

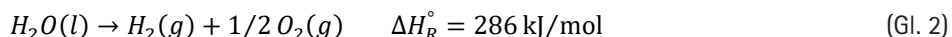
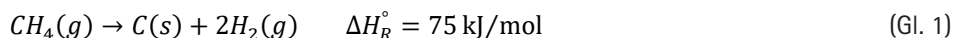
## Herstellung von festem Kohlenstoff und Wasserstoff aus Biomethan mithilfe eines nicht thermischen Plasmas

REMYA RAVINDRAN NAIR, KATRIN KAYSER, MICHAEL KÖTTNER, TERJE HAUAN

### 1 Einleitung

Die Pyrolyse von Biomethan ist ein vielversprechender Ansatz zur Verringerung des Kohlenstoffdioxid(CO<sub>2</sub>)-Ausstoßes bei der Wasserstoffherzeugung. Es existieren mehrere Methoden, um aus dem wichtigsten Treibhausgas, Methan (CH<sub>4</sub>), wertvolle Produkte zu erzeugen. Die Dampfreformierung (Steam Methane Reforming SMR) ist die am weitesten entwickelte Technologie und produziert den größten Anteil des weltweit erzeugten Wasserstoffs. Dabei entsteht jedoch viel CO<sub>2</sub>, wodurch andere Verfahren zur Erzeugung von Wasserstoff (H<sub>2</sub>) ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen an Bedeutung gewinnen. Die thermische Zersetzung von CH<sub>4</sub> in H<sub>2</sub> und Kohlenstoff gilt als vielversprechende Alternative zu SMR.

Nach den Gleichungen für die Reaktionsenthalpie (1) und (2) benötigt die Methanpyrolyse (1) etwa ein Viertel der Energie, die für die elektrolytische Wasserspaltung zur Erzeugung von H<sub>2</sub> erforderlich ist (2). Die direkte Methandissoziation verbraucht etwas weniger Energie als die konventionelle Dampfreformierung (SMR) zur Wasserstoffherzeugung (3) (Gautier et al. 2017).



Für technisch relevante Reaktionsgeschwindigkeiten und Methanumwandlungsraten werden Temperaturen von über 800 °C benötigt. Hieraus ergeben sich große technische Herausforderungen für die Methanpyrolyse: hohe Energiebedarfe für Temperaturerzeugung und Kühlung (verringert die Energieeffizienz), Elektrodenverschleiß durch hohe Temperaturen und die Ablagerung von Kohlenstoff.

## 2 Methanspaltung mit nicht thermischem Plasma

Nicht thermisches Plasma (NTP) gilt als die innovativste grüne Technologie der nächsten Generation, die sowohl die Erfordernisse der Energie- und Material-einsparung als auch des Umweltschutzes erfüllt. Plasma enthält ionisierte Gase mit Ionen, Elektronen, Radikalen und neutralen Molekülen. Es ist hochgradig interaktiv und elektrisch leitfähig und eignet sich für die Aktivierung thermodynamisch schwieriger Reaktionen (Liu et al. 2017).

### 2.1 Nicht thermisches Plasma

NTP erzeugt reaktive Spezies fast unabhängig von der Reaktionstemperatur. Die reaktiven Spezies leiten chemische Reaktionen bei deutlich niedrigeren Temperaturen ein als herkömmliche thermochemische Reaktionen. Nicht thermische Plasmen enthalten hochenergetische Elektronen mit einer typischen Energie von 1 bis 10 eV. Sie können die meisten chemischen Bindungen leicht aufbrechen und benötigen deutlich geringere Temperaturen im Vergleich zu thermischen oder katalytischen Prozessen. Dies erhöht die Flexibilität bei der Einstellung der Prozessparameter, sodass der Energie- und Materialverbrauch minimiert wird.

### 2.2 Projekt ColdSpark® (Horizon Europe Projekt)

ColdSpark® wird eine fortschrittliche Technologie zur Herstellung von H<sub>2</sub> aus (Bio-)Methan ohne CO<sub>2</sub>-Erzeugung, die 50 bis 80% wirtschaftlicher sein wird als andere Plasmaspalttechnologien. Sie hat niedrige Energiekosten und benötigt keinen Katalysator, wodurch Betriebskosten für ein Katalysatormanagement wegfallen und das Scale-up-Verfahren deutlich einfacher wird. ColdSpark® wird die Lücke zwischen der wirtschaftlichen und effektiven, aber nicht nachhaltigen SMR-Methode und der umweltfreundlichen, aber sehr teuren Wasserelektrolyse schließen. Das ColdSpark®-Projekt schlägt ein modulares System vor, das direkt an Biomethananlagen installiert werden kann und eine dezentrale Produktion von reinem, türkisem H<sub>2</sub> ohne CO<sub>2</sub>-Emissionen ermöglicht.

Der dabei entstehende Kohlenstoff kann zur Bodenverbesserung verwendet werden, um die landwirtschaftliche Produktivität zu steigern und der erzeugte nachhaltige Wasserstoff kann zur Herstellung von Ammoniak verwendet werden und das energieintensive Haber-Bosch-Verfahren zur Ammoniakherstellung ersetzen. Die von ColdSpark® erzeugten Kohlenstoffnebenprodukte werden zu erschwinglichen Preisen angeboten, wodurch die Grundsätze der Kreislaufwirtschaft unterstützt und neue Einkommensquellen geschaffen werden.

### 3 Fazit

Unsere derzeitige Arbeit konzentriert sich auf die Methanpyrolyse zu  $H_2$  und festem Kohlenstoff ohne  $CO_2$ -Produktion unter Verwendung von zwei Typen von NTP-Reaktoren zusammen mit einer Energieversorgung zur Feinabstimmung des Prozesses. Die Reaktoren, die auf einem Gleitlichtbogen und einer Korona-Plasmaentladung basieren, wurden gebaut und getestet, um potenzielle Synergien zu verstehen und einen neuen Plasmareaktor für eine hohe  $H_2$ -Ausbeute und Kohlenstoffqualität zu entwickeln. Vorläufige Experimente wurden durchgeführt, um die Funktionalität des Prozesses im Labormaßstab zu bewerten, und es wurde Kohlenstoff hergestellt.

### Literatur

- Gautier, M.; Rohani, V.; Fulcheri, L. (2017): Direct decarbonization of methane by thermal plasma for the production of hydrogen and high value-added carbon black. *International journal of hydrogen energy* 42, 28140–28156
- Liu, S.; Mei, D.; Tu, X. (2017): Steam reforming of toluene as biomass tar model compound in a gliding arc discharge reactor. *Chemical Engineering Journal* 307, 793–802