN**

R+D 3.4.1

Lead:	Apex AG	Funding:	BFE
Contact:	Oester Ueli info@apex.eu.com	Period:	2006–2010
Abstract:	Das Projekt hat zum Ziel, für kleinere Biogasproduktionsmengen entsprechende Aufbereitungs- und Betankungsanlagen zu entwickeln, sodass beispielsweise auch landwirtschaftliche Biogasanlagen Treibstoff bereitstellen könnten.		

- **BIOGASPILOTANLAGE – ENERGIESCHULE ZHAW WÄDENSWIL** R+D 3.4
- | | | |
|---|-------------------|--|
| Lead: Hochschule Wädenswil HSW | Funding: BFE | |
| Contact: Baier Urs urs.baier@zhaw.ch | Period: 2009–2012 | |
- Abstract: Durch den Bau einer P&D Biogasanlage am Standort Wädenswil der ZHAW wird eine Plattform für anwendungsorientierte F&E Projekte aus Industrie, Anlagenbau & Verwaltung geschaffen. Die Anlage beinhaltet zwei verschiedene Bauformen von Bioreaktoren (Festsubstrate / Flüssigsubstrate) sowie eine leistungsfähige MSR Technik und ermöglicht damit die Bearbeitung unterschiedliche prozesstechnischer Fragestellungen.
-
- **CH4-EMISSIONEN BEI EPDM-GASSPEICHERN UND DEREN WIRTSCHAFTLICHEN UND ÖKOLOGISCHE FOLGEN** R+D 3.4
- | | | |
|--|-------------------|--|
| Lead: Genesys Biogas AG | Funding: BFE | |
| Contact: Büeler Elmar elmar.bueeler@oekostromschweiz.ch | Period: 2009–2011 | |
- Abstract: Auf landw. Biogasanlagen wird das Biogas häufig in einem Gasspeicher mit einer EPDM Folie (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk) zwischengelagert. Als Ziel dieses Projekts gilt es festzustellen, ob nach einer gewissen Einsatzdauer und unter gewissen Bedingungen (z. B. erhöhte Säurewerte im Fermenter) diese Folie an Qualität einbüsst und die Methanverluste an die Umwelt zunehmen. Die evaluierten Methanverluste werden wirtschaftlich und ökologisch beurteilt.
-
- **DESIGN UND OPTIMIERUNG DER HOCHTEMPERATUR-ENTSCHWEFELUNG FÜR KATALYSATOREN** R+D 3.4
- | | | |
|---|-------------------|--|
| Lead: PSI Paul Scherrer Institut | Funding: BFE | |
| Contact: Biollaz Serge serge.biollaz@psi.ch | Period: 2007–2010 | |
- Abstract: Es soll eine schwefelresistente Methanisierungsstufe für den Prozess Methan aus Holz entwickelt werden. Gegenüber der Nieder-temperaturschwefelung 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.
-
- **ERWEITERTE PARTIKELANALYTIK FÜR HOLZFEUERUNGSABGASE** R+D 3.4
- | | | |
|--|-------------------|--|
| Lead: PSI Paul Scherrer Institut | Funding: BFE | |
| Contact: Prévot André andre.prevot@psi.ch | Period: 2007–2011 | |
- Abstract: Mit diesem Projekt soll die Holzfeuerungsbranche im Bemühen, partikelarme Verbrennungstechnologien zu entwickeln, unterstützt werden. Mit der Aerosolanalytik am PSI können die Emissionen mit der in stationären Verbrennungsphasen notwendigen Zeitauflösung gemessen werden, was erlaubt, gezielt technische Verbesserungen an Feuerungen vornehmen zu können. Die Aerosolanalytik kann zusätzlich wichtige Daten als Basis für die Abschätzung der Emissionsfaktoren im realen Betrieb von Holzfeuerungen liefern.
-
- **EVALUATION UND AUSWAHL EINER FESTSTOFFANLAGE ZUR BIOGASPRODUKTION** R+D 3.4
- | | | |
|--|-------------------|--|
| Lead: Nova Energie | Funding: BFE | |
| Contact: Wellinger Arthur arthur.wellinger@novaenergie.ch | Period: 2009–2010 | |
- Abstract: Auf einem Schweizer Hof soll eine Feststoffanlage zur Biogasproduktion gebaut werden. Als Substrat dient der eigene und von umliegenden Höfen anfallende Mist. Die Dimension der Anlage liegt bei 150 bis max. 250 m³. In einer ersten Phase des Projekts soll eine Gegenüberstellung von bestehenden Verfahren zur Feststoffvergärung stattfinden. Anhand einer Evaluationsmatrix wird dann die Auswahl einer Anlage erfolgen.
-
- **GERUCHSQUELLEN BEI BIOGASANLAGEN** R+D 3.4
- | | | |
|---|-------------------|--|
| Lead: Forschungsanstalt Agroscope ART | Funding: BFE | |
| Contact: Schick Matthias matthias.schick@art.admin.ch | Period: 2009–2012 | |
- 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.
-
- **HARMONISIERUNG UND ERWEITERUNG DER BIOENERGIE-ÖKOINVENTARE UND -ÖKOBILANZEN** R+D 3.4
- | | | |
|--|-------------------|--|
| Lead: EMPA | Funding: BFE | |
| Contact: Zah Rainer rainer.zah@empa.ch | Period: 2009–2011 | |
- Abstract: Projektziel ist es, die Bioenergie-Daten der ecoinvent Datenbank in Hinblick auf die aktuellen Entwicklungen im landwirtschaftlichen Anbau und Energie-Umwandlung zu aktualisieren, harmonisieren und zu erweitern. Die Überarbeitung der Bioenergie-Daten verbessert die Entscheidungsunterstützung für die Bundesämter; sie schafft aber auch klarere Rahmenbedingungen für Investoren und Industrie.

- **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: | 2010–2011 |
- Abstract: Ziel ist die Entwicklung eines Blockheizkraftwerks mit Holzenergie, welches rationell im unteren Leistungsbereich der Stromerzeugung (70-100 kWel) eingesetzt werden kann.
- **IEA BIOENERGY** WTT 3.4
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Diverse Auftragnehmer | Funding: | BFE |
| Contact: | Diverse Auftragnehmer
thomas.nussbaumer@verenum.ch | Period: | 2007–2010 |
- Abstract: Die Schweiz ist Mitglied im Implementing Agreement Bioenergy der IEA. Innerhalb von IEA Bioenergy gibt es verschiedene Arbeitsgruppen, sog. Tasks, welche bestimmte Themen vertieft behandeln. Die Schweiz ist Mitglied in Task 32 Biomass Combustion and Co-firing, Task 33 Thermal Gasification of Biomass und Task 37 Energy from Biogas und hat dementsprechend Fachvertreter in diesen Arbeitsgruppen, welche für den Wissenstransfer verantwortlich sind.
- **IEA BIOENERGY TASK 32 2007–2009** WTT 3.4
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Verenum | Funding: | BFE |
| Contact: | Nussbaumer Thomas
thomas.nussbaumer@verenum.ch | Period: | 2007–2010 |
- 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 Schwerpunktthemen. 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.
- **IEA BIOENERGY TASK 33 2007–2009** WTT 3.4
- | | | | |
|----------|-----------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | ETECA GmbH | Funding: | BFE |
| Contact: | Rüegsegger Martin
eteca@gmx.ch | Period: | 2010–2011 |
- Abstract: Die IEA Bioenergy Task 33 (Thermische Vergasung von Biomasse) begleitet Forschung, Umsetzung in Pilot- und Demonstrationsanlagen sowie die Markteinführung und den kommerziellen Anlagenbetrieb der thermischen Vergasung von Biomasse.
- **IEA BIOENERGY TASK 37 2007–2009** WTT 3.4
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Nova Energie | Funding: | BFE |
| Contact: | Wellinger Arthur
arthur.wellinger@novaenergie.ch | Period: | 2009–2011 |
- Abstract: Die übergeordnete Aufgabe der Task 37 (Energy from Biogas and Landfill Gas) ist die Information über die Technik der anaeroben Vergärung. Dazu gehören, neben der Gärtechnik und der Evaluation von verschiedenen Substraten, die Aufbereitung und Nutzung des produzierten Biogas sowie der Einsatz des Gärguts als organischer Dünger.
- **INFLUENCES OF BIOCOMPONENTS (FAME) ON EMISSIONS AND ON EXHAUST SYSTEMS OF HD-DIESEL ENGINES (BIOEXDI)** R+D 3.4
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Ing. Schule Biel | Funding: | BFE |
| Contact: | Czerwinski Jan
jan.czerwinski@bfh.ch | Period: | 2009–2010 |
- Abstract: In the Diesel sector the fatty acid methyl esters (FAME's) are largely used as blends with the Diesel fuel (B10, B20, Bxx). The use of low blending ratios, like B5 or B7 is common, but the use of higher ratios (up to B30) is rarer. There are several open questions and sometimes contradictory opinions about the emissions (especially unregulated components) with these fuels, about the influences on DPF regeneration and about ageing of catalysts (DBP & SCR systems).
- **LOW-PARTICLE UNTERSCHUB-HOLZSCHNITZELFEUERUNG** R+D 3.4
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Ing. Büro Verenum, Zurich | Funding: | BFE |
| Contact: | Nussbaumer Thomas
thomas.nussbaumer@verenum.ch | Period: | 2004–2010 |
- Abstract: Das Low-Particle-Konzept für automatische Holzfeuerungen basiert auf dem Ansatz, die Freisetzung von anorganischen Verbrennungspartikeln in der Glutbettzone zu begrenzen und so den Staubgehalt im Abgas zu reduzieren. Im vorliegenden Projekt soll dieser Low-Particle-Betrieb an der 200 kW Versuchsanlage realisiert werden. Ziel ist die sichere Einhaltung des verschärften Staubgrenzwerts nach Luftreinhalte-Verordnung beim Einsatz konventioneller Waldhackschnitzel mit unterschiedlichem Wassergehalt.

- 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: 2009–2011

Abstract: Im vorliegenden Projekt werden Konzepte der chemisch – physikalischen, enzymatischen und biologischen Vorbehandlung zur Steigerung der Biogasausbeute untersucht. Im Fokus der Untersuchungen stehen inländische Substrate mit hohem Massenpotential. Das Schwergewicht liegt dabei auf Hofdünger, zellstoffreicher Biomasse und langsam abbaubaren Proteinsubstraten, welche im Labor- und im Pilotmassstab untersucht werden.
- MESSUNG VON GERUCHSEMISSIONEN UND ENTWICKLUNG EINES GERUCHSEMISSIONSMODELLS FÜR BIOGASANLAGEN**

R+D 3.4

Lead: Ernst Basler + Partner AG	Funding: BFE
Contact: Frantz Holger holger.frantz@ebp.ch	Period: 2009–2011

Abstract: Ziel des Projektes ist die Erstellung eines Geruchsemissionsmodells für Biogasanlagen. Dafür werden zunächst Geruchsemissionen von verschiedenen Anlagenteilen von Biogasanlagen aus der Schweiz jeweils mit und ohne geruchsmindernde Massnahme gemessen. Aus den Messwerten wird ein Emissionsmodell entwickelt. Mit der dazu entwickelten Software können die Geruchsemissionen von Biogasanlagen und die Wirkung von spezifischen Minderungsmaßnahmen abgeschätzt werden.
- METHANVERLUSTE BEI BIOGASANLAGEN**

R+D 3.4

Lead: Forschungsanstalt Agroscope ART	Funding: BFE
Contact: Schick Matthias matthias.schick@art.admin.ch	Period: 2009–2011

Abstract: In diesem Projekt sollen die relevante Methanverlustquellen (Flächenquellen, Leckagen, Methanschlupf) 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.
- MISCANTHUS KLEINFEUERUNG**

P+D 3.4

Lead: Forschungsanstalt Agroscope ART	Funding: BFE
Contact: Anken Thomas thomas.anken@art.admin.ch	Period: 2008–2011

Abstract: Ziel des Projektes ist die Demonstration des Einsatzes von Miscanthus in einer Kleinfeuerungsanlage. Dabei sollen Feinstaub und andere Emissionen messtechnisch erfasst werden. Mittels Rauchgaswäscher soll aufgezeigt werden, dass sich die Feinstaubemissionen auf das Niveau vergleichbarer Holzfeuerungen reduzieren lassen. Des Weiteren soll aufgezeigt werden, dass die thermische Nutzung von Miscanthus hohe Energieerträge pro Nutzfläche generiert und Miscanthus sich umweltfreundlich anbauen lässt.
- OBERFLÄCHEN-IONISATIONSDETEKTOR ZUR ONLINE-MESSUNG VON ALKALIEN IN PROZESSGASEN**

R+D 3.4

Lead: PSI Paul Scherrer Institut	Funding: BFE
Contact: Ludwig Christian christian.ludwig@psi.ch	Period: 2007–2010

Abstract: Bei der Umwandlung von Biomasse zu Strom oder Syngas können die in Spuren vorhandenen Alkalien Anlagenteile schädigen oder Prozessschritte verunmöglichen. Der Alkali-Detektor funktioniert nach dem Oberflächen-Ionisationsprinzip. Mit ihm könnten Spuren von Alkalien (K, Na) in Prozessgasen online messbar und kritische Konzentrationen überwachbar gemacht werden. Der Alkali-Detektor soll für zeitaufgelöste Messungen 'im Feld' vorbereitet und in Messkampagnen an Biomasse-Vergasern eingesetzt werden.
- ÖKOBILANZ DER BIOGASPRODUKTION AUS UNTERSCHIEDLICHEN SUBSTRATEN**

R+D 3.4

Lead: ESU-services	Funding: BFE
Contact: Jungbluth Niels jungbluth@esu-services.ch	Period: 2009–2011

Abstract: In den letzten Jahren gab es eine Reihe von Ökobilanzen zur Verwendung von Grünut in Biogasanlagen. Bisher gibt es unterschiedliche Ergebnisse bzgl. der Vor- und Nachteile der Vergärung von Grünut. Ziel dieses Projektes ist ein Vergleich der Verwendung verschiedener gekaufter bzw. angebaute Substrate für die Biogasproduktion. Damit soll auch eine Verbesserung der Datengrundlage zur Beurteilung von Biogaserzeugung und Nutzung in Ökobilanzen verbunden sein.
- ÖKOBILANZ DER VERBRENNUNG VON BIOMASSESUBSTRATEN**

R+D 3.4

Lead: ESU-services	Funding: BFE
Contact: Jungbluth Niels jungbluth@esu-services.ch	Period: 2009–2010

Abstract: Biomasse Ressourcen wie z. B. Abfälle aus der Lebensmittelindustrie (Presskuchen, Kaffeersatz oder Olivenkerne), eignen sich nicht nur für die Vergärung. Einige dieser Abfälle können auch direkt verbrannt und dabei in Strom und Wärme umgewandelt werden. In diesem Projekt soll eine Ökobilanz der Verbrennung unterschiedlicher Biomassesubstrate erstellt werden. Dafür müssen die notwendigen Daten zunächst entsprechend der aktuellen ecoinvent Qualitätsrichtlinien erhoben werden.

- **ÖKOBILANZ DES ANBAUES VON ZWISCHENFRÜCHTEN ZUR BIOGASPRODUKTION** R+D 3.4
- | | | | |
|----------|--------------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | Forschungsanstalt Agroscope ART | Funding: | BFE |
| Contact: | Hayer Frank frank.hayer@art.admin.ch | Period: | 2009–2011 |
- Abstract: Ziel des Projektes ist es, Zwischenfrüchte hinsichtlich ihrer Eignung zur Biogaserzeugung aus ökologischer, wirtschaftlicher und agronomischer Sicht zu bewerten. Die Umweltauswirkungen des Anbaues werden mithilfe der Ökobilanzmethode SALCA abgeschätzt. Anhand der Ergebnisse können die Zwischenfrüchte aufgrund der Emissionen pro m³ Methanertrag bewertet werden. Die betriebswirtschaftliche Bewertung beinhaltet eine detaillierte Rentabilitätsberechnung.
- **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. Dazu sind Entscheidungsgrundlagen notwendig. In diesem 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.
- **OPTIMIERUNG DER HYDROLYSE UND SALZABTRENNUNG BEI DER HYDROTHERMALEN VERGASUNG VON BIOMASSE** R+D 3.4
- | | | | |
|----------|--------------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | PSI Paul Scherrer Institut | Funding: | BFE |
| Contact: | Vogel Frédéric frederic.vogel@psi.ch | Period: | 2007–2011 |
- Abstract: Die katalytische hydrothermale Vergasung erlaubt die Umwandlung von nasser Biomasse in Methan unter Rückgewinnung der Nährsalze. Ein Hindernis für die Umsetzung sind chemische Reaktionen von Salzen mit dem organischen Anteil der Biomasse (Koksbildung und vorzeitigen Gasbildung). Es sollen einerseits die chemisch-physikalischen Grundlagen dieser Reaktionen untersucht werden und andererseits die chemisch-verfahrenstechnischen Massnahmen erarbeitet werden, um die Koksbildung zu vermeiden.
- **OPTIMIERUNG VON STANDARDISIERTEN VERGÄRBARKEITSTESTSYSTEMEN IN BATCH- UND DURCHFLUSSREAKTOREN** R+D 3.4
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | EPFL/ENAC/IE/LBE | Funding: | BFE |
| Contact: | Holliger Christof christof.holliger@epfl.ch | Period: | 2009–2011 |
- Abstract: Mittels standardisierten Vergärungstests wird die Biogasproduktion oft unter- beziehungsweise überschätzt. Dies hängt mit der Wahl des Inokulums, der Medienzusammensetzung, der Temperatur, des Volumens des Testreaktors, etc. zusammen. Das Projekt soll die Hauptparameter, die zur Unter- beziehungsweise Überschätzung des Biogasproduktionspotentials führen, identifizieren. Das Biogasproduktionspotential soll sowohl in Batch- als auch Durchflussreaktoren getestet werden.
- **PARTIKELEMISSIONEN VON HOLZFEUERUNGEN BIS 70 KW** R+D 3.4
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Hochschule Luzern | Funding: | BFE |
| Contact: | Nussbaumer Th. thomas.nussbaumer@hslu.ch | Period: | 2006–2009 |
- Abstract: Ziel des Projektes ist die Datenerhebung zu Feinstaubemissionen und Emissionen von kondensierbaren Aerosolen bei realitätsnahen Bedingungen. Es sollen Vorschläge für ergänzende Anforderungen zur Betriebsweise für zukünftige Prüfungen oder Qualitätssiegel erarbeitet werden. Auf Grund der vorliegenden Erkenntnisse wird aufgezeigt, ob allenfalls gleichzeitig Vereinfachungen der heutigen Prüfnormen möglich sind, ohne die lufthygienisch relevante Beurteilung zu verschlechtern.
- **PELLETSOLAR-2** R+D 3.4
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Institut für Solartechnik, SPF | Funding: | BFE |
| Contact: | Frank Elimar elimar.frank@solarenergy.ch | Period: | 2007–2009 |
- Abstract: Die Kombination Pelletfeuerung und thermische Solaranlage wird immer öfters nachgefragt und die Pelletfeuerungen werden für eine zukünftige Nachinstallierung mit einer Solaranlage vorgesehen. Mit dem ersten Projekt PelletSolar wurden Potenziale zu energetischen und emissionsmindernden Optimierungen aufgezeigt. Ziel dieses zweiten Projektes ist es an zwei weiteren Systemen die ersten Resultate zu validieren sowie eine standardmässige Systemprüfung für Pellet-Solaranlagen zu schaffen.
- **PRÜFVERFAHREN FÜR DIE STARTPHASE AUF DER BASIS VON EN 303-51 1. STÜCKHOLZKESSEL** R+D 3.4
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Hochschule Luzern | Funding: | BFE |
| Contact: | Nussbaumer Th. thomas.nussbaumer@hslu.ch | Period: | 2009–2010 |
- Abstract: In diesem Projekt soll abgeklärt werden, ob es sinnvoll ist, die auf das Anzünden folgende Startphase bei Stückholzkesseln in die Prüfung nach EN 303-5 einzubeziehen, um damit Kessel mit hohen Emissionen in der Startphase vom Gütesiegel auszuschliessen und Kessel mit gutem Startverhalten zu belohnen. Falls eine Messung der Startphase empfohlen werden kann, soll aufgezeigt werden, wie das Startverhalten zu definieren und zu bewerten ist.

- SIMPEL: ENTWICKLUNG EINER METHODE ZUR BESTIMMUNG VON JAHRESNUTZUNGSGRADEN VON BIOMASSE-KLEINFEUERUNGEN**

R+D 3.4

Lead: Institut für Solartechnik, SPF	Funding: BFE
Contact: Frank Elimar elimar.frank@solarenergy.ch	Period: 2009–2010

Abstract: Das Projekt hat zum Ziel, eine Methode zur Bestimmung von Jahresnutzungsgraden von Biomasse-Kleinfeuerungen zu entwickeln. Hierzu wird ein speziell dafür geeignetes Kesselmodell parametrisiert und validiert. Es werden Randbedingungen definiert, um anschliessend entsprechende Jahressimulationen zur Bestimmung des Jahresnutzungsgrades durchzuführen. Die neue Prüfmethode soll dazu beitragen, die Qualität und Effizienz von Biomassekleinfeuerungen international voranzutreiben.
- STOFFLICH-ENERGETISCHE VERWERTUNG VON KOMPOGAS-PRESSWASSER DURCH HYDRO-THERMALE VERGASUNG**

R+D 3.4

Lead: PSI Paul Scherrer Institut	Funding: BFE
Contact: Vogel Frédéric frederic.vogel@psi.ch	Period: 2009–2010

Abstract: In diesem Projekt soll die Eignung der hydrothermalen Vergasung (HTV), für die vollständige Vergasung und Methanierung von KOMPOGAS-Presswasser, mit gleichzeitiger Rückgewinnung der Nährstoffe, evaluiert werden. Ziel ist es, eine Aussage zum Gasertag, zur Methanausbeute, zum kombinierten Verfahrenskonzept KOMPOGAS-HTV, zur Reduktion der spezifischen Treibhausgasemissionen, und zu den Kosten einer HTV-Anlage zu erhalten.
- TRAITEMENT DE L'AZOTE DES DIGESTATS ISSUS D'INSTALLATIONS DE BIOGAZ AU MOYEN D'UN RÉACTEUR À BIOFILM SUR SUPPORT MOBILE**

P+D 3.4

Lead: EREP Sa	Funding: BFE
Contact: Membrez Yves yves.membrez@erep.ch	Period: 2009–2010

Abstract: Un premier projet de recherche se proposait de développer un concept intégré de production de bio-gaz et d'élimination biologique de l'ammoniac. Une étude expérimentale avec un réacteur à l'échelle du laboratoire a été réalisée. On a pu montrer que les processus de nitrification et de dénitrification sont obtenus dans un seul réacteur aérobique. Le prolongement de la recherche au moyen d'une installation-pilote en taille réelle est destiné à permettre d'évaluer la fiabilité et l'applicabilité du concept.
- 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
Contact: Hersener J.-L. 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. Zu-dem lassen sich die eingesetzten Biomassesortimente durch die verfahrensbedingte Trennung und Aufbereitung viel breitgefächerter als Dünger einsetzen.

Wasserkraft

(* IEA-Klassifikation)

- VERSCHMUTZUNG VON KLEINWASSERKRAFTANLAGEN**

R+D 3.6*

Lead: Hochschule Luzern	Funding: BFE
Contact: Staubli Thomas thomas.staubli@hslu.ch	Period: 2007–2010

Abstract: Ablagerungen von Treibgut am Leitapparat und den Laufradschaufeln reduzieren den Wirkungsgrad von Wasserturbinen beträchtlich. In diesem Projekt werden Abhilfemassnahmen untersucht.
- ERHEBUNG DES KLEINWASSERKRAFTPOTENTIALS DER SCHWEIZ: ERMITTLUNG DES HYDROELEKTRISCHEN POTENTIALS FÜR KLEINWASSERKRAFTWERKE IN DER SCHWEIZ**

R+D 3.6

Lead: Watervisweb AG	Funding: BFE
Contact: Schröder Udo u.schroeder@watervisweb.ch	Period: 2008–2012

Abstract: Untersuchung des hypomorphologischen Kleinwasserkraftpotentials für die gesamte Schweiz mit GIS Methoden

- **ERHEBUNG DES KLEINWASSERKRAFTPOTENTIALS DER SCHWEIZ: GANZHEITLICHE BEURTEILUNG DES WASSERKRAFTPOTENTIALS** R+D 3.6
- | | | | |
|-----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Universität Bern | Funding: | BFE |
| Contact: | Weingartner Rolf
wein@giub.unibe.ch | Period: | 2008–2012 |
| Abstract: | Untersuchung und Quantifizierung von Kriterien der Gewässerökologie und des Landschaftsschutzes zur Abschätzung realistisch möglicher Ausnutzung theoretischer Kleinwasserkraftwerkspotenziale | | |
- **ERHEBUNG DES KLEINWASSERKRAFTPOTENTIALS DER SCHWEIZ: LEITBILD ZUR GANZHEITLICHEN BESTIMMUNG VON POTENTIELLEN STANDORTEN VON KLEINWASSERKRAFTWERKEN** R+D 3.6
- | | | | |
|-----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Netzwerk Wasser im Berggebiet | Funding: | BFE |
| Contact: | Soldo Diana
soldo@slf.ch | Period: | 2008–2012 |
| Abstract: | Kleinwasserkraftnutzung und Strategien im Bergkantonen | | |
- **SUSTAINABLE SEDIMENTATION IN PUMPED STORAGE PLANTS** R+D 3.6
- | | | | |
|-----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne | Funding: | BFE |
| Contact: | Schleiss Anton
anton.schleiss@epfl.ch | Period: | 2009–2011 |
| Abstract: | Untersuchungen zum Schwebstoffverhalten und zur Sedimentablagerung im Nahbereich des Einlaufs/Auslaufs bei Pumpspeicherkraftwerken | | |
- **DESIGN OF STEEL LINED PRESSURE TUNNELS AND SHAFTS** R+D 3.6
- | | | | |
|-----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne | Funding: | BFE |
| Contact: | Schleiss Anton
anton.schleiss@epfl.ch | Period: | 2009–2011 |
| Abstract: | Entwicklung neuer Entwurfskriterien für stahlausgekleidete Druckrohrleitungen | | |
- **EVALUATION VON ULTRA-NIEDERDRUCKKONZEPTEN FÜR SCHWEIZER FLÜSSE** R+D 3.6
- | | | | |
|-----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Entegra Wasserkraft AG | Funding: | BFE |
| Contact: | Eichenberger Peter
peter.eichenberger@entegra.ch | Period: | 2009–2010 |
| Abstract: | Untersuchung neuartiger Turbinen-Generatoren-Gruppen im Ultraniederdruckbereich (Fallhöhen um 2m) | | |
- **LUFTEINTRAGSRATE IN DRUCKSYSTEME VON WASSERKRAFTANLAGEN INFOLGE EINLAUFWIRBEL** R+D 3.6
- | | | | |
|-----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Eidg. Technische Hochschule Zürich | Funding: | BFE |
| Contact: | Boes Robert
boes@vaw.baug.ethz.ch | Period: | 2009–2013 |
| Abstract: | Methoden zur Abschätzung der Lufteintragsrate in Drucksysteme von Wasserkraftanlagen infolge Einlaufwirbel | | |
- **VERGLEICH GESCHIEBESPÜLEINRICHTUNGEN** R+D 3.6
- | | | | |
|-----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Entegra Wasserkraft AG | Funding: | BFE |
| Contact: | Eichenberger Peter
peter.eichenberger@entegra.ch | Period: | 2010–2010 |
| Abstract: | Vergleich Geschiebepüleinrichtungen in Laufwasserkraftwerken im Niederdruckbereich | | |

● **PILOTANLAGE MÜNSTER (VS): UNIVERSALTURBINE FÜR WASSERVERSORGUNGEN**

P+D 3.6

Lead:	Stiftung Revita	Funding:	BFE
Contact:	Schindelholz, B. uno bruno.schindelholz@revita.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	Entwicklung einer Pilotanlage für die Universalturbine, eine Gegendruckturbine für die Anwendungen in Trinkwasserversorgungen		

Geothermie

(* IEA-Klassifikation)

● **BETRIEBSVERHALTEN DES GEOTHERMIESPEICHERS «THE DOLDER GRAND»**

P+D 3.5*

Lead:	Geowatt AG, Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Signorelli Sarah signorelli@geowatt.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	In diesem Projekt wird das Betriebsverhalten des Geothermiespeichers des Hotels «The Dolder Grand» dokumentiert. Dazu werden Betriebsdaten des vollen zweiten Betriebsjahres untersucht. Zur Charakterisierung des Temperaturverhaltens im Speicher werden Temperaturmessungen entlang von Erdwärmesonden während des Sommer- und Winterbetriebes mit der ungestörten Temperaturverteilung verglichen.		

● **CHARAKTERISIERUNG DES GEOTHERMISCHEN RESERVOIRS RIEHEN: 3D STRUKTUR UND TRACER TEST**

P+D 3.5

Lead:	Universität de Neuchâtel	Funding:	BFE
Contact:	Schill Eva eva.schill@unine.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Im Wärmeprojekt Riehen Plus ist eine Erhöhung der Förderrate auf bis zu 25 l s ⁻¹ vorgesehen. Dies kann die bisherige thermische Nachhaltigkeit des Systems beeinflussen und möglicherweise zu einem thermischen Durchbruch führen. Ziel ist mit einer 3D Bewertung des Untergrundes und einem Tracertest im bestehenden System die effektive Porosität und mögliche Fließwege zu erkunden. Die Informationen sind Grundlage einer Simulation der thermischen Nachhaltigkeit des Systems Riehen.		

● **CONSTRUCTIVE RECOMMENDATIONS FOR OPTIMIZED AND RELIABLE HEAT EXCHANGER PILE SYSTEMS**

P+D 3.5

Lead:	EPFL/DGC/LMS, Ecublens	Funding:	BFE
Contact:	Laloui Lyesse lyesse.laloui@epfl.ch	Period:	2010–2014
Abstract:	Heat exchanger piles are combining structural functions with energy management functions. They use the energy naturally present in the ground to heat or cool buildings. For years, the dimensioning of heat exchanger pile installations has relied on heat transfer calculations only. There is currently no method for the geotechnical design taking into account the effects of temperature cycles applied to the pile/soil system.		

● **GEOTHERMIEBOHRUNG ZÜRICH; SONNENGARTEN**

P+D 3.5

Lead:	ewz Energiedienstleistungen, Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Hoffmann Jörg joerg.hoffmann@ewz.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz) hat im Triemli-Quartier mit einer Erkundungsbohrung den Untergrund von Zürich erforscht. Es ist gelungen, in diesem dicht besiedelten Gebiet ohne nennenswerte Probleme bis ins Kristallin vorzudringen und eine Bohrtiefe von 2434 m zu erreichen. Damit hat das ewz das Hauptziel der Erkundungsbohrung erreicht. Es gibt keine Hinweise, dass in den Gesteinsschichten Wasser vorhanden ist, das für eine wirtschaftlich sinnvolle Wärmenutzung ausreichen würde.		

● **EGS PILOT PLANT: EUROPEAN GEOTHERMAL PROJECT FOR THE CONSTRUCTION OF A SCIENTIFIC PILOT PLANT**

P+D 3.5

Lead:	Deep Heat Mining Association	Funding:	BFE
Contact:	Vuataz François-D. francois.vuataz@unine.ch	Period:	2007–2011
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.		

- **ERFOLGSKONTROLLE HEIZEN UND KÜHLEN IM GEWERBEBAU** P+D 3.5
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Eberhard & Partner AG | Funding: | BFE |
| Contact: | Eberhard Mark
eberhard@eberhard-partner.ch | Period: | 2008–2011 |
- Abstract: Ziel des Projektes ist die praktische Überprüfung der auf Simulationen basierenden Erhebungen und Empfehlungen der über den Fussboden wirkenden Heizung und passiven Kühlung mit Erdsonden. Mit der Integration einer Messvorrichtung in die bereits bereitgestellte Geräteschaft wird es möglich, das System hinsichtlich Energieverbrauch, Energieeffizienz, thermischer Behaglichkeit, Temperaturdifferenzen, Taupunkt zu überprüfen und zu optimieren. Mndedem Erdwärttelten Projektdaten zu überprüfen.
- **ERMITTLUNG UND INTERPRETATION DER TEMPERATUREN & WÄRMEFÖRDERUNG DER TIEFENSONDE OFTRINGEN BEI VARIIERENDEN DURCHFLÜSSEN** R+D 3.5
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Eberhard & Partner AG | Funding: | BFE |
| Contact: | Sachs Oliver
sachs@eberhard-partner.ch | Period: | 2009–2010 |
- Abstract: Eine 706 m tiefe konventionelle Erdwärmesonde wurde hinsichtlich ihres Wärmepotenzials ausgetestet und eine optimierte Vorgehensweise für zukünftige Tiefensondierungen aufgezeigt. Wichtig ist es, die in der Tiefe gemessenen sehr hohen Wärmeinhalte so verlustarm wie möglich bis kurz unter die Erdoberfläche und anschliessend in die Wärmeleitzentrale zu bringen, um dort eine möglichst effiziente Wärmeübertragung ans Verteilsystem zu ermöglichen.
- **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: | 2009–2011 |
- Abstract: Ziel des Projektes ist die Entwicklung eines geologischen 3D-Modells der Region Basel als neuartiges Werkzeug für die Tiefenreservoirbewirtschaftung und Raumplanung.
- **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 from ETH Zürich, EPF Lausanne, the Paul Scherrer Institute and the University of Bonn, collaborate in a comprehensive program of basic research on key aspects of Enhanced Geothermal Systems (EGSs), with a focus on the system to be developed in Basel in December 2006. The work will contribute to understanding and developing an alternative and sustainable energy resource free of CO₂-emission.
- **GEOTHERMISCHE RESSOURCENANALYSE IM BEREICH KGZ DAVOS** R+D 3.5
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Landschaft Davos Gemeinde | Funding: | BFE |
| Contact: | Calonder Gian Paul
gian-paul.calonder@davos.gr.ch | Period: | 2009–2010 |
- Abstract: Für die Wärmeversorgung der Erweiterung des Kongresszentrums Davos soll das geothermische Potenzial abgeklärt und bei positiven Ergebnissen genutzt werden, mit dem Ziel, den CO₂-Austoss der erwähnten Objekte massiv zu reduzieren. Weil die Nutzung der Erdwärme über ein Erdsondenfeld nicht realisiert werden kann, muss sich die Nutzung auf tiefere Schichten konzentrieren. Die geothermische Ressourcenanalyse umfasst seismische Untersuchungen zur Identifikation der Verhältnisse.
- **LANGZEITERFAHRUNGEN MIT ERDWÄRMESONDEN-SYSTEMEN IN DER SCHWEIZ** R+D 3.5
- | | | | |
|----------|-----------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | Geowatt AG | Funding: | BFE |
| Contact: | Rohner Ernst
rohner@geowatt.ch | Period: | 2009–2010 |
- Abstract: Die Betriebserfahrungen mit 33 Erdwärmesonden-Systemen, welche in den Jahren 1979 bis 1985 erbaut wurden, wurden durch gezielte Datenerhebung erfasst. Die Auswertung zeigt, dass die Erfahrungen grossmehrheitlich positiv sind und wenig gravierende Probleme auftraten. Die Resultate wurden im Rahmen des IEA Geothermal Implementing Agreement als Schweizer Beitrag eingebracht.
- **MANUEL «GEOCOOLING»** R+D 3.5
- | | | | |
|----------|---------------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | SUPSI, Isaac | Funding: | BFE |
| Contact: | Pahud Daniel
daniel.pahud@supsi.ch | Period: | 2005–2010 |
- Abstract: Le projet de recherche „rafraichissement par geocooling : bases pour un manuel de dimensionnement“ a mis en évidence le manque des connaissances actuelles relatives à l'intégration de ce genre de système dans un bâtiment et de son interaction avec ce dernier, et par voie de conséquence sur le potentiel d'utilisation de ce type de système. L'objectif principal du présent projet est de combler ces lacunes et de rédiger un manuel sur la thématique.

● **MODELLING STIMULATION OF GEOTHERMAL WELLS** R+D 3.5

Lead:	CREGE Centre de recherche en géothermie, Neuchâtel	Funding:	BFE
Contact:	Vuataz François-D. francois.vuataz@unine.ch	Period:	2008–2010
Abstract:	The main objective of the work is to use coupled thermal-hydraulic-chemical numerical models patterned after the geothermal system at Berlin (El Salvador), to explore chemical and hydrological implications of reinjecting the used fluid into the reservoir as well as mineral scaling and the rate at which it occurs and its dissolution by acid mixtures injection.		

● **NACHMESSUNGEN UND AUFWÄLTIGUNG GEOTHERMIEBOHRUNG BASEL 1 (PROJEKT DEEP HEAT MINING)** P+D 3.5

Lead:	Geopower Basel AG	Funding:	BFE
Contact:	Ladner Florentin florentin.ladner@geothermal.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	Im Rahmen des DHM-Projektes wurde 2006 die Bohrung Basel 1 auf 5'000m Tiefe abgeteuft. Im Anschluss daran wurde der offene Bohrlochbereich hydraulisch stimuliert, was zu mehreren an der Oberfläche spürbaren Erschütterungen führte. Der Stimulationsprozess wurde daraufhin abgebrochen und das Projekt wurde suspendiert und auf Grund einer Risikoanalyse Ende 2009 definitiv abgebrochen.		

● **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:	Der Stromverbrauch einer Erdwärmesonden-Wärmepumpen-Anlage wird wesentlich von der Jahresarbeitszahl (JAZ) bestimmt. 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 erarbeitet und im Internet verfügbar gemacht (www.erdsondenoptimierung.ch).		

● **PILOTANLAGE ZUR ENTWICKLUNG VON TIEFENBOHR-VERFAHREN MITTELS HYDROTHERMALER FLAMME** R+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:	Die Kosten von Bohrungen haben einen entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung der tiefen Geothermie. Die Entwicklung von kostengünstigen Alternativen zu den konventionellen mechanischen Bohrverfahren ist deshalb von grossem Interesse. Bohr-Verfahren mit hydro-thermaler Flamme, englisch als thermal spallation drilling bezeichnet, ist eine der aussichtsreichsten Möglichkeiten, in Zukunft kostengünstige Tiefbohrungen zu erstellen.		

● **RISIKOANALYSE DEEP HEAT MINING BASEL** R+D 3.5

Lead:	Amt für Umwelt und Energie	Funding:	BFE
Contact:	Lüchinger Martin martin.luechinger@bs.ch	Period:	2008–2010
Abstract:	Die seismischen Ereignisse, welche bei der Stimulation des Bohrlochs Basel 1 auftraten, veranlassten die Behörden der Stadt Basel, eine Risikoanalyse durchführen zu lassen. Diese ergab, dass der Standort Basel unter dem Aspekt des seismischen Risikos nicht geeignet ist, um ein tiefes geothermisches Reservoir im kristallinen Grundgebirge zu nutzen. Andere Standorte in der Schweiz weisen ein deutlich geringeres seismisches Risiko auf.		

● **TIEFE GEOTHERMIE WINTERTHUR** R+D 3.5

Lead:	Stadtwerk Winterthur	Funding:	BFE
Contact:	Schüpbach Beat Beat.Schuepbach@win.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Mit der Machbarkeitsstudie „Tiefe Geothermie Winterthur“ soll abgeklärt werden ob die Nutzung von tiefer Geothermie zur Gewinnung von Strom und Wärme in Winterthur erfolgsversprechend ist und was erforderlich ist, um die Erfolgchancen für die Erschliessung von tief liegenden geothermischen Ressourcen zu maximieren und wo aus Sicht der geologischen Verhältnisse, der Energieabnehmer sowie der Machbarkeit von Tiefenbohrungen geeignete Standorte wären.		

● **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:	2009–2011
Abstract:	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. Les ressources profondes devraient permettre de diminuer fortement le nombre de forages tout en augmentant les performances.		

- **PILOTPROJEKT GEOTHERMIE BRIG-GLIS** P+D 3.5
- | | | | |
|----------|-------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | Geothermie Brigerbad AG, Brig | Funding: | BFE |
| Contact: | Paris Urban
srp@srp.ch | Period: | 2009–2010 |
- Abstract: Le but visé consiste à définir et caractériser les techniques pour utiliser les ressources Das Projekt ist eines der ersten Geothermie-Projekte in der Schweiz, wo gute Aussichten bestehen, aus einem hydrothermalen Wasservorkommen sowohl Strom als auch Wärme zu gewinnen. In den ersten Projektphasen können infolge gemeinsamer Interessen mit der Thermalbad AG, Brigerbad, Synergien erzielt werden und wichtige geologische Erkenntnisse für die ganze Region mit vergleichsweise geringem Aufwand gewonnen werden.
- **GP LA CÔTE: GÉOTHERMIE PROFONDE SUR LA CÔTE LÉMANIQUE** R+D 3.5
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | GP La Côte c/o IFWE, Lausanne | Funding: | BFE |
| Contact: | Vallat Patrick
patrick.vallat@marchespublics.ch | Period: | 2009–2010 |
- Abstract: Le projet entend évaluer la faisabilité d'exploiter des aquifères carbonatés profonds dans des zones à forte perméabilité, situées sur la Côte lémanique (VD), au pied du Jura. En effet, il est très probable que la fracturation engendrée par les grands décrochements du Jura affecte favorablement la perméabilité des aquifères profonds du Malm et du Dogger, situés à des profondeurs moyennes de l'ordre de 800±200 m, respectivement 1'700±200 m.
- **BETRIEBSVERHALTEN VON ERDWÄRMEKÖRBEN ZUM HEIZEN UND KÜHLEN** R+D 3.5
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Geowatt AG, Zürich | Funding: | BFE |
| Contact: | Signorelli Sarah
signorelli@geowatt.ch | Period: | 2007–2010 |
- Abstract: Erdwärmekörbe werden erst seit 2001 zur Gewinnung von Geothermischer Energie für Heizzwecke verwendet. Für den Bau solcher Anlagen fehlten lange Zeit Empfehlungen zur Dimensionierung und praktische Installationshinweise. Diese Lücke wurden durch das 2005 herausgegebene "Handbuch Erdwärmekörbe" (Bassetti und Rohner, 2005) geschlossen. Das Ziel dieses Nachfolgeprojektes ist das bessere Verständnis der Betriebsweise von kleinen und grösseren Erdwärmekörbanlagen.

Wasserstoff

(* IEA-Klassifikation)

- **MOBYPOST – MOBILITY WITH HYDROGEN FOR POSTAL DELIVERY** R+D 5.1*
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| 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. In contrast to most of the development strategies existing so far, MobyPost will implement low pressure solutions for hydrogen storage.
- **ADEL – ADVANCED ELECTROLYSER FOR HYDROGEN PRODUCTION WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES** R+D 5.1.1
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | HTcermix, Empa | Funding: | EU-FP7 |
| Contact: | Olivier Bucheli
olivier.bucheli@htcermix.ch | Period: | 2011–2014 |
- Abstract: The ADEL 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.
- **NMAE-PILOT – BUILD UP OF A PILOT- AND DEMONSTRATION ELECTROLYZER FOR TESTING ADVANCED ION-SELECTIVE MEMBRANES** P+D 5.1.1
- | | | | |
|----------|------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | Empa | Funding: | BFE / SER |
| Contact: | Uli Vogt
uli.vogt@empa.ch | Period: | 2010–2012 |
- Abstract: In dem Projekt wird auf Basis der Resultate aus dem KTI-Projekt am Standort der Firma IHT ein Semi-Industrieller Prototyp auf Basis des neuen asbestfreien Materials aufgebaut und getestet. Der Prototyp wird kleiner sein als die Anlagen mit 1.6m Durchmesser, ist aber ein notwendiger Zwischenschritt zur Aufskalierung. Weiter könnte dadurch allenfalls ein neues Marktsegment angepeilt werden im Leistungsbereich 1-5 kW.

● **DÉVELOPPEMENT D'UN ÉLECTROLYSEUR À HAUTE PRESSION**

R+D 5.1.1

Lead:	EIA-FR	Funding:	BFE
Contact:	Thierry Chappuis Thierry.Chappuis@hefr.ch	Period:	2009–2012
Abstract:	L'objectif de ce projet est de concevoir et de construire un appareil d'électrolyse, notamment à usage domestique, permettant la production sûre et efficace d'hydrogène et d'oxygène purs à des pressions élevées (>200 bar) à partir d'énergie électrique renouvelable produite localement ou provenant du réseau électrique existant. Le développement portera essentiellement sur le système électrode – électrolyte – diaphragme optimal permettant d'obtenir une installation simple, sûre et robuste.		

● **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. Our multidisciplinary expertise spans from molecular biology, biotechnology, via biochemistry and biophysics to organo-metallic and physical chemistry.		

● **SOLHYCARB – HIGH TEMPERATURE SOLAR CHEMICAL REACTOR FOR CO-PRODUCTION OF HYDROGEN AND CARBON BLACK FROM NATURAL GAS CRACKING**

R+D 5.1.1

Lead:	PSI / ETHZ	Funding:	EU-FP6
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2006–2010
Abstract:	Exploration of an unconventional route for potentially cost effective hydrogen production with solar energy. The novel process thermally decomposes natural gas (NG) in a high temperature chemical reactor heated by concentrated solar energy. This process results in two products: a H2-rich gas and a high-value nano-material, carbon black (CB). H2 is thus produced with renewable energy. Solar energy is stored as a transportable fuel.		

● **HYCYCLES – MATERIALS AND COMPONENTS FOR HYDROGEN PRODUCTION BY SULPHUR BASED THERMOCHEMICAL CYCLES**

R+D 5.1.1

Lead:	PSI / ETHZ	Funding:	EU-FP7
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	Project aimed at the development of materials and components for the sulfur-based water-splitting thermochemical cycles for hydrogen generation. Concentrated solar radiation is used as the energy source of high temperature process heat. The ultimate objective is to bring the technology closer to realization by improving efficiency, reliability, and costs.		

● **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. Such particles are of high relevance for photoelectrochemical and photocatalytic (PEC, PC) applications.		

● **NANOPEC – NANOSTRUCTURED PHOTOELECTRODES FOR ENERGY CONVERSION**

R+D 5.1.1

Lead:	EPFL / Empa	Funding:	EU-FP7
Contact:	Massimiliano Capezzali massimiliano.capezzali@epfl.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	We will investigate solar-driven hydrogen production via photoelectrochemical water splitting. Although the concept is extremely attractive as a method of sustainable fuel production, no single material with acceptable performance, stability, and cost has been found, despite decades of investigation. We will use new concepts and methods, afforded by nanotechnology, to design innovative composite nanostructures in which each component performs specialized functions.		

● **NMAE2 – NEUE MEMBRANEN FÜR ALKALISCHE ELEKTROLYSEURE**

R+D 5.1.1

Lead:	Empa	Funding:	KTI
Contact:	Andreas Züttel andreas.züttel@empa.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	Alkalische Druckelektrolyseure mit Leistungen über 1MW arbeiten heute ausschliesslich mit Asbestdiaphragmen. Asbest ist auf Grund des gesundheitsgefährdenden Potentials heute nur noch als Ersatzmaterial in bestehenden Elektrolyseuren erlaubt. Im diesem Projekt soll ein Ersatz für Asbestdiaphragmen gesucht werden. Dazu wird einerseits nach Materialien geforscht, welche Asbest ersetzen könnten und andererseits neue Arten von Membranen aus nicht fasrigen Materialien entwickelt und untersucht.		

- **PECHOUSE – PHOTOELECTROCHEMICAL WATERSPLITTING FOR SOLAR PRODUCTION OF HYDROGEN** R+D 5.1.1
- | | | | |
|----------|----------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | EPFL | Funding: | BFE |
| Contact: | Kevin Sivula
PECHouse@epfl.ch | Period: | 2007–2011 |
- 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/>)
- **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 CO₂-SPLITTING USING REDOX REACTIONS** R+D 5.1.1
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | PSI / ETHZ | Funding: | SNF |
| Contact: | Aldo Steinfeld
aldo.steinfeld@ethz.ch | Period: | 2008–2011 |
- Abstract: The solar production of syngas from H₂O and CO₂ is examined via two-step thermochemical cycles based on redox reactions. The first is the thermal dissociation of a metal oxide using concentrated solar radiation. The second, non-solar, exothermic step is the reaction of the metal or reduced metal oxide with a mixture of H₂O and CO₂ yielding syngas (H₂ and CO), together with the initial form of the metal oxide that is recycled to the first step.
- **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: | 2007–2012 |
- 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.
- **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.
- **SOLRAD – SOLAR HYDROGEN VIA STEAM GASIFICATION** R+D 5.1.1
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | PSI / ETHZ | Funding: | SNF |
| Contact: | Aldo Steinfeld
aldo.steinfeld@ethz.ch | Period: | 2008–2010 |
- Abstract: The project aims at investigating the fundamentals of heat and mass transfer phenomena in high-temperature multiphase reactive flows exposed to high-flux irradiation. The application is focused on the development of solar reactor technology for the production of hydrogen via steam-gasification of carbonaceous materials using concentrated solar radiation.
- **SOLREF – SOLAR STEAM REFORMING OF METHANE RICH GAS FOR SYNTHESIS GAS PRODUCTION** R+D 5.1.1
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | PSI / ETHZ | Funding: | EU-FP6 |
| Contact: | Aldo Steinfeld
aldo.steinfeld@ethz.ch | Period: | 2005–2010 |
- Abstract: The use of concentrated solar power for supplying high-temperature process heat to the steam-reforming of natural gas has the potential of avoiding up to 35% of the CO₂ emissions derived from the conventional fossil-fuel-based method. The cost of hydrogen is estimated at 0.05 EUR/kWh (LHV-H₂). The project aims at developing the technology to a pre-commercial phase. ETH Zürich is responsible for the thermodynamic analysis and reactor/process dynamic modeling

SOLSYN – SOLAR FUELS FOR CEMENT MANUFACTURING

R+D 5.1.1

Lead:	PSI / ETHZ	Funding:	KTI
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2007–2010
Abstract:	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 (syngas) – mainly H ₂ and CO. The synthetic gas could be used for substituting fossil fuels in the cement kiln.		

SYNPET – SOLAR HYDROGEN PRODUCTION FROM PETCOKE

R+D 5.1.1

Lead:	PSI / ETHZ	Funding:	Industrial
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2003–2010
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. Petcoke is solar-upgraded to a cleaner fluid fuel for electricity generation in highly efficient combined cycles or fuel cells. In contrast to the gasification using process heat derived from the internal petcoke combustion, the solar-driven gasification produces high quality syngas.		

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/O ₂ separation device will be experimentally evaluated. The experimental data will be used to validate the numerical models.		

WELTEMP – WATER ELECTROLYSIS AT ELEVATED TEMPERATURES

R+D 5.1.1

Lead:	IHT	Funding:	EU-FP7
Contact:	Ernest Burkhalter eb@iht.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	The strategic development of the WELTEMP project is an elevated operating temperature of the PEM electrolyser. In this way the energy efficiency will be significantly improved because of the decreased thermodynamic energy requirement, enhanced electrode kinetics, and the possible integration of the heat recovery. Key issues to achieve this strategic target are breakthroughs of fundamental materials developments, including catalysts, membranes, current collectors, bipolar plates, and other construction materials.		

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). 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. For industrial and house-hold fuel cell reformer units novel MOF-based sulphur removal systems will be developed.		

GENIUS – GENERIC DIAGNOSIS INSTRUMENT FOR SOFC SYSTEMS

R+D 5.1.1

Lead:	HTceramix SA	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 GENE-RIC tool that would only use process values (normal measurements and system control input parameters) and that would be based on a validated diagnostic algorithm.		

ACH – ADVANCED COMPLEX HYDRIDES

R+D 5.1.2

Lead:	Empa	Funding:	BFE
Contact:	Andreas Züttel andreas.zuttel@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. Finally the interesting compounds will be synthesized directly from the elements and investigated by means of spectroscopic methods for their local structure as well as for their thermodynamic properties.		

- **COSY – CHARACTERIZATION AND OPTIMIZATION OF NOVEL LIGHT WEIGHT HYDRIDE COMPOSITES** R+D 5.1.2
- | | | | |
|----------|---------------------------------------|----------|--------------------|
| Lead: | Empa | Funding: | EU-FP6 Marie Curie |
| Contact: | Andreas Züttel andreas.züttel@empa.ch | Period: | 2006–2010 |
- Abstract: Research topics included the production of metal hydride composites by different methods, their characterization with respect to the relevant application properties, e.g. hydrogen sorption kinetics and thermodynamics, the influence of additives as well as of the microstructure, as well as ab initio calculations of stable and hypothetical structures. One of the main tasks of COSY was the education of early stage researchers (ESR) and young more experienced researchers (ER) in the field of hydrogen storage materials.
- **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.
- **HYDROGEN – PRODUCTION AND STORAGE OF HYDROGEN** R+D 5.1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|--------------------|
| Lead: | Empa / EPFL | Funding: | EU-FP6 Marie Curie |
| Contact: | Andreas Züttel, Michael Grätzel andreas.züttel@empa.ch | Period: | 2006–2010 |
- Abstract: The Hydrogen network brings together leading researchers from different disciplines and sectors with a combined expertise that maximises the chance of achieving scientific breakthroughs in production and storage of hydrogen, while guaranteeing the successful training of a new generation of scientists for tackling scientific problems standing in the way of the hydrogen economy (www.mcrtm-hydrogen.eu).
- **HYDROGEN STORAGE IN FORMIC ACID** R+D 5.1.2
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | EPFL-GCEE | Funding: | KTI |
| Contact: | Gabor Laurenczy gabor.laurenczy@epfl.ch | Period: | 2008–2010 |
- Abstract: This project aims at the development and verification of a technology to produce high pressure H₂ from formic acid and at the realisation of mobile, portable “stand-alone-unit” for this. The innovation is the catalytic production of H₂ of very high purity under mild conditions, which can directly be used in fuel cells, in combustion units, etc. Future perspectives are the CO₂ neutral production of formic acid to achieve a closed loop.
- **COMPHY – HYDROGEN STORAGE IN NEW COMPLEX HYDRIDES** R+D 5.1.2
- | | | | |
|----------|---------------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | Empa | Funding: | BFE |
| Contact: | Andreas Züttel andreas.züttel@empa.ch | Period: | 2007–2010 |
- Abstract: In this project Complex hydrides i.e. boranates (e.g. Li[BH₄]) are investigated as reversible hydrogen storage materials. The boranates offer a much greater gravimetric hydrogen density as compared to other materials i.e. the alanates. The hydrogen absorption and desorption mechanism as well as the role of the catalyst are still not known. The final goal of the project is to describe the mechanism of the hydrogen sorption reaction in great detail together with the physical properties of the compounds.
- **PROTIUM – HYDROGEN CANAL BOAT** P+D 5.1.2
- | | | | |
|----------|---------------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | Empa | Funding: | div. |
| Contact: | Andreas Züttel andreas.züttel@empa.ch | Period: | 2007–2011 |
- Abstract: Over the past one and a half years, the University of Birmingham, British Waterways, Tempus, Less Common Metals, and EMPA (Switzerland) have invested money and materials to the value of around £100k in the design, construction, and now operation of a canal boat of the future. This boat is powered by the combination of a metal hydride solidstate hydrogen store, a proton exchange membrane (PEM) fuel cell, a lead acid battery stack and a NdFeB permanent magnet electric motor.
- **HY-FORM 1 : PRODUCTION ET OPÉRATION D'UN NOUVEAU SYSTÈME DE GÉNÉRATION D'HYDROGÈNE DÉCENTRALISÉ À** P+D 5.1.2
- | | | | |
|----------|--------------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | Granit SA | Funding: | BFE |
| Contact: | Maurice Jutz Maurice.jutz@granit.net | Period: | 2010–2011 |
- 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.

- **LA PRODUCTION D'HYDROGÈNE À PARTIR D'ACIDE FORMIQUE ET LA PRODUCTION D'ACIDE FORMIQUE À PARTIR DE CO₂** R+D 5.1.2
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Granit SA | Funding: | BFE |
| Contact: | Maurice Jutz
Maurice.jutz@granit.net | Period: | 2010–2011 |
- Abstract: Les besoins du marché de la filière acide formique comme vecteur d'hydrogène doivent être identifiés et étudiés afin de sélectionner les partenaires tant du point de vue de la production d'acide formique par voie renouvelable que celle de la décomposition pour les besoins d'hydrogène pour son utilisation chimique ou énergétique dans les niches de marché correspondantes.
-
- **NESSHY – NOVEL EFFICIENT SOLID STORAGE FOR HYDROGEN** R+D 5.1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Empa | Funding: | EU-FP6 |
| Contact: | Andreas Züttel
andreas.züttel@empa.ch | Period: | 2006–2010 |
- Abstract: The proposed work programme will cover porous storage systems (particularly at reduced temperatures), regenerative hydrogen stores (such as the borohydrides) and solid hydrides having reversible hydrogen storage and improved gravimetric storage performance. Initially, two categories of reversible stores will be investigated - light/complex hydrides, such as imides and intermetallic systems involving magnesium, although further categories may be included later.
-
- **SAFESYST – RELEVANT PHYSICAL ASPECTS OF HYDRIDES FOR SYSTEM INTEGRATION AND SAFETY** R+D 5.1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Empa | Funding: | BFE |
| Contact: | Andreas Züttel
andreas.züttel@empa.ch | Period: | 2007–2010 |
- Abstract: Borohydrides as hydrogen storage materials can potentially desorb ammonia or diborane which are potentially harmful to humans or the environment. As Borohydrides show higher potential towards hydrogen storage, focus remained on these materials. Another issue is the reaction with H₂O and O₂. It is crucial to know, if these reactions are self-limiting by forming a passivation layer or if the reaction proceeds as long as these contributions are present.
-
- **SOLARH₂ – RENEWABLE HYDROGEN FROM SUN AND WATER** R+D 5.1.1
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Uni 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.
-
- **DANMC – DIHYDROGEN ACTIVATION AT NON-METALLIC CENTERS** R+D 5.1.4
- | | | | |
|----------|--|----------|---------------|
| Lead: | Uni Basel | Funding: | EU-FP7-people |
| Contact: | Andreas Pfaltz
Andreas.Pfaltz@unibas.ch | Period: | 2010–2011 |
- Abstract: Molecular hydrogen is widely used today in chemical reactions, such as the addition of H₂ to organic molecules, a process referred to as hydrogenation. These transformations are among the largest-volume industrial processes: for example, crude oil is treated with H₂, and 108 tons of ammonia-based fertilizers are produced each year via catalytic hydrogenation. Also, hydrogen is arguably one of the most promising and valuable future fuels.
-
- **CHIC – CLEAN HYDROGEN IN EUROPEAN CITIES** P+D 5.1.5
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | Postauto AG | Funding: | EU-FP7 |
| Contact: | Werner Blatter
werner.blatter@postauto.ch | Period: | 2010–2016 |
- Abstract: The Clean Hydrogen in European Cities (CHIC) Project is the essential next step to full commercialisation of hydrogen powered fuel cell (H₂FC) buses. CHIC will reduce the 'time to market' for the technology and support 'market lift off' 2 central objectives of the Joint Undertaking.
-
- **H₂-IGCC – LOW EMISSION GAS TURBINE TECHNOLOGY FOR HYDROGEN-RICH SYNGAS** R+D 5.1.5
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | PSI Paul Scherrer Institut | Funding: | EU-FP7 |
| Contact: | Irene Walthert
irene.walthert@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 CO₂ 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		

● **NEXTHIGHLIGHTS – SUPPORTING ACTION TO PREPARE LARGE-SCALE HYDROGEN VEHICLE DEMONSTRATION IN EUROPE** R+D 5.1.5

Lead:	Bucher-Guyer AG	Funding:	EU-FP7
Contact:	Alex Koch alex.koch@bucherguyer.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	The concept of the project is to develop a strategy (Master Plan) on how to bridge the gap between today's demo projects and the start of market introduction by building upon existing knowledge from various activities including: HFP & FCH JU (implementation plans), HyWays, R2H, HyLights (methods, instruments and databases), HyFleet:CUTE, ZERO REGIO, HYCHAIN and other demo projects (hardware experience).		

● **SELF – NACHHALTIGE H₂-SYNTHESE UND SPEICHERUNG FÜR EINE AUTARKE ENERGIEVERSORGUNG** P+D 5.1.5

Lead:	Empa	Funding:	BFE
Contact:	Uli Vogt uli.vogt@empa.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	Im vorliegenden Demonstrationsprojekt wird die elektrische Energie der Photovoltaik Anlage zur Produktion von Wasserstoff eingesetzt und der Wasserstoff in einem Metallhydridspeicher sowohl Tag/Nacht als auch saisonal gespeichert. Dabei werden grundlegende Erkenntnisse für netzunabhängige Kleinsysteme (SAPS: Stand-Alone Power Systems) gewonnen und die Realisierung des Einsatzes von H ₂ als Energieträger demonstriert (www.Empa.ch/self).		

● **IEA HYDROGEN IMPLEMENTING AGREEMENT (IEA-HIA)** R+D 5.1

Lead:	BFE	Funding:	BFE
Contact:	Stefan Oberholzer stefan.oberholzer@bfe.admin.ch	Period:	2010
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.		

● **IEA HYDROGEN IMPLEMENTING AGREEMENT – ANNEX WIND AND HYDROGEN** R+D 5.1.1

Lead:	IHT	Funding:	BFE / IHT
Contact:	Ernest Burkhalter eb@iht.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	The objectives of the task 24 are to explore in all possible issues (technical, economical, social, environmental, market and legal) related to hydrogen production using electrolysis with wind energy, and to explore in detail possible applications for such hydrogen produced, with special emphasis on full wind & hydrogen integration by means of hydrogen storage and electrical conversion (task24. hidrogenoaragon.org/).		

● **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:	2007–2011
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 FUNDAMENTAL AND APPLIED HYDROGEN STORAGE MATERIALS DEVELOPMENT** R+D 5.1.2

Lead:	Empa	Funding:	BFE
Contact:	Andreas Züttel andreas.zuttel@empa.ch	Period:	2010
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.		

● **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:	2007–2012
Abstract:	The purpose of Task 25 is to support production of massive quantities of zero-emission H ₂ 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.		

● **IEA HYDROGEN IMPLEMENTING AGREEMENT – ANNEX HYDROGEN SAFETY** R+D 5.1

Lead:	Empa	Funding:	BFE
Contact:	Michael Biemann michael.biemann@empa.ch	Period:	2010
Abstract:	In recent years, a significant international effort has been initiated to development 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.		

Wind

(* IEA-Klassifikation)

● **WIND MEASURING DEVICE (WMD)** R+D 3.2*

Lead:	EPFL	Funding:	KTI
Contact:	Salathé René Paul rene.salathe@epfl.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	This feasibility study aims to investigate automatic methods for measuring on board of sailing yachts the wind direction and possibly the wind strength at distances of up to 5 km ahead. Camera systems with adequate optics and optical filtering techniques and specific imaging and image processing techniques have to be developed for achieving these goals.		

● **AUFBAU DES IEA WIND TASK 28 «SOCIAL ACCEPTANCE OF WIND ENERGY»** R+D 3.2

Lead:	ENCO AG	Funding:	BFE
Contact:	Horbaly Robert robert.horbaly@enco-ag.ch	Period:	2008–2010
Abstract:	Erstellung des State-of-the-Art Reports im Rahmen des International Energy Agency (IEA) Implementing Agreement for Co-operation in the Research, Development, and Deployment of Wind Energy Systems–IEA Wind und des Task 28 «Social Acceptance»		

● **VEREISUNG WEA ST.BRAIS** R+D 3.2

Lead:	Meteotest	Funding:	BFE
Contact:	Cattin René rene.cattin@meteotest.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Auswirkungen der Vereisung auf das Betriebsverhalten und den Energieertrag von 2 MW-Windenergieanlagen im Jurabogen.		

● **AUSWIRKUNGEN VON WKA AUF VOGELWELT** R+D 3.2

Lead:	Schweizerische Vogelwarte	Funding:	BFE
Contact:	Liechti Felix felix.liechti@vogelwarte.ch	Period:	2009–2014
Abstract:	Vorher- Nachher-Studie, Auswirkung WKA auf Vogelwelt (Zug und Ansitzende).		

● **CODE OF CONDUCT FÜR WINDENERGIEPROJEKTE**

R+D 3.2

Lead:	Strub Pierre	Funding:	BFE
Contact:	Strub Pierre info@pierrestrub.ch	Period:	2008–2010
Abstract:	Nicht nur die technische Seite eines Projekts sondern auch die Art und Weise der Abwicklung (Social Acceptance!) soll auf einem qualitativ hohen Niveau geschehen. Dafür soll ein «Code of Conduct» eingeführt werden. Die unterschiedlichen Akteure können sich mit der Unterzeichnung der Charta zur Nutzung der Windenergie unter Respektierung von ökologischen, sozialen und ökonomischen Aspekten sowie zu einem aktiven Dialog untereinander bekennen.		

● **DEVELOPMENT OF WIND TURBINES FOR SAFE OPERATION IN ALPINE ENVIRONMENT**

R+D 3.2

Lead:	ETH Zürich	Funding:	BFE
Contact:	Abhari Reza S. abhari@ethz.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	Dieses Projekt fokussierte sich auf die Frage der Quantifizierung der Energieertragsverluste aufgrund von Abschattungseffekten in Windparks. Die Arbeit bestand in Experimenten in der dynamischen Windkraftanlagen Test-Einrichtung an der ETHZ und in Computational Fluid Dynamics (CFD) Studien. Einerseits um die Strömungsphänomene in Windparks besser zu verstehen, welche für diese Verluste verantwortlich sind, andererseits aber auch um Strategien zu entwickeln, womit diese Verluste reduziert werden können.		

● **ELEKTRISCHE ASTEWINKELSTEUERUNG VERTICAL ACHSEN WIND TURBINEN**

R+D 3.2

Lead:	Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs NTB	Funding:	KTI
Contact:	Guido Piai guido.piai@ntb.ch	Period:	2010–2011
Abstract:	Elektrische Astewinkelsteuerung Vertical Achsen Wind Turbinen.		

● **IEA TASK 26 «COST OF WIND ENERGY»**

R+D 3.2

Lead:	IEA International Energy Agency	Funding:	BFE
Contact:	BFE, Geissmann markus.geissmann@bfe.admin.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Teilnahme an den Aktivitäten des IEA Wind Tasks 26 durch Schweizer Experten.		

● **LEITUNG FORSCHUNGSPROGRAMM WINDENERGIE 2008–2011**

R+D 3.2

Lead:	ENCO AG	Funding:	BFE
Contact:	Horbaty Robert robert.horbaty@enco-ag.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	Leitung des Forschungsprogramms Windenergie des BFE inkl. P+D-Anlagen für die Periode 2008–2011.		

● **NICHTVEREISENDE BESCHICHTUNGEN FÜR ROTORBLÄTTER VON WINDENERGIEANLAGEN**

R+D 3.2

Lead:	Zürcher Hochschule Winterthur	Funding:	BFE
Contact:	Hirayama Martina martina.hirayama@zhaw.ch	Period:	2008–2011
Abstract:	Die Vereisung der Windenergieanlagen ist ein schwerwiegendes Problem bei der Energieerzeugung aus Wind. Als attraktive Lösung ist eine Beschichtung denkbar, welche die Vereisung gar nicht oder nur verzögert.		

● **TEILNAHME AM IEA IMPLEMENTING AGREEMENT R&D WIND ENERGY COMMUN FOND**

3.2

Lead:	NREL - National Renewable Energy Research Laboratory	Funding:	BFE
Contact:	BFE, Maus katja.maus@bfe.admin.ch	Period:	2002–2011
Abstract:	Teilnahme am IEA Implementing Agreement R&D Wind Energy.		

● **PARTIZIPATION AM IEA WIND TASK 19: «COLD CLIMATE»** 3.2

Lead:	Meteotest	Funding:	BFE
Contact:	Cattin René rene.cattin@meteotest.ch	Period:	2002–2011
Abstract:	Teilnahme an den Aktivitäten des IEA Wind Tasks 19 durch Schweizer Experten: Windenergie im kalten Klima.		

● **TEILNAHME AM IEA IMPLEMENTING AGREEMENT R&D WIND ENERGY TASK 28 «SOCIAL ACCEPTANCE»** 3.2

Lead:	ENCO AG	Funding:	BFE
Contact:	BFE, Katja Maus robert.horbaty@enco-ag.ch	Period:	2002–2011
Abstract:	Erfahrungsaustausch und Neuentwicklungen zum Thema Windenergie, Soziale Akzeptanz von Windenergie.		

● **TEILNAHME AM IEA IMPLEMENTING AGREEMENT R&D WIND ENERGY TASK 11 «BASE TECHNOLOGY INFORMATION EXCHANGE»** R+D 3.2

Lead:	NREL, USA	Funding:	BFE
Contact:	BFE, Katja Maus katja.maus@bfe.admin.ch	Period:	2002–2011
Abstract:	Erfahrungsaustausch und Neuentwicklungen zum Thema Windenergie, Base Technology Information Exchange.		

● **UN SYSTÈME AUTONOME DE MESURE RAPIDE TRIDIMENSIONNELLE DU VENT** R+D 3.2

Lead:	ETH Zürich	Funding:	KTI
Contact:	Abhari Reza S. abhari@ethz.ch	Period:	2010–2011
Abstract:	Un système autonome de mesure rapide tridimensionnelle du vent.		

● **VEREISUNGSKARTE DER SCHWEIZ** R+D 3.2

Lead:	Meteotest	Funding:	BFE
Contact:	Cattin René rene.cattin@meteotest.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	In diesem Projekt wurde eine Karte der meteorologischen Vereisungshäufigkeit in der Schweiz erstellt. Flächendeckende Informationen über Wolkenwasser, Temperatur und Wind aus Analysen des operationellen Wettervorhersagemodells COSMO-2 der MeteoSchweiz dienten zur Berechnung der Vereisungshäufigkeiten. Diese wurden auf Grundlage von Messungen des Interkantonalen Mess- und Informationssystems (IMIS) in den Alpen und von Windmessungen im Jura verifiziert.		

● **PRODUKTIONSPROGNOSEN FÜR NEUE ERNEUERBARE ENERGIEN: BASISDATEN, GRUNDLAGEN UND MARKTRECHERCH** R+D 6.2

Lead:	METEOTEST	Funding:	BFE
Contact:	René Cattin rene.cattin@meteotest.ch	Period:	2009–2010
Abstract:	The present report aims at determining the potential of improved feed-in forecasts for new renewable energies (NRE) considering the characteristics of the Swiss energy market. Benefits of and potential for improvement are identified and recommendations for additional measures are given.		

Kerntechnik und Nukleare Sicherheit

(* IEA-Klassifikation)

● SICHERHEITSEXPERTISE UND -FORSCHUNG BEZÜGLICH TRANSIENTENANALYSEN DER REAKTOREN IN DER SCHWEIZ STARS R+D 4.1.1*

Lead:	PSI	Funding:	ENSI
Contact:	Hakim Ferroukhi hakim.ferroukhi@psi.ch	Period:	2006–2012
Abstract:	Die Aufgabe des STARS-Projekts ist die Pflege und Weiterentwicklung von Methoden und Rechenprogrammen für die Durchführung von deterministischen Sicherheitsanalysen. Diese schliessen das Anlageverhalten vom Normalbetrieb bis hin zu auslegungsüberschreitenden Störfällen (bis zum evtl. Kernschmelzen) ein.		

● RISIKO UND MENSCHLICHE ZUVERLÄSSIGKEIT HRA R+D 4.1.1

Lead:	PSI	Funding:	ENSI
Contact:	Vinh Dang Vinh.dang@psi.ch	Period:	2006–2012
Abstract:	HRA untersucht den Stellenwert menschlicher Handlungen für die dynamische Risikobewertung. Der sichere und zuverlässige Betrieb komplexer Systeme bedarf einer ständiger Optimierung der technischen Einrichtungen inklusiver ihrer ergonomischen Gestaltung.		

● PROTEUS NULLEISTUNGREAKTOR PROGRAMME R+D 4.1.4

Lead:	PSI	Funding:	PSI
Contact:	Gregory Perret gregory.perret@psi.ch	Period:	
Abstract:	PROTEUS is a zero-power research reactor operated at the Paul Scherrer Institute, Switzerland. One of its main characteristics is a high degree of flexibility in studying a wide range of different systems. At present, it is being used to provide an extended integral database for the validation of modern light water reactor fuel designs.		

● NUKLEARE BRENNSTOFFE R+D 4.1.1

Lead:	PSI	Funding:	ENSI
Contact:	Johanes Bertsch johannes.bertsch@psi.ch	Period:	
Abstract:	The project Nuclear Fuels focuses on different aspects of nuclear reactor core internals. The most important is the fuel itself, consisting of the ceramic fuel pellets and the surrounding cladding, typically made of a Zirconium alloy. The interest is on the physical, chemical and mechanical properties of these components and their respective influence on the performance and safety during operation in the nuclear power plant, but also after service during handling or storage periods.		

● BAUTEILSICHERHEIT INTEGER R+D 4.1.1

Lead:	PSI	Funding:	ENSI / KKW
Contact:	Hans-Peter Seifert hans-peter.seifert@psi.ch	Period:	
Abstract:	Das Projekt Integer befasst sich mit Alterungsmechanismen in druckführenden Primärkreislaufkomponenten sowie mit deren möglichen Auswirkungen auf die Lebensdauer und Sicherheit von Kernkraftwerken. Die Ermüdung ist ein wichtiger Schädigungsmechanismus, der mit zunehmendem Anlagenalter an Bedeutung gewinnt und vereinzelt auch zu Ermüdungsrissobildungen und Leckagen in Druck führen den Komponenten geführt hat.		

● FORSCHUNG ZU SCHWEREN UNFÄLLEN R+D 4.1.4

Lead:	PSI	Funding:	ENSI
Contact:	Salih Güntay salih.guentay@psi.ch	Period:	
Abstract:	Zu den Schwerpunkten der Sicherheitsbetrachtungen beim Betrieb von Kernkraftwerken (KKW) gehören die Vorkehrungen zur Verhinderung der Freisetzung des Radiojods, einem potenziellen Verursacher von Schilddrüsenkrebs. Die Forschung am PSI dient der Erarbeitung neuer technischer Verfahren und der Entwicklung von Rechenprogrammen zur Modellierung von u.a. solchen Störfällen.		

● **ENTSORGUNG RADIOAKTIVER ABFÄLLE**

R+D 4.1.4

Lead:	PSI	Funding:	PSI
Contact:	Mike Bradbury mike.bradbury@psi.ch	Period:	
Abstract:	Das Labor für Endlagersicherheit entwickelt und testet Modelle und stellt spezifische Daten bereit, die für die Sicherheitsanalysen von geplanten Schweizer Endlagern für radioaktive Abfälle wichtig sind. Die Ausbreitungsparameter von Radionukliden im Opalinuston, einem prädestinierten Wirtsgestein für ein Tiefenlager, sind wichtig für die Sicherheitsanalysen für ein solches Endlager.		

● **HOCHTEMPERATURMATERIALIEN HT-MAT**

R+D 4.1.5

Lead:	PSI	Funding:	PSI
Contact:	Wofgang Hoffelner wofgang.hoffelner@psi.ch	Period:	
Abstract:	Eine möglichst genaue Bestimmung von Lebensdauer und Restlebensdauer von hoch belasteten Komponenten in Kernanlagen ist für deren sicheren Betrieb von grösster Bedeutung. Das gilt nicht nur für gegenwärtige Kraftwerke, sondern es gilt in gleichem Masse auch für zukünftige Anlagen.		

● **ALPHA**

R+D 4.1.1

Lead:	PSI	Funding:	PSI
Contact:	Horst-Michael Prasser horst-michael.prasser@psi.ch	Period:	
Abstract:	Im Rahmen des OECD-Projekts Seth-2 führt das Labor für Thermohydraulik an der Panda-Anlage Experimente zum Containmentverhalten von Leichtwasserreaktoren durch. In Arbeitsteilung mit der Versuchsanlage Mistra (CEA, Frankreich) wird das Ziel verfolgt, eine umfangreiche Datenbasis zu erstellen, die es gestattet, heute übliche Rechenprogramme hinsichtlich der Vorhersage der Wasserstoffausbreitung bei Störfällen mit Kernüberhitzung zu validieren und zu verbessern.		

● **FAST**

R+D 4.1.5

Lead:	PSI	Funding:	PSI
Contact:	Konstantin Mikityuk konstantin.mikityuk@psi.ch	Period:	
Abstract:	Der mit Helium gekühlte Schnelle Reaktor (GFR) ist ein Design, das die Ziele des Generation IV International Forums erfüllen könnte. Zur Simulation von sicherheitsrelevanten GFR-Transienten wird der state-of-the-art Computer Code Trace eingesetzt, der Teil des im Projekt Fast entwickelten Codesystems ist.		

● **GANZHELTICHE BETRACHTUNG IM ENERGIEBEREICH GABE**

R+D 7.1

Lead:	PSI	Funding:	PSI
Contact:	Peter Burgherr peter.burgherr@psi.ch	Period:	
Abstract:	Die analysierten Technologien umfassen zentrale Stein- und Braunkohle-, sowie Erdgas kraftwerke mit und ohne Abscheidung und Einlagerung von CO ₂ (Carbon Capture and Storage, CCS) und dezentrale Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen (WKK) inklusive der zugehörigen Brennstoffketten. Um die mögliche Bandbreite der zukünftigen Technologieentwicklung berücksichtigen zu können, wurden Umweltauswirkungen für verschiedene Szenarien quantifiziert.		

● **HOTLABOR**

R+D 4.1.4

Lead:	PSI	Funding:	PSI
Contact:	Didier Gavillet didier.gavillet@psi.ch	Period:	
Abstract:	Das PSI-Hotlabor ist als einzige schweizerische Forschungsanlage zur Bearbeitung und Untersuchung aller Arten von radioaktiven Materialien und stark radioaktiver Komponenten (oder Teilen davon) von Kraftwerken und Forschungs- oder Beschleunigeranlagen ausgerüstet. Das Hotlabor als PSI-Grossanlage ist gemäss Kernenergieverordnung eine der schweizerischen Kernanlagen und erfüllt die für solche Anlagen erforderlichen Sicherheitsstandards.		

Regulatorische Sicherheitsforschung

(* IEA-Klassifikation)

● OECD HALDEN REACTOR PROJECT

R+D 4.1.4*

Lead:	OECD-NEA	Funding:	ENSI
Contact:	Markus Straub markus.straub@ensi.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	Das Projekt hat zwei Stossrichtungen: Brennstoff- und Materialverhalten sowie Mensch-Technologie-Organisation (MTO). Im Bereich Brennstoff und Materialverhalten stehen der Hochabbbrand von Brennstoffen in Leichtwasserreaktoren und der Einfluss von Strahlung, Wasserchemie sowie mechanischen und thermischen Belastungen auf die Materialalterung von Kerneinheiten im Vordergrund. Im Bereich MTO werden empirische Studien durchgeführt zur menschlichen Zuverlässigkeit.		

● KORA-II KORROSIONSRISSEWACHSTUM IN AUSTENITISCHEN STRUKTURWERKSTOFFEN

R+D 4.1.4

Lead:	PSI	Funding:	ENSI
Contact:	Klaus Germerdonk klaus.germerdonk@ensi.ch	Period:	2009–2011
Abstract:	KORA beschäftigt sich mit den Schädigungsmechanismen der Spannungs- und Schwingrisskorrosion. Spannungsrissskorrosion kann auftreten, wenn ungünstige Bedingungen für mechanische Belastung, Wasserchemie und Werkstoffzustand zusammenkommen. In diesen Fällen können dann relativ lange, verzweigte Risse entstehen. Schwingrisskorrosion ist eine spezielle Form des umgebungsbedingten Risswachstums, in der mechanische Belastungen zyklisch auftreten.		

● BRUCHMECHANISCHE BEWERTUNG VON REAKTORDRUCKBEHÄLTER-MEHRLAGENSCHWEISSNÄHTEN

R+D 4.1.4

Lead:	Forschungszentrum Dresden-Rossendorf	Funding:	ENSI
Contact:	Dietmar Kalkhof dietmar.kalkhof@ensi.ch	Period:	2010–2012
Abstract:	Die Integrität des Reaktordruckbehälters (RDB) ist eine grundlegende Voraussetzung für den sicheren und langfristigen Betrieb von Kernkraftwerken. Die Materialeigenschaften der RDB-Werkstoffe (Grundmaterial der Schmiederinge, Schweißmaterial) ändern sich mit zunehmendem Alter der Anlage. Insbesondere ist die Versprödung des Materials aufgrund der Neutronenbestrahlung zu bewerten. Seit ca. 15 Jahren steht dafür ein zusätzliches Auswerteverfahren zur Verfügung.		

● OECD OPDE–OECD PIPING FAILURE DATA EXCHANGE PROJECT

R+D 4.1.4

Lead:	OECD-NEA	Funding:	ENSI
Contact:	Susanne Schulz susanne.schulz@ensi.ch	Period:	2005–2010
Abstract:	Die Datenbank OPDE (OECD Piping Failure Data Exchange Project) ist ein internationales Projekt der OECD-NEA, welches dazu dient, eine umfangreiche Datensammlung von Schäden an Rohrleitungen in Kernkraftwerken zu erstellen und zu pflegen. In die dafür erstellte Datenbank werden systematisch Schadensfälle und Ereignisse aus den teilnehmenden OECD-Staaten eingegeben. Die Daten werden ausgewertet mit dem Ziel, systematische Hinweise auf Schadens- bzw. Störfallursachen zu erhalten.		

● OECD COMPSIS–EXCHANGE OF OPERATING EXPERIENCE CONCERNING COMPUTER-BASED SYSTEMS IMPORTANT TO SAFETY

R+D 4.1.4

Lead:	OECD-NEA	Funding:	ENSI
Contact:	Rudolf Jäggi rudolf.jaeggi@ensi.ch	Period:	2005–2010
Abstract:	Im COMPSIS-Projekt der Nuclear Energy Agency (NEA) der OECD wurde eine internationale Datenbank über Betriebserfahrungen mit computerbasierten Systemen in Kernkraftwerken erstellt. In diese werden systematisch Schadensfälle und Ereignisse aus den teilnehmenden OECD-Staaten eingegeben. Die Daten werden anschliessend ausgewertet mit dem Ziel, auf der Basis einer grösseren Anzahl von Fällen systematische Hinweise auf Schadens- bzw. Störfallursachen zu erhalten.		

● OECD ICDE–INTERNATIONAL COMMON-CAUSE FAILURE DATA EXCHANGE

R+D 4.1.4

Lead:	OECD-NEA	Funding:	ENSI
Contact:	Roland Beutler roland.beutler@ensi.ch	Period:	2004–2011
Abstract:	Das International Common-Cause Failure Data Exchange (ICDE) Projekt wird seit 1998 unter der Federführung der OECD Nuclear Energy Agency betrieben. Generelles 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.		

● **1.2.4 OECD FIRE–FIRE INCIDENT RECORD EXCHANGE**

R+D 4.1.4

Lead:	OECD-NEA	Funding:	ENSI
Contact:	Annette Ramezian annette.ramezian@ensi.ch	Period:	2004–2010
Abstract:	Das Ziel des Projektes »OECD Fire Incident Record Exchange“ (OECD FIRE) ist die Erhebung und die Analyse von Daten z. B.ander-eignissen in Kernkraftwerken der OECD-Mitgliedsstaaten. Das Projekt soll dazu beitragen, die Ursachen, die Ausbreitung und die Auswirkungen von Bränden besser zu verstehen. Es ist zudem darauf ausgerichtet, die Brandverhütung weiter zu optimieren und die phänomenologische und statistische Basis für Probabilistische Sicherheitsanalysen (PSA) von Kernkraftwerken zu verbessern.		

● **CSARP–COOPERATION IN THE SEVERE ACCIDENT RESEACH PROGRAM**

R+D 4.1.4

Lead:	U.S.NRC	Funding:	ENSI
Contact:	Markus Straub markus.straub@ensi.ch	Period:	2008–2012
Abstract:	Rahmenvertrag für die Kooperation mit der U.S.NRC bei der Forschung zu schweren Reaktorunfällen.		

● **MSWI–MELT-STRUCTURE-WATER-INTERACTIONS DURING SEVERE ACCIDENTS IN LWR**

R+D 4.1.4

Lead:	Königlich-Technische Hochschule (KTH) Stockholm	Funding:	ENSI
Contact:	Rainer Hausherr rainer.hausherr@ensi.ch	Period:	2010–2011
Abstract:	Das Projekt dient der Untersuchung von Phänomenen, welche bei einem schweren Unfall mit Kernschmelze in einem Siedewasserre-aktor (SWR) auftreten könnten. Das übergeordnete Projektziel besteht darin, das Verständnis der bei einem schweren Unfall ablau-fenden Prozesse zu verbessern. Dafür werden Experimente durchgeführt, Methoden und Modelle erforscht und Rechenprogramme (Codes) entwickelt.		

● **ZUSAMMENARBEIT IN DER GENERISCHEN STRAHLENSCHUTZFORSCHUNG**

R+D 4.1.4

Lead:	PSI	Funding:	ENSI
Contact:	Franz Cartier franz.cartier@ensi.ch	Period:	2010–2012
Abstract:	Die Personendosimetrie durch äussere und innere Bestrahlung ist eine wichtige Aufgabe des Strahlenschutzes. Gemäss Dosimetrie-verordnung werden hohe Anforderungen an die Dosimetrie gestellt. Trotz hohem Stand der Messtechnik im Strahlenschutz ergeben sich immer neue Anforderungen aus der Praxis, denen mit Neuentwicklungen von Messmethoden und mit neuen Lösungsansätzen begegnet werden muss.		

● **FORSCHUNGSPROJEKT FELSLABOR MONT TERRI**

R+D 4.1.4

Lead:	Mont-Terri-Konsortium unter Leitung von Swisstopo	Funding:	ENSI
Contact:	Erik Frank erik.frank@ensi.ch	Period:	2007–2012
Abstract:	Das seit 1996 laufende 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.		

Fusion thermonucléaire contrôlée

(* IEA-Klassifikation)

● **PARTICIPATION SUISSE AU HIGH PERFORMANCE COMPUTING FOR FUSION APPLICATIONS**

R+D 4.2*

Lead:	SBF	Funding:	SBF
Contact:	Werthmüller Andreas andreas.werthmueller@sbf.admin.ch	Period:	2008–2008
Abstract:	Le HPC (High Performance Computing) est le portail des ressources de calcul à haute performance et à haute productivité du DIT (Domaine IT) de l'EPFL à Lausanne.		

● PLASMA-WALL INTERACTION STUDIES RELATED TO FUSION REACTOR MATERIALS	R+D	4.2
Lead: Universität Basel	Funding: BFE	
Contact: Marot Laurent laurent.marot@unibas.ch	Period: 2006–2012	
Abstract: Amongst the various problems still to be solved before being able to use fusion reaction as a reliable energy source, the plasma-wall interactions and their consequences for the lifetime of the plasma facing components is of highest importance. One of these plasma facing components is the reactor wall itself which is foreseen to be in tungsten for the next fusion device.		

Energie – Wirtschaft – Gesellschaft

(* IEA-Klassifikation)

● SMART METERING, BERATUNG ODER SOZIALER VERGLEICH: WAS BEEINFLUSST DEN ELEKTRIZITÄTSVERBRAUCH?	R+D und P+D	7*
Lead: Universität Lausanne (HEC)	Funding: BFE, ewz	
Contact: Rafael Lalive Rafael.Lalive@unil.ch	Period: 2010–2012	
Abstract: Das Projekt untersucht im Rahmen eines grossen Feldexperimentes wie sich verbesserte Information über den eigenen Stromverbrauch, professionelle Beratung oder Information über den Stromverbrauch eines vergleichbaren Partnerhaushaltes auf den Elektrizitätsverbrauch von Haushalten in der Stadt Zürich auswirkt.		
● TIMEWAVES: DIE ROLLE DER DISKONTIERUNGSRATE FÜR DIE NACHFRAGE NACH ENERGIEEFFIZIENTEN LANGLEBIGEN KONSUMGÜTERN	R+D	7
Lead: ETH Zürich, Institut für Umweltentscheidungen	Funding: BFE	
Contact: Helga Fehr-Duda fehr@econ.gess.ethz.ch	Period: 2009–2010	
Abstract: Energieeffiziente langlebige Konsumgüter sind durch relativ hohe Anschaffungskosten und relativ geringe Energiekosten charakterisiert. TIMEWAVES untersucht die empirischen Bestimmungsgründe der Untergewichtung zukünftiger Energiekosten in der Investitionsrechnung in einer repräsentativen Stichprobe der deutschsprachigen Schweizer Bevölkerung, um Grundlagen für Lenkungs-massnahmen zu erarbeiten.		
● DIE ZUKUNFT LEITUNGSgebUNDENER ENERGIEVERSORGUNGSSYSTEME	R+D	7
Lead: econcept	Funding: BFE, AWEL, VSG	
Contact: Walter Ott walter.ott@econcept.ch	Period: 2009–2010	
Abstract: Für 6 Fernwärme- und 4 Erdgasversorgungen, werden je 4 Szenarien der Wärmenachfrage bis 2050 modelliert («Business as usual», «1-Tonne-CO2», «2000-Watt-Gesellschaft» und «Maximal»). Die Entwicklung von Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit der leitungsgebundenen Versorgungssysteme gegenüber Individualsystemen wird für die 4 Nachfrageszenarien untersucht. Davon ausgehend werden der Handlungsbedarf und strategische Massnahmenoptionen abgeleitet.		
● CO2-VERMEIDUNGSKOSTEN BEI DER ERNEUERUNG VON WOHNBAUTEN	R+D	7
Lead: econcept	Funding: BFE, BAFU	
Contact: Walter Ott walter.ott@econcept.ch	Period: 2009–2010	
Abstract: Für eine grössere Zahl von realisierten energetischen Erneuerungen von Wohngebäuden (38 Einfamilienhäuser und 23 Mehrfamilienhäuser) in der Deutschschweiz werden CO2 –Vermeidungskosten aufgrund der gemessenen Energieverbrauchsreduktion und der effektiven energetischen Sanierungskosten ermittelt.		
● KUNDENSPEZIFISCHE ENERGIEVERBRAUCHSINFORMATIONEN FÜR ENERGIESPAREN UND LASTVERSCHIEBUNG	R+D	7
Lead: ETH Zürich	Funding: BFE, BKW	
Contact: Thorsten Staake tstaake@ethz.ch	Period: 2010–2012	
Abstract: Das Bits to Energy Lab untersucht, in welcher Form Informationen über den Energieverbrauch dem Kunden präsentiert werden sollen, um diesen für Energiesparen und Lastverschiebung zu begeistern. Es soll verstanden werden, welchen Einfluss «Defaults» und die spezifische Darstellung des Energieverbrauchs haben. Weiter wird analysiert, welche Konsumentensegmente wie angesprochen werden sollen.		

- | | | | |
|--|---|----------|-----------|
| ● | ZEITPRÄFERENZEN UND ENERGIESPAREN | R+D | 7 |
| Lead: | ETH Zürich | Funding: | BFE |
| Contact: | Andreas Diekmann diekmann@soz.gess.ethz.ch | Period: | 2009–2012 |
| 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 Teilnehmer des Schweizer Umweltsurveys 2007 nach. Der Schwerpunkt der Studie liegt auf der Bedeutung von Zeitpräferenzen für das Energiesparen in Privathaushalten. | | | |
- | | | | |
|--|--|----------|-----------|
| ● | DIE WIRKUNG VON ENERGIE-, KLIMA- UND WETTBEWERBSPOLITIK AUF TECHNISCHEM FORTSCHRITT UND DIVERSITÄT IN DER SCHWEIZER ENERGIEVERSORGUNG | R+D | 7 |
| Lead: | Universität Basel | Funding: | BFE |
| Contact: | Frank Krysiak frank.krysiak@unibas.ch | Period: | 2008–2011 |
| Abstract: Das Projekt analysiert welchen Einfluss politische Massnahmen und wirtschaftliche Faktoren auf die Diversifikation des schweizerischen Energieportfolios besitzen. Dazu wird das Investitionsverhalten von Stromproduzenten - in Abhängigkeit von Kosten, Risiken sowie politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen - in einem mikroökonomischen Modell untersucht. | | | |
- | | | | |
|---|---|----------|-----------|
| ● | ÖKONOMISCHE ANALYSE ZUR KOMBINATION VON VERSCHIEDENEN REGULIERUNGSINSTRUMENTEN IM SCHWEIZER ENERGIEMARKT NACH 2012 | R+D | 7 |
| Lead: | Universität Basel | Funding: | BFE |
| Contact: | Frank Krysiak; Mirjam Thoma frank.krysiak@unibas.ch | Period: | 2010–2011 |
| Abstract: Das Projekt analysiert die Interaktionen von Förderinstrumenten und marktbasierter Labels für erneuerbare Energien und deren optimale Kombination für die Schweiz. Untersucht werden KEV (kostendeckende Einspeisevergütung), das Label »naturemade« und handelbare Quoten für erneuerbare Energie in einem zweistufigen mikroökonomischen Modell mit technologiespezifischen Kostenstrukturen. | | | |
- | | | | |
|--|--|----------|-----------|
| ● | DETERMINANTEN DES VOLLZUGS ENERGIEPOLITISCHER MASSNAHMEN AUF KANTONALER EBENE | R+D | 7 |
| Lead: | Universität Zürich | Funding: | BFE |
| Contact: | Thomas Widmer thow@ipz.uzh.ch | Period: | 2008–2011 |
| Abstract: Im föderalistischen System der Schweiz entwickeln sich in den Kantonen unterschiedliche Ansätze zu innovativen Lösungen energiepolitischer Probleme. Mit quantitativen und qualitativen Methoden werden in diesem Projekt die Determinanten und Prozesse untersucht, die zu einer (Nicht-) Ausbreitung kantonaler, energiepolitischer Massnahmen im Gebäudebereich führen. | | | |
- | | | | |
|---|--|----------|------------------|
| ● | INVESTITIONSVERHALTEN VON MFH-BESITZERN UND MARKTPOTENZIALE HINSICHTLICH NEUER RENOVATIONSTECHNIKEN UND -KONZEPTE | R+D | 7 |
| Lead: | ETH Zürich (CEPE) | Funding: | BFE, CCEM + Div. |
| Contact: | Mehdi Farsi mfarsi@ethz.ch | Period: | 2009–2010 |
| Abstract: Das Projekt liefert detaillierte Informationen zum Entscheidungsprozess bei Erneuerungen von Mehrfamilienhäusern, u.a. mit neuen Retrofit-Technologien. Die Ergebnisse einer Umfrage bei einer Stichprobe von MFH-Besitzern zeigen über welche Informationen diese verfügen, welche Informationskanäle sie nutzen und unter welchen Rahmenbedingungen sie energetische Erneuerungen durchführen würden. | | | |
- | | | | |
|---|--|----------|-----------|
| ● | MIKROÖKONOMISCHE ANALYSE DES ERNEUERUNGSVERHALTENS VON EINFAMILIENHAUSBESITZERN | R+D | 7 |
| Lead: | ETH Zurich (CEPE) | Funding: | BFE |
| Contact: | Céline Ramseier cramseier@ethz.ch | Period: | 2008–2010 |
| Abstract: Das Projekt befasst sich mit Erneuerungsentscheidungen von Einfamilienhaus-Besitzern und analysiert, welche Erneuerungen an der Gebäudehülle wie häufig und weshalb durchgeführt worden sind. Zudem wird untersucht, unter welchen Rahmenbedingungen energetische Erneuerungen durchgeführt werden und wie ausgewählte energiepolitischen Massnahmen auf das Erneuerungsverhalten wirken. | | | |
- | | | | |
|---|--|----------|-----------|
| ● | RESOURCE CONSERVING RENOVATION (RECORE): ENERGY EFFICIENT, RESOURCE CONSERVING AND DIFFERENTIATED RENOVATION OF HISTORIC EUROPEAN BUILDING TOCKS | R+D | 7 |
| 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. | | | |

- **WER STECKT AM MEISTEN ENERGIE IN DAS EINSPAREN VON ENERGIE? EINE KONSUMENTENSEGMENTIERUNG** R+D 7

Lead: ETH Zürich (IED)	Funding: BFE
Contact: Michael Siegrist bsuetterlin@ethz.ch	Period: 2009–2011

Abstract: Die Charakterisierung der unterschiedlichen Energiekonsumententypen ist eine Grundvoraussetzung für die Entwicklung von wirksamen Interventionen. Zu diesem Zweck wurden zwei Analysen durchgeführt. In einer ersten Analyse wurden die Konsumenten anhand der Wertorientierung klassifiziert und in einer zweiten anhand des Energiesparverhaltens.
- **ENERGIEINVESTITIONEN UND HETEROGENE PRÄFERENZEN** R+D 7

Lead: Thurgauer Wirtschaftsinstitut an der Universität Konstanz	Funding: BFE
Contact: Urs Fischbacher simeon.schudy@uni-konstanz.de	Period: 2008–2011

Abstract: Was macht Personen aus, die in Energieeffizienz investieren und welche Konsequenzen ergeben sich daraus für Fördermassnahmen? Wir kombinieren Methoden der Experimentalökonomik mit Umfragen und testen inwiefern Grosszügigkeit, Ungleichheitsaversion, Zeit-, Risiko- und Status-Präferenzen für Investitionen in Energieeffizienz relevant sind.
- **INNOPOWER: STÄRKUNG DER FRÜHEN INNOVATIONSPHASE VON KMU UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DES SEKTORS ENERGIE** R+D 7

Lead: Universität St.Gallen (ITEM)	Funding: BFE
Contact: Peter Hürzeler peter.huerzeler@unisg.ch	Period: 2008–2011

Abstract: Ziel des Projektes ist, ein besseres Verständnis der Aktivitäten von KMU in der Frühphase der Produktinnovation zu erlangen. Diese umfassen das Identifizieren von Opportunitäten, die Ideengenerierung, frühe Selektions- und Entscheidungsprozesse sowie die Rolle der zwischen- und überbetriebliche Kooperation. Die Fragestellungen werden anhand von im Energiesektor tätigen Schweizer KMU untersucht.
- **SWISS TIMES ENERGY SYSTEM MODEL (STEM) FOR TRANSITION SCENARIO ANALYSES** R+D 7

Lead: Paul Scherrer Institute (PSI)	Funding: BFE + PSI (in-kind)
Contact: Hal Turton hal.turton@psi.ch	Period: 2010–2013

Abstract: Die Entwicklung und Anwendung des technologiereichen "bottom-up» Energiemodells STEM soll zu einem besseren Verständnis der zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten des Schweizer Energiesystems führen. STEM soll genutzt werden um Szenarien mit Strukturänderungen im Energiesystem zu untersuchen und Technologie- und Infrastrukturoptionen darzustellen.
- **TECHNOLOGICAL AND SUBSTITUTION ELASTICITIES** R+D 7

Lead: ETH Zürich (KOF)	Funding: BFE
Contact: Peter Egger egger@kof.ethz.ch	Period: 2008–2011

Abstract: Ein strukturelles allgemeines Gleichgewichtsmodell des internationalen Handels (Eaton-Kortum) wird um den Energie-Sektor erweitert. Daten von 32 OECD Ländern werden verwendet und das Modell wird mit heimischen Energiepreisen kalibriert. Interdependenzen zwischen länderspezifischer Energieproduktivität, Energienachfrage und Handelsliberalisierung werden untersucht.
- **GENERIERUNG UND ÜBERNAHME VON ENERGIETECHNOLOGIEN UND ENERGIEPOLITISCHE FÖRDERUNG IN DER SCHWEIZ** R+D 7

Lead: ETH Zürich (KOF)	Funding: BFE
Contact: Marius Ley ley@kof.ethz.ch	Period: 2009–2011

Abstract: Ziel dieses Projekts ist ein besseres Verständnis der Innovations- und Einsatzentscheide Schweizer Unternehmungen im Kontext von energieeffizienten Technologien. Nebst einer ökonomischen Analyse der Bestimmungsfaktoren von Innovation sowie Verbreitung solcher Technologien wird auch versucht, den Effekt von Fördermassnahmen im Bezug auf den Technologieeinsatz in der Schweiz zu beurteilen.
- **ENERGIERELEVANTE DATEN FÜR SCHWEIZER INDUSTRIESEKTOREN** R+D 7

Lead: Institut für Wirtschaftsstudien Basel	Funding: BFE
Contact: Daniel Müller daniel.mueller@wirtschaftsstudien.ch	Period: 2010

Abstract: Ziel des Projekts ist eine Zusammenstellung energierelevanter Variablen für Schweizer Industriesektoren. Durch die Zusammenstellung von Variablen aus verschiedenen Erhebungen erhalten wir zwei unabhängig nutzbare Datensätze. Der erste Datensatz enthält die gesamten Energieausgaben, während der zweite Datensatz die Energieausgaben unterteilt in verschiedene Energiequellen enthält. Beide Datensätze werden mit Informationen zu Arbeit, Kapital, Wertschöpfung und Handel ergänzt.

● **DIFFERENZIERUNG DER INPUT-OUTPUT-TABELLE IN DEN ENERGIERELEVANTEN BEREICHEN** R+D 7

Lead: Rütter+Partner	Funding: BFE, BAFU, ARE, u. a.
----------------------	--------------------------------

Contact: Carsten Nathani carsten.nathani@ruetter.ch	Period: 2009–2011
---	-------------------

Abstract: Eine Input-Output-Tabelle ist eine wichtige Datengrundlage für energie- und umweltökonomische Analysen. In diesem Projekt werden die Energie- und Verkehrsbranchen in den bestehenden Input-Output-Tabellen für 2001 und 2005 stark disaggregiert und auf der Basis von Detailanalysen abgebildet. Die neuen Tabellen stehen interessierten Anwendern zur Verfügung.

● **VOLKSWIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG ERNEUERBARER ENERGIEN IN DER SCHWEIZ** R+D 7

Lead: Rütter+Partner	Funding: BFE
----------------------	--------------

Contact: Carsten Nathani carsten.nathani@ruetter.ch	Period: 2010–2011
---	-------------------

Abstract: Im Projekt wird untersucht, welche wirtschaftliche Bedeutung die Nutzung erneuerbarer Energien heute in der Schweiz hat und wie sie sich voraussichtlich bis zum Jahr 2020 entwickeln wird.

Eidgenössische Energieforschungskommission (CORE) Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE)

Mitglied / membre	Vertreter von / représentant de
Dr. Tony Kaiser (Präsident) <i>Alstom Power, Future</i>	Grossindustrie
Alexandre Closset <i>Belenos Cleanpower (Swatchgroup)</i>	Start-up, innovative KMU
Dr. Monica Duca Widmer. <i>EcoRisana SA</i>	Ingenieurbüros, KMU
Prof. Dr. Heinz Gutscher <i>Universität Zürich</i>	Universitäten, Sozialwissenschaft
Antoinette Hunziker-Ebnetter <i>Forma Future Invest AG, CEO</i>	Investoren, Venture Capital
Prof. Dr. Christian Kunze <i>École d'Ingénieurs du Canton du Vaud, Directeur</i>	Fachhochschulen, Schweizerischer Nationalfonds
Dr. Hajo Leutenegger <i>Verband der Schweizerischen Gasindustrie, Präsident</i>	Energiewirtschaft (Wasser und Gas)
Dr. George Allan Lustgarten <i>Technology and Business Consulting, CEO</i>	Consulting
Prof. Dr. Martha Christina Lux-Steiner <i>Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie (HZB), Institutsleitung Heterogene Materialsysteme</i>	Universitäten, internationale Beziehungen
Prof. Dr. Hans-Björn Püttgen <i>Energy Center EPFL, Directeur</i>	EPF-Lausanne
Prof. Dr. Louis Schlapbach	SNF, Kommission für Technologie und Innovation
Regierungsrat Stefan Sutter <i>Vorsteher Bau- und Umweltdepartement Appenzell I.</i>	Vertretung Kantone
Dr. Manfred Thumann <i>Konzernleitung Axpo Holding AG</i>	Energiewirtschaft (Elektrizität)
Prof. Dr. Alexander Wokaun <i>Paul Scherrer Institut, Leiter Forschungsbereich allgemeine Energie</i>	PSI, ETH Zürich, Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften, Novatlantis
Prof. Frank Krysiak <i>Professor für Umweltökonomie</i>	Universitäten, Umweltpolitik und Ökonomie
Beobachter / observateur	Amt / Office
Dr. Rolf Schmitz <i>Leiter Sektion Energieforschung</i>	BFE
Daniel Zürcher <i>Leiter Sektion Innovation</i>	BAFU
Dr. Andreas Werthmüller <i>Wissenschaftlicher Berater Multilaterale</i>	SBF
Sekretariat / secrétariat	Adresse / adresse
Dr. Katja Maus <i>BFE, Sektion Energieforschung</i>	+41 (0)31 322 39 78 <i>katja.maus@bfe.admin.ch</i>

BFE-Forschungs- und Marktbereiche (2010) Domaines de l'OFEN pour la recherche et le marché (2010)

		Forschung <i>Recherche</i>		Markt <i>Marché</i>
	Programm <i>Programme</i>	Programmleiter <i>Chef de Programme</i>	BFE-Bereichsleiter <i>Responsable OFEN</i>	BFE-Bereichsleiter <i>Responsable OFEN</i>
Effiziente Energienutzung <i>Utilisation efficace de l'énergie</i>	1.1 Energie in Gebäuden <i>Energie dans les bâtiments</i>	C. Filleux	A. Eckmanns	O. Meile
	1.2 Verkehr <i>Transports</i>			H. Scherrer
	1.3 Akkumulatoren und Superkondensatoren <i>Accumulateurs et supercondensateurs</i>	M. Pulfer	M. Pulfer	-
	1.4 Verfahrenstechnische Prozesse (VTP) <i>Technologie des procédés</i>			M. Stettler
	1.5 Elektrizitätstechnologien und -anwendungen <i>Technologies et utilisations de l'électricité</i>	R. Brüniger	M. Moser	F. Frey
	1.6 Netze <i>Réseaux</i>	M. Moser		-
	1.7 Wärme-Kraft-Kopplung (WKK) <i>Couplage chaleur-force (CCF)</i>	T. Kopp	A. Eckmanns	R. Phillips
	1.8 Verbrennung <i>Combustion</i>	S. Renz	S. Hermle	
	1.9 Kraftwerk 2020 und Carbon Capture & Storage (CCS) <i>Centrales à gaz 2020 et CCS</i>	P. Jansohn	G. Siddiqi	
	1.10 Brennstoffzellen <i>Piles à combustible</i>	S. Oberholzer	S. Oberholzer	-
Erneuerbare Energie <i>Sources d'énergie renouvelables</i>	2.1 Wasserstoff <i>Hydrogène</i>	S. Oberholzer		-
	2.2 Photovoltaik <i>Photovoltaïque</i>	S. Nowak	S. Oberholzer	U. Wolfer
	2.3 Solare Hochtemperaturprozesse <i>Processus solaires à haute température</i>	P. Renaud		
	2.4 Solarwärme und Wärmespeicherung <i>Chaleur solaire et stockage de chaleur</i>	J.-C. Hadorn	A. Eckmanns	
	2.5 Wärmepumpen und Kälte <i>Pompe à chaleur et froid</i>	T. Kopp		R. Phillips
	2.6 Holzenergie <i>Énergie du bois</i>	S. Hermle	S. Hermle	D. Binggeli
	2.7 Biomasse (ohne Holz) <i>Biomasse (sans le bois)</i>			B. Guggisberg
	2.8 Wasserkraft <i>Force hydraulique</i>	K. Jorde	M. Moser	B. Guggisberg
	2.9 Geothermie <i>Géothermie</i>	R. Minder	G. Siddiqi	M. Geissmann
	2.10 Windenergie <i>Énergie éolienne</i>	R. Horbaty	K. Maus	
	2.11 Talsperren <i>Barrages</i>	G. Darbre	G. Darbre	-
Kernenergie <i>Énergie nucléaire</i>	3.1 Kerntechnik und Nukleare Sicherheit <i>Technique et sécurité nucléaires</i>	J.-M. Cavedon		-
	3.2 Regulatorische Sicherheitsforschung <i>Recherche réglementaire en sécurité nucléaire</i>	R. Mailänder	C. de Reyff ¹⁾	-
	3.3 Kernfusion <i>Fusion nucléaire</i>	C. Vaucher		-
	3.4 Radioaktive Abfälle <i>Déchets radioactifs</i>	S. Brander	S. Brander	-
EWG / WTT <i>EES / TST</i>	4.1 Energie – Wirtschaft – Gesellschaft (EWG) <i>Énergie – Économie – Société (EES)</i>		N. Mathys	
	4.2 Wissens- und Technologietransfer (WTT) <i>Transfert scientifique</i>		Y. Calisesi	

¹⁾ Das BFE hat hier hauptsächlich die Rolle der Auskunftsstelle. Die Betreuung der Forschung des Bereichs 3.1 obliegt dem PSI, die des Bereichs 3.2 dem ENSI und die des Bereichs 3.3 dem SBF. L'OFEN a ici un rôle de répondant. La gestion de la recherche du domaine 3.1 est du ressort du PSI, celle du domaine 3.2 de l'IFSN et celle du domaine 3.3 du SER.

Adressen der BFE-BereichsleiterInnen Adresses des responsables de domaines à l'OFEN

Daniel Binggeli, Tel. 031 322 68 23

Simone Brander, Tel. 031 325 85 57

Yasmine Calisesi, Tel. 031 322 53 21

Georges Darbre, Tel. 031 325 54 91

Andreas Eckmanns, Tel. 031 322 54 61

Felix Frey, Tel. 031 322 56 44

Markus Geissmann, Tel. 031 322 56 10

Bruno Guggisberg, Tel. 031 322 56 40

Sandra Hermle, Tel. 031 325 89 22

Katja Maus, Tel. 031 322 39 78

Nicole Mathys, Tel. 031 325 54 45

Olivier Meile, Tel. 031 322 56 99

Michael Moser, Tel. 031 325 36 23

Stefan Oberholzer, Tel. 031 325 89 20

Richard Phillips, Tel. 031 322 47 56

Martin Pulfer, Tel. 031 322 49 06

Christophe de Reyff, Tel. 031 322 56 66

Hermann Scherrer, Tel. 031 322 56 70

Rolf Schmitz, Tel. 031 322 56 58

Gunter Siddiqi, Tel. 031 322 53 24

Martin Stettler, Tel. 031 322 55 53

Urs Wolfer, Tel. 031 322 56 39

Postanschrift: BFE, 3003 Bern / Adresse commune : OFEN, 3003 Berne

E-mail: Vorname.Name@bfe.admin.ch / prénom.nom@bfe.admin.ch; Fax: 031 323 25 00

Adressen der Programmleiter ausserhalb des BFE Adresses des chefs de programmes à l'extérieurs de l'OFEN

Roland Brüniger

R. Brüniger AG, Zwillikerstr. 8, 8913 Ottenbach.

Tel. 044 760 00 66 – Fax : 044 760 00 68.

roland.brueiniger@r-brueniger-ag.ch

Jean-Marc Cavedon

PSI, 5232 Villigen – PSI.

Tel. 056 310 27 24 – Fax : 056 310 44 81.

Jean-Marc.Cavedon@psi.ch

Charles Filleux

Basler & Hofmann AG.

Forchstr. 395, 8032 Zürich.

Tel. 044 387 11 22 - Fax : 044 387 11 00

charles.filleux@baslerhofmann.ch

Jean-Christophe Hadorn

Base Consultants SA .

8 Rue du Nant, c.p. 6268, 1211 Genève 6.

Tel. 022 840 20 80 – Fax : 022 840 20 81.

jchadorn@baseconsultants.com

Robert Horbaty

ENCO Energie-Consulting AG.

Munzschstrasse 4, 4410 Liestal.

Tel. 061 965 99 00 – Fax : 061 965 99 01.

robert.horbaty@enco-ag.ch

Peter Jansohn

PSI, 5232 Villigen-PSI.

Tel. 056 310 28 71 – Fax : 056 310 26 24.

peter.jansohn@psi.ch

Klaus Jorde

entec ag.

St. Leonhardstr. 59, 9000 St. Gallen.

Tel. 071 228 10 20 – Fax : 071 228 10 30.

jorde@entec.ch

Thomas Kopp

HSR Hochschule für Technik Rapperswil.

Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil.

Tel. 055 222 49 23 – Fax : 055 222 44 00.

thomas.kopp@hsr.ch

Reiner Mailänder

ENSI, Industriestrasse 19, 5200 Brugg.

Tel. 056 460 86 19 – Fax : 056 460 84 99.

reiner.mailaender@ensi.ch

Rudolf Minder

Minder Energy Consulting .

Ruchweid 22, 8917 Oberlunkhofen .

Tel. 056 640 14 64 - Fax : 056 640 14 60

rudolf.minder@bluewin.ch

Stefan Nowak

NET Nowak Energie & Technologie AG.

Waldweg 8, 1717 St.Ursen.

Tel. 026 494 00 30 – Fax : 026 494 00 34.

stefan.nowak@netenergy.ch

Pierre Renaud

Planair SA, Crêt 108 a, 2314 La Sagne NE.

Tel. 032 933 88 40 - Fax : 032 933 88 50

pierre.renaud@planair.ch

Stephan Renz

Beratung Thoma & Renz .

Elisabethenstr. 44, Postfach, 4010 Basel.

Tel. 061 271 76 36 - Fax : 061 272 57 95

renz.btr@swissonline.ch

Claude Vaucher

SBF/SER, Hallwylstrasse 4, 3003 Bern.

Tel. 031 322 74 79 – Fax : 031 322 78 54 .

claudio.vaucher@sbf.admin.ch

Bundesamt für Energie BFE
Energieforschung
3003 Bern

Office fédéral de l'énergie OFEN
Recherche énergétique
3003 Berne

www.energy-research.ch

