

Jahresbericht 2002, 9. Dezember 2002

# Projekt: Organisation und Management von IEA-H2 Annex-14

Autor und Koautoren	Andreas Luzzi
beauftragte Institution	GiraSOLAR
Adresse	57 Fitchett Street, Garran ACT 2605 - AUSTRALIEN
Telefon, E-mail, Internetadresse	++61.2-6282.0276 (FAX:++61.2-6260.6555); <a href="mailto:girasola@cyberone.com.au">girasola@cyberone.com.au</a>
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	Projekt-Nr.: 33'043 / Vertrag-Nr.: 73'000
Dauer des Projekts (von – bis)	1.1.1999 – 31.12.2002; 2-Jahres Verlängerung von Annex-14

## Zusammenfassung

Annex-14 des Wasserstoff „Implementing Agreement“ der Internationalen Energie Agentur (IEA-H2) befasst sich mit der photoelektrolytischen Wasserstofferzeugung. Dabei stehen Zellsysteme im Vordergrund, welche eine Kombination von photosensitiven Dünnschichtelektroden zur direkten Wasserspaltung einsetzen.

Die organisatorischen Hauptleistungen im Jahre 2002 betreffen die Durchführung des 4. Expertentreffens von Annex-14, die Detailierung des Forschungsplanes einer Zweijahresverlängerung von Annex-14, das Verfassen des Jahresberichtes 2001, das Editieren von Annex-14 Subtaskberichten, und die Erweiterung der Annex-14 Expertengruppe.

Drei Schweizer Forschungsgruppen (Universität Genf, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Universität Bern) arbeiten im Annex-14 untereinander und mit Instituten aus Japan, Schweden und den USA eng zusammen.

Vielversprechend sind aus Schweizer Sicht insbesondere die Forschungsfortschritte im Bereich von alternativen Photoelektrodenmaterialien ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und  $\text{AgCl}$ ). Diese können als Hauptkomponenten von photoelektrochemischen (PEC) Tandemzellen zu realen Systemumwandlungsgraden von etwa 7-8% (Sonnenlicht zu Wasserstoff) führen.

Im kommenden Jahr wird bestrebt, die Materialforschungsarbeiten zu konzentrieren damit darauffolgend die Entwicklung und Fertigung eines für den breiten Einsatz möglichen Tandemzellensystemes in Angriff genommen werden kann.

## Projektziele

Annex-14 des Wasserstoff „Implementing Agreement“ der Internationalen Energie Agentur (IEA-H2) befasst sich mit der photoelektrolytischen Wasserstofferzeugung, einer vielversprechender Form von solarer Wasserstoffproduktion. Dabei stehen Zellsysteme im Vordergrund, welche eine Kombination von photosensitiven Dünnschichtelektroden zur direkten Wasserspaltung einsetzen.

Die generellen Hauptziele dieses Forschungs- und Entwicklungsprojektes (F+E) betreffen (a) den Fortschritt der wissenschaftlichen Forschung, (b) das Erarbeiten von Ingenieursystemlösungen, (c) den Bau von ersten Kleinpilotsystemen, (d) die Intensivierung der Forschungszusammenarbeit, und (e) die Bekanntmachung der Thematik sowie der Potentials der Photoelektrolyse.

Die Forschungsarbeiten des Jahres 2002 waren vor allem bestrebt, eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Photoelektrodenmaterialien und Lichtabsorptionspigmenten sowie deren Korrosionsstabilität im Wasser zu erreichen.

Forschungskoordination und -zusammenarbeit wird durch Gastbesuche von Forschern an Partnerinstituten, den Austausch von Materialproben, Annex-14 Expertentreffen sowie Teilnahme an internationalen Fachkonferenzen gefördert.

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Die geleisteten Hauptarbeiten betreffend Organisation und Management von Annex-14 im Jahre 2002 sind:

- ❑ Durchführung des 4. Expertentreffens in Sapporo, Japan (3. – 4. August 2002);
- ❑ Detailierung des Forschungsplanes einer Zweijahresverlängerung (siehe Arbeitsprogramm im Anhang);
- ❑ Verfassen des Jahresberichtes 2001 ([www.eren.doe.gov/hydrogen/iea\\_publications.html](http://www.eren.doe.gov/hydrogen/iea_publications.html));
- ❑ Editieren von Annex-14 Teilberichten (ab anfangs 2003 auf der oben erwähnten Homepage); und
- ❑ Erweiterung der Annex-14 Expertengruppe.

Die durchgeführten Forschungsarbeiten sowie die erreichten Hauptergebnisse des gesamten Annex-14 wurden dem Executive Committee in Halbjahresberichten präsentiert (siehe Anhang).

Detailjahresarbeitsberichte der drei Schweizer Annex-14 Forschergruppen werden von den Gruppenleitern dem BFE jeweils direkt zugesandt.

Der Forschungsfortschritt von Annex-14 im Jahre 2002 kann wie folgt zusammengefasst werden:

- ❑ **Photoelektroden:** (a)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  konnte als bevorzugtes (da weit verbreitet und kostengünstig) Elektrodenmaterial für die Photoanode des  $\text{TiO}_2$ -Tandemzellensystemes bestätigt werden. An der Universität Genf konnten Photoströme von bis zu  $5.85 \text{ mA/cm}^2$  konnten durch Legieren mit 5% Ti und 1% Al erreicht werden. (b) Mischoxidpulverkatalysatoren auf der Basis von  $\text{In}_{0.9}\text{Ni}_{0.1}\text{TaO}_4$  konnten am Photoreaction Control Research Centre in Japan für die kombinierte Wasser-/Sauerstoffproduktion vielversprechend getestet werden [1]. (c) Der Band-Gap von  $\text{TiO}_2$  konnte an der Universität von Uppsala, Sweden, mit legieren von Stickstoff auf 2.3 – 2.4 eV erfolgreich gesenkt werden so dass die Lichtabsorption in den visuellen Bereich erhöht werden konnte.
- ❑ **Photopigmente:** Die Lichtabsorption von Ru-II quadrapyridyl Komplexen konnte an der EPFL bis auf  $20 \text{ mA/cm}^2$  erhöht werden, so dass erstmals die Entwicklung eines Einzellen-Tandemsystemes auf der Basis von  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  möglich wird [2].
- ❑ **Tandemsysteme:** Die Universität Bern bestätigte mittels kontinuierlich betriebenen Laborkreislaufsystem den Einsatz von  $\text{AgCl}$ -Photoanoden (mit Br dotiert) und  $\text{p-GaInP}_2$

Photokathoden als stabiles Tandemsystem. Die AgCl Elektroden sind mögliche Ersatzelektroden für TiO<sub>2</sub>-Tandemzellensysteme [3].

- **Kombisysteme:** Obwohl in Japan (RITE), USA (NREL und Universität von Hawaii) und Mexico (UNAM) zum Teil hervorragende Leistungen mittels integrierter PV/Elektrolyse Tandemsystemen erreicht werden konnten (Umwandlungsraten bis zu 16.7%), erweist sich die Korrosionsresistenz weiterhin als materialwissenschaftliche Hauptherausforderung [4].

## Nationale Zusammenarbeit

Auf nationaler Ebene nehmen drei Forschungsgruppen aktiv an Annex-14 teil (Universität Genf – Prof Ian Augustynski; Ecole Polytechnique Federale de Lausanne – Prof Michael Graetzel; und Universität Bern – Prof Gion Calzaferri).

Die wissenschaftlichen Erfahrungen dieser drei Gruppen ergänzen sich hervorragend für die Entwicklung von photoelektrochemischen (PEC) Tandemzellen. Während die EPFL sich einen Weltruf in Sachen TiO<sub>2</sub>- Photoelektroden erarbeitet hat, haben sich die Universitäten Genf sowie Bern unter anderem auf die Optimierung von Photokathoden (WO<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, AgCl) spezialisiert. Materialproben werden nach Bedarf ausgetauscht und kurzzeitige Aufenthalte von Fachpersonal sowie Studenten durchgeführt.

## Internationale Zusammenarbeit

Die drei Schweizer Forschungsgruppen arbeiteten mit Annex-14 Partnerinstituten aus Japan, Schweden und den USA zusammen. Fachbesuche erfolgten vor allem zwischen der Universität Genf und dem National Renewable Energy Laboratory (NREL) sowie dem Florida Solar Energy Centre (both USA), und EPFL und NREL.

Des Weiteren arbeitete EPFL eng mit der Universität von Delft (Holland) zusammen. Zusammenarbeit erfolgte auch zwischen der Universität Bern und dem Weizmann Institute of Science (Israel) sowie der Ecole Normale Supérieure de Cachan (France). Diese drei Länder sind sehr aktiv im Bereich Photoelektrolyse. Sie sind jedoch nicht Mitglieder im Annex-14.

Der Vertragsnehmer pflegt auch einen regelmässigen Informationsaustausch mit dem IEA-SolarPACES Programm, insbesondere mit deren Task-II (Solarchemie). Es können allenfalls Zusammenarbeitsmöglichkeiten aufgebaut werden im Bereich photokatalytischer Wasserreinigung mit Wasserstoff-Koproduktion.

## Bewertung 2002 und Ausblick 2003

Die ermutigenden Forschungsergebnisse des ursprünglichen, 3-jährigen Annex-14 Programmes (Start 1. Juli 1999) führten zur Planung und Genehmigung einer 2-jährigen Programmerweiterung (Start 1. Juli 2002).

Im ersten Erweiterungsjahr wird bestrebt, die Materialforschungsarbeiten von Annex-14 zu konzentrieren, damit darauffolgend (ab Juli 2003) die Entwicklung und Fertigung eines neuen PEC Tandemzellensystemes in Angriff genommen werden kann. Industriezusammenarbeit wird dabei zwingend sein.

Diese zweite Phase (Kleinpilotprojekt) der Programmerweiterung wird den Entscheid zur Wahl eines einzigen, bevorzugten PEC Systems bedingen, so dass weiterführende Grundlagenforschungsarbeiten kaum mehr unter Annex-14 erfolgen werden.

Dieser Entscheid steht jedoch im Widerspruch zum stetig wachsenden Interesse von Forschergruppen ausserhalb von Annex-14 am Thema Photoelektrolyse. Es wird deshalb empfohlen, in dieser Situation die Definition eines gezielten neuen Annexes eingehend zu prüfen.

## Referenzen

- [1] Z.Zou, J.Ye, K.Sayama and H.Arakawa, *Nature*, 414, 625, 2001.
- [2] T. Renouard, R.-A. Fallahpour, Md. K. Nazeeruddin, R. Humphry-Baker, S. I. Gorelsky, A. B. P. Lever, and M. Graetzel: *Novel Ruthenium Sensitizers Containing Functionalized Hybrid Tetradentate Ligands: Synthesis, Characterization, and INDO/S Analysis*, *Inorg. Chem.*, 41, 367-378, 2002.
- [3] D. Schu1rch, A. Currao, S. Sarkar, G. Hodes, and G. Calzaferri: *The Silver Chloride Photoanode in Photoelectrochemical Water Splitting*, *J. Phys. Chem B*, December 2002.
- [4] X. Mathew, A. Bansal, J.A. Turner, N.R. Mathews, and P.J. Sebastian: *Photoelectrochemical Characterisation Of Surface Modified CdTe For Hydrogen Production*, *J. New Materials for Electrochemical Systems* 5, 149, 2002.