

Solarthermische Spaltung von Methan – vom Labor zum großtechnischen Maßstab

Daniela Graf*, Nathalie Monnerie, Christian Sattler, Karl-Heinz Funken

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

Kurzzusammenfassung

Wasserstoff wird vielfach als potenzieller Energieträger der Zukunft angesehen. Allerdings kann er nur dann eine Alternative zu fossilen Energieträgern sein, wenn die Herstellung ohne schädigende Emissionen erfolgt. Die thermische Spaltung von Methan in Wasserstoff und partikulären Kohlenstoff ist einer von vielen derzeit untersuchten Prozessen. Im Projekt SOLHYCARB wurde die Machbarkeit einer solar betriebenen Prozessvariante in einer Versuchsanlage erfolgreich demonstriert. Um eine Skalierbarkeit in den großtechnischen Maßstab besser beurteilen zu können, wurden erste Ergebnisse einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und einer Sensitivitätsanalyse verwendet. Hierfür wurde eine 10 MW Anlage bestehend aus Solarturmsystem, chemischer Verfahrenstechnik und Brennstoffzelle ausgelegt, deren Investitions- und Betriebskosten ermittelt und die zu erwartenden Produktionskosten bewertet.

1 Einführung und Ziele

Bei der thermischen Spaltung von Methan entsteht neben Wasserstoff partikulärer Kohlenstoff, der bei hinreichender Qualität industriell genutzt werden kann. Nutzt man konzentrierte Sonnenstrahlung, um die erforderliche Prozesswärme bereitzustellen, werden beide Produkte CO₂-frei hergestellt. Im Projekt SOLHYCARB wurden u. a. die Reaktionskinetik sowie die Eigenschaften des gebildeten partikulären Kohlenstoffs experimentell bestimmt und Reaktortests bis in den 50 kW Maßstab durchgeführt. In diesem Beitrag werden Ergebnisse einer Studie zur Hochskalierung des Prozesses in den großtechnischen Maßstab und zur Ermittlung dessen Wirtschaftlichkeit vorgestellt. Sowohl das Solarsystem als auch die notwendige Verfahrenstechnik wurden für eine 10 MW Anlage an einem sonnenreichen Standort ausgelegt und einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sowie Sensitivitätsanalyse unterzogen. Als mögliche Produkte werden Wasserstoff und Kohlenstoff bzw. Elektrizität und Kohlenstoff bei der direkten Verstromung des gebildeten Wasserstoffs in der Brennstoffzelle (BSZ) betrachtet.

2 Resultate

Für eine großtechnische Anlage wurden Heliostatfeld, Receiver und Turm so aufeinander abgestimmt, dass eine Strahlleistung von 10 MW_{th} in den Receiver eingetragen wird und Temperaturen von 1600°C für die Spaltreaktion erreicht werden. In den nachfolgenden Prozessschritten werden die Produktgase abgekühlt, aufbereitet und Wasserstoff wird zur weiteren Verwendung komprimiert. Für die Prozessauslegung wurden verschiedene Varianten der Abwärmenutzung und Rezyklierung von Stoffströmen untersucht. Die Fließschemata wurden mit der Simulationssoftware Aspen Plus (V7.0) erstellt (Abbildung 1).

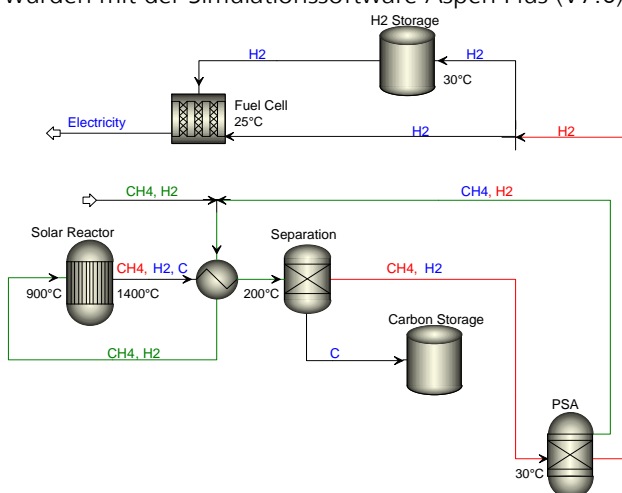


Abbildung 1a: Vereinfachtes Verfahrensfliessbild

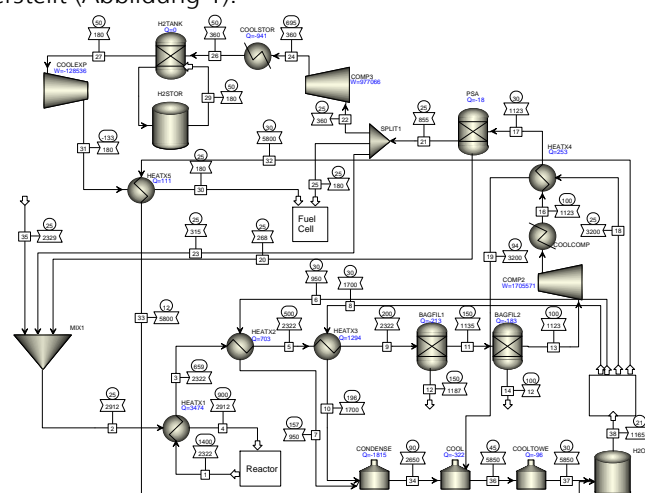


Abbildung 1b: Ausführliches Verfahrensfliessbild

* Korrespondenzautor: Tel.: +49 2203 601-2402, Fax: +49 2203 601-4141, E-mail: daniela.graf@dlr.de

Um die Höhe der notwendigen Investitions- und der Betriebskosten zu ermitteln wurde eine vereinfachte Version der Kostenaufschlüsselung nach Chauvel verwendet^[1]. Zusätzlich wurden zwei verschiedene Receiverkonzepte entworfen und verglichen. Der erste Receiver besteht aus einer großen Kavität die nach Norden ausgerichtet ist. Das zweite Design ist aus drei kleineren Kavitäten aufgebaut die in einem festen Winkel zueinander von Nordost nach Nordwest blickend angeordnet sind. Außerdem wurden zwei verschiedene Prozessstypen verglichen. Im Auslegungszustand („DESIGN“) wurde davon ausgegangen, dass das eingespeiste Methan im Reaktor vollständig umgesetzt wird. Im industriellen Anlagenbetrieb kann davon jedoch nicht ausgegangen werden, da das System mit einer gewissen Trägheit auf bspw. Einstrahlungsänderungen reagiert. Daher wird im zweiten Fall von einem Teilumsatz (90%) ausgegangen („REAL“). Um den Kohlenstoff abzutrennen, ist es notwendig den Produktgasstrom auf 200°C abzukühlen. Die dabei abzuführende Wärme kann zur Vorwärmung des Eingangsmassenstromes in den Receiver verwendet werden. Der Einfluss dieser Verfahrensweise auf die Investitions- und Produktionskosten wird in den Fällen „mit Vorwärmung“ und „ohne Vorwärmung“ gezeigt. In jedem der bisher betrachteten Fälle entstehen die Produkte Wasserstoff und Kohlenstoff. Letzterer wird nach der Abtrennung abgefüllt, abtransportiert und entsprechend seiner Qualität weiterverwendet. Der Wasserstoff hingegen kann komprimiert oder verflüssigt und anschließend gespeichert und abtransportiert werden („ohne BSZ“) oder direkt in einer Brennstoffzelle verstromt werden („mit BSZ“).

Die aus den verschiedenen Prozessvarianten resultierenden Produktionskosten zeigt Tabelle 1. Es wird deutlich, dass eine Mehrfach-Kavität vorteilhafter gegenüber der Einfach-Kavität ist. Grund dafür ist vor allem das optimierte Design und der dadurch mögliche höhere Massenstrom. Die Vorwärmung des Eingangstromes führt zu einer Kostenreduktion, wie der Vergleich der Einfach-Kavitäten zeigt.

Tabelle 1: Übersicht der Produktionskosten

			REAL, 1 Kavität, ohne Vorwärmung	REAL, 1 Kavität, mit Vorwärmung	REAL, 3 Kavitäten	DESIGN, 3 Kavitäten
Ohne BSZ	H ₂ Kosten	€/kgH ₂	13.08	12.11	3.11	2.01
	C Kosten	€/kgC	2.45	4.12	1.20	0.73
Mit BSZ	Stromkosten	€/kWh	2.40	2.26	1.00	0.85
	C Kosten	€/kgC	5.79	4.31	3.00	2.11

3 Diskussion

Unter den zugrunde gelegten Verfahrensvarianten sind die mit Brennstoffzelle die teuersten aufgrund ihrer hohen Anschaffungs- und Instandhaltungskosten sowie ihrer begrenzten Lebensdauer. Das wirtschaftliche Ergebnis wird außerdem durch den Verkaufspreis des Kohlenstoffes beeinflusst, der vor allem von der Produktqualität abhängt. Die erzielbaren Preise für Wasserstoff und Elektrizität werden durch die Marktgegebenheiten (Angebot, Nachfrage, Einspeisevergütung, etc.) bestimmt. Der Einfluss des Verkaufspreises für die Nebenprodukte auf die Produktionskosten wurde in einer – hier nicht vorgestellten – Sensitivitätsanalyse untersucht. Möglichkeiten zur Reduktion der Kosten durch technischen Fortschritt, Massenproduktion und Markteinführung wurden in dieser Studie nicht betrachtet.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Zurzeit wird eine Vielzahl chemischer Prozesse zur alternativen Wasserstoffproduktion untersucht. Die in dieser Studie für die solarthermische Methanspaltung ermittelten Produktionskosten von 3-4 €/kg H₂ übersteigen die derzeit marktüblichen Verkaufspreise. Allerdings liegen sie vergleichsweise in der Größenordnung weiterer aussichtsreicher neuer (3-6 €/kgH₂)^[2] Verfahren. Durch weitere Optimierung der Prozessführung sind geringere Produktionskosten zu erwarten. Ein wesentliches Ergebnis des Projektes Solhycarb ist der Machbarkeitsnachweis des solar betriebenen Prozesses^[3]. Jedoch stellen die hohen Reaktionstemperaturen und die daraus resultierenden Anforderungen an Materialien eine große Herausforderung für eine großtechnische Anwendung dar.

Die Autoren danken der Europäischen Kommission für die Förderung des Projektes SOLHYCARB (SES6 019770)

Literatur

- ^[1] Chauvel, A.; Fournier, G. ; et al., Manuel d'évaluation économique des procédés. Technip, 2e ed., 2001
- ^[2] Graf, D.; Monnerie, N.; Roeb, M.; Schmitz, M.; Sattler, C.; Economic comparison of solar hydrogen generation by means of thermochemical cycles and electrolysis, International Journal of Hydrogen Energy Volume 33, Issue 17, September 2008, Pages 4511-4519
- ^[3] Rodat, S.; Abanades, S.; Sans, J.-L. ; Flamant, G. ; Hydrogen production from solar thermal dissociation of natural gas : development of a 10 kW solar chemical reactor prototype, Sol. Energy 83 (2009) 1599-1610.