

# Sektorenkopplung mit Gas

## im Rahmen des BMBF-Vorhabens SEKO – Teil 2: Gasfachliche Untersuchungen

Die Kopplung der bislang weitgehend unabhängig voneinander existierenden Sektoren Wärme, Strom, Industrie und Mobilität wird im Zuge der Energiewende eine wichtige Rolle spielen. In dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsvorhaben „SEKO“ arbeiten mehrere Institute aus unterschiedlichen Fachrichtungen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) daran, zukünftige Herausforderungen bei der Sektorenkopplung zu identifizieren und Lösungsvorschläge zu finden. Das Institut für Technische Chemie und das Engler-Bunte-Institut kümmern sich dabei um eine ganzheitliche Simulation der Kopplung von Strom- und Erdgasnetz, die Einbindung industrieller Produktion in diese Kopplung sowie eine experimentelle Validierung und Erprobung mithilfe von Pilotanlagen und Systemsimulationen.

von: Dr. Frank Graf, Simon Sauerschell, Praseeth Prabhakaran, Dr. Siegfried Bajohr, Julia Slama, Prof. Dr. Dieter Stapf & Prof. Dr. Thomas Kolb (alle: Karlsruher Institut für Technologie)

Im vorliegenden zweiten Teil des Fachbeitrags werden die Arbeiten in den Teilprojekten näher vorgestellt und erste Ergebnisse präsentiert.

### Dynamische Modellierung von gekoppelten Energiesystemen (TP 3.1)

In diesem Arbeitspaket wird die Rolle der Gasinfrastruktur und von Gasanwendungen bei der Sektorenkopplung anhand von Energiesystemsimulationen bewertet. Ziel der Untersuchungen ist die Entwicklung von dynamischen Simulationsmodellen für verfahrenstechnische Prozesse zur Erzeugung und Bereitstellung von synthetischen Gasen, die in das Erdgasnetz eingespeist werden können. Zu nennen sind insbesondere die Bio-

gaserzeugung, Power-to-Gas(PtG)-Prozesse, die katalytische Methanisierung sowie CO<sub>2</sub>-Abtrennverfahren. Neben den verfahrenstechnischen Prozessen stellen Gasanwendungen (z. B. KWK-Anlagen und Gasmobilität) ein weiteres Aufgabengebiet dar. Als weitere Säule der Untersuchungen sind systemanalytische (ökonomisch und ökologisch) sowie infrastruktur-spezifische Themen (wie die Kopplung von Strom-, Wärme- und Gasnetzen) zu nennen. Hierzu gehört die dynamische Simulation von Gasverteil- und -transportnetzen, aber auch die dynamische Modellierung der Energieversorgung von Gebäuden sowie von zellularen Energiesystemen am Beispiel des KIT Campus Nord und des „Energy Lab 2.0“.

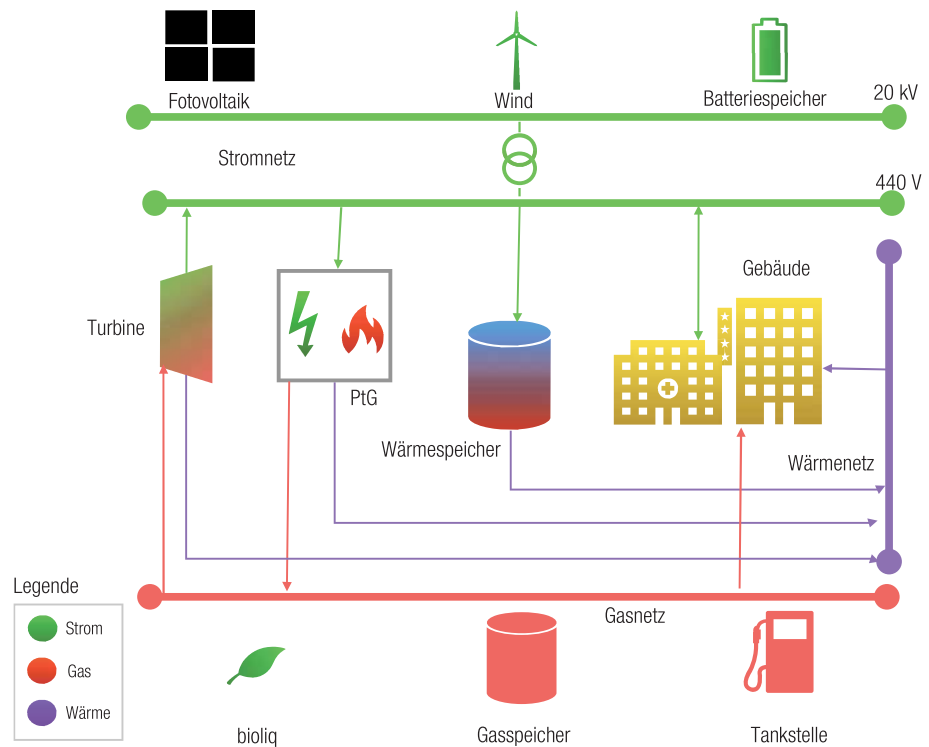
Die Modellierungsarbeiten folgen dabei der sogenannten Pyramidenphilosophie: Während im ersten Schritt zunächst Modelle für einzelne Komponenten erstellt werden, werden die Komponentenmodelle anschließend zu einem Energiesystem aggregiert (Abb. 3). Mit dem aggregierten Systemmodell kann dann ein Energiesystem über einen definierten Zeitraum (z. B.

für ein komplettes Jahr) dynamisch mit den lokalen Randbedingungen (Temperatur, Windgeschwindigkeit etc.) simuliert werden. Geografisch verteilte Komponenten wie Strom- und Gasnetze oder Gebäude werden im Systemmodell abstrahiert, um die Rechenzeiten zu minimieren.

Die im Energiesystemmodell verwendeten Komponentenmodelle können in insgesamt fünf Kategorien unterteilt werden:

- **EE-Erzeugungsanlagen:** Mit Modellen für Windkraft- und Fotovoltaik-Anlagen wird die Erzeugung von elektrischer Energie anhand von Wetterdaten berechnet.
- **Sektorenkopplungselemente:** Diese Komponenten werden für die sektorenübergreifende Energieerzeugung und -speicherung benötigt. Für PtG- und KWK-Konzepte wurden zwei detaillierte Modelle entwickelt.
- **Energiespeicher:** Es werden verschiedene Energiespeichertechnologien verwendet (thermische Speicher, Batterien, lokale Gasspeicher).

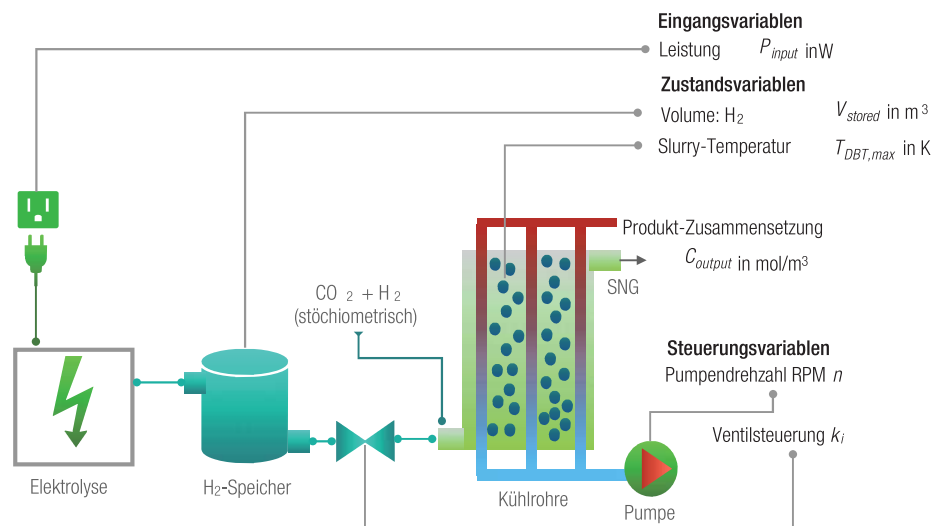
Abb. 3: Schematische Darstellung eines beispielhaften Systemmodells



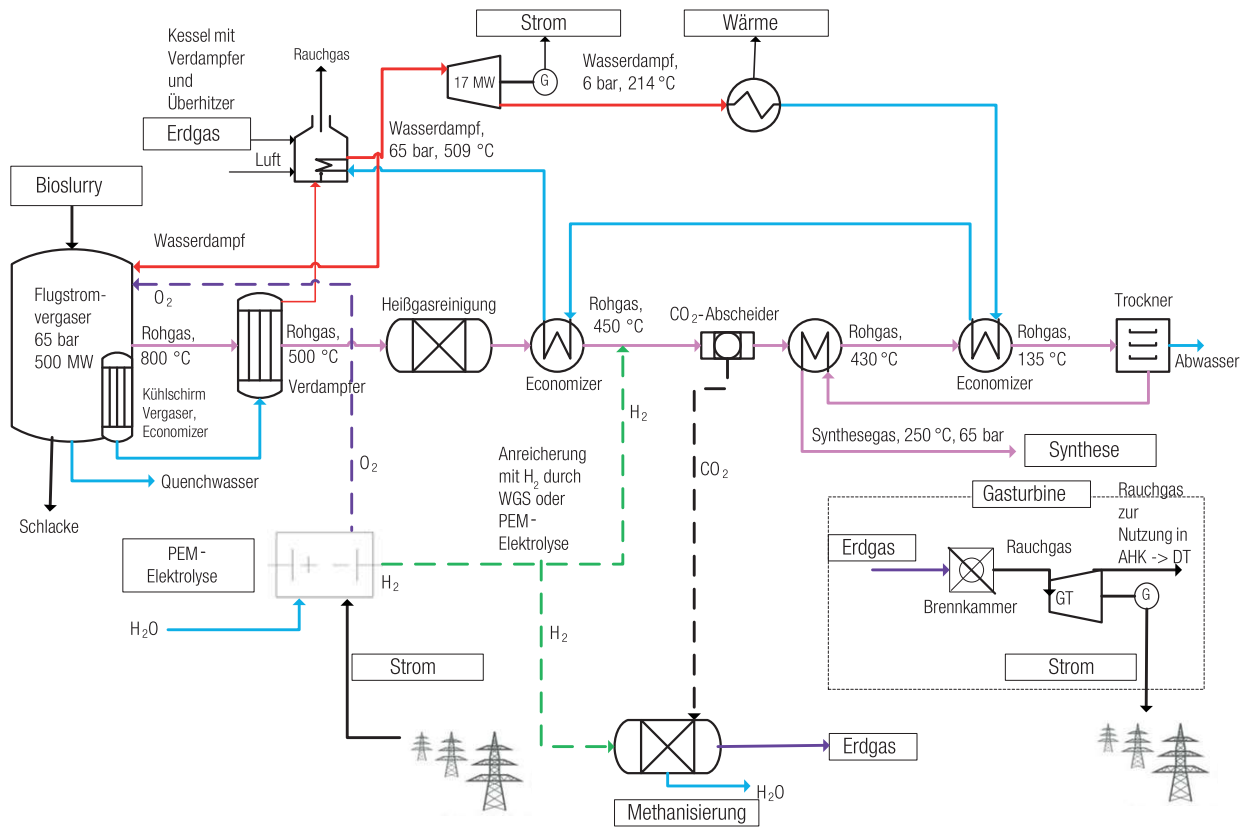
Quelle: KIT

- **Energienetze:** Energienetze (Gas, Wärme und Strom) werden vereinfacht modelliert. Ergänzend stehen für die Gas- und Wärmenetze im Campus Nord detaillierte physikalische Strömungssimulationen zur Verfügung.
  - **Gebäude und Verbraucher:** Die von den erneuerbaren Energieeinheiten erzeugte und über die Netze verteilte Energie wird im Wohn- und Industriesektor verwendet; modelliert werden diese Verbraucher über typische Gebäudeprofile. Diese basieren auf der Grundfläche, der Art des Gebäudes (Wohn- oder Industriegebäude) und anderen spezifischen Parametern (wie Dämmstoff, Alter des Gebäudes und Art der verwendeten Baumaterialien).
- Die Komponenten- sowie die verbundenen Systemmodelle werden in der Programmiersprache Modelica numerisch modelliert. Modelica ist eine objektorientierte Sprache zur Modellierung physikalischer Systeme [6, 7]; der Modellierungsansatz ist multiphysikalisch. Dies bedeutet, dass sich elektrische, thermische und fluidbasierte dynamische Verhaltensweisen mit ihren jewei-

Abb. 4: Überblick über das im Rahmen des Forschungsvorhabens verwendete PtG-Komponentenmodell



Quelle: KIT



Quelle: KIT

Abb. 5: Schematische Darstellung des hochskalierten, energetisch optimierten bioliq-Verfahrens mit Energiesystemintegration

ligen Zeitschritten in einem einzigen differenziellen algebraischen System modellieren lassen. Dies ermöglicht nicht nur den schnellen Austausch einzelner Komponenten zur Anpassung an die Anforderungen des Energiesystems, sondern auch die dynamische Modellierung des physikalischen Verhaltens einzelner Komponenten im Gegensatz zu Effizienzkurven oder Black-Box-Modellierungen [7]. Ein Beispiel für ein Komponentenmodell ist das PtG-Modul

zur Erzeugung von Gas aus erneuerbarem Strom (Abb. 4). Dieses Komponentenmodell ist über Energie- und Massenbilanzen mit den anderen Komponenten im System verbunden.

Die physikalischen Gleichungen, die das dynamische Verhalten des Moduls beschreiben, berechnen die Zustands- und Ausgangsvariablen. Diese wiederum werden als Referenz für die Steuervariablen verwendet, um das System in

Echtzeit zu steuern: So wird beispielsweise der PtG-Prozess im Komponentenmodell abhängig von der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien dynamisch gesteuert. Dabei müssen Zustandsvariablen wie die Reaktortemperatur in einem vorgegebenen Bereich bleiben.

Eine große Herausforderung bei der Modellierung ist die Optimierung und Steuerung des gesamten Systems [8]. Hierbei können verschiedene System-

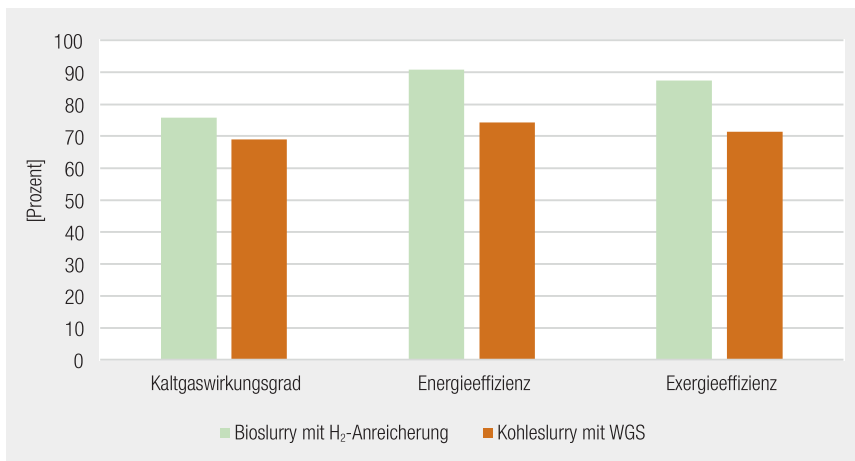


Abb. 6: Effizienzkennzahlen der Verfahren „Kohlevergasung mit konventionellem Wassergas-Shiftreaktor (WGS)“ und „Bioslurryvergasung mit Wasserstoffeinspeisung“ im Vergleich

ziele verfolgt werden. Im Rahmen des SEKO-Projektes lauten diese:

- Minimierung der Treibhausgas-Emissionen für das Energiesystem Campus Nord
- Minimierung der Investitions- und Betriebskosten unter möglichst weitgehender Ausnutzung der vorhandenen Energieinfrastrukturen
- Gewährleistung einer hohen Versorgungssicherheit bzw. Netzstabilität

Um die Ziele zu erreichen, können verschiedene Optimierungsstrategien eingesetzt werden, die sehr stark von den lokalen Randbedingungen abhängen. In der ersten Projektphase wurden die Komponentenmodelle erstellt, getestet und teilweise bereits anhand von experimentellen Daten validiert.

### Flexible Einbindung von industriellen Produktionsprozessen in die Energieinfrastruktur am Beispiel des bioliq-Verfahrens (TP 3.2)

Im Arbeitspaket 3.2 wird ein dynamisches Simulationsmodell für einen exemplarischen, sektorengestützten industriellen Produktionsprozess entwickelt. Mit dem gewählten Modellansatz kann einerseits die Energiesystemrolle der industriellen Produktion als Systemdienstleister untersucht und bewertet werden. Andererseits kann der komplexe Produktionsprozess selbst einer dynamischen Optimierung unter den Bedingungen des künftigen Energiesystems

zugeführt werden. Die chemische, energieintensive industrielle Produktion erfolgt heute weltweit meist in großem Maßstab und in einem kontinuierlichen Betrieb auf Basis fossiler Energieträger. Neben der Umstellung auf nachhaltige Rohstoffe muss künftig auch der Energiebedarf nachhaltig bereitgestellt werden. Eine Option stellt der Ersatz der heutigen Produktionsverfahren durch Power-to-X-Technologien mit weitgehender Dezentralisierung dar.

In diesem Teilprojekt wird die energetische Flexibilisierung bestehender, zentraler Produktionsstrukturen unter Veränderung der Rohstoffbasis betrachtet. In eigenen Vorarbeiten wurden die Zukunftstechnologien des bioliq-Prozesses und potenzieller Schnittstellen der Sektorenkopplung stationär modelliert und technoökonomisch bewertet. Darauf aufbauend, wird u. a. untersucht, wie erneuerbarer Wasserstoff künftig effizient eingebunden werden kann.

Abbildung 5 zeigt das untersuchte Modell der chemischen Produktion einschließlich der Schnittstellen zu den Energieträgern Strom, Wärme und Gas. Es handelt sich bei diesem chemischen Prozess um eine Flugstromvergasung mit einer thermischen Eingangsleistung von 500 MW und einer anschließenden Reinigung und Aufbereitung des Synthesegases. Das Synthesegas mit einem Wasserstoff-zu-Kohlenstoffmonoxid-Verhältnis von

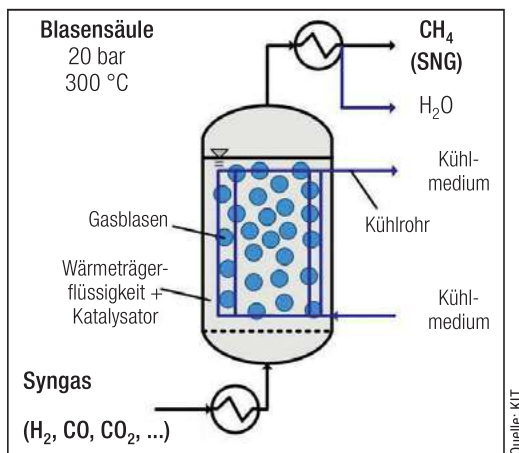
2:1 wird für eine anschließende Synthese von Kraftstoffen und Grundchemikalien bereitgestellt. Als Einsatzstoff dient in diesem Fall ein Bioslurry, welches durch eine Schnellpyrolyse nach dem bioliq-Konzept auf Basis nachhaltiger Bio- und Reststoffe bereitgestellt wird. Durch die optimierte (Ab-)Wärmenutzung entlang der gesamten Prozesskette kann diese autark betrieben und die thermische sowie exergetische Effizienz des Gesamtprozesses maximiert werden. Hierzu wird eine Dampfturbine installiert, mit der der Eigenbedarf des Prozesses an elektrischer Energie und Prozessdampf gedeckt werden kann. Daneben kann die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens durch den Verkauf von Strom im Polygeneration-Betrieb und die Auskopplung von (Fern-)Wärme erhöht werden. Für die Schnittstelle „Wärme“ kann ganzjährig eine Leistung von 70 bis 100 MW ausgespeist werden, die zu etwa gleichen Anteilen in Prozesswärme (in Form von Wasserdampf bei 6 bar und 214 °C) und Fernwärme (bei 16 bar und 128 °C) aufgeteilt ist. Zum Stromnetz gibt es drei Schnittstellen:

- Entlastung des Stromnetzes durch die autarke Versorgung,
- Bereitstellung von positiver Regelleistung durch eine mit Synthesegas befeuerte Gasturbine
- Bereitstellung von negativer Regelleistung durch den Betrieb eines Elektrolyseurs, der den im Prozess benötigten Wasserstoff sowie Sauerstoff bereitstellen kann.

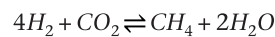
Die Abscheidung von Kohlenstoffdioxid aus der Hauptprozesskette zur Methanisierung stellt die Schnittstelle zum Gassektor dar. Der unvermeidbare (klimaneutrale) CO<sub>2</sub>-Ausstoß des energieintensiven Produktionsprozesses auf Basis nachhaltiger Rohstoffe wird als besonders effiziente, konzentrierte CO<sub>2</sub>-Quelle direkt genutzt.

Die Anlagenkapazitäten sowie die Betriebszeiten von Elektrolyseur und Gasturbine werden in den nächsten Arbeitsschritten unter Berücksichtigung von Strommarkt, Einsatzstoffbedarf





schem Erdgas (SNG) umgewandelt werden. Das auf diesem Weg erzeugte Methan lässt sich anschließend ins Erdgasnetz einspeisen oder verflüssigen. Bei der katalytischen Methanisierung reagieren Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid bzw. -dioxid an Katalysatoren. Üblicherweise werden Nickel-basierte Katalysatoren eingesetzt. Neben der katalytischen Methanisierung kann die Reaktion aber auch biochemisch durch Archaeen erfolgen [9]. Die Reaktionsgleichungen der CO<sub>2</sub>-Methanisierung wurden 1902 von den französischen Chemikern P. Sabatier und J. B. Senderens entdeckt [10]:



$$\Delta_r H^0 = -165 \text{ kJmol}^{-1}$$

und Produktnachfragen der Hauptprozesskette sowie Speichermöglichkeiten für relevante Stoffe wie Wasser- und Sauerstoff hinsichtlich Effizienz und Kosten optimiert. Ohne Berücksichtigung dieser Faktoren zeigt sich schon jetzt für den stationären Fall, dass sich die Energieeffizienz durch die Nutzung von Bioslurry zusammen mit der Einspeisung von regenerativem Wasserstoff erhöhen lässt – gegenüber dem Vergleichsfall einer konventionellen Kohlevergasung und Wasserstoff-Anreicherung von Synthesegas durch einen Wassergas-Shiftreaktor (WGS). **Abbildung 6** zeigt hierzu den Vergleich von Kaltgaswirkungsgrad sowie Energie- und Exergieeffizienz. Der Kaltgaswirkungsgrad gibt denjenigen Teil des Energieeinsatzes an, der im Hauptprodukt Synthesegas hochwertig chemisch gebunden wird und nicht in Form von Wärme, elektrischer Energie oder als Verlust anfällt. Die Energieeffizienz stellt den Nutzen in Form von Wärme, Strom und chemisch gebundener Energie in Relation zum Energieaufwand des gesamten Prozesses dar und ergänzt somit den Kaltgaswirkungsgrad um Wärme, elektrische Energie und Verluste. Auch die Exergieeffizienz, also der Anteil der in Arbeit umsetzbaren Energie, wird durch die höhere stoffliche Nutzung des Einsatzes erhöht. Allerdings fällt die Wirtschaftlichkeit dieses Prozesses im Vergleich zur Kohlevergasung aufgrund der hohen Herstellungskosten von Bioslurry noch schlechter aus. Unter Berücksichtigung politischer Maßnahmen, wie der Steigerung von CO<sub>2</sub>-Zertifikatspreisen, kann sich dies jedoch ändern.

### Lastflexible Methanisierung in einem Blasensäulen-Reaktor (TP 3.3)

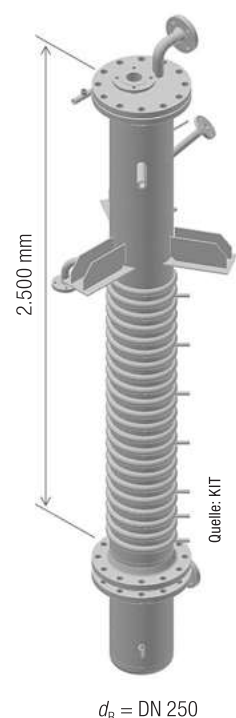
Über das Verfahren der Methanisierung kann Wasserstoff unter Zugabe von Kohlenstoffmonoxid oder -dioxid zu Methan bzw. syntheti-

Mit einer Reaktionsenthalpie von -165 kJ/mol handelt es sich um eine stark exotherme Reaktion. Entsprechend wichtig für den Betrieb von Methanisierungsreaktoren ist deshalb eine effiziente Temperaturführung bzw. -kontrolle. In den vergangenen Jahrzehnten wurden zahlreiche Reaktorkonzepte für unterschiedliche Anwendungsfälle (SNG aus Kohle oder ligninreicher Biomasse, PtG-Verfahren) entwickelt. Zu nennen sind insbesondere Festbettreaktoren, Wirbelschichtreaktoren, Dreiphasenreaktoren oder (Mikro)-Strukturreaktoren [11]. Bewährter Stand der Technik sind derzeit Festbettreaktoren, in denen die reagierenden Gase direkt mit dem festen Katalysator in Kontakt kommen, wodurch sich hohe Umsätze bei vergleichsweise kleiner Bauform (d. h. hohe Raumgeschwindigkeiten) erzielen lassen. Eine Herausforderung bei diesem Reaktortyp ist jedoch die Temperaturkontrolle: Aufgrund der vergleichsweise geringen Wärmeleitfähigkeit des Katalysatorfestbetts können sich lokal derart hohe Temperaturen einstellen, dass die Katalysatoren infolge von Sintervorgängen deaktivieren und irreversibel geschädigt werden. Insbesondere bei schnellen Lastwechseln, wie sie bei PtG-Anwendungen vorkommen [12], ist das Temperaturmanagement herausfordernd und durch die etablierten Reaktorkonzepte kaum zu beherrschen.

Am Engler-Bunte-Institut (EBI) des Karlsruher Instituts für Technologie wird daher seit geraumer Zeit die Dreiphasen-Methanisierung in Blasensäulenreaktoren untersucht [13-18]. Im Unterschied zum klassischen Festbettreaktor ist bei der Blasensäulen-Methanisierung zusätzlich zu Gas und Feststoff noch eine geeignete

**Abb. 7:** Schematische Darstellung der Blasensäulen-Methanisierung (verändert nach [19])

**Abb. 8:** Dreiphasen-Methanisierungsreaktor



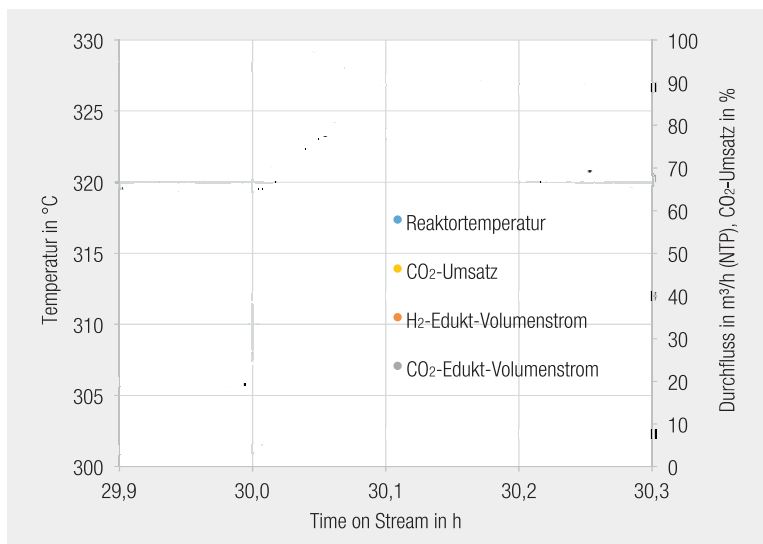
**Abb. 9:** Dreiphasen-Methanisierungsanlage des EBI ceb im „Energy Lab 2.0“ (CH<sub>4</sub>-Produktion: 10 m<sup>3</sup>/h)



Quelle: KIT

Flüssigkeit als dritte Phase im Reaktor vorhanden (Abb. 7), in der die Katalysatorpartikel (Korngröße < 100 µm) suspendiert sind. Die vorgewärmten Reaktionsgase werden über einen Gasverteiler (z. B. eine Lochplatte) in die Suspension eingebracht und steigen in Form von Blasen auf, wodurch ein intensiver Stoffaustausch zwischen der Gasphase und der Flüssigkeit stattfindet. Die Eduktgase lösen sich in der Flüssigkeit und reagieren am Katalysator zu den Produkten, welche anschließend wieder in die Gasphase übergehen. Das Produktgas wird am Kopf des Reaktors abgeleitet.

**Abb. 10:** Verlauf von Reaktortemperatur und CO<sub>2</sub>-Umsatz in der Dreiphasen-Methanisierungsanlage bei einem Lastsprung von etwa 50 auf 100 Prozent der Nennlast



Quelle: KIT

thetisches Methan (SNG) produziert werden können, wurde im Juni 2019 am „Energy Lab 2.0“ in Betrieb genommen (Abb. 8 & 9).

Den Schwerpunkt der Untersuchungen stellt das Lastwechselverhalten der Blasensäulen-Methanisierung dar, wobei insbesondere die Auswirkungen schwankender Eduktgas-Zusammensetzungen und variabler Lastzustände mit unterschiedlichen Lastwechselraten auf die Stabilität des Prozesses und auf die Zusammensetzung des Produktgases experimentell untersucht werden. Hierbei werden auch Restriktionen durch die angeschlossenen anderen Komponenten des Energy Lab 2.0 mit betrachtet und die Auswirkungen des dynamischen Betriebs auf die Eduktbereitstellung (z. B. Versorgung mit H<sub>2</sub> aus der Elektrolyse) oder auf die Grenzen der Wärmeauskopplung berücksichtigt. Mithilfe der experimentellen Untersuchungen wird ein Prozess-Modell erstellt, welches den dynamischen Anlagenbetrieb hinreichend genau für die weitere Einbindung in die Modelle der anderen Arbeitspakete ermöglicht. Außerdem werden weitere Überlegungen für das Scale-up der 3PM-Anlage auf 1 bis 100 MW Produktleistung angestellt.

Erste Ergebnisse zur dynamischen Betriebsweise der Pilotanlage sind in **Abbildung 10** dargestellt. Bei dem Versuch wurde die Eduktgaszufuhr von ca. 50 Prozent der Nennlast innerhalb von 30 Sekunden auf 100 Prozent erhöht. Der CO<sub>2</sub>-Umsatz nimmt nur geringfügig ab, obwohl die Verweilzeit im Reaktor halbiert und nahezu

doppelt so viel Wärme freigesetzt wird wie vor dem Sprung. Dennoch erhöht sich die Temperatur im Reaktor nur um ca. 4 K, was die hohe Dynamikfähigkeit der Blasensäulen-Methanisierung demonstriert. In Festbettreaktoren ist dagegen bei Lastsprüngen in dieser Größenordnung ein deutlich höheres Überschwingen der Temperatur (Hotspotbildung) zu erwarten, was zu den genannten Schädigungen des Katalysators führen kann [18].

## Zusammenfassung und Ausblick

Das BMBF-Vorhaben SEKO verfolgt das Ziel, die Sektoren Wärme, Strom, Industrie und Mobilität im Zuge der Energiewende stärker miteinander zu koppeln. Hierzu arbeiten Institute aus unterschiedlichen Fachrichtungen am KIT zusammen, um die verschiedenen Kompetenzen miteinander zu verknüpfen und dadurch Synergieeffekte zu erzielen. Dabei wird in den einzelnen Teilprojekten sowohl mit Modellierung als auch mit der praktischen Erprobung von Szenarien zum Betrieb zukünftiger Energiesysteme gearbeitet.

Im Rahmen des Teilprojekts 3 wird die Rolle von Gas näher untersucht. Die Schwerpunkte der Arbeiten liegen dabei in den gasbasierten Sektorenkopplungselementen PtG und KWK, in industriellen Prozessen sowie in Gasinfrastrukturen. Die Untersuchungen werden im Rahmen von drei Promotionsarbeiten am Institut für Technische Chemie durchgeführt und lassen in den nächsten Jahren wichtige Erkenntnisse für die praktische Umsetzung der Sektorenkopplung mit Gas erwarten. Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Förderung des Projektes.

### Literatur

- [6] Bode, C., Schmitz, G.: Influence of excess power utilization in power-to-heat units on an integrated energy system with 100, Feb 413–422.
- [7] Mattsson, S.E., Elmqvist, H., Otter, M.: Physical system modeling with modelica, *Control Engineering Practice* 6 501–510.
- [8] Prabhakaran, P.: Cost optimisation and life cycle analysis of soec based power to gas systems used for seasonal energy storage in decentral systems, in: *Journal of energy storage* 26 100987.
- [9] Bär, K., Mörs, F., Götz, M., Graf, F.: Vergleich der biologischen und katalytischen Methanisierung für den Einsatz bei PtG-Konzepten, in: *gwf, Gas/Erdgas* 156 466–473.
- [10] Sabatier, P., Senderens, J.B.: Nouvelles synthèses du méthane, *Rendus* 134 514–516.
- [11] Rönsch, S., Schneider, J., Matthischke, S., Schlüter, M., Götz, M., Lefebvre, J., Prabhakaran, P., Bajohr, S.: Review on methanation – From fundamentals to current projects, in: *Fuel* 166 (2016) 276–296.
- [12] Götz, M., Lefebvre, J., Mörs, J., Koch, A.M., Graf, F., Bajohr, S., Reimert, R., Kolb, T.: Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review, in: *Renewable Energy* 85 1371–1390.

- [13] Götz, M.: Methanisierung im Dreiphasen-Reaktor. Dissertation, 2014.
- [14] Bajohr, S., Köppel, W., Graf, F., Stehle, H.G., Reimert, R.: SNG aus Biomasse, *Verfahrenstechnische Grundlagen und Herausforderungen*.
- [15] Graf, F., Bajohr, S.: Erzeugung von SNG aus ligninreicher Biomasse, in: *DVGW energie | wasser-praxis*, Ausgabe 4/2009, S. 10–16.
- [16] Bajohr, S., Götz, M., Graf, F., Kolb, T.: Dreiphasen-Methanisierung als innovatives Element der PtG-Prozesskette, in: *gwf-Gas/Erdgas* 153 5.
- [17] Götz, M., Graf, F., Lefebvre, J., Bajohr, S., Reimert, R.: Speicherung elektrischer Energie aus regenerativen Quellen im Erdgasnetz – Arbeitspaket 2a: Drei-Phasen-Methanisierung, in: *DVGW energie | wasser-praxis*, Ausgabe 11/2014, S. 41–43.
- [18] Lefebvre, J.: Three-phase CO<sub>2</sub> methanation Methanation reaction kinetics and transient behavior of a slurry bubble column reactor, Dr, München.
- [19] Lefebvre, J., Götz, M., Bajohr, S., Reimert, R., Kolb, T.: Improvement of three-phase methanation reactor performance for steady-state and transient operation, in: *Fuel Processing Technology* 132 83–90.

## Die Autoren

**Dr. Frank Graf** leitet den Bereich Gastechnologie der DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und das Arbeitsgebiet Gasversorgung am Institut für Technische Chemie des KIT.

**Simon Sauerschell, Praseeth Prabhakaran und Julia Slama** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Institut für Technische Chemie des KIT.

**Dr. Siegfried Bajohr** ist verantwortlich für das Arbeitsgebiet „Katalytisch-chemische Verfahren der Brennstoffwandlung“ am Teilinstitut Chemische Energieträger – Brennstofftechnologie des Engler-Bunte-Instituts am KIT.

**Prof. Dr. Dieter Stapf** leitet das Institut für Technische Chemie des KIT.

**Prof. Dr. Thomas Kolb** leitet das Teilinstitut „Chemische Energieträger – Brennstofftechnologie“ des Engler-Bunte-Instituts am KIT und ist Mitglied der Geschäftsführung der DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des KIT. Weiterhin ist er verantwortlich für die Abteilung „Vergasungstechnologie“ am Institut für Technische Chemie des KIT.

### Kontakt:

Dr. Frank Graf  
Engler-Bunte-Institut (EBI) des  
Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)  
Engler-Bunte-Ring 1  
76131 Karlsruhe  
Tel.: 0721 608-41221  
E-Mail: frank.graf@kit.edu  
Internet: www.kit.edu

## Repository KITopen

Dies ist ein Postprint/begutachtetes Manuskript.

Empfohlene Zitierung:

Graf, F.; Sauerschell, S.; Prabhakaran, P.; Bajohr, S.; Slama, J.; Stapf, D.; Kolb, T.  
[Sektorenkopplung mit Gas im Rahmen des BMBF-Vorhabens SEKO – Teil 2: Gasfachliche Untersuchungen](#).  
2020. Energie-, Wasser-Praxis, (10).

Zitierung der Originalveröffentlichung:

Graf, F.; Sauerschell, S.; Prabhakaran, P.; Bajohr, S.; Slama, J.; Stapf, D.; Kolb, T.  
[Sektorenkopplung mit Gas im Rahmen des BMBF-Vorhabens SEKO – Teil 2: Gasfachliche Untersuchungen](#).  
2020. Energie-, Wasser-Praxis, (10), 43–49.

Lizenzinformationen: [KITopen-Lizenz](#)