

| | |
|---------------------|--|
| Zeitschrift: | Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft |
| Herausgeber: | St. Gallische Naturwissenschaftliche Gesellschaft |
| Band: | 87 (1994) |
| | |
| Artikel: | Pulver Solar Reaktor : Speichern von Sonnenenergie durch chemische Reaktion in einem Pulverreaktor |
| Autor: | Nater, Eduard |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-832730 |

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Pulver Solar Reaktor

Speichern von Sonnenenergie durch chemische Reaktion in einem Pulverreaktor

Eduard Nater

Inhaltsverzeichnis

| | |
|-----------------------------------|-----|
| Zusammenfassung | 301 |
| 1. Einleitung | 302 |
| 2. Wasserstoff-Wirtschaft..... | 302 |
| 3. Modellprozess..... | 302 |
| 4. Der Sonnenkonzentrator..... | 303 |
| 5. Beschreibung des Reaktors..... | 303 |
| 6. Versuchsaufbau..... | 304 |
| 7. Erste Resultate | 305 |
| 8. Schlussfolgerung..... | 305 |
| Literaturverzeichnis | 305 |

Zusammenfassung

Das Ziel ist die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in speicherbare und transportierbare chemische Energie. Ein Pulver soll durch die Bestrahlung mit konzentriertem Sonnenlicht zur Reaktion gebracht werden. Diese endotherme Reaktion führt zu einem Produkt, das einen Teil des aufgewendeten Sonnenlichts als chemisch gespeicherte Energie beinhaltet. Auf dem Weg zu einer Hochtemperatur-Solarreaktion wird ein Versuchsreaktor erstellt, der für einen Modellprozess bis zu einer Temperatur von 400°C ausgelegt ist.

Erste Resultate zeigen, dass die direkte Absorption des Lichts durch die im Reaktor erzeugte Pulverwolke möglich ist und die Partikel innert kürzester Zeit zu reagieren vermögen. Weiterführende Projekte müssen zeigen, dass auch die geforderte Temperatur von 2000°C erreichbar ist.

1. Einleitung

Das Paul-Scherrer-Institut PSI in Würenlingen erforscht ein Verfahren zur solaren Reduktion von Metalloxyden, der ersten Stufe eines zweistufigen Wasserspaltungsprozesses. Letztlich führt dieses Verfahren zur solaren Produktion von Wasserstoff.

Die Firma Bühler AG in Uzwil arbeitet an der Entwicklung eines neuartigen Pulverreaktors mit, in dem die erste Stufe dieses Prozesses abläuft. Es wird ein gegen die Atmosphäre offener Reaktor getestet, der ein Pulver in Form einer Wolke durch den Brennpunkt eines Parabolspiegels fördert. Die Pulverwolke selbst wirkt als volumetrischer Absorber des Sonnenlichts.

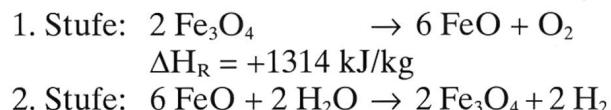
2. Wasserstoff-Wirtschaft

Der grösste Teil des Weltenergiebedarfs (rund 80%) wird heute durch die fossilen Brennstoffe Kohle, Erdöl und Erdgas abgedeckt. Die Vorräte an fossilen Rohstoffen sind beschränkt, sie werden früher oder später nur noch erschwert verfügbar sein. Zusätzlich werden durch die Verbrennung nebst Schadstoffen auch grosse Mengen an CO_2 freigesetzt, die möglicherweise zu einer Klimaveränderung führen. Die chemisch gespeicherte Energie der fossilen Brennstoffe weist Vorteile wie hohe Energiedichte und gute Transportfähigkeit auf. Für viele Anwendungen bietet sich Wasserstoff als Ersatz für die fossilen Energieträger an. Bei ausreichend hoher Energiedichte ist Wasserstoff speicherbar, transportfähig und verbrennt sauber. Die Produktion von Wasserstoff aus regenerativen (erneuerbaren) Energiequellen könnte wesentlich zur Lösung des Energieproblems beitragen.

Die Sonne strahlt der Erde Jahr für Jahr mehr als zehnmal so viel Energie zu, wie diese theoretisch an fossilen Energieträgern besitzt. Der gesamte derzeit davon ökonomisch gewinnbare Anteil entspricht

sogar nur etwa 5% der eingestrahlten Energie. Der heutige Welt-Primärenergiebedarf beträgt nur 0.05% der jährlichen Sonneneinstrahlung (KLEEMANN, 1988).

Die Umsetzung von Sonnenstrahlung in Wasserstoff ist als zweistufiger Wasserspaltungs-Zyklus denkbar (NAKAMURA, 1976).

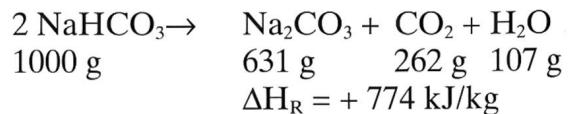


Die erste Stufe erfolgt bei Umgebungsdruck bei einer Temperatur von rund 2000°C. Diese Reaktion kann durch Bestrahlung mit konzentriertem Sonnenlicht betrieben werden. Um die Rückreaktion zu verhindern, ist anschliessend eine rasche Abkühlung nötig. Die zweite Stufe ist die Wasserspaltungs-Reaktion, die den Energieträger Wasserstoff H_2 freisetzt. Mit Wasserstoff können bereits heute Autos oder Grossraumflugzeuge angetrieben werden.

3. Modellprozess

Eine Betriebstemperatur von über 1500°C verlangt eine Reaktorkonstruktion mit keramischen Materialien. Auch wäre es kaum möglich, im Reaktor selbst Temperaturmessungen vorzunehmen. Um Erfahrung mit dem direkt-absorbierenden Pulverreaktor zu erhalten, wird vorerst mit einem Modellprozess bei viel tieferer Temperatur experimentiert.

Backpulverreaktion



Auch bei dieser Reaktion zersetzt sich ein Pulver in ein Pulver und Gase. Der endotherme Vorgang nimmt viel Energie auf. Die Zersetzung findet bei grosser Verweilzeit bereits bei 150°C statt (im Backofen).

Es kommen sehr feine Partikel mit einem mittleren Korndurchmesser von 1/100 mm zum Einsatz. Dadurch ergibt sich ein gutes Oberflächen-Volumen-Verhältnis, eine gute Lichtabsorption in der dichten Wolke und eine rasche Erhitzung der Einzelteilchen. Die Reaktionszeit wird verkürzt, und die benötigte Verweilzeit im Reaktor sinkt (bis unter 0.1 s). Die Absinkgeschwindigkeit der Partikel in der Wolke wird klein im Verhältnis zur Strömungsgeschwindigkeit.

4. Der Sonnenkonzentrator

Am PSI im Kanton Aargau steht ein von McDonnell Douglas erbauter Parabolspiegel mit einer Spiegelfläche von 90 m^2 . Das Licht wird auf einen Brennfleck mit 150 mm Ausdehnung konzentriert, die Strahleistung beträgt 50 kW mit einer Intensität entsprechend 5000facher Sonnenstrahlung (5 MW/m^2). Es wird eine maximale Temperatur von 3000°C erreicht. Der Parabol-

spiegel konzentriert nur direktes Sonnenlicht, womit Versuche nur bei möglichst wolkenlosem Himmel erfolgen können.

5. Beschreibung des Reaktors

Der doppelwandige zylindrische Reaktor weist eine Lichteinlassöffnung mit $\phi 150 \text{ mm}$ auf, diese ist atmosphärisch offen. Quarzglas würde der thermischen Belastung nicht standhalten. Das Pulver wird mittels Flugförderung im Ringkanal axial zugeführt. Die Strömung wird vor dem Eintritt umgelenkt und kegelförmig in den Reaktionsraum eingeblasen. Der Strahl weitet sich leicht auf und bildet eine optisch dichte Pulverwolke im Brennpunkt des Parabolspiegels. Die Geschwindigkeit wird durch die Aufweitung des Querschnitts stark verzögert. Die zentrale Absaugung ist so zu regulieren, dass keine Partikel durch die Öffnung austreten. An der Innenwand wird Druckluft tangential eingedüst, die Wirbelströmung umschliesst

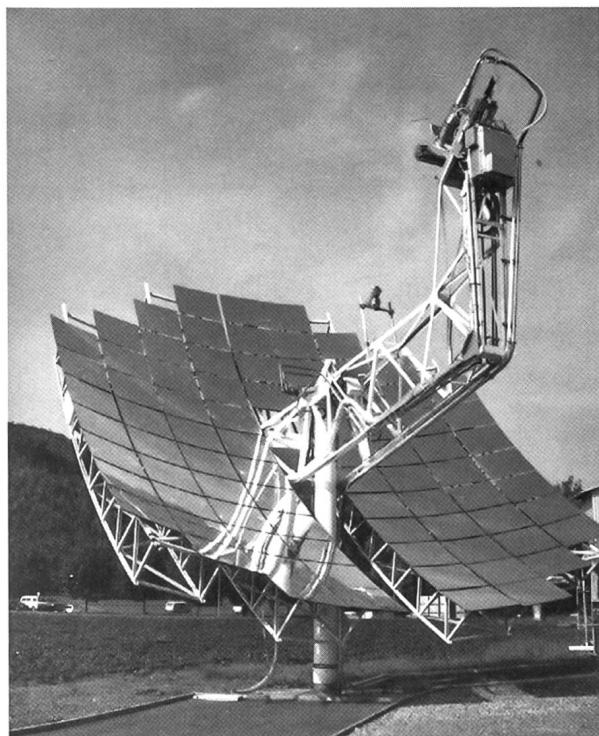


Abb. 1: Parabolspiegel mit 90 m^2 Fläche.

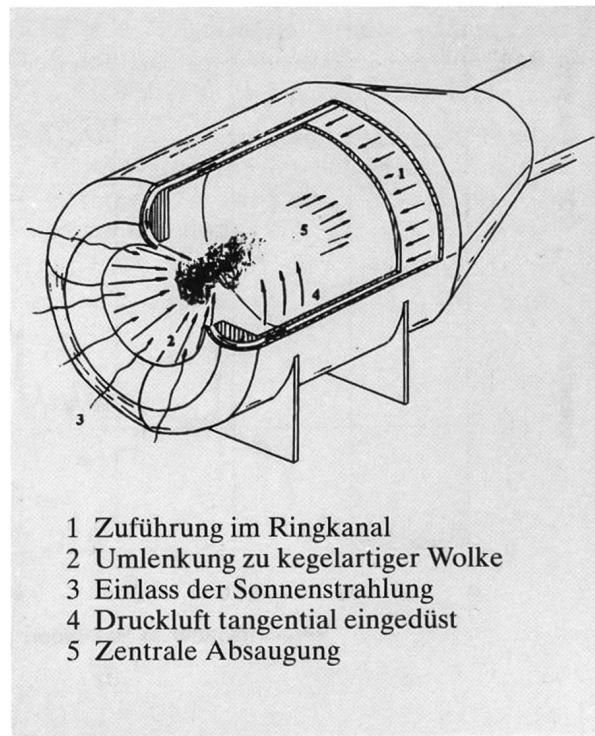


Abb. 2: Reaktor

- 1 Zuführung im Ringkanal
- 2 Umlenkung zu kegelartiger Wolke
- 3 Einlass der Sonnenstrahlung
- 4 Druckluft tangential eingedüst
- 5 Zentrale Absaugung

eingedüst, die Wirbelströmung umschliesst die Pulverwolke und verhindert so Ablagerungen. Die Innenwand wird beidseits umströmt und wirkt dabei als Wärmeaus tauschfläche.

6. Versuchsaufbau

Ein Roots-Gebläse fördert die Luft bis in den Reaktor. Das Backpulver wird mit einem Zweiwellendosierer in die Förderleitung aufgegeben. Die Beladung und der Volumenstrom sind einstellbar. Im Reaktor trifft das konzentrierte Licht auf die dort erzeugte Pulverwolke. Die Absa gung der Wolke erfolgt mit einem geregelten Ventilator. Ein Tuchfilter trennt das Pulver von der Förderluft.

Die Steuerung wird durch eine Messdatenerfassung unterstützt. Die Luftdurch sätze lassen sich mit einer Differenzdruck-

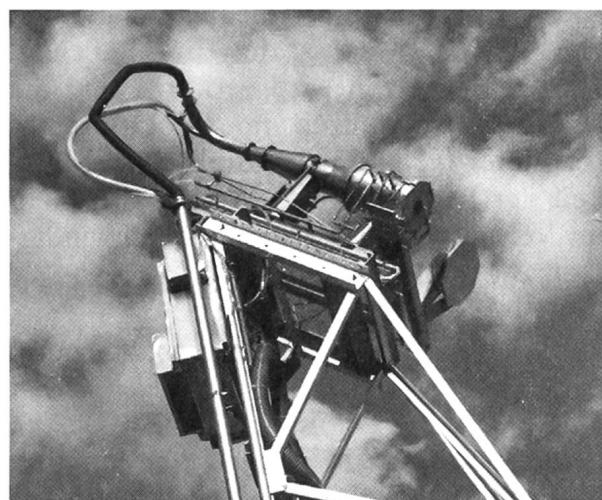


Abb. 3: Reaktor mit gekühlten Schutzschildern

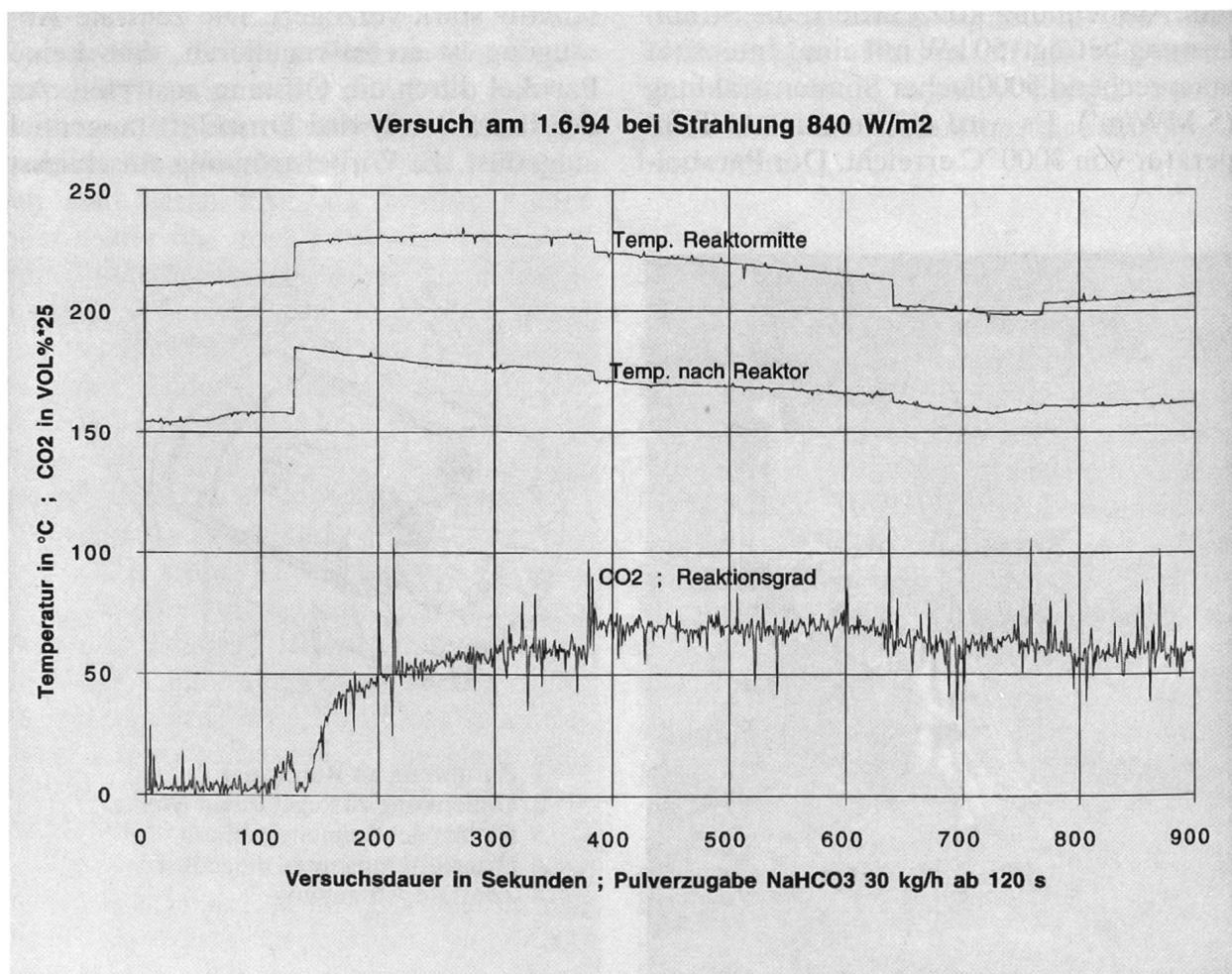


Abb. 4: Reaktions- und Temperaturverlauf

messung an eingebauten Venturi-Düsen bestimmen. Es sind mehrere Temperaturfühler installiert. Ein CO₂-Messgerät ergibt Aufschluss über den Reaktionsgrad des Backpulvers.

7. Erste Resultate

Die Partikelwolke nimmt rund 70% der eingestrahlten Leistung auf und wandelt diese in Wärme und Reaktionsenthalpie um. Die Temperatur in der Reaktormitte ist höher als an der Wand, die heisse Zone also wie erwünscht im Zentrum. Die aufgezeichneten Messresultate zeigen, dass die Temperatur nach der Pulverzugabe bei 120 s stark ansteigt, was auf die bessere Absorption des Lichts zurückzuführen ist. Die Auswertung im Labor ergibt, dass bei diesem Versuch 68% des Backpulvers reagiert haben. Die Reaktion lässt sich längere Zeit stabil aufrechterhalten.

Damit keine Partikel den Reaktor durch die Öffnung verlassen, muss unerwartet viel Aussenluft in den Reaktor gesogen werden. Die kurze Verweilzeit des Pulvers in der heissen Zone erhöht zudem die benötigte Reaktionstemperatur.

8. Schlussfolgerung

Die direkte Absorption des Lichts durch die Partikel ist möglich. Das Backpulver erhitzt sich auf 220°C und reagiert innert 0.1 Sekunden. Diese kurze Reaktionszeit ist notwendig, wenn später mit Metalloxyden gearbeitet wird. Bei Metalloxyd verhindert eine anschliessende rasche Abkühlung die Rückreaktion.

Die heute bekannten chemischen Reaktionen, die zu einem Energieträger führen, laufen bei sehr hohen Temperaturen ab. Damit diese mit einem beschriebenen Gas-Feststoff-Reaktor erreichbar sind, muss der Reaktor werkstoff- und strömungstechnisch optimiert werden. Der

Fördergasstrom ist vorzuwärmen und möglichst gering zu halten, wie auch die angesogene Aussenluft. Mit einem Wärmeaustausch lässt sich der thermische Wirkungsgrad verbessern. Bis zu einer energetisch sinnvollen Prozessführung wird aber noch einige Jahre Forschungsarbeit nötig sein. Dann allerdings könnte die solar gewonnene, speicherbare Energie eine bedeutende Stellung in der Weltenergieversorgung einnehmen.

Dank

Die Gruppe für solare Verfahrenstechnik am PSI trägt wesentlich zum Erfolg dieses Projekts bei.

Literaturverzeichnis

- GANZ J., HAUETER P., STEINFELD A., WUILLEM D. (1993): Direct-Absorption Particle Reactor For Solar Energy Conversion. – Annual Report 1993, PSI General Energy Technology.
- KLEEMANN M., MELISS M. (1988): Regenerative Energiequellen. – Springer-Verlag, Berlin.
- KUHN, P. (1990): Metal Oxides – Candidates for Solar Energy Conversion. – Annual Report 1990, PSI General Energy Technology.
- NAKAMURA, T. (1976): Hydrogen Production From Water Utilizing Solar Heat At High Temperatures. – Solar Energy, Vol. 19, pp. 467–475, Pergamon Press 1977.

