

Vergleichende Wirtschaftlichkeitsanalyse von solarthermischen Prozessen zur Wasserstoffherzeugung

Daniela Graf*, Nathalie Monnerie, Dr. Martin Roeb, Dr. Christian Sattler, Dr. Mark Schmitz

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e. V.,
Institut für Technische Thermodynamik, Solarforschung,
Linder Höhe, 51147 Köln

Zusammenfassung

Thermochemische Kreisprozesse werden im Vergleich zur Wasserelektrolyse hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit bewertet. Die Bereitstellung der benötigten thermischen Energie für den Schwefelsäure-Hybrid-Prozess und ein auf Metalloxiden basierender Kreisprozess, sowie die elektrische Energie zur Elektrolyse erfolgt mittels 50MW_{th} Solarturmsystem bzw. Parabolrinnenkraftwerk. Für diese Anlage werden die Investitions- und Betriebskosten ermittelt um anschließend die Wasserstoffproduktionskosten mittels Annuitätenmethode zu berechnen.

1 Einführung und Ziele

Wasserstoff kann nur dann als regenerativer Energieträger bezeichnet werden, wenn dessen Herstellung umweltfreundlich und ohne schädigende Emissionen erfolgt. Die aussichtsreichsten Verfahren für eine zukünftige Massenproduktion sind neben der Elektrolyse von Wasser vor allem thermochemische Kreisprozesse, welche auf Wasser als kohlenstofffreien Rohstoff zurückgreifen.

Die thermische Spaltung von Wasser erfordert Temperaturen von mehr als 2300K, die im großtechnischen Maßstab material- und verfahrenstechnisch in absehbarer Zeit nicht zu realisieren sind. Mittels zusätzlicher Substanzen ist es möglich, die Spaltung des Wassers in mehreren Teilschritten bei niedrigeren Temperaturen ablaufen zu lassen. Die dabei entstehenden Zwischenprodukte werden innerhalb eines Zyklus komplett recycelt. Dadurch entspricht die Summe aller Teilreaktionen wieder der reinen Dissoziation von Wasser. Die dafür benötigte Energie wird durch konzentrierende Sonnenenergie bereitgestellt.

Aus der Vielzahl von thermochemischen Kreisprozessen wurden in dieser Studie der Schwefelsäure-Hybrid-Prozess sowie ein auf multivalenten Metalloxiden basierender Kreisprozess ausgewählt, welche innerhalb der EU-Projekte HYTHEC und HYDROSOL untersucht werden ([Abbildung 1](#)). Der Schwefelsäure-Hybrid-Prozess (Projekt HYTHEC) ist zweistufig und besteht aus einem thermochemischen und elektrochemischen Prozessschritt. Der im HYDROSOL Projekt untersuchte zweistufige Kreisprozess läuft unter Verwendung eines Redoxsystems auf Basis von Eisenmischoxiden ab. Der entscheidende verfahrenstechnische „Kniff“ hierbei ist die Fixierung des aktiven Redoxsystems auf der Oberfläche einer keramischen Trägerstruktur, die gleichzeitig als Strahlungsabsorber dient.

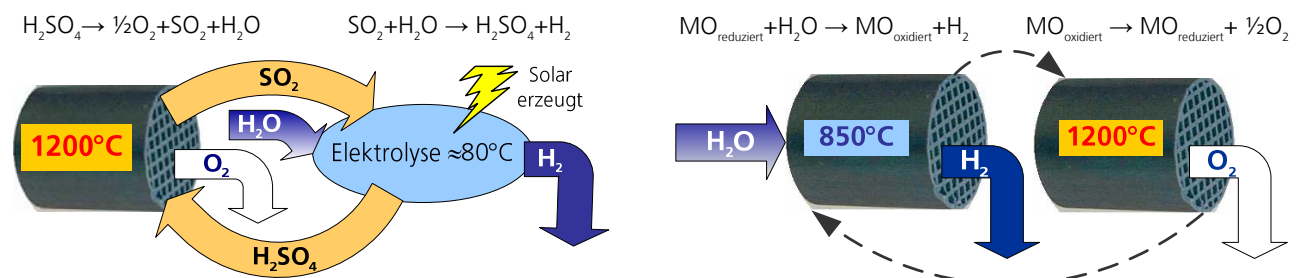


Abbildung 1: Schemata Schwefelsäure-Hybrid-Prozess (links) und Metalloxid Kreisprozess (rechts)

Für die thermochemischen Kreisprozesse werden die Investitions- und Betriebskosten, sowie die Wasserstoffproduktionskosten einer kommerziellen Anlage mit einer durchschnittlichen jährlichen Leistung von 50MW_{th} ermittelt. Die zugrunde liegenden Anlagenschemata basieren auf dem aktuellen Stand des Wissens. Den Referenzfall bildet die alkalische Elektrolyse, deren Bedarf an elektrischer Energie durch Einkauf der notwendigen Strommenge aus einem externen angesiedelten Parabolrinnenkraftwerk der gleichen thermischen Leistung gedeckt wird. Der Solarreceiver des Schwefelsäure-Hybrid-Prozess ist so gestaltet, dass in einem Teil der Apertur Wärme für die Stromerzeugung bereitgestellt wird. Mittels geschlossenem Gasturbinenprozess wird so die elektrische Energie für die Anlage und Elektrolyse vollständig erzeugt. Als gemeinsamer Standort wurde die Region am Assuan Stausee in Ägypten gewählt.

2 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Wasserstoffproduktionskosten (HPC) werden mittels Annuitätenmethode berechnet ^[1]. Darin berücksichtigt werden eine Lebensdauer (n) von 20 Jahren sowie ein Zinssatz (i_r) von 6%. Die Investitionskosten (I₀) der Anlage setzen sich aus den Kosten der Anlagenkomponenten und Gebäude, einem darauf bezogenen Sicherheitszuschlag zur Deckung von Mehrkosten und Eventualitäten, sowie der Landfläche zusammen. In den Betriebskosten (OC) sind alle Kosten für Personal, Versicherung, Instandhaltung sowie Verbrauchsmaterial und Energie berücksichtigt. Da in allen Prozessen Sauerstoff als Nebenprodukt entsteht, wird der Erlös (R_{O₂}) aus dessen Verkauf den Betriebskosten der Anlage gegen gerechnet.

$$AF = (1 + i_r)^n \frac{i_r}{(1 + i_r)^n - 1}$$

$$PV = I_0 + \sum_{n=1}^{n_p} \frac{(OC)_n - R_{O_2n}}{(1 + i_r)^n}$$

$$HPC = \frac{PV * AF}{P_H}$$

3 Ergebnisse und Diskussion

Die ermittelten Wasserstoffkosten stellen beim Kostenvergleich den Referenzfall dar und bewegen sich für die Elektrolyse im Bereich von 3,4-7€/kg; 3,8-5,6€/kg für den Schwefelsäure-Hybrid-Prozess und 2,1-5,3€/kg für den Metalloxid-Kreisprozess. Dabei fließt ein, dass eine Vielzahl der Komponenten Einzelanfertigungen sind bzw. Materialien enthalten, welche momentan nur im Labormaßstab gefertigt werden. Das Potenzial zur Kostenreduzierung der Komponenten ist in Abbildung 2 für drei Szenarien (optimistisch, Referenz, konservativ) dargestellt. Hierbei wird deutlich, dass der Metalloxid-Kreisprozess die geringsten Produktionskosten und das größte Einsparpotenzial aufweist. Der hohe Energiebedarf beeinflusst wesentlich das Ergebnis der Elektrolyse. Der größte Kostenverursacher beim Schwefelsäure-Hybrid-Prozess ist der Elektrolyseteil.

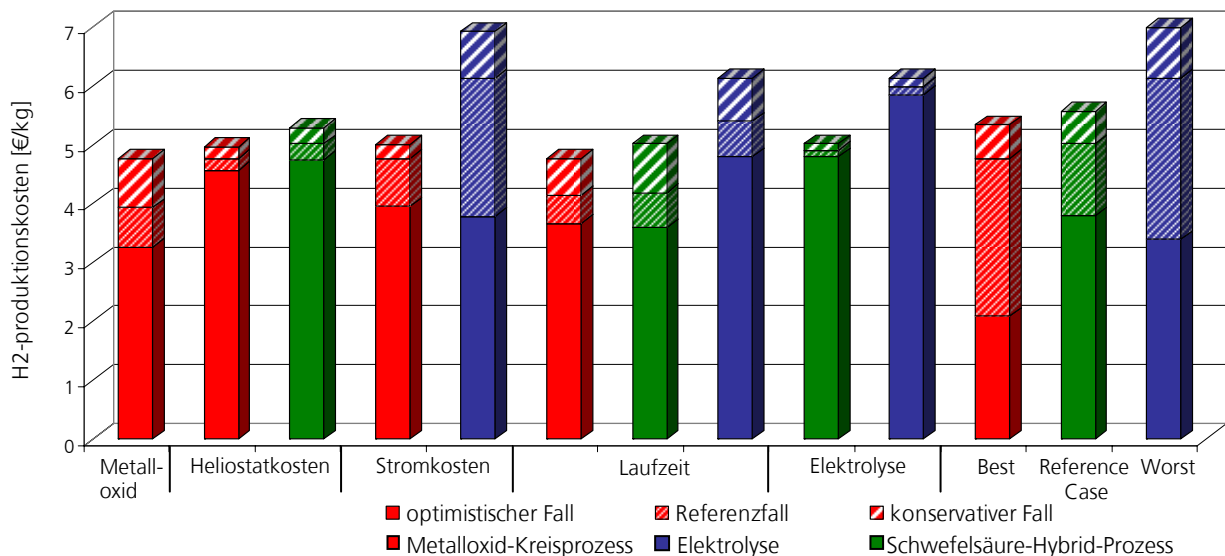


Abbildung 2: Sensitivität der Wasserstoffproduktionskosten

4 Ausblick

Es ist zu erwarten dass verbesserte Anlagenkonzepte bei gleichzeitiger Steigerung der Wirkungsgrade zu weiteren Kostensenkungen führen. Wasserstoff wird heute hauptsächlich durch Reformierung von Erdgas für etwa 1,3€/kg hergestellt ^[2]. Die Kosten welche die emittierten und klimarelevanten Schadstoffe verursachen, bleiben darin jedoch unberücksichtigt. Diese werden zusammen mit der Preissteigerung und Verknappung der fossilen Rohstoffe einen großen und positiven Einfluss auf die zukünftige Konkurrenzfähigkeit der solarthermischen Verfahren haben.

Die Autoren danken der Europäischen Kommission für die Förderung der Projekte HYTHEC (Contract No. SES6-CT-2004-502704) und HYDROSOL-2 (Contract No. SES6-CT-2005-020030)

Literatur

^[1] Schneider, L.; Stromgestehungskosten von Großkraftwerken – Entwicklungen im Spannungsfeld von Liberalisierung und Ökosteuern; Öko-Institut, Freiburg, 1998

^[2] Geitmann, S.; Wasserstoff und Brennstoffzellen – Die Technik von morgen!; Januar 2002