

Grüner Wasserstoff aus Biogas

Joachim G. Wüning

Wasserstoff, Biogas, Dampfreformierung, Mobilität

Grüner Wasserstoff aus Biogas kann durch Elektrolyse von Biogas-Strom oder durch die Dampfreformierung von Biogas erzeugt werden. Der Wasserstofftrag bei der stofflichen Nutzung durch die Dampfreformierung von Biogas oder Biomethan ist dabei etwa doppelt so hoch wie beim Umweg über die Verstromung mit anschließender Elektrolyse. Bei der Nutzung von Biogas-Wasserstoff für die Mobilität kann man sich die flächendeckende Verteilung von existierenden Biogasanlagen zunutze machen, um den bei Lieferwasserstoff anfallenden Straßentransport von Wasserstoff zu vermeiden.

Renewable hydrogen from biogas

Green hydrogen from biogas can be produced by electrolysis of biogas electricity or by steam reforming of biogas. The hydrogen yield for material use by steam reforming of biogas or biomethane is about twice as high as for the detour via electricity generation with subsequent electrolysis.

The use of biogas hydrogen for mobility can take advantage of the widespread distribution of existing biogas plants in order to avoid the road transport of hydrogen that occurs with delivery hydrogen.

1. Biogas in Deutschland

In Deutschland werden derzeit rund 5 % des erzeugten Stroms durch die Verstromung von Biogas in BHKWs erzeugt. Das entspricht etwa 10 % des regenerativ erzeugten Stroms. Das Biogas wird durch die Fermentation von biogenen Reststoffen und Energiepflanzen in über 9.000 Biogasanlagen erzeugt, die über die gesamte Fläche der Bundesrepublik verteilt sind. Einige, vor allem größere Biogasanlagen, sind mit einer Gasaufbereitungsanlage ausgestattet und speisen Biomethan in das Erdgasnetz ein. Dieses Biomethan kann dann ebenfalls in BHKW verstromt oder anderweitig genutzt werden. Aktuelle Daten finden sich z. B. auf den Internetseiten des Fachverbandes Nachwachsende Rohstoffe [1] oder dem Internetauftritt des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie [2]. Die Technik der Biogaserzeugung und Biogasaufbereitung wird in [3] ausführlich beschrieben.

In Diskussionen wird Bioenergie immer wieder mit Abholzung von Regenwäldern in Zusammenhang gebracht. Dieses trifft nicht auf Biogasanlagen zu, die mit lokal gewonnenen Substraten wie Energiepflanzen, Gülle, Mist und biogenen Reststoffen beschickt werden. Eine sachliche Diskussion über eine nachhaltige landwirtschaftliche Flächennutzung ist notwendig. Die Beurteilung von Fruchtfolgen, Nährstoffkreisläufen, Intensität der

Bewirtschaftung, Folgen für die Artenvielfalt, Tierschutz und anderen Aspekten ist für den Laien aber schwierig und die Diskussionen werden oft sehr emotional geführt. Notwendig ist eine nachhaltige Land- und Forstwirtschaft sowohl für die Erzeugung von Nahrungsmittel als auch zur Erzeugung nachwachsender Rohstoffe, die stofflich oder energetisch verwendet werden können. Es gibt hinsichtlich der Nachhaltigkeit noch Verbesserungsbedarf und die Politik sollte die Spielregeln so gestalten, dass sich nachhaltige Bewirtschaftung auch finanziell lohnt.

Die große Anzahl an Biogasanlagen in Deutschland stellt einen erheblichen Wert da. Von noch größerer Bedeutung ist das Wissen, das sich die Betreiber angeeignet haben, um diese Anlagen bedienen zu können. Auch wenn in den kommenden Jahren die EEG-Förderung vieler Anlagen ausläuft, sollten diese sowie auch der große Erfahrungsschatz nicht aufgegeben, sondern sinnvoll und nachhaltig für die Energiewende genutzt werden.

2. Dampfreformierung von Kohlenwasserstoffen

Die Dampfreformierung von Kohlenwasserstoffen ist ein seit langer Zeit etabliertes Verfahren zur Erzeugung von Synthesegas, das dann zu Wasserstoff aufgereinigt werden

kann. Zumeist wird Erdgas als Ausgangsstoff eingesetzt. Anlagen mit Erzeugungskapazitäten von $1 \text{ m}^3 \text{ H}_2/\text{h}$ bis hin zu mehreren $100.000 \text{ m}^3 \text{ H}_2/\text{h}$ sind in Betrieb. Der Ausgangsstoff, Erdgas (CH_4) oder Biogas (CH_4 und CO_2) sowie Wasserdampf werden durch mit Katalysatoren gefüllte Rohre geleitet, die für den endothermen Reformingprozess beheizt werden. Anschließend wird das im Synthesegas enthaltene CO in einer Wassergas-Shift mit Wasser zu Kohlendioxid umgewandelt. In einer nachgeschalteten Gasreinigung können durch Druckwechseladsorption (englisch: PSA – pressure swing adsorption) Reinheitsgrade von 99,999 % Wasserstoff erreicht werden. Die Spülgase aus der Gasreinigung können mit entsprechenden Brennern zur Beheizung der Dampfreformer genutzt werden.

Bild 1 zeigt eine sich derzeit in Bau befindliche Anlage zur Erzeugung von 100 kg Wasserstoff aus Biogas pro Tag. Die Gasreinigung ist so ausgelegt, dass die Anlage durch drei zusätzliche Dampfreformer-Module auf eine Tagesleistung von 400 kg Wasserstoff erweitert werden kann. Die Inbetriebnahme soll im Jahr 2021 erfolgen.

3. Grüner Wasserstoff aus Biogas

Basierend auf Biogas gibt es derzeit drei Wege zum grünen Wasserstoff mithilfe erprobter Technik sowie einige weitere Verfahren, die sich noch in der Entwicklung befinden.

Viele werden bei grünem Wasserstoff aus Biogas an Elektrolyse-Wasserstoff denken, der mit Biogas-Strom erzeugt wurde. Dieser Weg ist möglich und wird über eine bilanzielle Zuordnung von dem an der Biogasanlage erzeugten Strom und dem am Elektrolyseur genutzten Strom erreicht. Theoretisch wäre es auch möglich, den Elektrolyseur direkt an einer Biogasanlage im Inselbetrieb zu betreiben.

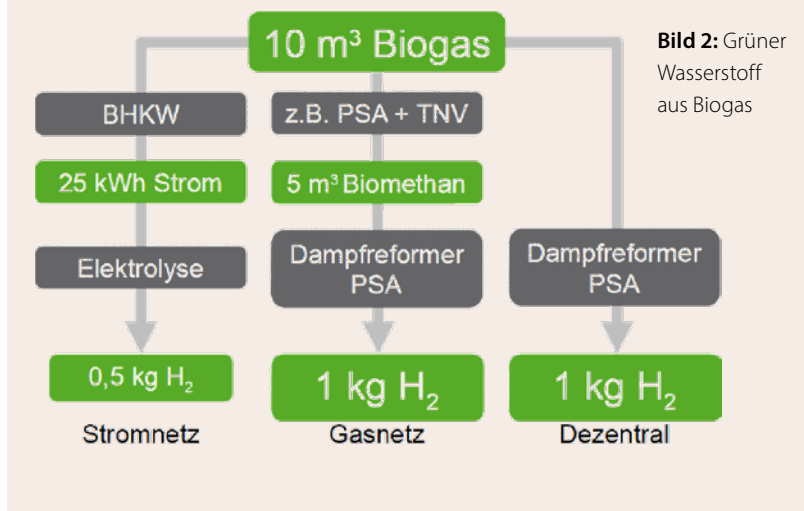
Eine weitere Möglichkeit, die im Prinzip rein durch bilanzielle Zuordnung ohne notwendigen Neubau von Anlagen erreicht werden kann, ist die Verwendung von Biomethan aus dem Erdgasnetz in konventionellen Dampfreformern mit anschließender Gasaufbereitung.

Ein dritter Weg ist die Dampfreformierung von vorgeinigtem Biogas mit anschließender Aufreinigung zu hochreinem Wasserstoff direkt an der Anlage. Dieser dritte Weg ist aufgrund der Verteilung der vorhandenen Biogasanlagen für den Aufbau einer flächendeckenden Wasserstoffversorgung im Bereich der Mobilität interessant.

Bild 2 zeigt die verschiedenen Pfade auf. Der größte Unterschied zwischen der direkten stofflichen Umwandlung durch Dampfreformierung und der Verstromung von Biogas mit anschließender Elektrolyse besteht in der Wasserstoffausbeute. Aus 10 m^3 Rohbiogas können etwa 25 kWh Strom gewonnen werden, mit denen sich etwa 0,5 kg Wasserstoff herstellen lassen. Bei der Nutzung von Biogas oder Biomethan mittels einer Dampfreformierung



Bild 1: Anlage zur Produktion von 100 kg H_2 /Tag (erweiterbar auf 400 kg H_2 /Tag)



lassen sich aus 10 m^3 Rohbiogas etwa 1 kg Wasserstoff gewinnen. Die geringsten Wasserstoffkosten sollten bei der direkten Dampfreformierung von Rohbiogas und der lokalen Nutzung oder Betankung des Wasserstoffes erzielt werden, da hier die Kosten für die Biomethanaufbereitung, die Netzentgelte für das Biomethan sowie der Straßentransport für den Wasserstoff entfallen.

4. Wasserstoff für die Mobilität

Derzeit sind in Deutschland 90 öffentliche Wasserstofftankstellen in Betrieb. Auf der Internetseite des Betreibers kann der Status der Tankstelle sowie Informationen über die letzte Betankung eingesehen werden [4]. Wenn an einer Wasserstofftankstelle nur geringe Mengen unregelmäßig abgenommen werden, ist die Versorgung mit Lieferwasserstoff die wirtschaftlichste Lösung. Zu beachten ist dabei, dass ein 40-t-LKW nur etwa 1 t Druckwasserstoff transportieren kann. Bei der gleichförmigen Abnahme von größeren Mengen Wasserstoff, beispielsweise für die

Versorgung von Busflotten oder Wasserstoffzügen, ist eine Vor-Ort Erzeugung attraktiv, da der Wasserstoff-Strassen-Transport und mehrfaches Umfüllen des Wasserstoffes vermieden wird. Wenn in ferner Zukunft ein flächen-deckendes Wasserstoff-Ferngas- und -Verteilnetz zur Verfügung steht, muss eine neue Betrachtung erfolgen.

5. Wasserstoff für industrielle Anwendungen

Industrieanlagen befinden sich nur selten in unmittelbarer Nähe zu einer Biogasanlage.

Geringe Mengen Wasserstoff können per LKW angeliefert werden. Der Transport von größeren Mengen an grünem Wasserstoff über größere Distanzen auf der Straße ist unter mehreren Aspekten sehr kritisch zu betrachten. Bis ein zukünftiger Pipeline-Transport zur Verfügung steht, bietet sich die Vor-Ort Produktion von grünem Wasserstoff an. Diese Produktion kann durch Elektrolyse erfolgen, mit der oben genannten Notwendigkeit des damit verbundenen Zubaus einer regenerativen Stromerzeugungskapazität. Eine auch wirtschaftlich attraktive Möglichkeit besteht in der Produktion von grünem Wasserstoff durch die Vor-Ort Dampfreformierung von Biomethan, das aus dem Erdgasnetz entnommen werden kann.

6. Wasserstoff als Energieträger

Der Gedanke Wasserstoff als Energieträger zu nutzen, ist nicht neu. Schon in den 1980er Jahren wurde diese Option ausführlich untersucht [5]. Neben dem Klimaschutz waren die vermeintliche Endlichkeit der fossilen Brennstoffe sowie die Abhängigkeit von den Ölförderländern damals die Gründe für die Überlegungen eines resilienten Energiekonzeptes. Die Untersuchungen bezogen sich dabei nicht nur auf die Erzeugung von Wasserstoff, sondern auch auf die Nutzung [6].

Mittlerweile steht der Klimaschutz im Vordergrund und die Weltgemeinschaft hat sich durch das Pariser Klimaabkommen dazu verpflichtet, den CO₂ Ausstoß deutlich zu verringern. Die bisherigen Maßnahmen scheinen noch nicht ausreichend zu sein und vor allem die jüngeren Generationen fordern mit Recht verstärkte und zeitnahe Maßnahmen ein.

Ein ambitionierter Zubau von regenerativer Stromerzeugung ist dringend notwendig, denn es konkurrieren viele Bereiche um diesen grünen Strom:

- Kompensation für abgeschaltete Kernkraftwerke
- Kompensation für abgeschaltete Kohlekraftwerke
- Zunahme der Elektrifizierung des PKW-Verkehrs
- Zunahme der Elektrifizierung der Gebäudeheizungen durch Wärmepumpen
- Zunahme der Elektrifizierung von Industrieprozessen

- Kompensation für unrentabel gewordene Biogasanlagen nach Ablauf der EEG-Vergütung
- Erzeugung von Elektrolyse-Wasserstoff

Häufig wird vorgeschlagen, grünen Wasserstoff aus „Überschussstrom“ zu erzeugen. Einen Elektrolyseur nur wenige Stunden im Jahr zu betreiben, erscheint weder ökologisch noch ökonomisch nachhaltig. Der Aufbau von Elektrolysekapazitäten ohne zusätzliche regenerative Stromerzeugung führt zu einer zusätzlichen Auslastung fossiler Kraftwerke und damit zu einem deutlich erhöhten CO₂-Ausstoß.

Dieser erneuerbare Strom soll überwiegend durch Solar- und Windenergie gewonnen werden. Der Import von Wasserstoff wird derzeit kontrovers diskutiert, wird aber notwendig sein, wenn große Mengen an Wasserstoff benötigt werden. Dabei ist auch noch offen, in welcher Form der Wasserstoff transportiert wird: über Pipelinetransport, als Flüssigwasserstoff und Druckgas oder chemisch gebunden etwa als Methanol oder Ammoniak.

7. Optionen für ein fiktives Wasserstoffprojekt

Eine Gemeinde in der Oberpfalz will in den nächsten Jahren 16 Brennstoffzellenbusse anschaffen und benötigt für die Betankung dieser Busse etwa 400 kg Wasserstoff am Tag.

Die Busse werden staatlich bezuschusst, so dass die Investitionen mit denen von Dieselnissen vergleichbar sind. Wegen der großen Entfernungen, die die Busse zurücklegen und auch im Hinblick auf kalte Winter hat man sich für Brennstoffzellenbusse und gegen Elektrobusse entschieden. Nun soll geprüft werden, wie sich die Betriebskosten, vor allem die Kraftstoffkosten entwickeln werden.

Man ist sich einig, dass es noch viele Jahre dauern wird, bis eine Wasserstoffpipeline ihren Weg bis in die abgelegene Gemeinde findet und sucht deshalb nach geeigneten Lösungen.

Option 1: Elektrolyseur + Zubau regenerativen Stromerzeugung

Der Elektrolyseur benötigt eine mittlere elektrische Leistung von 800 kW um die 400 kg Wasserstoff pro Tag zu erzeugen. Es muss nun entschieden werden, um welchen Faktor dieser Elektrolyseur überdimensioniert werden muss, um auf Schwankungen im Angebot von erneuerbarem Strom reagieren zu können. Die zu planenden Speichergößen bestimmen die Zeitspannen, über die diese Flexibilität möglich ist. Da die Gegend nicht sehr windreich ist, wird ein Zubau von 8 MWp Solaranlagen geplant, wohl wissend, dass man den Strombedarf für den Elektrolyseur nur bilanziell damit bedienen kann.

Innovative Bio-to-X-Technologien

Energiekonzepte und Anlagenplanung

Biomassevergasung

Grüner Wasserstoff aus Biogas

BtX
energy

BtX energy GmbH

Albert-Einstein-Straße 1
95028 Hof

info@btx-energy.de
www.btx-energy.de

Man hofft auf hohe Subventionen, damit man die Preise für die Bustickets stabil halten kann.

Option 2: Biogasanlage + Dampfreformer mit Gasreinigung + Zubau regenerativer Stromerzeugungskapazität

Eine 450-kW_{el}-Biogasanlage, die 2004 errichtet wurde, liegt an einer Verbindungsstraße zwischen zwei Teilorten. Die Stadtwerke, die auch den ÖPNV betreiben, einigen sich mit dem Landwirt auf die Abnahme von 4.000 m³ vorgereinigtem Rohbiogas pro Tag und eine Pacht für die Fläche der Wasserstoffanlage sowie einer Fläche zur Betankung der Busse. Im Hof-Cafe wird ein Pausenraum für die Busfahrer eingerichtet. Da die Busse über einen Zeitraum von einigen Jahren beschafft werden, wird eine modulare Wasserstoffanlage gebaut, die schrittweise erweitert wird. Über die vorhandenen BHKWs kann weiterhin Strom zu Zeiten attraktiver Preise eingespeist werden. Man will Erfahrung sammeln, um festzulegen, ob diese flexible Stromeinspeisung durch größere Wasserstofftanks optimiert werden kann. Um den Wegfall des 400-kW_{el}-Biogasstroms zu kompensieren, werden im Ort zusätzlich 4-MW_p-Solaranlagen geplant. In Zukunft soll geprüft werden, ob sich das anfallende CO₂ im Abgasstrom des Reformers wirtschaftlich verwerten lässt. Dies wäre technisch möglich, wenn das Spülgas aus der PSA im Dampfreformer mit reinem Sauerstoff anstatt mit Luft verbrannt wird. Der Sauerstoff könnte von einem kleinen Elektrolyseur geliefert werden, der zusätzlichen Wasserstoff in Zeiten geringer Strompreise erzeugt.

Die mit dem Landwirt verhandelten Preise für das Rohbiogas richten sich auch nach den vorhandenen Einsatzstoffen. Beim vermehrten Einsatz von Gülle oder nachhaltigen Energiepflanzen werden höhere Preise gezahlt. Viele Landwirte werden ihre Anlagen erweitern, die ursprünglich für energiereiche Substrate ausgelegt waren, um zukünftig auch vermehrt Gülle, nachhaltige Energiepflanzen und biogene Reststoffe einsetzen zu können.

Die Gemeinde erreicht das Ziel von regionaler Wertschöpfung und transparenten Kosten. Anfangs liegen die Kraftstoffkosten im ähnlichen Bereich, mit steigenden Dieselpreisen ist man aber mit den Wasserstoffbussen trotz nachhaltigem Substrateinsatz deutlich im Vorteil.

Option 3: Dampfreformer mit Gasreinigung

Bislang läuft die Betankung der Busse auf dem Betriebshof der Stadtwerke. Damit sich die Busfahrer/-innen nicht umgewöhnen müssen, wird die Möglichkeit der Erzeugung von grünem Wasserstoff auf dem Betriebshof geprüft. Dies ist durch eine Vor-Ort Dampfreformierung möglich, wenn Biomethan eingesetzt wird. Die lokalen Investitionen sind vergleichbar mit denen aus Option 2. Die Kosten für das Biomethan sind allerdings deutlich

höher als die für Rohbiogas, weil die Gasaufbereitung und Netzentgelte zu entrichten sind. Wie sich die Kosten für die Beschaffung von Biomethan entwickeln werden, hängt auch weitgehend von politischen Entscheidungen ab. Der lokale Landwirt kann nicht auf Biomethanproduktion umstellen, da seine Anlage zu klein ist, um wirtschaftlich zu sein und auch weil keine Ferngasleitung zur Einspeisung in der Nähe verfügbar ist.

Option 4: Lieferwasserstoff aus etwa 250 km Entfernung

Alle zwei Tage wird Wasserstoff mit einem 40-t-LKW angeliefert. Der Landwirt legt seine Biogasanlage nach Ablauf der EEG-Förderung still und wird LKW-Fahrer. Er bringt viele Wochenenden auf überfüllten Autobahn-Parkplätzen. Die Klimaneutralität erreicht man durch die Zahlung eines geringen Kompensations-Beitrages. Die Busse der Gemeinde fahren lokal emissionsfrei und alles funktioniert reibungslos.

8. Zusammenfassung

Die Umnutzung vorhandener Biogasanlagen für die dezentrale Erzeugung von grünem Wasserstoff durch Dampfreformierung kann einen wichtigen Baustein für die Energiewende liefern. Insbesondere für Partnerschaften von Kommunen als Flottenbetreiber und lokalen Betreibern von Biogasanlagen können bei geeigneten Rahmenbedingungen, in ökologischer, ökonomischer und sozialer Hinsicht, sehr attraktive Projekte mit hoher lokaler Wertschöpfung entstehen, die auch den Rückhalt in der Bevölkerung finden.

Literatur

- [1] Fachverband nachwachsende Rohstoffe, <https://mediathek.fnr.de>
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, <https://www.bmwi.de>
- [3] Graf, F. und Bajohr, S.: Biogas – Erzeugung, Aufbereitung, Einspeisung, Oldenbourg Industrieverlag, 2011
- [4] Tankstellenbetreiber H₂ Mobility, <https://h2.live>
- [5] Winter, C.-J. und Nitsch, J.: Wasserstoff als Energieträger, Springer Verlag, Berlin, 1989
- [6] Wüning, J. G.: Wasserstoff für die Prozesswärmeerzeugung, Studienarbeit, RWTH Aachen, 1989

Autor



Dr. Joachim G. Wüning
WS GmbH |
Renningen |
Tel.: +49 7159 1632 0 |
j.g.wuenning@flox.com