

Überblicksbericht 2011

Forschungsprogramm Wasserstoff



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN

Titelbild:**Vollautomatisierte Pilotanlage zum Testen neu entwickelter Diaphragmen für den Einsatz in hoch effizienten Hochdruckelektrolyseuren**

Die Schweizer Firma Industrie Haute Technologie (IHT) ist ein weltweit führendes Unternehmen im Bereich der Herstellung alkalischer Hochdruckelektrolyseure für industrielle Anwendungen. In den letzten Jahren wurde in Zusammenarbeit mit der Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA ein Ersatz für die asbesthaltigen Diaphragmen entwickelt, welche die Vermischung der bei der Elektrolyse entstehenden Produktgase Wasserstoff und Sauerstoff verhindert. Um die neu entwickelten Materialeien testen zu können, wurde bei IHT eine Pilotanlage aufgebaut und in Betrieb genommen, welche den Einsatz der neuen Diaphragmen unter realen industriellen Bedingungen erlaubt. Eine detaillierte Analyse verschiedener Materialoptionen erlaubt anschliessend die Aufskalierung auf die industriell eingesetzte Grösse von 1,6 m im Durchmesser. Durch die Umstellung auf Asbest-freie Membranen erhält IHT die Möglichkeit, sich an dem wachsenden Markt von Gross-Elektrolyseuren im Zusammenhang mit dem verstärkten Einsatz erneuerbarer Energiequellen zu beteiligen.

BFE Forschungsprogramm Wasserstoff

Überblicksbericht 2011

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
CH-3003 Bern

Programmleiter BFE (Autor):

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

Bereichsleiter BFE:

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

<http://www.bfe.admin.ch/forschungwasserstoff/>

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

Einleitung

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 erneuerbaren Quellen basierte Produktionskette erlaubt zudem eine vollständig nachhaltige Umwandlungskette.

Wasserstoff und anderen chemischen Energieträger wie Methan, Methanol, Formalinsäure etc. kommt im Zusammenhang mit der Diskussion rund um die Netzintegration von Wind- und Solarstrom eine immer grössere Bedeutung als Speichertechnologie zu, dies insbesondere in Deutschland, wo 2011 entsprechende Initiativen gestartet worden sind [1] und verschiedene Projekte zur Speicherung von Wind-Überschussstrom in Form von Wasserstoff und Methan bestehen. So nahm das Windenergieunternehmen Enertrag (www.enertrag.com) in der Nähe von Prenzlau das weltweit erste treibhausgasfreie Hybridkraftwerk in Betrieb, wo in windreichen Zeiten die nicht bedarfsgerecht erzeugte Energie in Wasserstoff umgewandelt und zwischengespeichert wird. In windarmen Zeiten wiederum wird der Wasserstoff in einem Blockheizkraftwerk zur Stromproduktion genutzt, sodass das

6 MW-Hybridkraftwerk aus Sicht des Netzes sich wie ein Grundlastkraftwerk verhält. Eine aktuelle Studie des Fraunhofer IWES zum Thema «Energiewirtschaftliche und ökologische Bewertung eines Windgas-Angebotes» im Auftrag von Greenpeace Energy e.G. [2] zeigt für Deutschland, dass in einem 100 %-Erneuerbaren-Szenario auch bei einem grossen Ausbau der Übertragungsnetzen und intelligentem Lastmanagement mit einem Bedarf von 100 TWh an zusätzlicher Speicherkapazität zu rechnen wäre für längere windschwache oder sonnenarme Perioden. In dieser Studie werden ebenfalls die Effizienzen der verschiedenen Umwandlungsketten detailliert analysiert. Betrachtet man die reine Strom-Speicherung über Wasserstoff oder Methan, dann ist der Wirkungsgrad (40 %) nur halb so gross wie der von Pumpspeicherkraftwerken oder Batteriespeichern. Durch sinnvolle Nutzung von Windgas in WKK-Anlagen unter Mitnutzung der Abwärme der Strom-zu-Gas und Gasverstromungsprozesse lässt sich dennoch ein hoher energetischen Gesamtwirkungsgrad von bis zu 60 % erzielen.

Insbesondere interessant sind Betrachtungen zu Flächenerträgen für erneuerbare Energien, welche zeigen, dass bei Wind- und Solargas etwa das

20-fache des Hektarertrages von Biogas und anderen Biomassen erzielt wird.

Allgemein kommt die Studie zum Schluss, dass eine Strom-zu-Gas («Power-to-Gas»)-Technologie trotz mehrfachen Konversionsschritten mit entsprechenden Verlusten ein wichtiger Baustein für den Aufbau einer zunehmend regenerativen Energieversorgung bildet. Um diese Technologie aufzubauen, wird in den nächsten Jahren und Jahrzehnten eine grosse Anzahl von neuen leistungsstarken Elektrolyseuren benötigt (für Deutschland wird das Potenzial auf 44 GW geschätzt [3]). Weltweit gibt es nur sehr wenige Firmen, welche Gross-Elektrolyseure herstellen: neben dem norwegischen Unternehmen Norsk Hydro Electrolysers AS, welche atmosphärische alkalische Elektrolyseure anbietet, ist die Schweizer Firma IHT mit ihren alkalischen Hochdruck-Elektrolyseuren mit bis zu 3,5 MW pro Einheit weltweit führend. Die Forschung und Weiterentwicklung der alkalischen Hochdruckelektrolyse bildet daher in der Schweiz einen wichtigen Forschungsschwerpunkt.

In dem vorliegenden Bericht werden die herausragendsten Resultate 2011 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 («Solar fuels») bildet einen zweiten Schwerpunkt. Hier werden am Paul Scherrer Institut (PSI) sowie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ) verschiedene thermochemische Prozesse studiert, bei denen konzentrierte Solarwärme als Energiequelle eingesetzt wird.

Ein weiterer Themenbereich bildet die effiziente Hochdruckelektrolyse zur Umwandlung von Strom in Wasserstoff. Die Entwicklung alkalischer Hochdruckelektrolyseure im hohen Leistungsbereich haben in der Schweiz eine lange Tradition. Die Forschungs-

aktivitäten 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. 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 2011

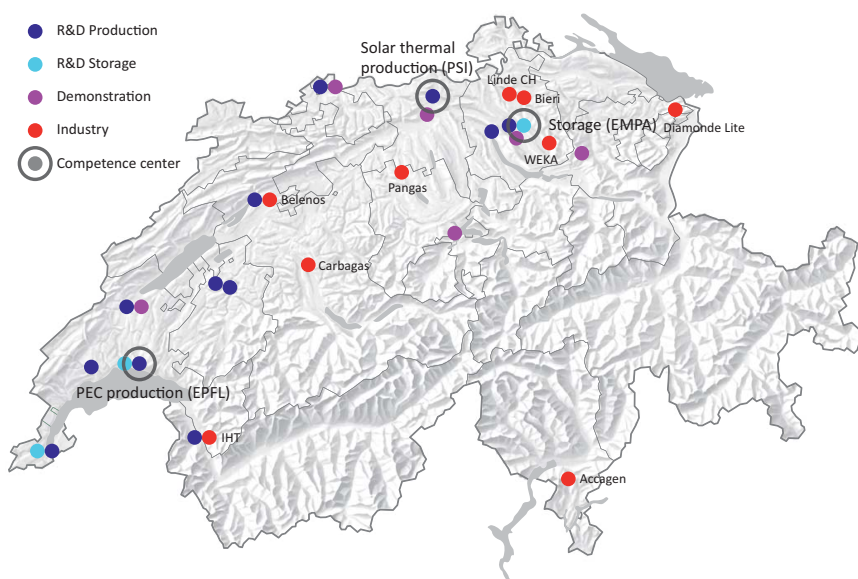
Im Bereich der photoelektrochemischen Wasserstofferzeugung konnte ein grösseres Projekt an der EPFL, welches 2007 angelaufen war, erfolgreich abgeschlossen werden. Die Arbeiten werden weitergeführt in einem Nachfolgeprojekt, welches Teil eines grösseren von verschiedensten Förderstellen

getragenen Dachprojekts zur Produktion und Speicherung von Wasserstoff (HyTech) bildet. Die Resultate aus dem abgeschlossenen Projekt an der EPFL schlugen sich in etlichen wissenschaftlichen Publikationen in renommierten Zeitschriften nieder. Im Bereich der oxid-basierten PEC-Zellen konnte sich die EPFL weltweit als «Leading house» etablieren.

Mit Unterstützung durch nationale Fördermittel (BFE, Swisselectric Research u.a.) konnte die Teilnahme verschiedener Schweizer Forschungsinstitutionen und Unternehmen an grossen europäischen Pilot- und Demonstrationsprojekten im Rahmen des Joint Undertaking Fuel Cells and Hydrogen [4] gesichert werden, einer der laufenden europäischen Industrieinitiativen. So wurden beispielsweise im Projekt FITUP in den Bereichen Telekommunikation und Sicherheitsfunknetz POLYCOM an insgesamt neun Standorten in der Schweiz unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlagen mit Brennstoffzellen/Wasserstoff-Systemen ausgerüstet. Insgesamt kommt der EU-Unterstützung im Forschungsbereich Wasserstoff eine wichtige Bedeutung zu.

Ausblick 2012

Im Frühjahr 2012 wird in Brugg im Rahmen des Brennstoffzellen-Bus-Projekts von PostAuto (siehe Jahresbericht Brennstoffzellen) die schweizweit erste Wasserstofftankstelle in Betrieb gehen. Dieses Grossprojekt zusammen mit andern erfolgreich laufenden Pilot- und Demoprojekten ermöglichen es, dass auch in der Schweiz die Aufmerksamkeit auf die Potenziale dieser Technologie im Zusammenhang mit dem Umbau der Energiewirtschaft erhöht werden kann. Das Forschungsprogramm Wasserstoff versucht dies mit den bescheidenen zu Vergütung stehenden Mittel in enger Zusammenarbeit mit verschiedensten Förderstellen weiter zu fördern.



Highlights aus Forschung und Entwicklung

Um Wasserstoff als Energieträger in einer nachhaltigen Energieversorgung einzusetzen, müssen die heute existierenden Verfahren zur Produktion, Speicherung und Verteilung verbessert werden. Insbesondere sollte dazu der Anteil des regenerativ hergestellten Wasserstoffs deutlich gesteigert werden. Hier leisten die zum Teil grundlegenden Forschungsaktivitäten an verschiedensten Institutionen in der Schweiz wesentliche Beiträge.

Alkalische Hochdruckelektrolyse zur nachhaltigen Bereitstellung von Wasserstoff

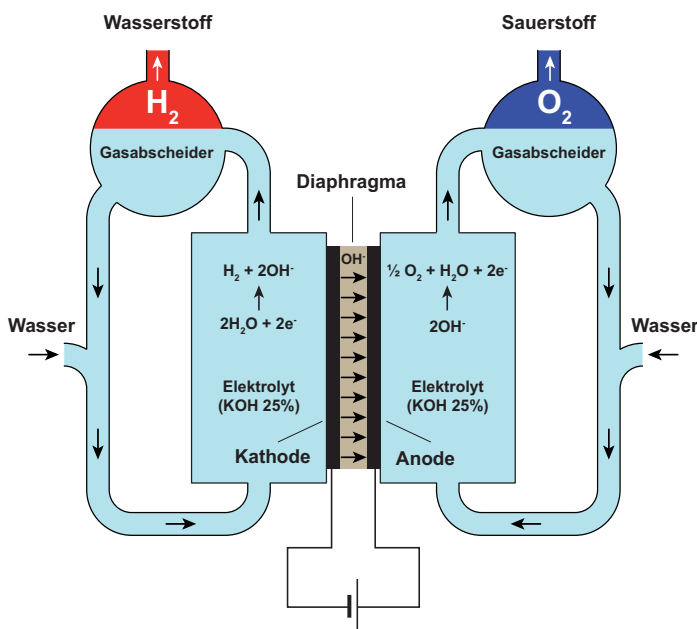
Als Basisstoff für die chemische Industrie, Raffinerien oder etwa die Stahlindustrie wird Wasserstoff zum allergrössten Teil aus fossilen Energieträgern durch Dampfreformierung gewonnen. Nur rund zwei Prozent des Wasserstoffs wird weltweit durch Elektrolyse bereitgestellt, in dem elektrische Energie genutzt wird, um Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff

aufzuspalten. Dies lohnt sich vorallem dort, wo Strom kostengünstig zur Verfügung steht. Die alkalische Wasserelektrolyse ist eine industriell etablierte Technologie mit Grossanlagen, deren Kapazitäten im Bereich von einigen Zehntausend Normkubikmetern Wasserstoff pro Stunde liegen. Im Vergleich dazu stellen Polymer-Membran-Elektrolyseure mit Protonen-leitenden festen Elektrolyten sowie Hochtemperatur-Elektrolyseure mit Sauerstoff-Ionen-leitenden Elektrolyte Technologien dar, welche sich noch in der Entwicklung befinden.

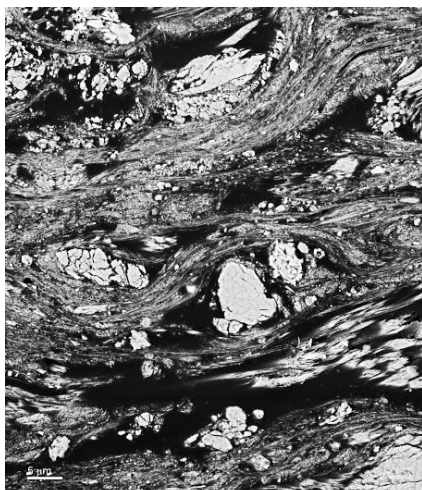
Die alkalische Elektrolyse bei erhöhtem Druck (30 bar) erzielt eine besonders hohe Effizienz bei der Umwandlung von Strom zu Wasserstoff und zeichnet sich durch eine hohe Verfügbarkeit sowie durch relative kurze Ansprechzeiten aus, was eine dynamische Regelung ermöglicht. Solche Eigenschaften prädestinieren diese Technologie für einen Einsatz im Zusammenhang mit der Integration von stochastischer Elektrizitätsproduktion aus Wind- und Sonnenenergie [1]. In der Schweiz produziert

die Firma Industrie Haute Technologie (IHT) alkalische Gross-Elektrolyseure mit einer Wasserstoff-Produktionskapazität von 760 Nm³/h mit einer Effizienz von rund 80 %. Damit gehören diese Anlagen zu den grössten ihrer Art und befinden sich weltweit in Betrieb mit Laufzeiten von zum Teil mehr als 30 Jahren.

In den letzten Jahren wurden in starker Zusammenarbeit mit der EMPA Dübendorf neue Diaphragmen entwickelt, einerseits um die Effizienz zu erhöhen und insbesondere, um die auf Asbest basierenden traditionell eingesetzten Diaphragmen zu ersetzen. Diese Entwicklungsarbeiten wurden vom Bund (KTI, BFE), Swisselectric Research und durch Mittel der Europäischen Kommission unterstützt. Die Herausforderung bestand darin, Materialien zu entwickeln, welche eine gute Trennung der Produktgase (Wasserstoff und Sauerstoff) erlauben. Weiter sollten die neuen Membranen einen geringen Haftkoeffizienten aufweisen, damit die entstehenden Bläschen schnell entweichen. Energieverluste bei der Elektro-



Figur 1: (links) Bei der alkalischen Elektrolyse dient eine 25-prozentige Kalilauge (KOH) als Elektrolyt. Durch das Anlegen einer Gleichspannung wird an der Kathode Wasser zu Wasserstoff und OH⁻-Ionen zersetzt. Theoretisch sind hierfür 1,23 Volt erforderlich, was der Dissoziationsenergie für Wasser von 286 kJ/mol entspricht. Typische Zellenspannungen liegen jedoch im Bereich von 1,8 bis 2 Volt. Das Ionen-leitende Diaphragma erlaubt den Ladungsausgleich in der Zelle und trennt die beiden Reaktionsgase Wasserstoff und Sauerstoff voneinander. (rechts) Bei industriellen Grosselektrolyseuren werden etliche Zellen in Serie hintereinander geschaltet, so zum Beispiel bei den Hochdruckelektrolyseuren von Industrie Haute Technologie SA, den grössten Druckelektrolyseureinheiten (3 MPa) weltweit mit einer Kapazität pro Einheit von bis zu 760 Nm³/h. Das Bild zeigt eine Installation bei der Firma Hrand Djvahirdjian SA (www.djeva.com/l), wo Wasserstoff und Sauerstoff in grossen Mengen (bis zu 50'000 Nm³ pro Tag) zur Produktion synthetischer Edelsteine eingesetzt wird.



Figur 2: Raster-Elektronen-Mikroskop-Aufnahme eines auf Asbest basierenden Diaphragmas, eingebettet in einem organischen Harz, um eine konstante Dicke von 2,5 mm zu erreichen. Die nano-tubularen Fasern zeigen ein grosses Längen/Durchmesser-Verhältnis und bilden Bündel, welche flexibel und stabil genug sind, um als Gas-trennende Diaphragmen in Elektrolyseuren eingesetzt zu werden. Solche Diaphragmen sind im aggressiven Elektrolyten chemisch stabil und haben eine hohe Porosität von 50 % bei gleichzeitig guter ionischer Leitfähigkeit.

lyse sind zum grössten Teil durch die ohmschen Verluste am Diaphragma sowie durch anodische und kathodische Überspannungen gegeben. Daher sollten die neu entwickelten Diaphragmen eine stärkere ionische Leitfähigkeit zeigen und gleichzeitig über mehrere Jahrzehnte chemisch stabil bleiben in einer konzentrierten (> 25 wt. %) Kaliumhydroxid (KOH)-Lösung bei erhöhter Temperatur (85 °C). Der Durchmesser der Diaphragmen beträgt 1,6 m, sodass ebenfalls eine hohe mechanische Stabilität gefordert ist.

Um diese verschiedenen Eigenschaften erfüllen zu können, wurden verschiedene Mineralien, Keramiken und Kombinationen mit Polymeren in Erwägung gezogen. Spezifisch ausgewählte Materialien wurden mit dem bisher verwendeten Asbest-Material Chrysotil verglichen. Voraussetzung dazu war ein grundlegendes Verständnis der Korrelation zwischen der Mikrostruktur des Diaphragmas und den elektrochemischen Eigenschaften der Zelle. Insbesondere die Porosität hat



Figur 3: Herstellung der neuen IHT-Membranen: (Links) Polymer-Gewebe, (Mitte) eingetaucht in ein Gemisch aus Polymeren, Lösungsmitteln und inorganischem Füllmaterial, (Rechts) Koagulation der impregnierten Membran. Die notwendige Dicke (2,5–3 mm) wird durch Pressen erreicht.

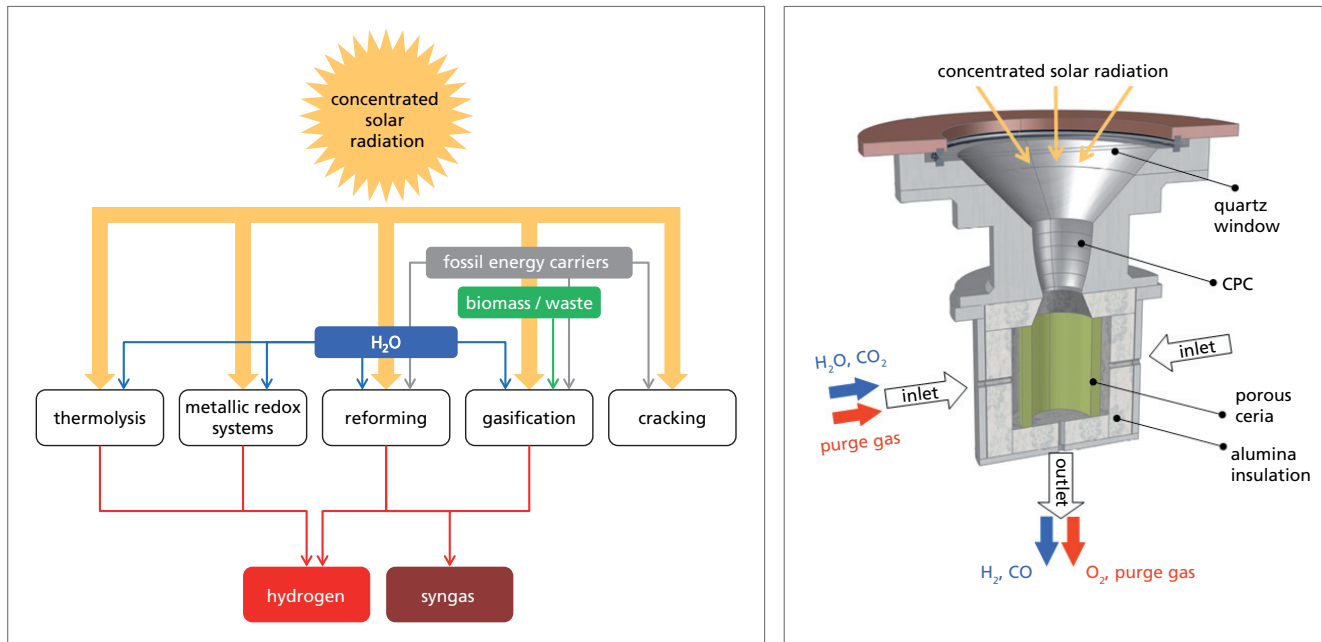
einen grossen Einfluss sowohl auf die ionische Leitfähigkeit, als auch auf die Reinheiten der Produktgase und ist daher ein zentraler Parameter. In einem ersten Schritt wurde die Struktur der bis anhin verwendeten auf Chrysotil basierenden Diaphragmen detailliert untersucht, um die Porenstruktur und die Gesamtporosität, zu bestimmen.

Diaphragmen basierend auf der Kombination von minearischen Materi-

alien (Olivin) mit Polysulfon ergaben Zellen mit guten Gasreinheiten und geringen Überspannungen, jedoch liessen sich diese nicht auf die benötigten Durchmesser aufskalieren und wären für einen industriellen Einsatz auch nicht wirtschaftlich in der Herstellung. Keramik-Membranen basierend auf Zirkon-Oxid zeigten ebenfalls sehr gute elektrochemische Eigenschaften. Hier kann die Porosität durch die Beimischung von Kohlenstoff, der anschliessend bei hohen Temperaturen ausgebrannt wurde, gezielt eingestellt werden. Solche Membranen genügen jedoch ebenfalls nicht der geforderten mechanischen Stabilität.

Um ein Diaphragma mit ausreichend hoher mechanischer Stabilität zu erreichen, wurde schliesslich ein Prozess entwickelt, bei dem inorganische Füllmaterialien (ZrO_2 , $BaTiO_3$, $BaSO_4$, Olivin) in eine tragende Polymer-Matrix (Polyphenylensulfid) eingebettet wurden. Dazu wurde ein Polyphenylensulfid-Gewebe in ein Gemisch aus Polymeren, Lösungsmittel und inorganischem Pulver eingetaucht. Eine poröse Struktur wurde erreicht durch Auswaschen des Lösungsmittel in einem lösungsmittel-freien Bad, wobei verschiedene Porositäten durch das Einstellen der Mengenverhältnisse im Gemisch aus Polymeren, Lösungsmittel und inorganischem Pulver erzielt werden konnten.

So hergestellte Diaphragmen von 20 mm Durchmesser wurden an der EMPA elektrochemisch charakterisiert. Die gemessenen ionischen Leitfähigkeiten liegen mit 0,2–0,32 S/cm deutlich über denen von Asbest mit 0,12 S/cm. Die Porositäten liegen mit 65–71 % leicht über denen von Asbest (rund 50 %). Ebenfalls wurden Gasreinheiten analysiert. Um abschliessend bestimmen zu können, ob diese Materialien als Ersatz in den Gross-Elektrolyseuren genutzt werden können, wurde bei IHT ein voll-automatisierter Pilot-Elektrolyseur für einen Membrandurchmesser von 130 mm aufgebaut (Titelbild). Dieser entspricht in den betrieblichen Bedingungen (30 bar, 25 wt. % KOH, 85 °C) den grossen Elektrolyseuren mit Membrandurchmessern von 1'600 mm. In einem Mehrzellen-Stack können verschiedene Diaphragmen direkt miteinander und in Bezug auf die ursprünglichen Asbest-Membranen verglichen



Figur 5: (Links) Konzentrierte Solarenergie kann über verschiedene thermochemische Prozesse in speicherbare chemische Energieträger umgewandelt werden. (Rechts) Reaktor zur Produktion von Wasserstoff und Synthesegas mit Ceriumoxid. Rot: Reduktionsprozess, blau: Oxidationsprozess/Produktion von solarem Treibstoff (© Science 330, p.1979, 2010).

werden. Erste Messungen zeigen, dass die Zellenspannungen und Gasreinheiten mit den neuen Diaphragmen den gestellten Anforderungen entsprechen, so dass insgesamt der Ersatz der Asbest-haltigen Membranen als erfolgreich verlaufen ist. Als letzter Schritt vor einem kommerziellen Einsatz müssen die neuen Membranen noch auf der 1:1-Skala in einem 6-Zellen-Elektrolyseur getestet werden.

Solarthermische Produktion von Wasserstoff und Synthesegas

Mittels der Umwandlung von konzentrierter Solarstrahlung in chemische Energieträger kann solare Energie langfristig gespeichert und über weite Distanzen transportiert werden. Das Labor für Erneuerbare Energieträger am Energietechnologie-Institut der ETH Zürich [5] zusammen mit dem Labor für Solartechnik (STL) des Paul Scherrer Instituts (PSI) erforscht und entwickelt dazu verschiedene thermochemische Prozesse zur Herstellung solarer Treibstoffe («solar fuels»). In Zentrum stehen dabei die Aufspaltung von Wasser (und CO₂) in thermochemischen Kreisprozesse mittels Metalloxid-Redox-Systemen in Wasserstoff (und

Kohlenmonoxid) sowie die solarthermische Vergasung sowohl von fossilen Energieträgern als auch von biologischen Abfällen.

Im Berichtsjahr wurde im Rahmen eines KTI-Projekts ein an der ETH Zürich und am PSI entwickelter 250 kW-Solarreaktor zur Vergasung von verschiedensten organischen Abfällen erfolgreich in einer Pilotanlage an der «Plataforma Solar de Almeria» (PSA) getestet. Dabei wurden bei Temperaturen 1'200 °C organische Substanzen wie Abfälle aus der Zuckerfabrikation, Holzschnitzel oder Getreidespreu zusammen mit Wasserdampf vergast und zu einem Gemisch aus Wasserstoff und

Kohlenmonoxid (Synthesegas) umgewandelt. Über die Fischer-Tropsch-Synthese kann Synthesegas weiter in flüssige Treibstoffe (Kerosin, Benzin) umgewandelt werden. Der Einsatz konzentrierter Sonnenenergie erlaubt es, die für die Umwandlungsprozesse notwendige Energie bereitzustellen, ohne dass diese der Biomasse entnommen wird [6].

Im Bereich der solarthermischen Wasserstoffproduktion über die Nutzung von Metalloxid-Redox-Systemen wurden im Berichtsjahr in einem langfristigen Projekt des Labors für Solartechnik zur thermischen Dissoziation von Zinkoxid zu Zink und Sauerstoff erst-



Figur 5: Konzentrierende Solaranlage des CNRS-Labors in Odeillo, Frankreich (1-MW-Solar furnace).

mals ein 100 kW-Reaktor am 1 MW-Solarofen in Odeillo (CNRS Frankreich) getestet, wo wichtige operative Erfahrungen gesammelt werden. Das Testen eines solarthermischen Redox-Zyklus auf diesem vor-industriellen Massstab ist weltweit einzigartig. Ziel des Projekts, welches in einer zweiten Messkampagne 2012 erreicht werden soll, sind reproduzierbare Experimente zur solaren Zinkherstellung mit Wirkungsgrad über 15 %. In einem parallel durchgeführten Laborprojekt an der ETH Zürich wird der nich-solare exothermische Prozess zur Gewinnung

von Wasserstoff aus dem solar hergestellten Zink untersucht.

Grosse Aufmerksamkeit erregten neue Forschungsergebnisse eines neuartigen Metalloxid-Redox-Systems. Hier konnte demonstriert werden, dass durch zyklisch ablaufende Oxidation und Reduktion von Ceriumoxid (CeO_2) in einem einzigen relativ einfach gebauten Solarreaktor Wasser und/oder Kohlendioxid in Wasserstoff und Syngas umgewandelt werden kann [7]. Die thermodynamischen Materialeigenschaften von CeO_2 würden theoretisch Umwandlungseffizienzen von 16–

19 % zulassen. Die Weiterentwicklung des auf Ceriumoxid basierenden Zyklus wird weitergeführt in einem grösseren EU-Projekt (SOLAR-JET), wo mit Integration der Fischer-Tropsch-Synthese der ganze Umwandlungskette von konzentrierter Solarstrahlung bis zu synthetischem Kerosin aufgezeigt werden soll.

Pilot- und Demonstrationsprojekte

Im Bereich Umsetzung nahm 2011 die Anzahl verschiedener Pilot- und Demonstrationsprojekte erfreulicherweise zu, dies nicht zu letzt durch Beteiligung von Schweizer Forschungsinstitutionen und Industrieunternehmen an grösseren europäischen Projekten im Rahmen des Joint Undertaking Fuel Cell and Hydrogen. So startete im Berichtsjahr der Aufbau einer ersten Schweizer Wasserstofftankstelle für Busse in Brugg, welche im Frühjahr 2012 in Betrieb genommen wird (siehe Überblicksbericht Brennstoffzellen).

FITUP – Feldversuch zur unterbrechungsfreien Stromversorgung mit Wasserstoff und Brennstoffzellen

Unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlagen (USV) gelten allgemein als ideale Einsatzoptionen für Brennstoffzellensysteme und Wasserstoff. Vorteile gegenüber konventionellen Systemen liegen insbesondere im geringen Wartungsaufwand, sowie in einem modularen Aufbau, und einer flexiblen Autonomiezeit, welche durch

die Menge an bereitgestelltem Wasserstoff bestimmt wird. Ein grosser europäischer Feldversuch (FITUP) [8], welcher durch die langjährigen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an der Hochschule Luzern mitinitiiert wurde, soll helfen, die Markteinführung solcher Systeme zu erleichtern. Dazu werden in diesem Projekt Feldversuche an rund 20 verschiedenen Standorten durchgeführt, um die Technologiereife bei unterschiedlichsten Bedingungen zu demonstrieren. Konkrete Projektziele sind eine Verfügbarkeit grösser als 95 %, funktionierende Systeme für mehr als 1'500 Betriebsstunden und mehr als 1'000 Start-Stop-Zyklen.

In der Schweiz konnten acht verschiedene Pilot-Standorte gefunden werden (drei bei Swisscom, zwei jeweils bei den Kantonspolizeien Nidwalden und Luzern, sowie eine bei der Kantonspolizei Bern), wo USV für Mobil und Polizei-Funk-Antennen eingesetzt werden. Der Standort bei der Kantonspolizei Bern wird über das Bundesamt für Energie co-finanziert. Hier kommt eine USV-Anlage von Benning Schweiz zum Einsatz. Die Feldtests laufen über mehrere Jahre und ein Teil der Schweizer Anlagen wird in den Aufbau des Sicherheitsfunknetzes POLYCOM [9] integriert. Hier bietet sich in den kommenden Jahren ein erster Pilotmarkt in der Schweiz für solche Anlagen an.



Figur 6: (Links) Integration eines kommerziellen Brennstoffzellensystems (T2000 von ReLion) in ein System zur unterbrechungsfreien Stromversorgung (UPS, Benning) (HTA Luzern). Die Leistung der Anlage liegt bei 2 bis 4 kW mit einer Autonomiezeit von bis zu 48 Stunden. (Rechts) Einsatz des UPS-Systems in einer Antennenanlage des Kantonspolizei Bern für das Sicherheitsfunknetz POLYCOM..

Nationale Zusammenarbeit

Auch im Berichtsjahr wurde die nationale Zusammenarbeit zwischen Projektnehmern weiter gepflegt. In vom BFE unterstützten Projekten bestehen verschiedene Arbeitsnetzwerke, so zum Beispiel bei der solaren Wasserstoffproduktion mittels Photoelektrochemie (PEChouse, <http://pechouse.epfl.ch>). Das von der Empa organisierte internationale Symposium Hydrogen and Energy fand zum sechsten mal statt, welches sich als Informationsplattform für Themen aus der Grundlagenforschung und der Technologie im Bereich Wasserstoff etabliert hat.

Auf Programmebene konnte die Zusammenarbeit mit verschiedenen Förderinstitutionen weiter ausgebaut werden, dies insbesondere mit Swisselectric Research, 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. Hier wirken sich die geringeren zur Verfügung stehenden Mittel, insbesondere im Bereich Forschung und Entwicklung, negativ aus.

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

Internationale Zusammenarbeit

Das Wasserstoffprogramm (HIA) der IEA (www.ieahia.org) bildet neben der International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (IPHE) die Hauptplattform der internationalen, vorkommerziellen Forschungszusammenarbeit im Bereich Wasserstoff. Es ist dies eines der ältesten laufenden Implementing Agreements der IEA. Die Schweiz beteiligt sich seit 1977 daran. Neben der Vertretung im Executive Committee durch das BFE sind Schweizer Akteure aktiv in verschiedensten Tasks. So wirkt die Empa im Task «Hydrogen Safety» mit und das PSI vertritt die Schweiz im Task «High Temperature Production of Hydrogen». Der «Wind Energy and Hydrogen Integration» wurde 2011 erfolgreich abgeschlossen. Hier hatte die Schweiz durch die Beteiligung eines industriellen Partners (Industrie Haute Technologie SA) einen zentralen Beitrag, indem dieser einen alkalischen Hochdruckelektrolyseur zu Testzwecken lieferte, welcher sich besonders gut für den Betrieb mit fluktuierenden Quellen wie Photovoltaik und Wind eignet. Das in diesem Task gebildete Konsortium arbeitet weiter zusammen in einem neuen EU-Projekt (ELYGRID). Schliesslich vertritt die EPFL die Schweiz im Forschungstask «WaterPhotolysis». Die EPFL ist hier mit ihrer Koordinationsfunktion im Bereich der Oxid-basierten Photoelectrolyse in Europa ein zentraler Partner.

Weiter ist die Schweiz Mitglied in der European Hydrogen Association EHA (www.h2euro.org), welche insbesondere durch die Publikationen von Strategiepapieren und Newslettern zum Thema Wasserstoff aktiv ist.

Verschiedenste Wasserstoffprojekte werden durch die EU-Forschungsrahmenprogramme unterstützt. Speziell im Forschungsprojekt NanoPEC (<http://nanopec.epfl.ch>) koordinierte die EPFL als Leading House die in Europa laufende Forschung im Bereich der Hämatit-basierten PEC-Forschung.

Verschiedenste Schweizer Akteure beteiligen sich aktiv an dem seit 2008 laufenden Programms Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU). Hauptthemen sind Grossdemonstrationsprojekte im Mobilitätsbereich inklusive Wasserstofflogistik. In der Industriegruppe des FCH JU mit 58 Firmen sind die Schweizer Firmen Hexis und HTceramix (SOFC Power) als Mitglieder dabei. Im European Research Grouping (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.

Referenzen

[1] NEMO-Netzwerk kWK-EWE (www.windwasserstoff.de); Wind-Hydrogen System for Providing Balancing Power (www.hywindbalance.de)

[2] M. Sterner, M. Jentsch, und U. Holzhammer: *Energie-wirtschaftliche und ökologische Bewertung eines Wind-gas-Angebotes*, Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (2011) (michaelwenzl.de/wiki/_media/ee:greenpeace_energy_gutachten_windgas_fraunhofer_sterner.pdf).

[3] T. Smolinka, M. Günther und J. Garcke, *Stand und Entwicklungspotenzial der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen Energien*, Fraunhofer ISE/FCBAT (2011) (www.now-gmbh.de/fileadmin/user_upload/RE-Mediathek/RE_Publikationen_NOW/NOW-Studie-Wasserelektrolyse-2011.pdf).

[4] <http://www.fch-ju.eu>.

[5] <http://www.pre.ethz.ch/>.

[6] N. Piatkowski, C. Wieckert, A.W. Weimer and A. Stein-feld, *Solar-driven gasification of carbonaceous feedstock—a review*, *Energy Environ. Sci.* 4, p.73 (2011).

[7] W. C. Chueh et al., «High-Flux Solar-Driven Thermochemical Dissociation of CO₂ and H₂O Using Nonstoichiometric Ceria», *Science* 330, 1791 (2010).

[8] <http://www.fitup-project.eu>.

[9] POLYCOM - Sicherheitsnetz Funk der Schweiz (www.polycom.admin.ch).

Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(* IEA-Klassifikation)

- MOBYPOST – MOBILITY WITH HYDROGEN FOR POSTAL DELIVERY**

Lead: MES SA

Contact: Roberto Bianchi bianchir@mes-dea.ch

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.

R+D 5.1*

Funding: EU-FP7

Period: 2011-2014
- ADEL – ADVANCED ELECTROLYSER FOR HYDROGEN PRODUCTION WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES**

Lead: HTcermix, EMPA

Contact: Olivier Bucheli olivier.bucheli@htcermix.ch

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.

R+D 5.1.1

Funding: EU-FP7

Period: 2011-2014
- NMAE-PILOT – BUILD UP OF A PILOT- AND DEMONSTRATION ELECTROLYZER FOR TESTING ADVANCED ION-SELECTIVE MEMBRANES (PILOT-NMAE)**

Lead: EMPA

Contact: Uli Vogt uli.vogt@empa.ch

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.

P+D 5.1.1

Funding: BFE / SER

Period: 2010-2012
- DÉVELOPPEMENT D'UN ÉLECTROLYSEUR À HAUTE PRESSION**

Lead: EIA-FR

Contact: Thierry Chappuis Thierry.Chappuis@hefr.ch

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.

R+D 5.1.1

Funding: BFE

Period: 2009-2012
- SOLARH2 – EUROPEAN SOLAR-FUEL INITIATIVE - RENEWABLE HYDROGEN FROM SUN AND WATER**

Lead: UNIGE

Contact: Jean-david Rochaix Jean-David.Rochaix@unige.ch

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.

R+D 5.1.1

Funding: EU-FP7

Period: 2008-2012
- HYCYCLES – MATERIALS AND COMPONENTS FOR HYDROGEN PRODUCTION BY SULPHUR BASED THERMOCHEMICAL CYCLES**

Lead: PSI / ETHZ

Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch

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.

R+D 5.1.1

Funding: EU-FP7

Period: 2008-2011
- METAL-OXIDE NANOPARTICLES AND FILMS FOR SOLAR PHOTO-ELECTROCHEMICAL HYDROGEN FUEL PRODUCTION**

Lead: EMPA

Contact: Braun Artur artur.braun@empa.ch

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.

R+D 5.1.1

Funding: BFE

Period: 2008-2012

● **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.

● **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 CO ₂ emissions derived from the conventional fossil-fuel-based method. The cost of hydrogen is estimated at 0.05 EUR/kWh (LHV-H ₂). 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:	2007-2011
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.		

● **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) with extraordinary performance as compared to traditional porous solids such as zeolites and activated carbon. NanoMOF will focus beyond discovery and integrate MOFs into products with industrial impact within a strong cooperation of established MOF research institutions and industrial end users.		

● **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 GENERIC tool that would only use process values (normal measurements and system control input parameters) and that would be based on a validated diagnostic algorithm.		

● **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 H ₂ , 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.		

● **MOLECULAR CATALYSTS MADE OF EARTH-ABUNDANT ELEMENTS FOR ENERGY AND SUSTAINABILITY**

R+D 5.1.1

Lead:	EPFL	Funding:	EU-FP7
Contact:	Luciana Vaccaro luciana.vaccaro@epfl.ch	Period:	2011
Abstract:	Catalysis is an indispensable component for many potential solutions, and fundamental research in catalysis is as urgent as ever. Here, we propose to build up an interdisciplinary research program in molecular catalysis to address the challenges of energy and sustainability. There are two specific aims: (I) bio-inspired sulfur-rich metal complexes as efficient and practical electro-catalysts for hydrogen production and CO ₂ reduction; (II) well-defined Fe complexes of chelating pincer ligands for chemo- and stereo-selective organic synthesis.		

● **HYTECH/PECHOUSE2**

R+D 5.1.1

Lead:	EPFL	Funding:	BFE
Contact:	Massimiliano Capezzali PECHouse@epfl.ch	Period:	2011-2014
Abstract:	The HyTech project is focused on the realization of breakthroughs and advancing innovative technologies in the field of sustainable H ₂ utilization. These developments will have a large impact on future H ₂ energy systems. To maximize the efficacy of our efforts, both the disciplines of solar H ₂ production and H ₂ storage will be engaged by employing the top experts in each field from Switzerland, and by pursuing pioneering approaches.		

● **HYTECH (SUSTAINABLE HYDROGEN TECHNOLOGIES)**

R+D 5.1.1

Lead:	EPFL	Funding:	SER / CCEM
Contact:	Massimiliano Capezzali PECHouse@epfl.ch	Period:	2011-2014
Abstract:	The HyTech project is focused on the realization of breakthroughs and advancing innovative technologies in the field of sustainable H ₂ utilization. These developments will have a large impact on future H ₂ energy systems. To maximize the efficacy of our efforts, both the disciplines of solar H ₂ production and H ₂ storage will be engaged by employing the top experts in each field from Switzerland, and by pursuing pioneering approaches.		

● **PECHOUSE 2 – PHOTOELECTROCHEMICAL WATERSPLITTING FOR SOLAR PRODUCTION OF HYDROGEN**

R+D 5.1.1

Lead:	EPFL	Funding:	BFE
Contact:	Kevin Sivula PECHouse@epfl.ch	Period:	2007-2011
Abstract:	Photoelectrochemical cells (PEC directly split water into H ₂ and O ₂ 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)		

● **SOLAR LIQUID FUELS FROM H₂O AND CO₂**

R+D 5.1.1

Lead:	ETHZ	Funding:	BFE
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2011-2014
Abstract:	A two-step solar thermochemical cycle for producing syngas from H ₂ O and CO ₂ via Zn/ZnO redox reactions is considered. The second, non-solar, exothermic step is the reaction of Zn with mixtures of H ₂ O and CO ₂ yielding high-quality syngas and ZnO. Syngas is further processed to liquid fuels via Fischer-Tropsch or other catalytic reforming processes. This research project is aimed at optimizing and scaling-up the chemical reactor technology for the 2nd step of the cycle.		

● **SOLAR-JET - SOLAR CHEMICAL REACTOR DEMONSTRATION AND OPTIMIZATION FOR LONG-TERM AVAILABILITY OF RENEWABLE JET FUEL**

R+D 5.1.1

Lead:	ETHZ	Funding:	EU-FP7
Contact:	Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch	Period:	2011-2015
Abstract:	The aim of the SOLAR-JET project is to demonstrate a carbon-neutral path for producing aviation fuel, compatible with current infrastructure, in an economically viable way. The SOLAR-JET project will demonstrate on a laboratory-scale a process that combines concentrated sunlight with CO ₂ captured from air and H ₂ O to produce kerosene by coupling a two-step solar thermochemical cycle based on non-stoichiometric ceria redox reactions with the Fischer-Tropsch process.		

● **IDEALHY (INTEGRATED DESIGN FOR DEMONSTRATION OF EFFICIENT LIQUEFACTION OF HYDROGEN)**

P+D 5.1.1

Lead:	WEKA AG	Funding:	EU-FP7 / BFE
Contact:	Michael Börsch m.boersch@weka-ag.ch	Period:	2011-2014
Abstract:	Das Projekt IDEALHY untersucht, entwickelt und skaliert Prozess-Daten und Modelle und führt zu einem generischen Prozess-Design. Dieses Design soll den strategischen Plan unterstützen, die Wasserstoff-Verflüssigung in großem Maßstab von 30-50t / Tag in einer Anlage zu demonstrieren. Dabei entspricht die Menge einer etwa 20-fachen Erhöhung im Vergleich zu bestehenden oder geplanten Wasserstoff-Verflüssigungsanlagen..		

- **PRODUCTION OF ULTRA-PURE HYDROGEN FROM WOODY BIOMASS USING A MODIFIED CHEMICAL LOOPING PROCESS** R+D 5.1.1
- | | | | |
|----------|--------------------------------------|----------|-----------|
| Lead: | ETHZ | Funding: | BFE |
| Contact: | Müller Christoph
muelchri@ethz.ch | Period: | 2011-2014 |
- Abstract: The proposal is concerned with a novel method for the production of hydrogen from woody biomass which is of sufficient purity to be used directly in PEM fuel cells without substantial gas clean-up, using a modified chemical looping combustion process.
- **ACH – ADVANCED COMPLEX HYDRIDES** R+D 5.1.2
- | | | | |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead: | EMPA | Funding: | BFE |
| Contact: | Andreas Züttel
andreas.züttel@empa.ch | Period: | 2010-2014 |
- Abstract: The goal of the project is to explore all simple and binary complex borohydrides by means of the empirical model in order to identify interesting compounds for hydrogen storage which are less stable than required. Furthermore, a special focus will be on compounds which are liquids at room temperature. 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.
- **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: | 2006-2011 |
- 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.mcrt-hydrogen.eu).
- **HY-FORM 1 : PRODUCTION ET OPÉRATION D'UN NOUVEAU SYSTÈME DE GÉNÉRATION D'HYDROGÈNE DÉCENTRALISÉ** P+D 5.1.2
- | | | | |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead: | Granit SA | Funding: | BFE |
| Contact: | Maurice Jutz
Maurice.jutz@granit.net | Period: | 2010-2012 |
- Abstract: In diesem Pilotprojekt geht es allgemein darum, aufzuzeigen, wie ein bestehendes Wasserstofflogistiksystem für industrielle Anwendungen durch ein einfacheres und sicheres, ökonomisch wie ökologisch effizienteres System ersetzt werden könnte. Hierzu wird eine vorindustrielle Pilotanlage zur Vor-Ort- Produktion von Wasserstoff ausgehend von Formylsäure aufgebaut, an der die diversen Aspekte wie energetische, wirtschaftliche und Umwelt-Bilanz einer solchen Anlage für künftige Kunden demonstriert werden sollen.
- **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.
- **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 / SCHWEIZER WASSERSTOFFTANKSTELLE**

Lead: **Postauto AG**

Contact: **Werner Blatter** werner.blatter@postauto.ch

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.

P+D 5.1.5

Funding: **EU-FP7 / BFE**

Period: **2010-2016**

- H2-IGCC – LOW EMISSION GAS TURBINE TECHNOLOGY FOR HYDROGEN-RICH SYNGAS**

Lead: **PSI Paul Scherrer Institut**

Contact: **Irene Walther** irene.walther@psi.ch

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.

R+D 5.1.5

Funding: **EU-FP7**

Period: **2009-2013**

- HYDROGEN DETECTORS AND SENSORS FOR PEM FUEL CELL AND ELECTROLYSER SYSTEMS**

Lead: **UNIGE**

Contact: **Klaus Yvon** klaus.yvon@unige.ch

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

R+D 5.1.5

Funding: **KTI**

Period: **2010-2013**

- NEXTHYLIGHTS – SUPPORTING ACTION TO PREPARE LARGE-SCALE HYDROGEN VEHICLE DEMONSTRATION IN EUROPE**

Lead: **Bucher-Guyer AG**

Contact: **Alex Koch** alex.koch@bucherguyer.ch

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).

R+D 5.1.5

Funding: **EU-FP7**

Period: **2009-2010**

- SELF – NACHHALTIGE H2-SYNTHESE UND SPEICHERUNG FÜR EINE AUTARKE ENERGIEVERSORGUNG**

Lead: **EMPA**

Contact: **Uli Vogt** uli.vogt@empa.ch

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 H2 als Energieträger demonstriert (www.empa.ch/self).

P+D 5.1.5

Funding: **EMPA**

Period: **2009-2010**

- PRODUCTION DE CHALEUR PAR LE BIAIS D'UNE CHAUDIÈRE À HYDROGÈNE**

Lead: **Pictet & Cie**

Contact: **Jean-Hugues Hoarau** jhoarau@pictet.com

Abstract: Es soll aufgezeigt werden, wie ein Teil des Sanitärwassers im Administrationsgebäude von Pictet & Cie in Genf erneuerbar bereitgestellt werden kann. Hierzu soll Überschussstrom einer haus eigenen PV-Anlage zur Produktion von Wasserstoff genutzt werden, welcher in einem neuartigen katalytischen Brenner eingesetzt wird. Ziele des Projektes sind das Aufzeigen von Speicheroptionen für dezentrale Produktion mit Erneuerbaren, insbesondere langfristige oder saisonale.

P+D 5.1.5

Funding: **BFE**

Period: **2011-2014**

- ELYGRID - HIGH PRESSURE ALKALINE ELECTROLYSERS FOR ELECTRICITY/H2 PRODUCTION FROM RENEWABLE ENERGIES**

Lead: **EMPA / IHT**

Contact: **Uli Vogt** uli.vogt@empa.ch

Abstract: The project aims to reduce the total cost of hydrogen production via electrolysis coupled to renewable energy sources, mainly wind. It is focusing on megawatt-scale electrolyzers (>0.5 MW) and current objectives are to improve system efficiency by 20% (10% stack and 10% electrical conversion) and to reduce costs by 25%. The work will be divided into three parts: cell improvements, power electronics, and balance of plant (BOP). Two scalable prototype electrolyzers will be tested.

R+D 5.1.5

Funding: **EMPA**

Period: **2011-2014**

● **IEA HYDROGEN IMPLEMENTING AGREEMENT (IEA-HIA)**

R+D 5.1

Lead:	BFE	Funding:	BFE
Contact:	Stefan Oberholzer stefan.oberholzer@bfe.admin.ch	Period:	2011
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 HYDROGEN SAFETY**

R+D 5.1

Lead:	EMPA	Funding:	BFE
Contact:	Michael Biemann michael.biemann@empa.ch	Period:	2011
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.		

● **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 (http://task24.hydrogenaragon.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 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 FUNDAMENTAL AND APPLIED HYDROGEN STORAGE MATERIALS DEVELOPMENT**

R+D 5.1.2

Lead:	EMPA	Funding:	BFE
Contact:	Andreas Züttel andreas.zuttel@empa.ch	Period:	2011
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.		

