



250-kW-Power-to-Gas-Anlage des ZSW (Elektrolyse nicht abgebildet)

Erfahrungen mit der Gasbeschaffenheitsmessung

an einer Power-to-Gas-Anlage mit einem eichfähigen Prozessgaschromatographen

Mit der **Power-to-Gas-Technologie** kann die Systemgrenze vom Strom- in das Gasnetz überwunden werden. Power-to-Gas wird als Zukunftstechnologie angesehen, um die sich u. a. aus der Energiewende ergebenden zukünftigen Anforderungen an die Netze zu bewältigen. Insbesondere die zu erwartende dynamische Fahrweise von Power-to-Gas-Anlagen wirft für die Gasnetzeinspeisung jedoch noch Fragen auf. Im Rahmen eines Projektes am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg wurde das von einer **dynamisch betriebenen Power-to-Gas-Anlage** produzierte Methan im Hinblick auf die Gasbeschaffenheit untersucht. Dabei kam einerseits die zur Anlage gehörende Analysentechnik (photometrisch und mittels Wärmeleitfähigkeitsdetektor) und andererseits ein eichfähiger Prozessgaschromatograph (PGC) zum Einsatz.

von: Dr.-Ing. Alexander Weideler (terranets bw GmbH), Dr.-Ing. Ulrich Zuberbühler, Bernd Stürmer (beide: Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg) & Joachim Bauer (terranets bw GmbH)

Während in einem vorausgegangenem Forschungsprojekt des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) die Prozess- und Anlagenoptimierung einer 250-kW-Power-to-Gas-Anlage im Vordergrund stand, geht es im laufenden Projekt um die Simulation zukünftiger Fahrpläne, Anlagenautomatisierung und die Fra-

gestellung der Gasnetzeinspeisung bei einem dynamischen Anlagenbetrieb [1].

Die Anforderungen an die Messtechnik einer Power-to-Gas-Anlage und einer Gaseinspeisestation sind unterschiedlich. Während die dynamische Anlagensteuerung der Power-to-Gas-Anlage ein schnelles Messsignal der Gaszusam-

mensetzung über den gesamten Messbereich von 0 bis 100 Prozent benötigt, steht bei bislang zumeist kontinuierlich betriebenen Gaseinspeisestationen eine hohe Genauigkeit, die Langzeitstabilität und somit auch die Eichbarkeit im Vordergrund. Bei einer dynamischen Einspeisung werden Gasmen-gen, die laut Anlagenanalytik einspeisekonform wären, erst nach zwei bis

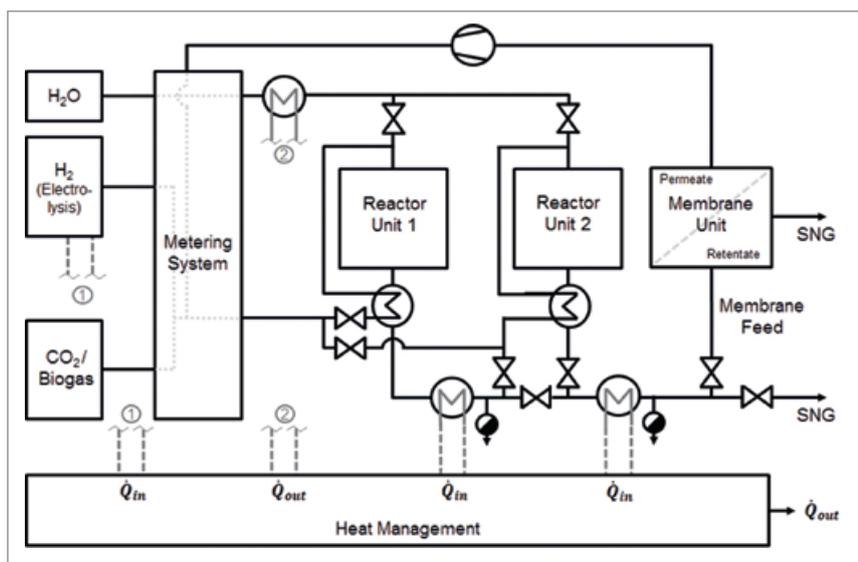


Abb. 1: Blockfließbild der 250-kW-Power-to-Gas-Anlage

drei Messzyklen vom PGC erfasst. So werden diese Mengen nach heutigem Stand zu Verlustmengen, wie im Folgenden am Beispiel einer Vergleichsmessung näher beschrieben wird.

Material und Methoden

Die beschriebenen Messungen wurden an der 250-kW-Power-to-Gas-Versuchsanlage des ZSW in Stuttgart durchgeführt. Die Anlage wurde im Rahmen eines Forschungsprojekts 2012 aufgebaut und diente zur Verfahrensentwicklung und Optimierung. Ein Anlagenschema ist in **Abbildung 1** gegeben. Derzeit wird die Anlage zum Testbetrieb zukünftiger Fahrpläne eingesetzt, die sich aus den Anforderungen zunehmender Anteile der erneuerbaren Stromerzeugung ableiten. Die im Testbetrieb erzeugten Gasmengen sind für eine reale Einspeisung in ein Gasnetz zu gering und werden daher in einem Flox-Brenner zur Beheizung der Versuchshalle genutzt.

Die in die Power-to-Gas-Anlage integrierte Gasanalytik besteht aus einem X-Stream-Prozessgasanalysator (**Abb. 2**). Der Analysator bestimmt die Gaskonzentrationen photometrisch (CH_4 und CO_2) bzw. mittels Wärmeleitfähigkeitsdetektor (H_2). Der eingesetzte eichfähige Prozessgaschromatograph (PGC) verfügt über zwei Messwerke, die mit Helium bzw. Argon als

Trägergas betrieben werden (**Abb. 3**). Während die Anlagenanalytik nahezu kontinuierlich misst, arbeitet der PGC systembedingt mit Messzyklen von 3,5 Minuten.

Ergebnisse und Diskussion

Qualität des erzeugten Gases

Abbildung 4 zeigt den Anfahrvorgang der Anlage aus dem „hot-stand-by“-Zustand. Die Anlagenkomponenten befinden sich dabei auf Betriebstemperatur, sodass in möglichst kurzer Zeit die volle Anlagenleistung geschaltet werden kann. Dies ist bei der Nutzung von Stromüberschüssen und für die Bereitstellung von Regelenergie wichtig. Die Anfahrzeit der Anlage beträgt eine Minute. Das zur Beschickung der Anlage verwendete Eduktgas besteht aus 80 Vol.-Prozent H_2 und 20 Vol.-Prozent CO_2 . Im Stillstand ist der Methanisierungsreaktor mit H_2 gefüllt. Mit Beginn der Eduktgasdosierung (ab 11:04; grau dargestellt) sind daher im Produktgas noch relativ hohe H_2 -Konzentrationen (blau dargestellt) vorhanden, die jedoch schnell abnehmen. Damit einhergehend steigt die CH_4 -Konzentration (rot dargestellt) im Produktgas innerhalb kurzer Zeit an. Dieses Gas wird im Folgenden auch als Vorlaufgas bezeichnet. Nach 3,5 Minuten (11:07:30) liegt die CH_4 -Konzentration im Produktgas über 95 Vol.-Prozent und nach vier Minuten (11:08) ist die H_2 -Konzentration kleiner

2,5 Vol.-Prozent. Die CO_2 -Konzentration (braun dargestellt) liegt immer unter 0,1 Vol.-Prozent.

Im stationären Zustand erfolgt mit der Anlage eine sehr gute Umsetzung der Eduktgase zu SNG (Synthetic Natural Gas) mit 90 bis 92 Vol.-Prozent CH_4 . Die Anhebung des CH_4 -Gehalts auf > 95 Vol.-Prozent erfolgt mittels einer Membraneinheit mit Rückführung des Permeat-Gases (ab 11:06:30).

Beim Abfahren in den Stand-by-Zustand wird die CO_2 -Dosierung geschlossen und die Methanisierung kurzzeitig mit H_2 gespült. Im Vergleich zum Vorlaufgas ist der Nachlauf gering und wird hier nicht gesondert betrachtet.

Vergleich der Messwerte der Anlagenanalytik mit denen eines eichfähigen PGC

In **Abbildung 4** sind für die Parameter CH_4 -, H_2 - und CO_2 -Gehalt neben den Werten der Anlagenanalytik (rot, blau und braun) auch die Messwerte des eichfähigen PGC dargestellt (orange, hellblau und hellbraun). Der PGC wurde dabei erst ab 11:07 mit Produktgas beaufschlagt.

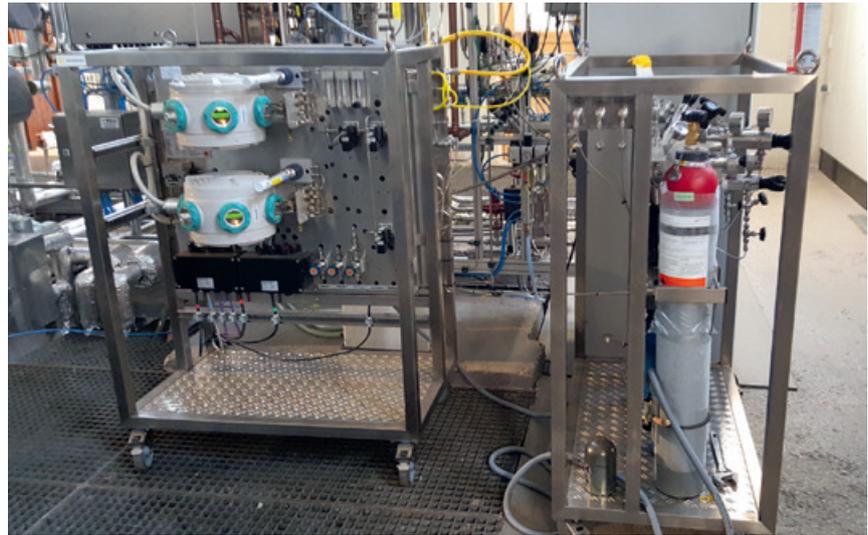
Deutlich sichtbar ist, dass der PGC gegenüber der Anlagenanalytik systembedingt einerseits deutlich träger misst, andererseits auch die zeitliche Auflösung der PGC-Messung mit einem Messwert je 3,5 Minuten gegenüber der kontinuierlichen Anlagenanalytik geringer ausfällt. Dies ist u. a. auf Restvolumina in der PGC-Peripherie etc. zurückzuführen (dieses Verhalten von PGC kann z. B. auch bei der Eichung beobachtet werden, wenn unterschiedliche Prüfgase aufgeschaltet werden). Deshalb müssen bei der PGC-Messung nach dem Anlagenstart die beiden ersten Messzyklen (bis ca. 11:16) verworfen werden.

Im stationären Zustand (ab 11:20) beträgt die Abweichung beider Messverfahren zwischen 0,06 und 0,41 Vol.-Prozent für CH_4 , zwischen 0,91 und 1,23 Vol.-Prozent für H_2 und zwischen 0,01 und 0,04 Vol.-Prozent für CO_2 .



Quelle: ZSW

Abb. 2: X-Stream-Prozessgasanalysator zur Bestimmung der Gaskonzentrationen



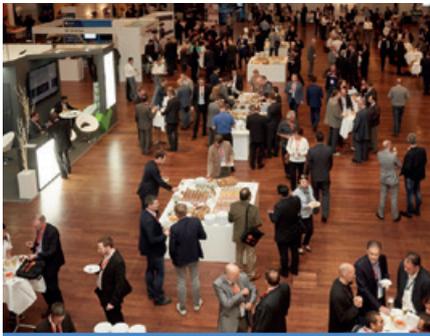
Quelle: terranets bw

Abb. 3: Prozessgaschromatograph mit zwei Messwerken

Aus **Abbildung 4** ist ersichtlich, dass – mit der Anlagenanalytik gemessen – einspeisekonformes Gas nach dem Anlagenstart relativ schnell ansteht ($\text{CH}_4 > 95$ Vol.-Prozent nach 3,5 Minuten und $\text{H}_2 < 2,5$ Vol.-Prozent nach 4 Minuten). Der PGC liefert ver-

gleichbare Werte jedoch erst nach 12,5 Minuten (CH_4) bzw. 15,5 Minuten (H_2). Dies ist, wie bereits ausgeführt, auf das Messprinzip des PGC zurückzuführen und kann mit der zeitlichen Lage der Messzyklen und dem in der Messleitung befindlichen

Spülgas variieren (Die Autoren weisen nochmals ausdrücklich darauf hin, dass die relativ langen Messzyklen des PGC allgemein auf das Messprinzip des PGC und keinesfalls auf den hier verwendeten Typ zurückzuführen sind).



11TH PIPELINE TECHNOLOGY CONFERENCE

EUROPE'S BIGGEST PIPELINE CONFERENCE AND EXHIBITION

www.pipeline-conference.com



1ST PIPE AND SEWER CONFERENCE

INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION ON PIPE AND SEWER TECHNOLOGIES

www.pipeandsewer.com



23-25 MAY 2016
ESTREL CONVENTION CENTER
BERLIN, GERMANY



600+ DELEGATES



55+ DIFFERENT NATIONS

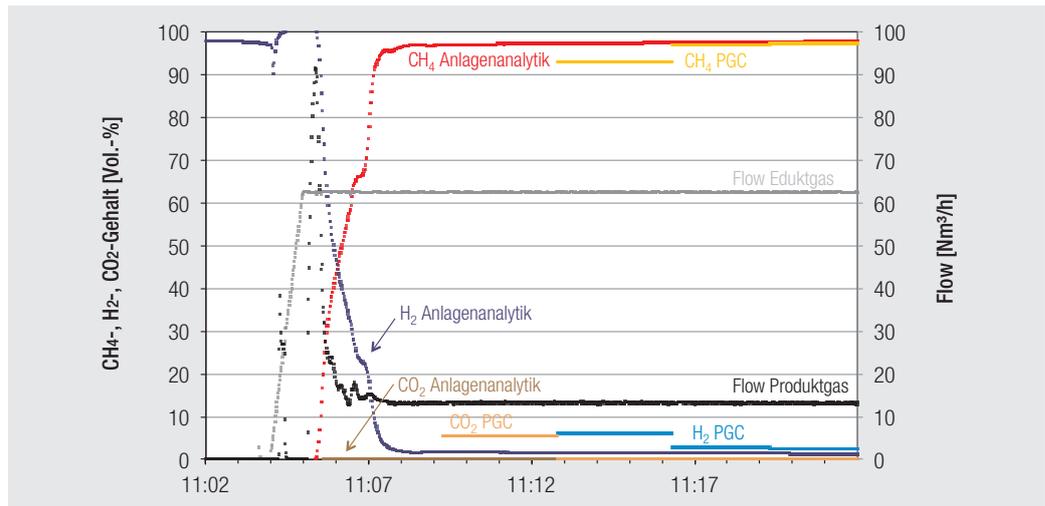


50+ EXHIBITORS



DELEGATIONS FROM 50+ DIFFERENT OPERATORS

Abb. 4: Vergleichsmessung der Produktgaszusammensetzung im Anfahrzyklus mittels kontinuierlicher Messtechnik der Power-to-Gas-Anlage (X-Stream) und mit einem eichfähigen Prozessgaschromatographen (stöchiometrische Eduktgasdosierung, 80 Prozent H_2 , 20 Prozent CO_2 , eine Minute Rampe)



Quelle: ZSW & terrateils bw

Bedeutung der Ergebnisse für die Wirtschaftlichkeit
Würde bei dynamisch betriebenen Power-to-Gas-Anlagen (viele An- und Abfahrvorgänge, kontinuierliche SNG-Produktion nur stundenweise etc.), wie heutzutage oft üblich, vom Einspeisenetzbetreiber eine „Freimessung“ des einzuspeisenden Gases mittels geeichtem PGC gefordert werden, hätte die beschriebene Charakteristik der PGC-Messung deutliche Auswirkungen auf die eingespeiste Gasmenge. Dies umso mehr, wenn zwei PGC-Messzyklen mit einspeisefähiger Gasbeschaffenheit als Einspeisekriterium angelegt werden.

Bezogen auf die Energiemenge der in einer Stunde Betriebszeit erzeugten Gasmenge wären davon unter Anwendung der „Freimessung“ mittels PGC gasnetzseitig ca. 20 Prozent des Gases nicht nutzbar, obwohl sie eigentlich bereits den Anforderungen der Gaseinspeisung genügen. Besonders im dynamischen Betrieb ist das wirtschaftlich nicht zuträglich und erfordert neue Lösungsansätze.

Lösungsansätze

Folgende Ansätze auf der Einspeiseseite ins Erdgasnetz würden die Wirtschaftlichkeit der Zukunftstechnologie Power-to-Gas verbessern und so zu einer weiteren Verbreitung beitragen:

- Verwendung von schnellen, eventuell auch nicht eichfähigen Gasbeschaffenheitsmessgeräten für die „Freimessung“ bei der Gasnetzeinspeisung – zumindest während des An- und Abfahrvorgangs. Diese Vorgehensweise ist selbstverständlich nur mit Zustimmung der Eichbehörde anwendbar.
- Entwicklung bzw. Verwendung von schnellen, eichfähigen Gasbeschaffenheitsmessgeräten.

Denkbar wäre auch der Einsatz eines (systembedingt relativ schnellen) eichfähigen Kalorimeters zur Bestimmung des Brennwertes für die Energieabrechnung in Kombination mit einer schnellen, nicht eichfähigen H_2 -Messung zur Überwachung der eingespeisten H_2 -Konzentration.

- Auch seitens der Power-to-Gas-Anlage wird noch Potenzial gesehen, den Anteil an Vorlaufgas zu reduzieren und direkt SNG mit hohem CH_4 und niedrigem H_2 -Anteil zur Verfügung zu stellen. Dies kann eventuell durch Kreislaufführung des während des Anfahrvorgangs entstehenden Gases erreicht werden.

Mit diesen Maßnahmen kann die Gasausbeute um ca. 20 Prozent (bezogen auf die Energiemenge der in einer Stunde Betriebszeit erzeugten Gasmenge) erhöht werden.

Bei der Einspeisung in Erdgasnetze mit hohen Durchflüssen ist auch die Einspeisung des stark H_2 -haltigen Vorlaufgases als Zusatzgas in Erwägung zu ziehen. Damit kann die Gasausbeute um weitere ca. drei bis vier Prozent (bezogen auf die Energiemenge der in einer Stunde produzierten Gasmenge) gesteigert werden. Hier ist denkbar, dass vom Einspeisenetzbetreiber Informationen zum aktuellen Durchfluss und zur Gasbeschaffenheit in der aufnehmenden Leitung bereitgestellt werden. Die mögliche Einspeisung von Vorlaufgas ergibt sich dann aus der Gasbeschaffenheit des einzuspeisenden Vorlaufgases unter der Maßgabe, dass nach der Einspeisung (und Mischung) die Vorgaben des DVGW-Regelwerkes (z. B. DVGW-Arbeitsblatt G 260 „Gasbeschaffenheit“, maximal zulässige H_2 -Konzentration etc.) in der aufnehmenden Leitung eingehalten werden. Hierzu sei angemerkt, dass die erzeugten

Gasqualitäten während des Anfahrvorgangs sehr gut reproduzierbar sind und die erzeugten Gasqualitäten im Regelbetrieb „vorhersehbar“ sind. Diese Überlegungen sind jedoch nur bei der Einspeisung z. B. in Fernleitungsnetze zielführend, da hier einerseits entsprechend hohe Durchflüsse in den aufnehmenden Leitungen zu erwarten sind und andererseits Informationen zu Durchflüssen auf Leitungsabschnitten und Gasbeschaffenheitsdaten, z. B. aus Online-Simulationsmodellen, vorliegen. Mit diesem letztgenannten Lösungsvorschlag kann das erzeugte Gas eventuell nahezu vollständig eingespeist werden. Allerdings wird ebenso eine umfangreiche Mess- und Regeltechnik erforderlich, was einen erhöhten Aufwand bei der Netzüberwachung bedeutet. Die Wirtschaftlichkeit ist daher im Einzelfall zu prüfen.

Weiter kann durch einen größeren Wasserstoffspeicher die Anzahl der An- und Abfahrvorgänge verringert werden. Die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahme ist ebenfalls im Einzelfall zu bewerten.

Dank

Die hier vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekte (FKZ 0325275 und 0325709) erarbeitet. ■

Literatur

[1] Zuberbühler, U./ Specht, M./ Brinner, A./ Baumgart, F./ Stürmer, B./ Feigl, B.: Power-to-Gas – Technical Progress and Perspectives, 9. Int. Konferenz zur Speicherung Erneuerbarer Energien (IRES), Düsseldorf, 9.-11. März 2015.

Die Autoren

Dr.-Ing. Alexander Weidener ist Leiter Netzzugang, Mess- und Energiedatenmanagement bei der terranets bw GmbH sowie Leiter der staatlich anerkannten Prüfstelle für Messgeräte für Gas bei der terranets bw GmbH (GA2).

Dr.-Ing. Ulrich Zuberbühler ist stellvertretender Fachgebietsleiter „Regenerative Energieträger und Verfahren“ und Projektleiter P2G beim Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg.

Dipl.-Ing. (FH) Bernd Stürmer ist beim Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg verantwortlich für Methanisierung, Gasaufbereitung und Testbetrieb im P2G-Projekt.

Joachim Bauer ist stellvertretender Prüfstellenleiter der staatlich anerkannten Prüfstelle für Messgeräte für Gas bei der terranets bw GmbH (GA2).

Kontakt:

Dr.-Ing. Alexander Weidener

Joachim Bauer

terranets bw GmbH

Am Wallgraben 135

70565 Stuttgart

Tel.: 0711 7812 1335, -1458

E-Mail: a.weidener@terranets-bw.de, j.bauer@terranets-bw.de

Internet: www.terranets-bw.de

Dr.-Ing. Ulrich Zuberbühler

Bernd Stürmer

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)

Industriestr. 6

70565 Stuttgart

Tel.: 0711 7870-239, -249

E-Mail: ulrich.zuberbuehler@zsw-bw.de, bernd.stuermer@zsw-bw.de

Internet: www.zsw-bw.de

Multi Utility Lösungen



Effizienz. Für die Nutzung von Wasser, thermischer Energie, Gas und Strom.

Mit smarten Lösungen unterstützen wir Wasser- und Energieversorger, effizienter zu arbeiten – von der Verbrauchsmessung bis zum Datenmanagement: Automatisieren Sie die Auslesung. Identifizieren Sie Leckagen und Rohrbrüche. Überwachen Sie Betriebstemperaturen. Optimieren Sie Netzwerk und Prozesse. Diehl Metering liefert aus einer Hand Messgeräte, Systemtechnik, Software und Services.

Weitere Informationen unter: www.diehl.com/metering

Besuchen Sie uns auf der E-World energy & water, Halle 2, Stand 514

 smart in solutions

DIEHL
Metering