

# H<sub>2</sub>-Technologie

## Ein Demonstrationsmodell wird vorgestellt

von S. Höller, S. Kreußler

Das Modell demonstriert einen Weg der H<sub>2</sub>-Technologie: Von der Sonnenenergie über Photovoltaik, Elektrolyse von Wasser, Speicherung des H<sub>2</sub>-Gases und Erzeugung elektrischer Energie in einer Brennstoffzelle bis hin zum Verbraucher. Das Modell eignet sich sowohl für Vorführungen als auch für quantitative Messungen im Praktikum. Es ist handhabungssicher und kann in einem kleinen Koffer transportiert werden.

Die Energieversorgung der Menschheit beruht überwiegend auf der Verbrennung fossiler Energieträger (Kohle, Erdöl, Erdgas), deren Vorräte begrenzt sind. Außerdem wird bei der Verbrennung Kohlendioxid frei, das den Treibhauseffekt der Atmosphäre verstärkt und zu Klimaveränderungen führen kann.

Um diese Umweltgefahr zu vermindern, sollten regenerative Energiequellen stärker genutzt werden, z.B. Sonne, Wind, Erdwärme usw. Bei der Solartechnik liegt das Hauptproblem in der Verteilung der eingestrahelten Sonnenenergie auf große Flächen und lange Zeiträume. Nur wenn die gewonnene Energie gespeichert und transportiert werden kann, ist sie großtechnisch nutzbar.

Eine Möglichkeit hierfür ist die „Wasserstofftechnologie“: Mit Hilfe der Sonnenenergie wird Wasserstoffgas produziert, das relativ einfach gelagert und transportiert werden kann /1/. Für die Umwandlung in die benötigte Endenergie (mechanisch, elektrisch, thermisch) gibt es viele

Möglichkeiten, die seit Jahren erprobt sind. Deshalb wird die Wasserstofftechnologie als eine großtechnisch machbare und wirtschaftlich mögliche Zukunftsperspektive angesehen /2/.

In der Forschung wird weiter intensiv an dieser Technologie gearbeitet und in Demonstrationsprojekten wird sie bereits erprobt /3/.

Im Rahmen des Ingenieurstudiums soll die H<sub>2</sub>-Technologie in Vorlesungen, Vorträgen und Praktikumsversuchen dargestellt werden. Hierfür wurde in einer Diplomarbeit /4/ ein Demonstrationsmodell gebaut, dessen Weiterentwicklung /5/ hier vorgestellt werden soll.

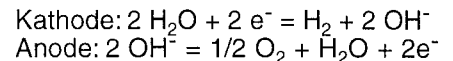
### Funktionsprinzip

Mit diesem Modell soll nur ein Weg der H<sub>2</sub>-Technologie dargestellt werden, der allerdings sehr vielversprechend erscheint: Solarzellen liefern elektrische Energie, mit der Wasser elektrolytisch in H<sub>2</sub>-Gas und O<sub>2</sub>-Gas zerlegt wird. Die Gase werden in Tanks gespeichert und in Leitungen

zu Brennstoffzellen transportiert, in denen wieder elektrische Energie erzeugt wird (s. Abb. 1). Als „Sonnensimulator“ wird eine Halogenlampe (150 W) verwendet, die im Abstand von  $d = 0,1$  m am Ort des Solargenerators eine Lichtintensität  $H_{Li} = 665$  W/m<sup>2</sup> liefert.

Der Solargenerator besteht aus 5 Solarzellen (Solaris), die in Serie geschaltet sind. Die Gesamtfläche der Solarzellen beträgt  $A = 5,8 \cdot 10^{-3}$  m<sup>2</sup>, damit ergibt sich die auftretende Lichtleistung  $P_{Li} = 3,8$  W. Die Kennlinie bei Bestrahlung mit der Lampe ist in Abb. 2 dargestellt. In dem eingezeichneten Arbeitspunkt liefert der Solargenerator eine elektrische Leistung von  $P_1 = 0,34$  W, woraus sich ein Wirkungsgrad  $\eta_1 = P_1/(P_{Li}) = 0,09$  ergibt.

Der Elektrolyseur besteht aus zwei Raney-Nickel-Elektroden in einer 6N-KOH-Lösung, an denen folgende Reaktionen ablaufen:



Ein Diaphragma zwischen den Elektroden läßt OH<sup>-</sup>-Ionen und Wassermoleküle durch, sorgt aber andererseits dafür, daß die entstehenden Wasserstoff- und Sauerstoffgasblasen getrennt in die jeweiligen Vorratsbehälter geleitet werden. Die

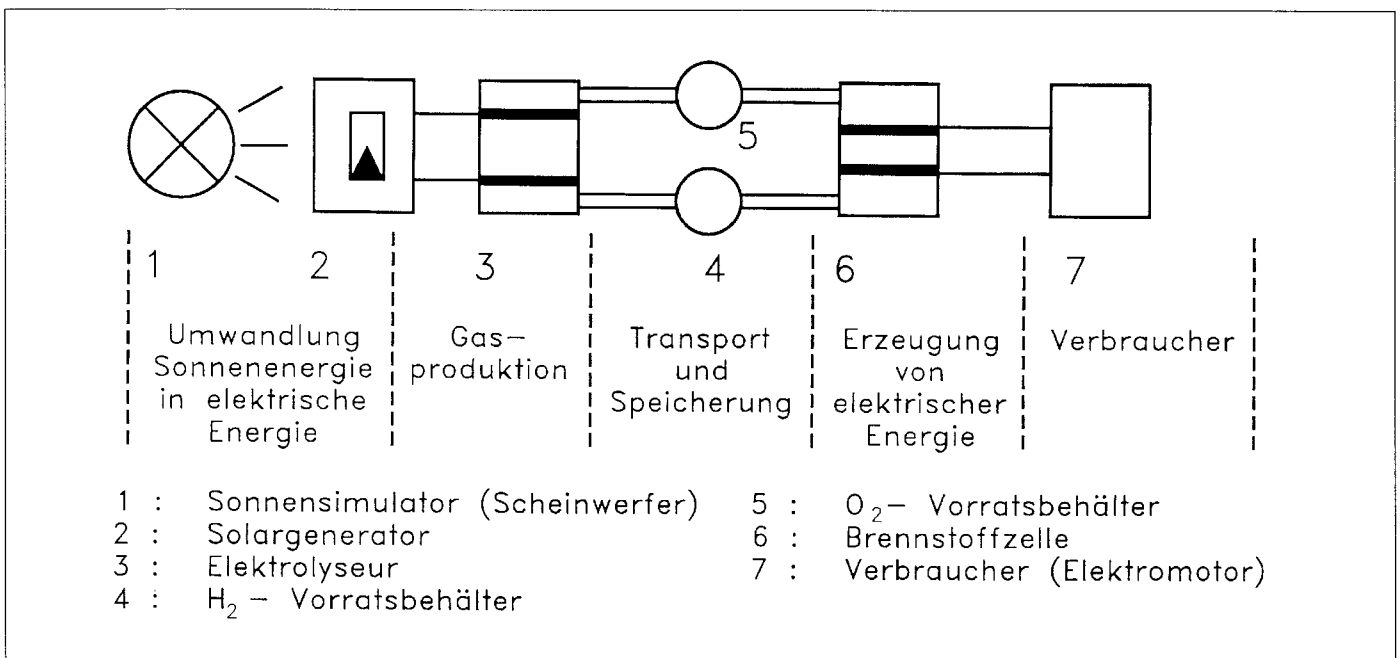


Abb. 1: Das Funktionsprinzip der H<sub>2</sub>-Technologie

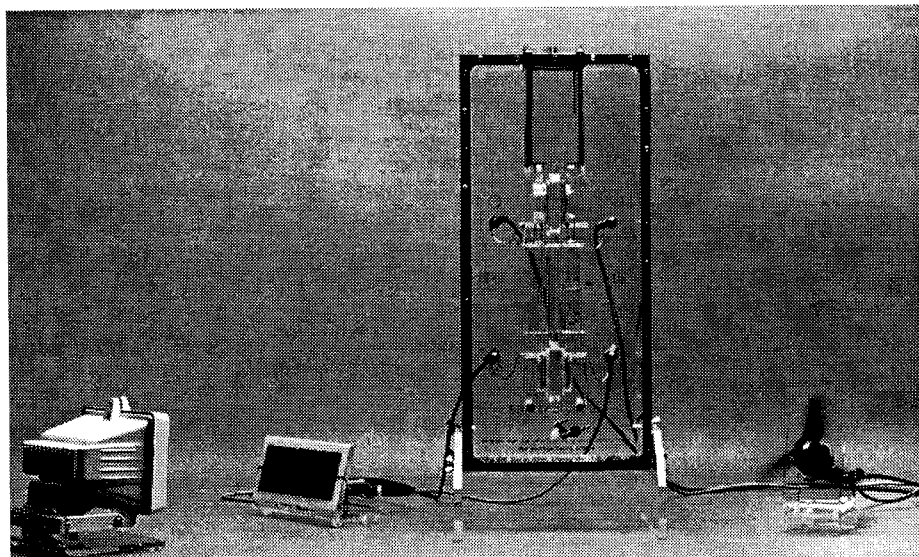


Foto 1: Demonstrationsmodell für Ausstellungen, Vorlesungen und Praktikumsversuche

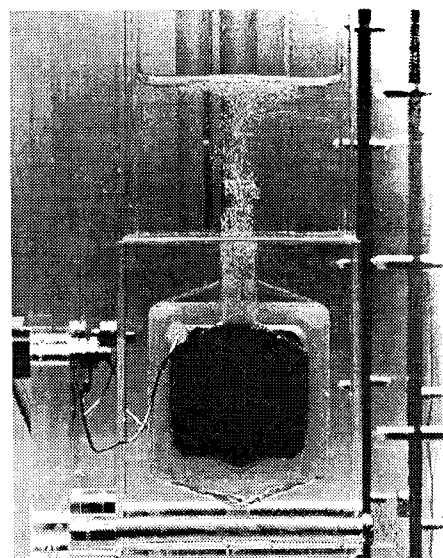


Foto 2: Detailstudie Fotos: Kreuzler

Strom-Spannungskennlinie ist in Abb. 2 dargestellt.

Der Arbeitspunkt wird durch den Schnittpunkt der Kennlinien von Solargenerator und Elektrolyseur festgelegt (Punkt A in Abb. 2). Die Kennlinie des Solargenerators kann durch die Verschaltung der Solarzellen (seriell oder parallel) und durch die Intensität des auftreffenden Lichtes (hier: Abstand Lampe-Solargenerator) verändert werden. Dadurch kann man erreichen, daß der Arbeitspunkt A in der Nähe des Punktes maximaler Leistung (MPP) des Solargenerators liegt.

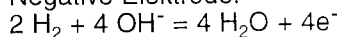
Unter diesen Bedingungen beträgt die Gasproduktionsrate  $V = 2,4 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$   $\text{H}_2$ -Gas und entsprechend der Reaktionsgleichung halb soviel  $\text{O}_2$ -Gas. Der Druck in dem System weicht nur geringfügig vom Umgebungsdruck ab, deshalb wird für die folgenden Abschätzungen der „Nor-

maldruck“  $p = 1013 \text{ mbar}$  verwendet. Wenn man als Energie des  $\text{H}_2$ -Gases den oberen Brennwert ( $H_o = 12770 \text{ kJ/m}^3_n / 2$ ) nimmt, beträgt die Leistung  $P_{\text{H}_2} = V \times H_o = 0,32 \text{ W}$  und damit der Wirkungsgrad des Elektrolyseurs  $\eta_2 = P_{\text{H}_2} / P_1 = 0,93$ .

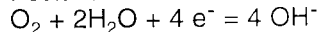
Wenn man den Abstand Scheinwerfer-Solarmodul vergrößert, verringert sich die auftreffende Intensität und die Kennlinie des Solargenerators verändert sich (s. Abb. 2), so daß sich der Arbeitspunkt zu niedrigeren Leistungen verschiebt. Bei gleichzeitiger Messung des Volumenstroms kann man so die Abhängigkeit des Wirkungsgrades des Elektrolyseurs von der eingespeisten elektrischen Leistung messen.

Die Gase gelangen an die Elektroden der Brennstoffzelle, wo bei Anlegen einer elektrischen Last die umgekehrten Reaktionen zur Elektrolyse ablaufen:

Negative Elektrode:



Positive Elektrode:



Bestünden die Elektroden nur aus Metallplatten, so würde der größte Teil der Gase ungenutzt vorbeistreichen und der Wirkungsgrad wäre sehr gering. Das wird bei der „Gasdiffusionselektrode“ (s. Abb. 3) vermieden:

Die Elektrodenfläche wird auf der einen Seite von dem Elektrolyten benetzt, auf der anderen Seite „steht“ das Gas. Der Druck auf beiden Seiten bewirkt, daß von der einen Seite der Elektrolyt, von der anderen das Gas in die Kapillaren des Elektrodenmaterials eindringt. In einem mikroskopisch kleinen Gebiet sind dann die Reaktionspartner (Elektrolyt, Gas, Elektrode) benachbart und dort läuft die Reaktion ab. Das Metall der

Elektrode dient nicht nur zum Transport der elektrischen Ladungen, sondern kann durch katalytische Wirkung die Reaktionsausbeute beträchtlich erhöhen.

Die hier verwendeten Elektroden wurden von Prof. Winsel bezogen. Die negative Elektrode wurde durch Sinterung von Nickel-Körnern (Raney-Legierung) hergestellt, wodurch eine poröse Struktur entsteht, die mechanisch durch Netze abgestützt werden muß. Bei der positiven Elektrode werden Silber-Körner gesintert. Das Modell ist aus durchsichtigem Material hergestellt, so daß die Entstehung der Gasblasen im Elektrolyseur, die Zunahme des Gasvolumens im Vorratsbehälter und das Innere der Brennstoffzelle sichtbar sind. Die Gasvorratsbehälter sind mit Volumenmarkierungen versehen, so daß der produzierte Volumenstrom gemessen werden kann.

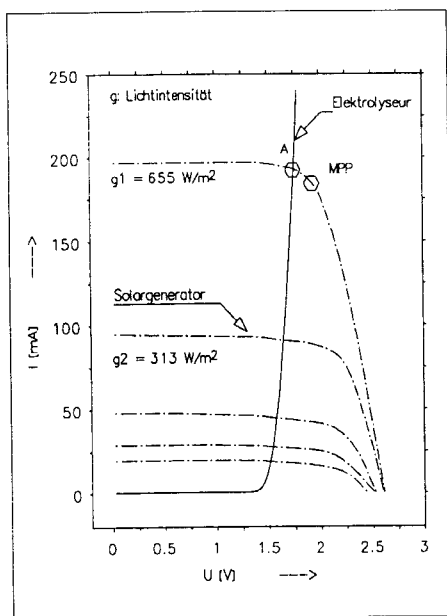


Abb. 2: Die Strom-Spannungskennlinie

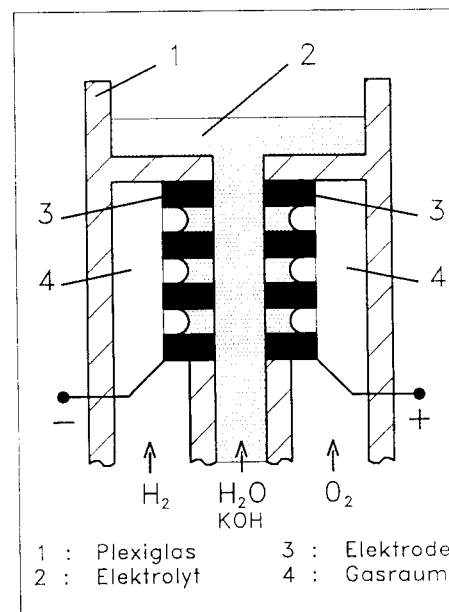


Abb. 3: Die Gasdiffusionselektrode

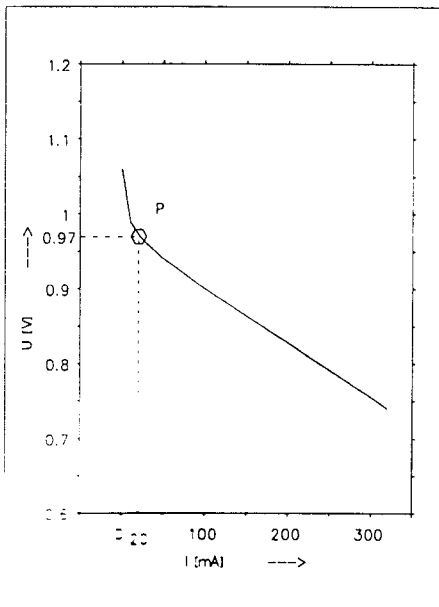


Abb. 4: Kennlinie der Brennstoffzelle

In Brennstoffzellen kann bei der isothermen und isobaren Reaktion maximal die Freie Enthalpie der Gase in elektrische Energie umgewandelt werden. Der theoretisch maximale Wirkungsgrad beträgt dann  $\eta_a = 0,83$ . In modernen Anlagen erreicht man einen Wirkungsgrad von ca. 60 % [7].

Die gemessene Kennlinie der Brennstoffzelle ist in Abb. 4 dargestellt. Hier ist der „Verbraucher“ ein Elektromotor (20 mW), der direkt an die Brennstoffzelle angeschlossen wird, deren Arbeitspunkt dann bei P liegt (s. Abb. 4). Bei dieser elektrischen Leistung  $P_{Br}$  verbraucht die Brennstoffzelle einen  $H_2$ -Volumenstrom  $V = 2,7 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$ . Der Wirkungsgrad der Brennstoffzelle beträgt dann  $\eta_{a3} = P_{Br}/(V \times H_0) = 0,58$ .

Der von der Brennstoffzelle benötigte Volumenstrom ist geringer als der vom Elektrolyseur gelieferte. Beim Betrieb wird das überschüssige Gas im Vorratsbehälter gespeichert und kann nach dem Abschalten des Sonnensimulators verbraucht werden.

Der gesamte Wirkungsgrad bei der Umwandlung der Lichtleistung in elektrische Leistung beim Verbraucher beträgt dann bei diesem Modell  $\eta_a = P_{Br}/P_{Li} = \eta_{a1} \times \eta_{a2} \times \eta_{a3} = 0,048$ .

#### Betriebserfahrungen

Der empfindlichste Teil der Anlage sind die Gasdiffusionselektroden der Brennstoffzelle. Sie sind mechanisch empfindlich und müssen vor der Inbetriebnahme aktiviert werden. Dann arbeiten sie allerdings im Dauerbetrieb für Monate: Ein Prototyp ist seit März 1995 ohne Leistungseinbuße in Betrieb. Sollte die Leistung der Brennstoffzelle einmal abfallen, so kann sie durch Elektrolytwechsel und erneute Aktivierung wieder in den

Ausgangszustand versetzt werden. Vom TÜV-Nord liegt eine Unbedenklichkeitsbescheinigung für den Demonstrations- und Praktikumsbetrieb vor.

#### Einsatzmöglichkeiten

Im Demonstrationsbetrieb kann mit dem Modell die kontinuierliche Produktion von  $H_2$ , die Speicherung und der Verbrauch durch die Brennstoffzelle und den Motor gezeigt werden. Man kann aber auch erst nur Gas produzieren, dann den „Sonnensimulator“ ausschalten und später das gespeicherte Gas verbrauchen.

Die Anlage kann in einem Koffer transportiert werden und ist schnell aufgebaut. Im Praktikum können die Studenten folgende Messungen durchführen, wenn man den Aufbau um einige elektrische Meßgeräte ergänzt:

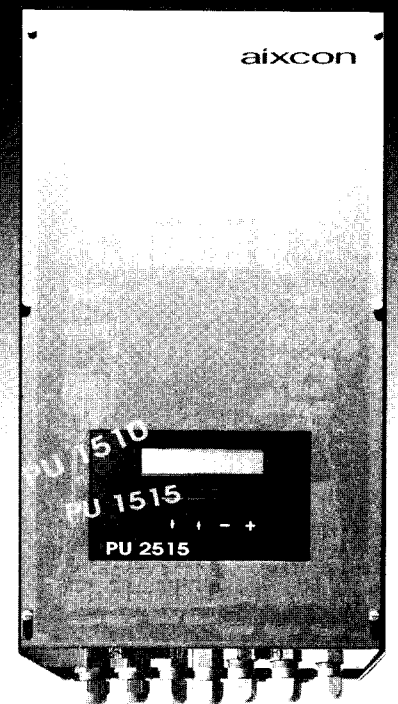
- Kennlinie des Solarmoduls in Abhängigkeit von der eingestrahlten Leistung
- Kennlinie des Elektrolyseurs
- Anpassung Solarmodul-Elektrolyseur durch Veränderung des Abstandes Lampe-Solarmodul
- Messung der Gasproduktionsrate des Elektrolyseurs in Abhängigkeit von Strom und Spannung
- Wirkungsgrad der Brennstoffzelle
- Gesamtwirkungsgrad.

Mit dem Modell können so alle Teilschritte der Energieumwandlung vom Sonnenlicht bis zur mechanischen Energie demonstriert und quantitativ vermessen werden.

#### Literatur

- /1/ Bockris, J.; Justi, E.: „Wasserstoff, die Energie für alle Zeiten“, Pfierner München 1980
- /2/ Winter, C.-J.; Nitsch, J.: „Wasserstoff als Energieträger“ Springer 1986
- /3/ Fuchs, M.: „Das Solar-Wasserstoff-Projekt in Neunburg vorm Wald - Rückblick Phase I, Ausblick Phase II“ VDI-Berichte Nr. 912 (1992)
- /4/ Höller, S.: „Erstellung eines Modells zur Solarwasserstoffwirtschaft für Demonstrations- und Versuchszwecke“ Diplomarbeit Fachhochschule Lübeck (1991)
- /5/ Ingenieurbüro Höller, Lübeck-Krummesse
- /6/ Prof. Winsel, Fachbereich Physik, Gesamthochschule Kassel
- /7/ Szyszka, A.; Schimpf, G.; Tachtler, J.: „Bisherige Erfahrungen mit einer 6,5 kW elektrisch alkalischen und einer 80 kW elektrisch phosphorsauren Brennstoffzellenanlage im SWB-Projekt in Neunburg vorm Wald“, VDI-Berichte Nr. 912 (1992)

## FAMILIENZUWACHS



Der bewährte PV-Umrichter PU2515 für den Netzparallelbetrieb hat zwei Geschwister bekommen:

den PU 1510 und den PU 1515. Beide Geräte haben eine Nennleistung von 1,5 kW und können ohne Probleme an bis zu 2,2 kW großen PV-Generatoren betrieben werden.

Der PU 1510 arbeitet mit einer Nennspannung von 100 Volt, der PU 1515 mit einer Nennspannung von 150 Volt.

Natürlich haben auch die beiden neuen „Kleinen“ alle Vorteile des großen Bruders:

Betriebsdatenspeicherung für die letzten 45 Tage, Fernüberwachungsoption, Inselbetriebsfähig (Notstromversorgung), Anschlußmöglichkeit für externes Sensorkit zur Erfassung der Solarstrahlung und von Umgebungs- und Modultemperatur, ...

Und wie immer bei aixcon-Wechselrichtern gilt auch hier: **effizient, robust, preiswert.**

**HelioTec**  
PHOTOVOLTAIKANLAGEN  
GmbH

Tel. (0241) 90 19 124  
Fax (0241) 90 19 125

**Coupon auf Postkarte kleben und die umfangreichen Informationsunterlagen anfordern:**

Heliotec GmbH  
Elsaßstraße 57  
52068 Aachen

SE