

Überblicksbericht 2012

# Forschungsprogramm Wasserstoff



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE  
Office fédéral de l'énergie OFEN

**Titelbild:****Hy-Boat – Wasserstoffboot der HEIG-VD**

Als vollständig kohlenstofffreier Energieträger ist Wasserstoff prädestiniert für den Einsatz als Treibstoff zur Reduktion der mobilitätsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Neben der Herausforderung, Wasserstoff effizient aus erneuerbaren Energiequellen zu produzieren, ist dessen Speicherung weiterhin ein aktuelles Forschungsthema. Formalinsäure (Ameisensäure) stellt eine Möglichkeit dar, Wasserstoff in Form einer einfach zu handhabenden und sicheren Verbindung zu speichern mit einer volumetrischen Dichte, die rund doppelt so hoch ist, wie bei Druckwasserstoff von 350 bar. In einer Zusammenarbeit zwischen der EPFL, der Fachhochschule Yverdon und der Firma Granit SA wurde ein katalytischer Pilotreaktor zur Umwandlung von Ameisensäure in Wasserstoff zusammen mit einer Brennstoffzelle als Antriebssystem in ein Experimentalboot integriert (Quelle: HEIG-VD, Granit SA).

**BFE Forschungsprogramm Wasserstoff**

Überblicksbericht 2012

**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

Als sekundärer Energieträger kann Wasserstoff (H<sub>2</sub>) aus verschiedensten Primärquellen erzeugt werden. Auf Grund der vollständigen Abwesenheit von Kohlenstoff erfolgt die weitere Energieumwandlungskette vollständig emissionsfrei, umweltverträglich und mit einem hohen Anteil an Exergie. Eine auf erneuerbaren Quellen basierte Produktionskette erlaubt damit eine vollständig nachhaltige Umwandlungskette – analog zum Einsatz von Elektrizität.

Der Einsatz von Wasserstoff als Treibstoff insbesondere im Strassenverkehr wird massiv vorangetrieben. Allgemein befindet sich die Automobilindustrie im Übergang von einem direkten Antrieb über einen Verbrennungsmotor zu einem rein elektrischen Antrieb. Die weltweit grössten Autohersteller sind sich darin einig, dass Wasserstoff in Verbindung mit einem brennstoffzellenelektrischen Antrieb es erlaubt, grosse Mengen an Elektrizität aus erneuerbaren Quellen in der individuellen Mobilität einzusetzen, ohne dass dabei Einschränkungen für den Nutzer entstehen, verglichen mit konventionellen Technologien. Da insbesondere grössere, leistungsstarke Personewagen mit bis zu drei Viertel zur totalen Fahrleistung (und daher zum Verbrauch bzw. den Emissionen) beitragen, besteht hier ein enormes Potenzial zur Reduktion der verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Um die Markteinführung voranzutreiben bildeten sich im Berichtsjahr unter verschiedenen Herstellern zum Teil neue Allianzen, so zum Beispiel zwischen Toyota und BMW oder zwischen Daimler, Ford und Nissan. In diesem Zusammenhang hat Daimler seine für das Jahr 2014 vorgesehene Einführung der B-Klasse F-CELL zurückgestellt.

Insbesondere in Deutschland wird das notwendige Infrastrukturnetz für Wasserstoff-Fahrzeuge in den nächsten Jahren stark ausgebaut werden. Das bestehende Netz von derzeit 15 öffentlich zugänglichen H<sub>2</sub>-Tankstellen soll bis 2015 auf mindestens 50 ausgebaut werden [1]. Hierzu wurde eine Absichtserklärung zwischen dem Bundesverkehrsministerium und Air Liquide, Air Products, Daimler, Linde und Total Deutschland unterzeichnet. Bis 2015 sollen mindestens 5'000 Fahrzeuge im Betrieb sein für eine ausgedehnte marktrelevante Erprobung der Tankstelleninfrastruktur.

In der Schweiz wurden 2012 zwei erste H<sub>2</sub>-Tankstellen eröffnet: im Mai die Tankstelle in Brugg bei PostAuto Schweiz AG ([www.postauto.ch](http://www.postauto.ch)) im Zusammenhang mit dem Demonstrationsprojekt CHIC zum Einsatz von Brennstoffzellenbussen (<http://chic-project.eu>), und Ende Jahr eine weitere auf dem Firmengelände von Belenos Clean Power Holding Ltd. ([www.belenoscleanpower.com](http://www.belenoscleanpower.com)). Es gibt erste Gespräche und Untersuchungen, wie auch in der Schweiz eine Mindestinfrastruktur für den künftigen Einsatz von Wasserstoff-Fahrzeugen vorangetrieben werden kann.

Im Zusammenhang mit der Diskussion rund um die Netzintegration von Windstrom – und im geringeren Ausmass auch Solarstrom – kommt Wasserstoff eine immer grössere Bedeutung als Speichermedium zu. Europaweit sind verschiedene Pilotanlagen zur Erprobung von «Power-to-Gas»-Konzepten in Betrieb oder in Planung, so beispielsweise das Hybridkraftwerk von Enertrag ([www.enertrag.com](http://www.enertrag.com)) in Mecklenburg-Vorpommern oder die im Jahr 2012 von

AREVA in Betrieb genommene Anlage «MYRTE Mission hYdrogen & Renewable for the inTegration on the Electrical grid» auf Korsika zur dezentralen Speicherung von Solarstrom (<http://myrte.univ-corse>). Während die kurzfristige Glättung von Produktionsspitzen durch etablierte Technologien wie Batteriespeicher möglich sein wird, bildet die Verlagerung von Produktionsmaxima zwischen verschiedenen saisonalen Zeiträumen eine grosse Herausforderung. In diesem Zusammenhang wird auch über die Einspeisung von Wasserstoff ins Erdgasnetz und die Methanisierung diskutiert, wobei hier die Energie weniger effizient genutzt wird im Vergleich zum Einsatz von reinem Wasserstoff kombiniert mit Brennstoffzellen.

Schweizer Forschungsinstitutionen arbeiten an verschiedensten Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Einsatz von Wasserstoff als Energieträger mit. Dabei sind viele Projekte international eingebettet, dies insbesondere im Joint Undertaking for Fuel Cell and Hydrogen FCH-JU [2] der europäischen Union, dessen Nachfolgeprogramm sich für die Zeit nach 2013 in Planung befindet. In dem vorliegenden Bericht werden die herausragendsten Resultate 2012 aus Forschung und Entwicklung in diesem Bereich vorgestellt.

IEA Klassifikation: 5.1 Hydrogen, 5.2 Fuel Cells

Schweizer Klassifikation: 2.2 Wasserstoff

## Programmschwerpunkte

Die Schwerpunkte des Forschungsprogramms *Wasserstoff* liegen in der materialorientierten Grundlagenforschung, in der Systementwicklung, sowie in der Demonstration und Erprobung in Pilotprojekten [3, 4].

**Nachhaltige Wasserstoffproduktion:** Die Erforschung neuer Materialien, welche für die photoelektrochemische (PEC) Produktion von Wasserstoff in Frage kommen, ist ein zentrales Thema des Programms. Dabei wird insbesondere die Weiterentwicklung von nanostrukturierten Photoanoden auf der Basis von Eisenoxid (Hämatit) vorangetrieben. Forschungsprojekte hierzu laufen an der École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), der Empa und der Universität Basel.

Die solarthermische Produktion von Wasserstoff und Synthesegas («Solar fuels») bildet einen zweiten Schwerpunkt. Hier werden am Paul Scherrer Institut (PSI) sowie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ) verschiedene thermochemische Prozesse studiert, bei denen konzentrierte Solarwärme als Energiequelle eingesetzt wird.

Ein weiterer Themenbereich bildet die effiziente Hochdruckelektrolyse zur Umwandlung von Strom in Wasserstoff. Die Entwicklung alkalischer Hochdruckelektrolyseure im hohen Leistungsbereich hat

in der Schweiz eine lange Tradition. Die Forschungsaktivitäten konzentrieren sich auf die Kombination solcher Anlagen mit erneuerbaren Quellen wie Wind, sowie auf die Entwicklung neuer Membranmaterialien. Weiter werden hier auch gänzlich neue Ansätze für die Elektrolyse bei sehr hohen Drücken erforscht.

**Effiziente Wasserstoffspeicherung:** Den Schwerpunkt in diesem Teilbereich bilden komplexe Metallhydride, welche als Festkörper Wasserstoff in ihrem Kristallgefüge speichern können. Im Mittelpunkt stehen verschiedene Boronatverbindungen, welche sich durch eine besonders hohe Speicherdichte auszeichnen. Weiter wird in diesem Bereich die Speicherung von Wasserstoff in Form von Kohlenwasserstoff-Verbindungen wie Formalinsäure ( $\text{CH}_2\text{O}_2$ ) studiert. Die Attraktivität solcher Speicherformen liegt in der leichteren Handhabbarkeit solcher Stoffe (Flüssigkeiten) sowie in den Kombinationsmöglichkeiten mit «Carbon Capture and Storage»-Technologien.

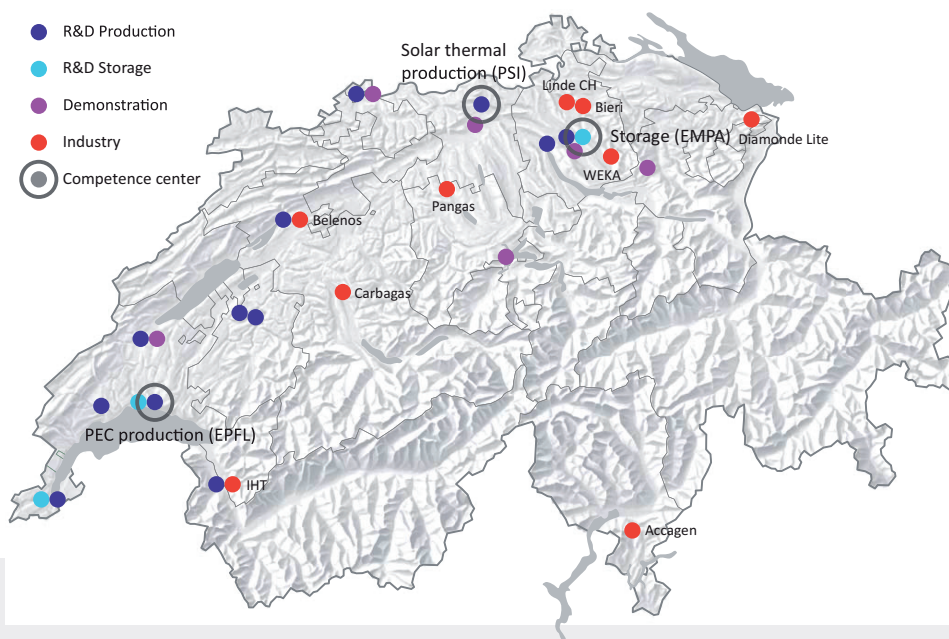
### Rückblick und Bewertung 2012

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

Im Bereich der photoelektrochemischen Wasserstofferzeugung wurden die Aktivitäten an der EPFL durch ein neues BFE-Projekt weitergeführt. Hieraus und auf Grund von Resultaten aus dem Vorgängerprojekt wurden im Jahr 2012 eine Reihe von Arbeiten höchster wissenschaftlicher Exzellenz in renommierten Zeitschriften publiziert.

### Ausblick 2013

Im Jahr 2013 sind insbesondere im Bereich Pilot- und Demonstrationsprojekte weitere Initiativen geplant. So haben die SBB zusammen mit Elvetino signalisiert, den Einsatz des über mehreren Jahren entwickelten Brennstoffzellensystems für die Versorgung einer Minibar in grossem Umfang vorzusehen. Im Mobilitätsbereich sind weitere Aktivitäten vorgesehen zur Vorbereitung des Einsatzes von Wasserstoff-Fahrzeugen in der Schweiz, aufbauend auf dem Brennstoffzellenbusprojekt in Brugg. Im Bereich Forschung werden Projekte zur solarthermischen Produktion von Wasserstoff und Synthesegas neu lanciert, sowie neue Ansätze, beispielsweise zur mikrobiellen Produktion von Wasserstoff und Ethanol verfolgt werden.



## Highlights aus Forschung und Entwicklung

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

### Solare Wasserstoffproduktion

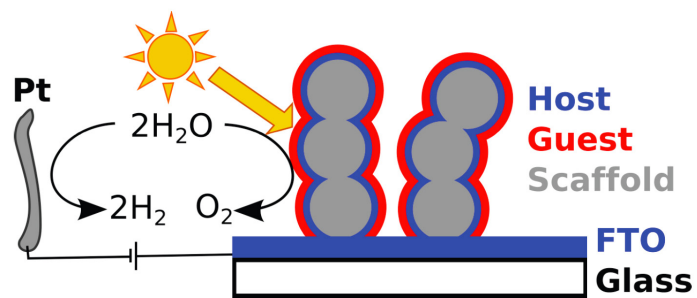
Die Gewinnung von Wasserstoff kann über verschiedenste Prozesse laufen, beispielsweise über thermische, elektrolytische oder photolytische. Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit sind insbesondere solar-thermische Verfahren mit konzentrierter Solarenergie, die Elektrolyse mit dem Einsatz von Strom aus erneuerbaren Quellen und die Photoelektrolyse (PEC) interessant. In letzterem Prozess wird die Energie des Sonnenlichts zur Aufspaltung von Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff genutzt.

Am Kompetenzzentrum *PEChouse* ([pechouse.epfl.ch](http://pechouse.epfl.ch)) an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) wird in Zusammenarbeit mit weiteren

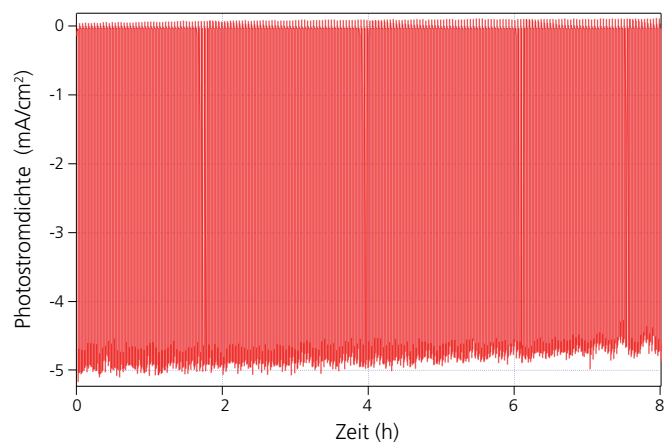
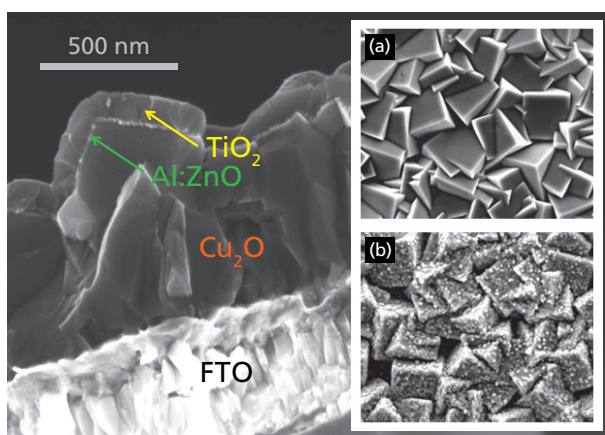
nationalen und internationalen Institutionen an der Entwicklung von photoelektrochemischen Zellen zur Wasserspaltung gearbeitet. Die Attraktivität dieser Methode liegt in der direkten Umwandlung und Speicherung der Energie des Sonnenlichts in Wasserstoff, wobei die Komplexität der auf PEC basierenden Wasserspaltung sehr hoch ist. So müssen die photoaktiven Elemente in PEC-Zellen eine Spannung liefern, welche oberhalb des elektrochemischen Potentials für die Wasserspaltung (1,23 V) in Sauerstoff und Wasserstoff liegt. Gleichzeitig sollen die Zellen eine hohe Photon-

Umwandlungseffizienz (IPCE) aufweisen (hoher Photostrom), die eingesetzten Materialien und die Herstellung dürfen nicht zu kostenintensiv sein, und schliesslich muss eine Langzeitstabilität (Korrosionsbeständigkeit) der PEC-Zellen gewährleistet sein. Die EPFL und ihre Projektpartner konzentrieren sich auf PEC-Zellen auf Basis von Hämatit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) als Photoanodenmaterial.

Aufbauend auf dem Vorgängerprojekt konnten hier im Berichtsjahr weitere grosse Fortschritte erzielt werden. Eine grosse Herausforderung zur Erhöhung der Solar-zu-Wasserstoff-Effizienz auf



Figur 1: Photoelektrochemische Zelle zur Umwandlung von solarer zu chemischer Energie (Wasserstoff). In einem «host-guest»-Ansatz wird versucht, die optische Absorption (Guest-Material) vom Ladungstransport (Host-Material) zu entkoppeln. Im Berichtsjahr wurde an der EPFL ein leitendes und transparentes Oxid (TCO) auf Basis von Niobium-dotiertem Zinn entwickelt, welches einen neuen Rekord für die Umwandlungseffizienz von Solar-zu-Wasserstoff für dieses Materialsystem ermöglichte (Quelle: EPFL, [5]).



Figur 2: Links: Querschnittsaufnahme (Rasterelektronenmikroskop-Bild) einer Kupferoxid-Photoanode, welche mit einer 20 nm dicken Al-dotierten ZnO- und einer 100 nm dicken  $\text{TiO}_2$ -Schicht gegen Degradation geschützt wird. Trotz der zusätzlichen Schutzschicht zeigt die Strom-Spannungskennlinie hohe Photoströme von bis zu  $6 \text{ mA/cm}^2$ . Einsatz: Ungeschützte Photoanode vor (a) und nach (b) Belichtung (PEC). Rechts: Die so geschützte Elektrode zeigt während 8h kaum Degradation, was auf eine sehr hohe chemische Stabilität hindeutet (Quelle: EPFL).



Figur 3: Integration eines luftgekühlten Brennstoffzellensystems zur Versorgung einer Minibar. Elvetino/SBB plant den Einsatz von mehreren solchen Systemen im Jahr 2013. Über mehrer Jahre kann das Brennstoffzellensystem gegenüber der konventionellen Batterielösung in dieser Anwendung wirtschaftlich vorteilhaft sein.

Hämatit-basierenden PEC-Zellen liegt in den grossen Photonen-Absorptionslängen (mehrere 100 nm) im Vergleich zu den sehr kurzen Diffusionslängen der generierten Ladungsträger (2–4 nm). Dazu werden sogenannte «Host-guest»-Ansätze verfolgt, wo das Absorbermaterial Hämatit auf eine dreidimensionale poröse Trägerstruktur aufgebracht wird (Figur 1). Eine dünne transparente und leitfähige Schicht (TCO = transparent conductive oxide), welche zusätzlich auf die «Host»-Struktur abgeschieden wird, garantiert den notwendigen Ladungstransport. Die Schwierigkeit liegt insbesondere darin, ein geeignetes Materialsystem zu identifizieren, welches sich einerseits einfach abscheiden lässt, andererseits gute Leitfähigkeit und hohe Stabilität über einen grossen pH-Bereich zeigt. In einer 2012 veröffentlichten Publikation [5] des PEC-Kompetenzzentrums an der EPFL wurde eine rekordhohe Solar-zu-Wasserstoff (STH)-Effizienz für diese Art PEC-Zelle demonstriert.

Ein weiteres Highlight in diesem Projekt bildet die Stabilisierung von neuartigen Kupfer-Oxid-Photokathoden durch den Einsatz von Schutzschichten (Figur 2). Dieses Anodenmaterial besitzt ein grosses Potenzial für hohe Wirkungsgrade bei der solaren Wasserstoffproduktion.

In einer weiteren Publikation in *Nature Photonics* [8] wurde zudem die Kombination einer Farbstoffsolarzelle und einer auf Metalloxiden basierenden PEC-Zelle demonstriert mit einem Wirkungsgrad, der um eine Grössenordnung höher liegt, als was bisher mit solchen Materialsystemen erreicht wurde. Dabei wurde für das Materialsystem Hämatit nur etwa 8 % des theoretischen Limits erreicht, so dass hier ein grosses Optimierungspotenzial besteht.

### IHPoS-Minibar

Seit mehreren Jahren entwickelt die Firma CEKAtec AG ([www.cekatec.ch](http://www.cekatec.ch)) in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Biel ein luftgekühltes 500-Watt-PEM-Brennstoffzellensystem. Nach verschiedenen Rückschlägen bei der Umsetzung und Integration dieser Brennstoffzelle in eine Minibar-Anwendung bei Elvetino/SBB (Figur 3) wurde das Brennstoffzellensystem im Berichtsjahr beim TÜV geprüft und es konnten die Pläne für einen breit angelegten Einsatz des Systems im Jahr 2013 konkretisiert werden. Insbesondere wurde ein neuartiges Konzept für die Wasserstoffspeicherung in einem innovativen Metallhydrid-Tank entwickelt und damit die Speicherung in



Figur 4: (Links) Erste Schweizer Wasserstofftankstelle in Brugg AG, welche im Mai 2012 eröffnet wurde. Ein Teil des Wasserstoffs wird vor Ort durch Elektrolyse produziert (Produktionskapazität von 1'440 Nm<sup>3</sup>/Tag), der andere Teil wird per Trailer angeliefert. Wasserstoff wird bei 450 bar gespeichert mit einer Speicherkapazität von 5'000 Nm<sup>3</sup>. Die Busse werden mit Wasserstoff von 350 bar betankt. (Rechts) Im Zusammenhang mit dem vorhergesehenen Einsatz der Wasserstoffbusse von PostAuto am WEF 2013 wurden im Sommer 2012 Versuche in Davos durchgeführt, um die Leistung des Brennstoffzellenantriebs bei veringertem Sauerstoffpartialdruck zu testen.

## Nationale Zusammenarbeit

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

Auf Programmebene konnte die Zusammenarbeit mit verschiedenen Förderinstitutionen weiter ausgebaut werden, dies insbesondere mit Swisselectric Resarch, dem Compe-

tence Center Energy and Mobility CCEM und der Kommission für Technologie und Innovation KTI. Im Bereich Wasserstofftechnologie, wo der Abstand zur Marktanwendung verglichen zu anderen Energietechnologien zum Teil noch wesentlich höher ist, kommt der subsidiären Forschungs- und Entwicklungsförderung durch das BFE nach wie vor eine zentrale Funktion zu, welche insbesondere für die Kompetenzerhaltung von hoher Bedeutung ist. Hier wirken sich die geringeren zur Verfügung stehenden Mittel, insbesondere im Bereich Forschung und Entwicklung, negativ aus. Die meisten Schweizer Akteure im Bereich Wasserstoff- und PEM-Brennstoffzellentechnologie – aus der Forschung und der Industrie – sind in der nationalen Wasserstoffvereinigung Hydropole ([www.hydropole.ch](http://www.hydropole.ch)) organisiert.

## Internationale Zusammenarbeit

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

onsfunktion im Bereich der Oxid-basierten Photoelectrolyse in Europa ein zentraler Partner. Weiter ist die Schweiz Mitglied in der European Hydrogen Association EHA ([www.h2euro.org](http://www.h2euro.org)), welche insbesondere durch die Publikationen von Strategiepapieren und Newslettern zum Thema Wasserstoff aktiv ist.

Viele Wasserstoffprojekte werden durch die EU-Forschungsrahmenprogramme unterstützt. Dazu beteiligen sich verschiedenste Schweizer Akteure aktiv an dem seit 2008 laufenden Programm Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU). Hauptthemen sind Grossdemonstrationsprojekte im Mobilitätsbereich inklusive Wasserstofflogistik. In der Industriegruppe des FCH JU mit 58 Firmen sind die Schweizer Firmen Hexis und HTceramix (SOFC Power) als Mitglieder dabei. Im European Research Grouping (N.ERGHY, [www.nerghy.eu](http://www.nerghy.eu)) ist die Schweiz durch die Empa und das PSI vertreten. Über die States Representatives Group (BFE) werden die Forschungsprogramme der einzelnen Länder in die europäische Initiative eingebunden. Momentan sind intensive Diskussionen im Gange, wie das Nachfolgeprogramm aufgegleist werden soll.

## Referenzen

[1] Pressemitteilung vom 20. Juni 2012: Bundesregierung und Industrie errichten Netz von 50 H<sub>2</sub>-Tankstellen ([www.bmvbs.de](http://www.bmvbs.de)).

[2] [www.fch-ju.eu](http://www.fch-ju.eu).

[3] BFE, *Energieforschungsprogramme Brennstoffzellen und Wasserstoff für die Jahre 2008 bis 2011*.

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

[5] M. Stefik, M. Cornuz, N. Mathews, T. Hisatomi, S. Mhai-

salkar, and M. Grätzel, *Nano Letters* 12, 5431–5 (2012).

[6] A. Paracchino et al. «Highly active photocathode for photoelectrochemical water reduction», *Nature Materials* 10 (6), 456-461 (2011).

[7] A. Paracchino et al., *Energy & Environmental Science* (2012). DOI:10.1039/C2EE22063F

[8] J. Brillet et al., *Nature Photonics* (2012) DOI:10.1038/NPHOTON.2012.265

## Laufende und im Berichtsjahr abgeschlossene Projekte

(\* IEA-Klassifikation)

- ADEL – ADVANCED ELECTROLYSER FOR HYDROGEN PRODUCTION WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES** R&D 5.1.1\*

Lead: Htcearmix	Funding: EU-FP7
Contact: Olivier Bucheli <a href="mailto:olivier.bucheli@htceramix.ch">olivier.bucheli@htceramix.ch</a>	Period: 2011–2014

Abstract: The project aims at developing a new steam electrolyser concept, the so-called Intermediate Temperature Steam Electrolysis (ITSE). The new concept will increase the electrolyser lifetime by decreasing its operation temperature while maintaining a satisfactory performance level. This will allow a significant part of the required energy to be provided as heat, the rest being provided as electricity ([www.adel-energy.eu](http://www.adel-energy.eu)).
- ARTIPHYCTION – FULLY ARTIFICIAL PHOTO-ELECTROCHEMICAL DEVICE FOR LOW TEMPERATURE HYDROGEN PRODUCTION** R&D 5.1.1

Lead: Solaronix SA	Funding: EU-FP7
Contact: Toby Meyer <a href="mailto:toby.meyer@solaronix.com">toby.meyer@solaronix.com</a>	Period: 2012–2015

Abstract: Building on the pioneering work performed in a FET project based on natural enzymes ([www.solhydromics.org](http://www.solhydromics.org)) and the convergence of the work of the physics, materials scientists, chemical engineers and chemists involved in the project, an artificial device will be developed to convert sun energy into H<sub>2</sub> with close to 10% efficiency by water splitting at ambient temperature ([www.artiphyction.org](http://www.artiphyction.org)).
- BIO-MIMETIC CHEMISTRY OF [FE]-HYDROGENASE** R&D 5.1.1

Lead: EPFL	Funding: SNF
Contact: Xile Hu <a href="mailto:xile.hu@epfl.ch">xile.hu@epfl.ch</a>	Period: 2011–2014

Abstract: Hydrogenases are enzymes that efficiently catalyze the production and/or utilization of hydrogen (H<sub>2</sub>). In light of the central role of H<sub>2</sub> in technologies (fuel cell) and industries (hydrogenation), studies on the structure and function of hydrogenases are of significant current interest. Bio-mimetic chemistry plays an important role here because it provides important chemical precedents and insights.
- CATALYSIS UNDER EXTREME CONDITIONS: IN SITU STUDIES OF THE REFORMING OF ORGANIC KEY COMPOUNDS IN SUPERCRITICAL WATER** R&D 5.1.1

Lead: PSI	Funding: SNF
Contact: Jörg Wambach <a href="mailto:joerg.wambach@psi.ch">joerg.wambach@psi.ch</a>	Period: 2010–2013

Abstract: The project focuses mainly on obtaining insights to the role of the catalytically active metal. Besides on line mass spectrometry (MS) for analyzing the gas-phase species (methane, hydrogen, carbon dioxide, carbon monoxide), in situ investigations of a ruthenium catalyst applying X-ray absorption spectroscopy (XAS) and X-ray emission spectroscopy (XES) are planned.
- DEFECTS IN THE BULK AND ON SURFACES AND INTERFACES OF METAL OXIDES WITH PHOTOELECTROCHEMICAL PROPERTIES** R&D 5.1.1

Lead: Empa	Funding: SNF
Contact: Braun Artur <a href="mailto:artur.braun@Empa.ch">artur.braun@Empa.ch</a>	Period: 2011–2014

Abstract: In PEC anode materials, solar energy creates electron-hole pairs which separate under an external field; the holes diffuse to the anode-electrolyte interface into the electrolyte where they can oxidize water and generate oxygen gas; in return, an electron from the electrolyte enters the anode material, and at the cathode hydrogen is evolved which can be used as fuel.
- DEMCAMER – DESIGN AND MANUFACTURING OF CATALYTIC MEMBRANE REACTORS BY DEVELOPING NEW NANO-ARCHITECTURED CATALYTIC AND SELECTIVE MEMBRANE MATERIALS** R&D 5.1.1

Lead: Quantis Sàrl	Funding: EU-FP7
Contact: Patricia Girardbille <a href="mailto:info@quantis-intl.com">info@quantis-intl.com</a>	Period: 2011–2015

Abstract: The aim of the project is to develop multifunctional Catalytic Membrane Reactors based on nano-architected catalysts and selective membranes materials to improve their performance, cost effectiveness and sustainability over four selected chemical processes ((Autothermal Reforming (ATR), Fischer-Tropsch (FTS), Water Gas Shift (WGS), and Oxidative Coupling of Methane (OCM)) for pure hydrogen, liquid hydrocarbons and ethylene production.
- DEVELOPMENT OF NOVEL, SYNTHETIC, CALCIUM-BASED SORBENTS FOR CO<sub>2</sub> CAPTURE AND HYDROGEN PRODUCTION** R&D 5.1.1

Lead: ETHZ	Funding: SNF
Contact: Müller Christoph <a href="mailto:muelchri@ethz.ch">muelchri@ethz.ch</a>	Period: 2011–2014

Abstract: The overall objective of this proposal is the development of novel, synthetic, calcium-based sorbents for CO<sub>2</sub> capture. These sorbents shall possess high cyclic reactivity and capacity, tolerance towards sulphur and a low tendency for attrition. Two advanced particle preparation techniques, i.e. co-precipitation and sol-gel, which offer the possibility to tailor key structural parameters of the sorbent, such as pore size distribution will be applied.

- **GENIUS – GENERIC DIAGNOSIS INSTRUMENT FOR SOFC SYSTEMS** R&D 5.1.1
- |          |   |          |           |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead:    | HTceramix / Hexis                               | Funding: | EU-FP7    |
| Contact: | Olivier Bucheli<br>olivier.bucheli@htceramix.ch | Period:  | 2010–2012 |
- Abstract: The state of health of any SOFC system is currently difficult to evaluate, which makes it difficult to respond to a fault or degradation with the appropriate counter measure, to ensure the required reliability level. Therefore, the GENIUS project aims to develop a GENERIC tool that would only use process values and that would be based on a validated diagnostic algorithm (<https://genius.eifer.uni-karlsruhe.de>).
- **HOMOGENEOUS PHOTOCATALYTIC WATER SPLITTING** R&D 5.1.1
- |          |   |          |           |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead:    | Uni Zürich                              | Funding: | SNF       |
| Contact: | Greta Patzke<br>greta.patzke@aci.uzh.ch | Period:  | 2011–2014 |
- Abstract: Extensive synthetic, mechanistic and optimization work is now required to develop WRC/WOC catalyst systems that produce solar fuels at a competitive price. Cheap, replaceable and non-toxic WRC/WOC couples would offer distinct operational advantages over photoelectrolytic water splitting, such as single step and low cost processes without preliminary generation of electricity.
- **HYTECH (SUSTAINABLE HYDROGEN TECHNOLOGIES)** R&D 5.1.1
- |          |  |          |            |
|----------|--|----------|------------|
| Lead:    | EPFL                                       | Funding: | SER / CCEM |
| Contact: | Massimiliano Capezzali<br>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<sub>2</sub> utilization. These developments will have a large impact on future H<sub>2</sub> energy systems. To maximize the efficacy of our efforts, both the disciplines of solar H<sub>2</sub> production and H<sub>2</sub> storage will be engaged by employing the top experts in each field from Switzerland, and by pursuing pioneering approaches.
- **IDEALHY – INTEGRATED DESIGN FOR DEMONSTRATION OF EFFICIENT LIQUEFACTION OF HYDROGEN** P&D 5.1.1
- |          |  |          |              |
|----------|--|----------|--------------|
| Lead:    | WEKA AG                                | Funding: | EU-FP7 / BFE |
| Contact: | Michael Börsch<br>m.boersch@weka-ag.ch | Period:  | 2011–2014    |
- Abstract: The project ([www.idealhy.eu](http://www.idealhy.eu)) carries out a detailed investigation of different steps in the liquefaction process, bringing innovations and greater integration in an effort to reduce specific energy consumption by 50% compared to existing plants, and simultaneously to reduce investment cost. IDEALHY will carry out a well-to-end-user analysis to illustrate the role of liquid hydrogen in the energy chain.
- **IEA HYDROGEN IMPLEMENTING AGREEMENT – ANNEX ADVANCED MATERIALS FOR HYDROGEN FROM WATERPHOTOLYSIS** R&D 5.1.1
- |          |                                  |          |      |
|----------|----------------------------------|----------|------|
| Lead:    | EPFL                             | Funding: | BFE  |
| Contact: | Kevin Sivula<br>PECHouse@epfl.ch | Period:  | 2012 |
- Abstract: The main goal of the new Task 26 is to seamlessly extend the excellent R&D efforts made under previous PEC Tasks 14 and 20 toward practical material and systems solutions for water-photolysis. In this continued research, photon conversion efficiency and durability will be judged as the main measures of success in the development of new PEC materials.
- **IEA HYDROGEN IMPLEMENTING AGREEMENT – ANNEX HIGH TEMPERATURE HYDROGEN PRODUCTION PROCESS** R&D 5.1.1
- |          |                                   |          |           |
|----------|-----------------------------------|----------|-----------|
| Lead:    | PSI                               | Funding: | BFE / PSI |
| Contact: | Anton Meier<br>anton.meier@psi.ch | Period:  | 2012      |
- Abstract: The purpose of Task 25 is to support production of massive quantities of zero-emission H<sub>2</sub> through use of high temperature processes (> 500 C) coupled with nuclear and solar heat sources. The overarching objective is to share existing worldwide knowledge on high temperature processes (HTPs) and further to develop expertise in global assessment of the HTPs that can be integrated in Hydrogen Production Road Mapping.
- **METAL-OXIDE NANOPARTICLES AND FILMS FOR SOLAR PHOTO-ELECTROCHEMICAL HYDROGEN FUEL PRODUCTION** R&D 5.1.1
- |          |                                    |          |           |
|----------|------------------------------------|----------|-----------|
| Lead:    | Empa                               | Funding: | BFE       |
| Contact: | Braun Artur<br>artur.braun@Empa.ch | Period:  | 2008–2012 |
- Abstract: The objective of this project is to develop mixed metal-oxide narrow band-gap semiconductor nanoparticles with optimized redox potentials to produce hydrogen efficiently via photo-catalysis using visible light. Acetylene flame spray synthesis is a new method for nanoparticle and nanocomposite production from affordable inorganic precursor solutions with high crystallinity.

- **NANOMOF – NANOPOROUS METAL-ORGANIC FRAMEWORKS FOR PRODUCTION** R&D 5.1.1
- Lead: **Norafin GmbH** Funding: **EU-FP7**  
 Contact: **André Lang** [andre.lang@norafin.com](mailto:andre.lang@norafin.com) Period: **2009–2013**  
 Abstract: The discovery of porous hybrid materials constructed from inorganic nodes and organic multifunctional linkers has established a new area of inorganic-organic hybrids (Metal-Organic Frameworks, MOFs) with extraordinary performance as compared to traditional porous solids such as zeolites and activated carbon. NanoMOF will focus beyond discovery and integrate MOFs into products with industrial impact within a strong cooperation of established MOF research institutions and industrial end users.
- **PALE – PILOT LABORATORY ALKALINE ELECTROLYSERTEST BENCH TOR HIGH PRESSURE AND TEMPERATURE** P&D 5.1.1
- Lead: **Empa** Funding: **BFE**  
 Contact: **Uli Vogt** [uli.vogt@empa.ch](mailto:uli.vogt@empa.ch) Period: **2010–2012**  
 Abstract: Complementary to the EU-project ELYGRID ([www.elygrid.com](http://www.elygrid.com)) in this applied P&D project, a fully automated pilot-laboratory electrolyser with a membrane diameter of 50 mm will be developed and built up. It is possible to test the membrane and total stack concerning efficiency, durability, cell voltage and power consumption under real conditions with electrodes and membranes made of newly developed advanced materials for higher efficiency.
- **PECHOUSE 2 – PHOTOELECTROCHEMICAL WATERSPLITTING FOR SOLAR PRODUCTION OF HYDROGEN** R&D 5.1.1
- Lead: **EPFL** Funding: **BFE**  
 Contact: **Kevin Sivula** [PECHouse@epfl.ch](mailto:PECHouse@epfl.ch) Period: **2011–2014**  
 Abstract: Photoelectrochemical cells (PEC) directly split water into H<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> thereby providing a basis for the renewable, clean production of hydrogen from sunlight. They rely on a photoactive material (a semiconductor) capable of harvesting and converting solar energy into stored chemical fuel, i.e. hydrogen. The PECHouse is a collaborative effort with defined goals for the stepwise development of an efficient hydrogen production system (<http://pechouse.epfl.ch/>)
- **PHOCS – PHOTOGENERATED HYDROGEN BY ORGANIC CATALYTIC SYSTEMS** R&D 5.1.1
- Lead: **EPFL** Funding: **EU-FP7**  
 Contact: **Michael Graetzel** [michael.graetzel@epfl.ch](mailto:michael.graetzel@epfl.ch) Period: **2012–2015**  
 Abstract: Aim of the project is the realization of a new-concept, photoelectrochemical system for hydrogen production, based on the hybrid organic/inorganic and organic/liquid interfaces. PHOCS takes the move from the recent demonstration of reduction/oxidation reactions taking place, under visible light and at zero bias, at the interface of an organic semiconductor and an aqueous electrolyte, obtained by the coordinators group.
- **PRODUCTION OF ULTRA-PURE HYDROGEN FROM WOODY BIOMASS USING A MODIFIED CHEMICAL LOOPING PROCESS** R&D 5.1.1
- Lead: **ETHZ** Funding: **BFE**  
 Contact: **Müller Christoph** [muelchri@ethz.ch](mailto:muelchri@ethz.ch) Period: **2011–2014**  
 Abstract: The proposal is concerned with a novel method for the production of hydrogen from woody biomass which is of sufficient purity to be used directly in PEM fuel cells without substantial gas clean-up, using a modified chemical looping combustion process.
- **REDUCTION OF CO<sub>2</sub> VIA TWO-STEP SOLAR THERMOCHEMICAL CYCLES USING REDOX PAIRS – THERMODYNAMICS, KINETICS, AND REACTOR TECHNOLOG** R&D 5.1.1
- Lead: **ETHZ** Funding: **SNF**  
 Contact: **Aldo Steinfeld** [aldo.steinfeld@ethz.ch](mailto:aldo.steinfeld@ethz.ch) Period: **2010–2012**  
 Abstract: The scope of this project is to split CO<sub>2</sub> using concentrated solar energy in a two-step cycle with metal oxide redox reactions. The first step is a high temperature process driven by concentrated solar energy where a metal oxide is converted to a lower-valence metal oxide or metal and O<sub>2</sub>. The lower-valence metal oxide or metal is then reacted with CO<sub>2</sub> in the second, non-solar, step to produce CO and the initial metal oxide.
- **SFERA – SOLAR FACILITIES FOR THE EUROPEAN RESEARCH AREA** R&D 5.1.1
- Lead: **PSI / ETHZ** Funding: **EU-FP7**  
 Contact: **Aldo Steinfeld** [aldo.steinfeld@ethz.ch](mailto:aldo.steinfeld@ethz.ch) Period: **2009–2013**  
 Abstract: Concentrated solar energy is a very promising renewable source of energy. The solar resource in the Mediterranean countries of the EU and in North Africa is huge. The best known application so far is bulk electricity generation through thermodynamic cycles, but other applications have also been demonstrated, such as production of hydrogen and solar fuels, water treatment and research in advanced materials. Europe is a leader in research and development of this technology

- **SOLAR LIQUID FUELS FROM H<sub>2</sub>O AND CO<sub>2</sub>** 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<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> via Zn/ZnO redox reactions is considered. The second, non-solar, exothermic step is the reaction of Zn with mixtures of H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> yielding high-quality syngas and ZnO. Syngas is further processed to liquid fuels via Fischer-Tropsch or other catalytic reforming processes. This research project is aimed at optimizing and scaling-up the chemical reactor technology for the 2nd step of the cycle.
- **SOLAR PRODUCTION OF ZINC AND HYDROGEN – REACTOR OPTIMISATION FOR SCALE-UP** R&D 5.1.1
- Lead: PSI / ETHZ Funding: BFE  
 Contact: Anton Meier anton.meier@psi.ch Period: 2007–2013  
 Abstract: In a two-step cycle based on the ZnO/Zn redox reactions, solar energy provides the process heat for the highly endothermic, high-temperature thermal dissociation of ZnO(s) into storable and transportable Zn metal. Depending on the desired application, the Zn(s) produced in turn can (1) be used as the fuel in a Zn-air battery to generate electricity, or (2) split water in an exothermic Zn hydrolysis reaction and convert the hydrogen to electricity in a H<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> fuel cell.
- **SOLARH<sub>2</sub> – 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-H<sub>2</sub> brings together 12 world-leading European laboratories to carry out integrated, basic research aimed at achieving renewable hydrogen (H<sub>2</sub>) production from environmentally safe resources. The vision is to develop novel routes for the production of a Solar-fuel, in our case H<sub>2</sub>, from the very abundant, effectively inexhaustible resources, solar energy and water.
- **SOLARH<sub>2</sub> – RENEWABLE HYDROGEN FROM SUN AND WATER** R&D 5.1.1
- Lead: Unï 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<sub>2</sub>, from the very abundant, effectively inexhaustible resources, solar energy and water. Our multidisciplinary expertise spans from molecular biology, biotechnology, via biochemistry and biophysics to organo-metallic and physical chemistry.
- **SOLAR-JET – SOLAR CHEMICAL REACTOR DEMONSTRATION AND OPTIMIZATION FOR LONG-TERM AVAILABILITY OF RENEWABLE JET FUEL** R&D 5.1.1
- Lead: ETHZ Funding: EU-FP7  
 Contact: Aldo Steinfeld aldo.steinfeld@ethz.ch Period: 2011–2015  
 Abstract: The aim of the SOLAR-JET project is to demonstrate a carbon-neutral path for producing aviation fuel, compatible with current infrastructure, in an economically viable way. The SOLAR-JET project will demonstrate on a laboratory-scale a process that combines concentrated sunlight with CO<sub>2</sub> captured from air and H<sub>2</sub>O to produce kerosene by coupling a two-step solar thermochemical cycle based on non-stoichiometric ceria redox reactions with the Fischer-Tropsch process.
- **SOLARGENIX – VISIBLE-LIGHT ACTIVE METAL OXIDE NANO-CATALYSTS FOR SUSTAINABLE SOLAR HYDROGEN PRODUCTION** R&D 5.1.1
- Lead: ETHZ Funding: EU-FP7  
 Contact: Markus Niederberger markus.niederberger@mat.ethz.ch Period: 2013–2015  
 Abstract: The project SOLARGENIX will investigate novel nanostructured photocatalysts starting from comprehensive theoretical and experimental investigations on visible-light active meta-oxides for photoelectrochemical splitting of water to target the environmental hydrogen production from saline water by sun illumination.
- **SOLHYDROMICS – NANODESIGNED ELECTROCHEMICAL CONVERTER OF SOLAR ENERGY INTO HYDROGEN HOSTING NATURAL ENZYMES OR THEIR MIMICS** R&D 5.1.1
- Lead: Solaronix SA Funding: EU-FP7  
 Contact: Toby Meyer toby.meyer@solaronix.com Period: 2009–2012  
 Abstract: An artificial device will be developed to convert sun energy into H<sub>2</sub> 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 TiO<sub>2</sub> connecting the two electrodes and ion-exchange resins like e.g. Nafion, respectively.

- **TOWARDS INDUSTRIAL SOLAR PRODUCTION OF ZINC AND HYDROGEN – 100 KW SOLAR PILOT REACTOR FOR ZNO DISSOCIATION** P&D 5.1.1
- Lead: PSI / ETHZ Funding: BFE  
 Contact: Anton Meier anton.meier@psi.ch Period: 2010–2012
- Abstract: In a pilot phase, a 100 kW solar pilot reactor will be designed and constructed adapted to the functionality of an industrial solar plant. The reactor and peripherals (feeding and off-gas system) will be tested in the 1 MW solar furnace at CNRS-Odeillo, France. The performance of the solar pilot reactor integrated with the Zn/O<sub>2</sub> separation device will be experimentally evaluated. The experimental data will be used to validate the numerical models.
- **ACH – ADVANCED COMPLEX HYDRIDES** R&D 5.1.2
- Lead: Empa Funding: BFE  
 Contact: Andreas Züttel andreas.züttel@empa.ch Period: 2010–2014
- Abstract: The goal of the project is to explore all simple and binary complex borohydrides by means of the empirical model in order to identify interesting compounds for hydrogen storage which are less stable than required. Furthermore, a special focus will be on compounds which are liquids at room temperature. The interesting compounds will be synthesized directly from the elements and investigated by means of spectroscopic methods for their local structure and their thermodynamic properties.
- **BIMETALLIC BOROHYDRIDES: HYDROGEN STORAGE AND SUPERIONIC CONDUCTIVITY** R&D 5.1.2
- Lead: Uni Genève Funding: SNF  
 Contact: Radovan Cerny Radovan.Cerny@unige.ch Period: 2010–2013
- Abstract: The aim of the project is the development of new materials – bimetallic borohydrides – as hydrogen storage materials, and as superionic conductors for battery applications. Le projet dans son contexte, son sens et son importance: Hydrogen storage for mobile applications is still an open question.
- **BOR4STORE – FAST, RELIABLE AND COST EFFECTIVE BORON HYDRIDE BASED HIGH CAPACITY SOLID STATE HYDROGEN STORAGE MATERIALS** R&D 5.1.2
- Lead: Empa Funding: EU-FP7  
 Contact: Andreas Züttel andreas.züttel@empa.ch Period: 2012–2015
- Abstract: The project proposes an integrated, multidisciplinary approach for the development and testing of novel, optimised and cost-efficient boron hydride based H<sub>2</sub> storage materials with superior performance (capacity more than 8 wt.% and 80 kg H<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>). The most promising material(s), to be indicated by rigorous a down-selection processes, will be used for the development of a prototype laboratory H<sub>2</sub> storage system.
- **BORANE** R&D 5.1.2
- Lead: Empa Funding: SNF  
 Contact: Andreas Züttel andreas.züttel@empa.ch Period: 2011–2012
- Abstract: In the project the influence of boron-hydrogen compounds on the formation and decomposition of tetrahydroborates is analyzed. The main objective is to understand the related mechanisms based on reactions of hydrogen/borane uptake and release. The understanding of these mechanisms will serve as a basis for optimization of tetrahydroborates to be used for hydrogen storage.
- **CARINHYPH – BOTTOM-UP FABRICATION OF NANO CARBON-INORGANIC HYBRID MATERIALS FOR PHOTOCATALYTIC HYDROGEN PRODUCTION** R&D 5.1.2
- Lead: Empa Funding: EU-FP7  
 Contact: Roland Hischer Roland.Hischer@empa.ch Period: 2013–2015
- Abstract: This project deals with the hierarchical assembly of functional nanomaterials into novel nanocarbon-inorganic hybrid structures for energy generation by photocatalytic hydrogen production, with carbon nanotubes (CNTs) and graphene the choice of nanocarbons. The scientific activities include the development of new functionalisation strategies targeted at improving charge transfer in hybrids and therefore their photocatalytic activity.
- **CAT4ENSUS – MOLECULAR CATALYSTS MADE OF EARTH-ABUNDANT ELEMENTS FOR ENERGY AND SUSTAINABILITY** R&D 5.1.2
- Lead: EPFL Funding: EU-FP7  
 Contact: Luciana Vaccaro luciana.vaccaro@epfl.ch Period: 2011–2015
- Abstract: There are two specific aims: (I) bio-inspired sulfur-rich metal complexes as efficient and practical electro-catalysts for hydrogen production and CO<sub>2</sub> reduction; (II) well-defined Fe complexes of chelating pincer ligands for chemo- and stereo-selective organic synthesis. An important feature of the proposed catalysts is that they are made of earth-abundant and readily available elements such as Fe, Co, Ni, S, N, etc.

- **CATALYTIC ACTIVATION OF SMALL MOLECULES: TOWARDS APPLICATIONS IN MOLECULAR ENERGY STORAGE AND DELIVERY** R&D 5.1.2
- Lead: EPFL Funding: SNF  
 Contact: Gábor Laurency gabor.laurency@epfl.ch Period: 2012–2015  
 Abstract: This research project is proposed for a better understanding of the fundamental aspects and the possible applications of these processes, strongly linked with the homogeneous catalytic activation of H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO and N<sub>2</sub>, as well as small organic molecules (HCOOH, alkenes, alkynes, methanol, etc.) in aqueous solution and in different reaction media.
- **COMBINED EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDIES ON POTENTIAL HYDROGEN STORAGE MATERIALS AND ON NEW INORGANIC FLUORIDES** R&D 5.1.2
- Lead: Uni Genève Funding: SNF  
 Contact: Hans Hagemann Hans-Rudolf.Hagemann@unige.ch Period: 2013–2015  
 Abstract: In this project, we aim to contribute to a fundamental understanding of the nature of the boron-hydrogen bond. Vibrational spectroscopy probes directly the strength of chemical bonds. In the first part of our project, we investigate, using a combined theoretical and experimental approach, the effect of geometry changes (bond length and angles) on the vibrational spectra.
- **DEMOYS – DENSE MEMBRANES FOR EFFICIENT OXYGEN AND HYDROGEN SEPARATION** R&D 5.1.2
- Lead: ETHZ Funding: EU-FP7  
 Contact: Jennifer Rupp jennifer.rupp@mat.ethz.ch Period: 2010–2014  
 Abstract: The objective of this project is the development of thin mixed conducting membranes for O<sub>2</sub> and H<sub>2</sub> separation by using a new deposition technique Low Pressure Plasma Spraying Thin Film (LPPS-TF) in combination with nano-porous, highly catalytic layers. TF-LPPS is a technique based on a combination of thermal spray and Physical Vapour Deposition technology (<http://demoys.rse-web.it/>).
- **HYDYNA II** R&D 5.1.2
- Lead: Empa Funding: SNF  
 Contact: Andreas Züttel andreas.züttel@Empa.ch Period: 2008–2012  
 Abstract: In this project we propose to investigate the hydrogen mobility and the hydrogen dynamics of a series of p-element complex hydrides and their influence on the stability and thermodynamic properties of the respective hydrides. In order to achieve the results we will combine neutron diffraction as well as inelastic and quasielastic neutron spectroscopy measurements at SINQ (PSI), at BENSC (Berlin) and at ISIS (Didcot, UK) with nuclear magnetic resonance measurements.
- **HY-FORM 1 : PRODUCTION ET OPÉRATION D'UN NOUVEAU SYSTÈME DE GÉNÉRATION D'HYDROGÈNE DÉCENTRALISÉ** P&D 5.1.2
- Lead: Granit SA Funding: BFE  
 Contact: Maurice Jutz Maurice.jutz@granit.net Period: 2010–2012  
 Abstract: In diesem Pilotprojekt geht es allgemein darum, aufzuzeigen, wie ein bestehendes Wasserstofflogistiksystem für industrielle Anwendungen durch ein einfacheres und sicheres, ökonomisch wie ökologisch effizienteres System ersetzt werden könnte. Hierzu wird eine vorindustrielle Pilotanlage zur Vor-Ort- Produktion von Wasserstoff ausgehend von Formylsäure aufgebaut, an der die diversen Aspekte wie energetische, wirtschaftliche und Umwelt-Bilanz einer solchen Anlage für künftige Kunden demonstriert werden sollen.
- **IEA HYDROGEN IMPLEMENTING AGREEMENT – ANNEX FUNDAMENTAL AND APPLIED HYDROGEN STORAGE MATERIALS DEVELOPMENT** R&D 5.1.2
- Lead: Empa Funding: BFE  
 Contact: Andreas Züttel andreas.züttel@Empa.ch Period: 2012  
 Abstract: Task 22 addresses hydrogen storage in solid materials. Hydrogen storage is considered by many to be the greatest technological barrier to widespread introduction and use of hydrogen in global energy systems. Currently, no hydrogen storage system, including pressurized and liquefied hydrogen and hydrogen stored in solid compounds known, satisfies international targets for on-board hydrogen storage in mobile applications.
- **INFLUENCE OF BORANE ON THE SORPTION OF COMPLEX HYDRIDES** R&D 5.1.2
- Lead: Empa Funding: SNF  
 Contact: Andreas Züttel andreas.züttel@Empa.ch Period: 2010–2012  
 Abstract: Apart from being widely applied reagents in organic and inorganic synthesis, complex hydrides are ideal candidates to be used as future energy carriers. They can store high amounts of hydrogen per volume and hence present compounds with very high energy densities. In particular alkaline and alkaline-earth tetrahydroborates with one of the highest volumetric and gravimetric hydrogen capacity are intensively studied as hydrogen storage materials.

- **ION MOBILITY IN COMPLEX HYDRIDES** R&D 5.1.2
- |          |   |          |                       |
|----------|---|----------|-----------------------|
| Lead:    | Empa  | Funding: | Polish/Swiss R&D Prg. |
| Contact: | Andreas Züttel <a href="mailto:andreas.züttel@Empa.ch">andreas.züttel@Empa.ch</a> | Period:  | 2011–2014             |
- Abstract: In a joint binational project, implemented under the Polish Swiss Research Programme (PSRP) we to investigate the fundamental transport properties in Li based complex hydrides, aiming to understand and to improve them with respect to potential applications as hydrogen storage materials and as solid state electrolytes.
- **NANIBO – NANO-CONFINEMENT OF NITROGEN AND BORON BASED HYDRIDES** R&D 5.1.2
- |          |   |          |                 |
|----------|---|----------|-----------------|
| Lead:    | Empa  | Funding: | SNF (nano-tera) |
| Contact: | Andreas Züttel <a href="mailto:andreas.züttel@Empa.ch">andreas.züttel@Empa.ch</a> | Period:  | 2011–2012       |
- Abstract: The availability of a safe and effective way to store hydrogen reversibly is one of the major issues for its large scale use as an energy carrier. At present, no single material fulfilling all requirements is in sight. Amidoboranes and aluminium borohydride have a high hydrogen content and release hydrogen at rather the low temperatures. The main aim of this project is the development of novel and safe boron respectively nitrogen containing hydrogen storage materials with the help of nano-structures.
- **SINDERGIA HYCARBO – SMART CARBON-BASED MATERIALS FOR HYDROGEN STORAGE** R&D 5.1.2
- |          |   |          |           |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead:    | Empa  | Funding: | SNF       |
| Contact: | Andreas Züttel <a href="mailto:andreas.züttel@Empa.ch">andreas.züttel@Empa.ch</a> | Period:  | 2010–2013 |
- Abstract: In the present project we propose to investigate on the possibility to increase the hydrogen storage capacity of carbon-based materials via chemical activation by means of alkali and alkaline earth metal intercalation. The classes of materials we propose to investigate present two distinct molecular geometry: planar carbon structures and close carbon structures.
- **ELYGRID – HIGH PRESSURE ALKALINE ELECTROLYSERS FOR ELECTRICITY/H<sub>2</sub> PRODUCTION FROM RENEWABLE ENERGIES** R&D 5.1.5
- |          |   |          |           |
|----------|---|----------|-----------|
| Lead:    | Empa / IHT  | Funding: | Empa      |
| Contact: | Uli Vogt <a href="mailto:uli.vogt@Empa.ch">uli.vogt@Empa.ch</a> | Period:  | 2011–2014 |
- Abstract: The project aims to reduce the total cost of hydrogen production via electrolysis coupled to renewable energy sources, mainly wind. It is focusing on megawatt-scale electrolyzers (>0.5 MW) and current objectives are to improve system efficiency by 20% (10% stack and 10% electrical conversion) and to reduce costs by 25%. The work will be divided into three parts: cell improvements, power electronics, and balance of plant (BOP).
- **H<sub>2</sub>-IGCC – LOW EMISSION GAS TURBINE TECHNOLOGY FOR HYDROGEN-RICH SYNGAS** R&D 5.1.5
- |          |  |          |           |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead:    | PSI  | Funding: | EU-FP7    |
| Contact: | Irene Waltherth <a href="mailto:irene.waltherth@psi.ch">irene.waltherth@psi.ch</a> | Period:  | 2009–2013 |
- Abstract: The objective of this project is to provide technical solutions which allow the use of state-of-the-art highly efficient, reliable gas turbines in the next generation of IGCC plants, suitable for combusting undiluted hydrogen-rich syngas derived from a pre-combustion CO<sub>2</sub> 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 <a href="mailto:klaus.yvon@unige.ch">klaus.yvon@unige.ch</a> | Period:  | 2010–2013 |
- Abstract: Mass markets of hydrogen powered vehicles and hydrogen production units for residential areas require hydrogen detectors and sensors on a very large scale. The devices must be cheap, sensitive and selective, and allow to detect hydrogen and to monitor hydrogen-oxygen reaction processes. This project aims at developing sensing by using thin films and novel materials undergoing hydrogen-induced metal-insulator transitions
- **NOVEL – NOVEL MATERIALS AND SYSTEM DESIGNS FOR LOW COST, EFFICIENT AND DURABLE PEM ELECTROLYSERS** R&D 5.1.5
- |          |  |          |           |
|----------|--|----------|-----------|
| Lead:    | PSI  | Funding: | EU-FP7    |
| Contact: | Lorenz Gubler <a href="mailto:lorenz.gubler@psi.ch">lorenz.gubler@psi.ch</a> | Period:  | 2012–2016 |
- Abstract: This project will take advantage of the progress beyond the state of the art achieved by the partners involved in the NEXPEL project. In the initial phase of this project, durability studies of electrolyser stacks developed in NEXPEL will be performed. The stacks will be run at different operating conditions (low pressure, constant load, fluctuating load coupled with RES).

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

P&D 5.1.5

Lead: Pictet & Cie

Funding: BFE

Contact: Jean-Hugues Hoarau jhoarau@pictet.com

Period: 2011–2014

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

● **IEA HYDROGEN IMPLEMENTING AGREEMENT – ANNEX HYDROGEN SAFETY**

R&D 5.1

Lead: Empa

Funding: BFE

Contact: Michael Biemann michael.biemann@empa.ch

Period: 2012

Abstract: In recent years, a significant international effort has been initiated to 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 (IEA-HIA)**

R&D 5.1

Lead: BFE

Funding: BFE

Contact: Stefan Oberholzer stefan.oberholzer@bfe.admin.ch

Period: 2012

Abstract: The International Energy Agency(IEA) Hydrogen Implementing Agreement(HIA) was established in 1977 to pursue collaborative hydrogen research and development and information exchange among its member countries. Through the creation and conduct of some thirty annexes or tasks, the HIA has facilitated and managed a comprehensive range of hydrogen R&D and analysis activities.The HIA is an IEA Implementing Agreement.

