

# HYDROSOL II – Auf dem Weg zu einer Pilotanlage in Süd-Spanien

Peter Rietbrock, Martina Neises, Jan-Peter Säck, Miriam Ebert,  
Peter Heller, Mark. Schmitz, Martin Roeb, Christian Sattler  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
Institut für Technische Thermodynamik, Solarforschung  
Linder Höhe  
51147 Köln

---

## Zusammenfassung

Eine zentrale Zielsetzung im Projekt **Hydrosol II** ist die Entwicklung, Inbetriebnahme und Testbetrieb eines 100kW-Pilotreaktors zur solar-thermochemischen Herstellung von Wasserstoff aus Wasser. Der Receiver-Reaktor ist ein quasi kontinuierlich betriebener Reaktor mit zwei getrennten Reaktionskammern. Die Installation und der Testbetrieb wird auf der SSPS-CRS Anlage der Plataforma Solar de Almería (PSA) durchgeführt werden. Die Planung und Entwicklung des Reaktors und seiner Steuerung sowie die notwendigen Anpassungen vor Ort werden beschrieben.

---

## 1 Einführung und Ziele

Im Europäischen Projekt Hydrosol II (2005 – 2009) wird ein solarer Prozess zur zweistufigen thermo-chemischen Wasserstofferzeugung auf Basis der viel versprechenden Ergebnisse der Vorgängerprojekts HYDDROSOL weiterentwickelt. Zentrale Aufgabe des Projekts ist die technische Realisierung einer Pilotanlage im 100kW-Maßstab auf einer Plattform des Solarturms der SSPS-Zentralreceiver-Anlage auf der PSA in Almería.

Der so genannte HYDROSOL-Prozess nutzt ausschließlich erneuerbare Energie und arbeitet vollständig emissionsfrei. In einem zweistufigen Kreisprozess wird bei Temperaturen zwischen 800 und 1200 °C Wasserstoff aus Wasserdampf erzeugt. Im Kreis geführt wird ein Metalloxid-System (MO), das Sauerstoff aus Wassermolekülen abspalten und reversibel in seine Kristallstruktur einbinden kann: Es werden Eisenmischoxide (z.B. Ferrite) eingesetzt, die nacheinander oxidiert und reduziert werden. Im ersten Schritt wird der am Metalloxid vorbeiströmende heiße Wasserdampf durch Bindung des Sauerstoffs an das angeregte Metalloxidgitter bei Temperaturen von 800-900 °C gespalten und Wasserstoff freigesetzt. Im zweiten Schritt wird bei Temperaturen von 1100-1200 °C der zuvor in das Metalloxid eingebaute Sauerstoff wieder abgegeben und dieses so regeneriert bzw. wieder in den energiereicheren Zustand reduziert.[1] Für die Durchführung dieses Prozesses wurde im Projekt HYDROSOL ein Versuchsreceiverreaktor in der 10kW Leistungsklasse für den Betrieb im Sonnenofen in Köln entwickelt, dort erprobt, und schrittweise hinsichtlich seiner Betriebsweise optimiert. Das Design und die Betriebsweise dieser Testanlage bildeten die Basis zur Planung einer hoch skalierten Version für den Feldtest auf der PSA.

## 2 Resultate und Diskussion

Ein grundsätzlich Skalierbares Design wurde bereits im Projekt HYDROSOL entwickelt. Es ist Grundlage des im Laufe des Projektes realisierten und im Sonnenofen erprobten, sogenannten Konti-Reaktors. Der Reaktortyp und sein Betrieb stellten sich im Laufe des Projekts als robust, zuverlässig und geeignet heraus für die thermochemische Spaltung von Wasser mit Eisenmischoxiden. Die hohen Temperaturen, die alternierenden Betriebsbedingungen bzgl. Temperatur und Reaktanden und die Beaufschlagung von Dampf stellten für den Betrieb des Reaktors kein Problem dar. Mehrere Hundert solare Betriebstunden wurden erfolgreich absolviert. Z.B. wurden mehr als 50 Zyklen inklusive Wasserstoffproduktion und Regeneration des Redoxsystem mit ein und demselben beschichteten Absorber durchgeführt.

Durch dieses viel versprechende und robuste Verhalten des Reaktors wurde entschieden, das grundsätzliche Design einer skalierten Variante nah an der Auslegung des Sonnenofen-Prototyps zu halten.

Folgende Gesichtspunkte wurden beim Entwurf und der dann folgenden Schrittweisen Verfeinerung des Designs berücksichtigt:

- Zwei benachbarte Reaktorkammern stellen eine minimale Vielfalt von Modulen dar, die geeignet und notwendig für die quasi-kontinuierliche Produktion von Wasserstoff sind. Die Wasserspaltung und Regeneration der Absorberbeschichtung verlaufen dabei parallel in den beiden vorhandenen Kammern bei unterschiedlichen Bedingungen.
- Eine quadratische Apertur erlaubt zum einen eine Hochskalierung durch flächendeckende Anordnung der notwendigen Anzahl von Reaktormodulen in der Fokalfäche eines Zentralreceiver-Systems. Zum

anderen erlaubt diese Geometrie die Integration von Wabenstrukturen, die in der Regel als Quader produziert werden.

- Die Hochskalierung um einen Faktor von 10 wird im Wesentlichen durch die Vergrößerung der Absorberfläche realisiert. Aus einer Wabe in einer Reaktorkammer des kleinmaßstäblichen Kontireaktors werden 9 Wabenstrukturen in einer Kammer des Pilotreaktors (siehe Abb.1 und Abb.2).
- Die Anordnung und Fixierung der keramischen Komponenten des Kontireaktors hat sich bewährt. Dazu abweichend wird beim Pilotreaktor der gleichzeitigen Integration mehrerer Monolithe und des von Null abweichenden Inklinationswinkel Rechnung getragen.
- Die Zufuhr der Prozessgase erfolgt durch einen Zwischenraum zwischen Reaktorgehäuse und Reaktionsraum. Dies hilft, Wärmeverluste zu reduzieren und Wärmerückgewinnung durchzuführen.
- Die für den alternierenden Betrieb notwendige Alternierung der Strahlungsflussdichte und Gesamtleistung der eingekoppelten Solarstrahlung wird durch zeitliche Manipulation des Heliostatfelds realisiert.



Abb. 1: Anordnung der keramischen Wabenstrukturen.



Abb. 2: Benachbarte Kammern des Pilotreaktors.

Die Detailauslegung wurde im Bezug auf kritische Komponenten durch Anwendung rechnerischer und experimenteller Methoden unterstützt bzw. verifiziert. Die Auslegung der Fensterhalterung wurde beispielsweise durch die Anwendung von Finite Elemente Methoden überprüft. Kritisch bezüglich der Prozessführung ist auch die Strömungsverteilung des Reaktions- bzw. Spülgases über die Quarzscheibe und auch die Absorberfrontfläche. Um diese optimal einzustellen, wurde eine experimentelle Überprüfung der Volumenstromverteilung in dem Spalt (Abb. 3) durchgeführt, der die Quarzscheibe an ihrer Außenkante flankiert und durch den die gasförmigen Prozessgase zugeführt werden. Abb. 4 zeigt die Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit entlang dieser Kanten nach einer Optimierung der Geometrie des Zwischenraums, durch den die Gaszufuhr stattfindet. Gezielte Einbringung von Strömungsabschwächern und Strömungsumlenkern ermöglichte die Reduktion der Gradienten von mehr als  $\pm 0,5$  m/s auf  $\pm 0,1$  m/s, was den Anforderungen des Prozesses genügt.



Abb. 3: Vermessung der Strömungsverteilung im Zufuhrkanal für die gasförmigen Reaktanden.

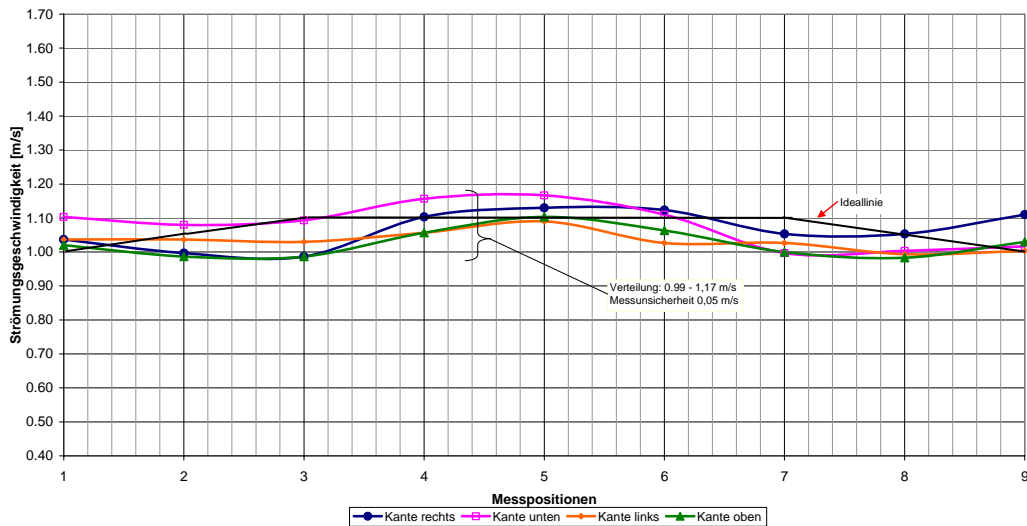


Abb. 4: Strömungsgeschwindigkeitsverteilung entlang der Zufuhröffnung.

### 3 Zusammenfassung und Ausblick

Die Auslegung eines 100kW-Receiver-Reaktors für die zwei-stufige solar thermochemische Wasserstoffherzeugung ist abgeschlossen. Das Design erfolgte in intensiver Anlehnung an den bewährten Reaktor, der im Sonnenofen in Köln während einiger Hundert Betriebsstunden quasikontinuierlich und zuverlässig mit einer Solarleistung bis zu 10 kW eingesetzt werden konnte. Das endgültige Design wurde in enger Abstimmung mit dem Projektpartner Stobbe Tech Ceramics festgelegt. Eine experimentelle Überprüfung und Verbesserung des Detaildesign war möglich durch Nutzung eines detailgetreuen vorab gefertigten Modells aus Aluminium. Der Bau des Reaktors hat bereits begonnen. Einige Komponenten wurden bereits fertig gestellt.

*Wir möchten der Europäischen Kommission für die Co-Finanzierung der Projekte Hydrosol und Hydrosol-II (Vertrag-Nr. ENK6-CT-2002-00629 und 020030-SES6) danken.*

### Literatur

[1] M. Roeb, N. Monnerie, M. Schmitz, P. Rietbrock, C. Sattler, A. G. Konstandopoulos, C. Agrafiotis, V. T. Zaspalis, L. Nalbandian, A. Steele, P. Stobbe, Thermo-chemical production of hydrogen from water by metal oxides fixed on ceramic substrates, Proceedings of 16<sup>th</sup> World Hydrogen Energy Conference (WHEC), June 13-16, Lyon, France.