DOI: 10.24405/13881

Das Demonstrationszentrum Sektorkopplung – Für die nächsten Schritte der Energiewende in der Metropolregion Hamburg

Simon Müller
Netztechnik
Gasnetz Hamburg GmbH
D-20539 Hamburg, Ausschläger Elbdeich 127
E-Mail: simon.mueller@gasnetz-hamburg.de

Mike Blicker
Competence Center für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz CC4E
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
D-20099 Hamburg, Alexanderstraße 1
E-Mail: mike.blicker@haw-hamburg.de

***Kurzfassung*—Die Gasnetz Hamburg GmbH (GNH) will gemeinsam mit dem Competence Center für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz (CC4E) der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW) im Rahmen des Demonstrationszentrums Sektorkopplung einen Großelektrolyseur mit Wasserstoffspeicher errichten und mit Windstrom aus dem Windpark Curslack betreiben. Der erzeugte Wasserstoff soll im Realbetrieb in das Mitteldrucknetz am Schleusengraben in Hamburg-Bergedorf eingespeist werden. Die deutschlandweit erstmalige Einspeisung von bis zu 30 Vol.-% Wasserstoff in ein Erdgas-Verteilnetz soll wichtige Erkenntnisse über die Umsetzung der Sektorkopplung in Hamburg, insbesondere über die Handhabung von erhöhten Wasserstoffanteilen im Gasnetz und bei den Endverbrauchern, liefern. Zudem soll durch den Speicher die Nutzung von lokal erzeugtem Windstrom maximiert und gleichzeitig ein netzdienlicher Betrieb ermöglicht werden. Im Zuge der nächsten Schritte der Energiewende ist eine umfassende Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität für eine weitestgehende Dekarbonisierung des Energiesystems notwendig.**

***Stichworte*—Klimaschutz, Sektorkopplung, Wasserstoff, Elektrolyse, Gasnetz**

I. Einleitung

Die Bundesregierung hat sich nach Beschluss des Pariser Abkommens zum Ziel gesetzt, die CO_2-Emissionen in Deutschland bis zum Jahr 2050 um 80-95% zu reduzieren [1]. Um diese Ziele zu erreichen, ist ein radikaler Umbau der Energieversorgung innerhalb weniger Jahrzehnte notwendig. Dabei ist neben dem weiteren Ausbau der Erzeugungskapazitäten von erneuerbaren Energien ebenso eine ganzheitliche systemische Herangehensweise unabdingbar. Nach der Fokussierung auf den Auf- und Ausbau erneuerbarer Erzeugungsstrukturen (erste Phase der Energiewende; vgl. Abb. 1) steht nun die zweite und dritte Phase der Energiewende, der Umbau des Energiesystems, im Vordergrund: die Transformation des Energiesystems als technologieoffener Wechsel von einem lastgeführten zu einem überwiegend erzeugungsgeführten, flexiblen und stabilen Energiesystem und die Integration aller Sektoren.

II. Sektorkopplung und ihre Herausforderungen

Die Notwendigkeit der sogenannten Sektorkopplung wird mit Blick auf Abb. 2 deutlich. Denn während der Anteil erneuerbar erzeugter Energie im Bereich Strom bereits bei über 30% liegt, hinken die energieintensiven Sektoren Mobilität, mit knapp 6%, sowie Wärmeerzeugung für Haushalte und Industrie mit knapp 14% stark hinterher.

Zum Erreichen der aus dem deutschen Klimaschutzplan abgeleiteten Dekarbonisierung ist es daher notwendig, diese Sektoren weitgehend an die zunehmend erneuerbare Stromerzeugung zu koppeln. Der überwiegende Einsatz von Strom als Primärenergie bringt allerdings verschiedene Herausforderungen mit sich:

- Durch absehbare Dominanz der Stromerzeugung durch Windenergie und Photovoltaik wird die Erzeugung starken Schwankungen unterliegen. Diese sind sowohl tagesabhängig, als auch saisonal bedingt [2]
- In energieintensiven industriellen Prozessen mit hohen Temperaturen ist Strom als einziger Energieträger aufgrund der großen Energiemengen nur bedingt
- Die Substitution von anderen Energieträgern durch Strom in den Sektoren Mobilität, Wärme und Industrie würde

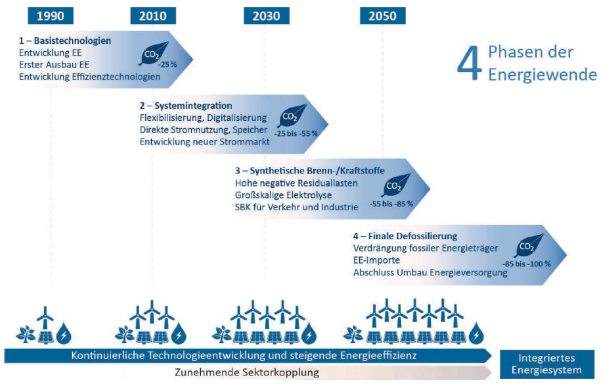

Abbildung 1: Die vier Phasen der Energiewende [2].

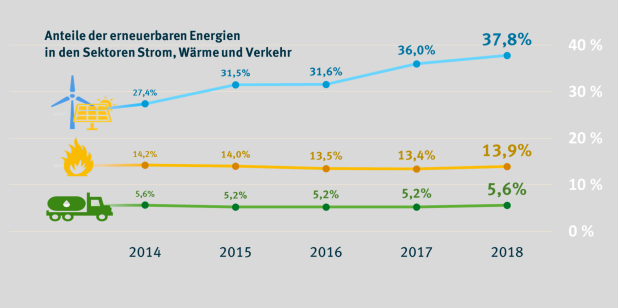

Abbildung 2: Anteile erneuerbarer Energien in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr [3].

einen Stromnetzausbau in einem deutlich größeren Umfang verlangen

Die optimierte Synchronisation des Energieverbrauchs mit der Erzeugung der erneuerbaren Energien (Demand Side Integration) muss daher von effizienten Energiespeichern unterstützt werden, um zum einen kurzfristige Erzeugungsschwankungen besser ausgleichen zu können (Kurzzeitspeicher) und zum anderen, um die immer größer werdenden Stromüberschüsse aufzunehmen, die nicht unmittelbar im Netz transportiert werden können, um diese in windschwachen und sonnenarmen Zeiten verfügbar zu machen (Mittel- und Langzeitspeicherung).

A. *Wasserstoff als zentrales Element der Sektorkopplung*

Neben dem vermehrten Ersatz von Strom für ehemals durch Brennstoffe betriebene Anwendungen (Wärmepumpen, Elektrofahrzeuge) - muss auch regenerativ erzeugter Wasserstoff als Erneuerbarer Energieträger eine zentrale Rolle spielen. Dieser wird mittels Elektrolyse von Wasser mit Strom hergestellt. Über sogenannte Power-to-Gas Anlagen kann die elektrische Energie chemisch in Form von Wasserstoff gebunden werden. In dieser Form ist sie im Vergleich zur elektrischen Batteriespeicherung längerfristig und in größerer Menge speicherbar. Der erzeugte Wasserstoff kann über die Gasinfrastruktur unabhängig vom Stromnetz gespeichert und transportiert werden und bei Bedarf z.B. über Brennstoffzellen rückverstromt werden. Aufgrund seiner hohen gewichtsspezifischen Energiedichte ist Wasserstoff auch für die Wärmeerzeugung für Haushalte und Industrie, die Verwendung in Fahrzeugen oder für den stofflichen Einsatz in industriellen Anwendungen vielfältig einsetzbar.

Neben dem direkten Einsatz besteht auch die Möglichkeit, Wasserstoff zusammen mit CO_2 zu Methan, oder auch in andere synthetische Brennstoffe umzuwandeln. Diese können problemlos als grüne Ersatzbrennstoffe in herkömmlichen Verbrennungsprozessen eingesetzt werden. Damit eignet sich Wasserstoff hervorragend als verbindendes Element zwischen den Energieträgern Strom, Gas und flüssigem Kraftstoff.

B. *Sektorkopplung in der Metropolregion Hamburg*

Hamburg eignet sich in idealer Weise als Innovationsstandort für die Realisierung der nächsten Schritte der Energiewende. Die unter anderem im Hamburger Hafen ansässige verarbeitende Industrie sorgt durch energieintensive Fertigungsprozesse für einen hohen Wärmebedarf, der zwar in speziellen Anwendungen durch Strom gedeckt werden kann, aufgrund der großen, kontinuierlich benötigten Leistung nur bedingt über das Stromnetz zur Verfügung gestellt werden kann. Auch die dazugehörige Logistik an Land und auf dem Wasser benötigt eine große Menge an Kraftstoffen. In einem nahezu vollständig dekarbonisierten Energiesystem wird Hamburg mittelfristig auf den wachsenden Anteil von ungleichmäßig anfallender erneuerbarer Energie, insbesondere der Windenergie aus der Erzeugungsregion Schleswig-Holstein sowie den Randbereichen der Metropolregien Hamburg angewiesen sein. Mit der Sektorkopplung soll deren vollständige Integration in das Hamburger Energiesystem, unter Erschließung und Integration von Flexibilitätspotenzialen gelingen, um eine langfristig sichere, umweltverträgliche und kostengünstige Energieversorgung sicher zu stellen.

III. Einspeisung von Wasserstoff in ein Gasverteilnetz

A. *Wasserstoffverträglichkeit*

Wasserstoff besitzt einige Stoffeigenschaften, die stark von denen des Erdgases abweichen. So ist der volumetrische Brennwert von Wasserstoff bei gleichem Druck nur ca. ein Drittel und die Dichte nur ca. ein Zehntel so groß wie die von Erdgas. Aufgrund des geringeren Brennwertes ist ein größeres Gasvolumen nötig, um die gleiche Energiemenge zur Verfügung zu stellen. Zusätzlich ist Wasserstoff deutlich flüchtiger und besitzt wesentlich breitere Explosionsgrenzen.

Über das technische Regelwerk des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) sind Beimischungen von bis zu 10 Vol.-% Wasserstoff in Gasverteilnetze gedeckt. Diese Grenze basiert auf Untersuchungen zur Wasserstoffverträglichkeit der Komponenten der Netzinfrastruktur [4]. Die unproblematische Einspeisung von bis zu 10 Vol.-% Wasserstoff im Erdgasnetz wurde außerdem in einem Feldversuch im Praxisbetrieb bestätigt [5]. Darüber hinaus wurde in umfangreichen Laborversuchen die Wasserstofftauglichkeit von gängigen Endgeräten (z.B. Brennwertthermen) bis zu einem Wasserstoffgehalt von 30 Vol.-% untersucht und für unproblematisch befunden [5]. Dies ist insbesondere wichtig, da von einem Gasverteilnetz eine Vielzahl von unterschiedlichen Kunden mit unterschiedlichen Endgeräten und Anforderungen versorgt werden. Nur für wenige Anwendungen ist aktuell eine erhöhte Wasserstoffeinspeisung nicht möglich. Dies bezieht sich insbesondere auf Erdgastankstellen und Gasturbinen. Für diese Anwendungen liegt die Wasserstofftoleranz bei unter 2 Vol.-%, was bei den Erdgastankstellen hauptsächlich durch die Unverträglichkeit der Fahrzeuge begründet ist.

Der DVGW hat sich zum Ziel gesetzt, durch das technische Regelwerk zukünftig eine Einspeisung von 20 Vol.-% zu ermöglichen, da dies nach heutigem Kenntnisstand mindestens technisch machbar ist. Das gesamte Regelwerk soll außerdem um neue Richtlinien für die Verwendung von 100% Wasserstoff ergänzt werden [6].

B. Herausforderungen bei der Umsetzung

Neben der bereits erwähnten Vielzahl der am Netz angeschlossenen Endgeräte und deren zu garantierende Wasserstoffverträglichkeit bringt eine Einspeisung in das Gasnetz weitere Herausforderungen mit sich. Die Abrechnung der Kunden erfolgt generell auf Basis der verbrauchten Energiemenge. Dafür ist es notwendig, den Brennwert des Gases zu bestimmen, was für ganz Hamburg an den Übergabestationen aus dem Fernleitungsnetz erfolgt. Eine Einspeisung in ein abgeschlossenes Teilnetz bedeutet daher, dass die Kunden die aus diesem Netz versorgt werden, Gas mit einem abweichenden Brennwert erhalten. Um diese Kunden dennoch korrekt abzurechnen, müssen an der Einspeisestelle die exakten Mengen Wasserstoff und Erdgas gemessen werden. Die Einspeisung sollte nach heutigem Stand außerdem nur von einer Seite in das Netz erfolgen, da sich der Wasserstoff sonst ungleichmäßig auf das Netz verteilen würde. Für die Netzkunden kann so, in Abstimmung mit dem Eichamt, eine eigene Brennwertzone für die Abrechnung eingerichtet werden. Außerdem muss hinter der Einspeisung eine ausreichend gute Durchmischung des Wasserstoffs mit dem Erdgas stattfinden, da es sonst lokal zu höheren Konzentrationen als zulässig kommen könnte.

Zusätzlich zur maximal möglichen Obergrenze der Wasserstoffkonzentration, stellen vor allem schwankende Wasserstoffanteile technische Probleme für die im Netz verbauten gastechnischen Komponenten dar. Um dies im Hinblick auf eine schwankende Erzeugung aus Wind- oder Sonnenenergie zu verhindern, ist es notwendig einen Wasserstoffspeicher in das Gesamtkonzept zu integrieren, der die Einspeisung einer konstanten Wasserstoffmenge ermöglicht. Vor der Einspeisung muss sichergestellt werden, dass keine Erdgastankstelle aus dem betrachteten Netz beliefert wird und alle Kundenanlagen und Netzkomponenten eine entsprechende Wasserstoffverträglichkeit aufweisen.

IV. Das Demonstrationszentrum Sektorkopplung

Das CC4E der HAW möchte als nächsten Schritt in Kooperation mit den Partnern GNH, Stromnetz Hamburg (SNH), dem Bezirk Bergedorf und den Verkehrsbetrieben Hamburg-Holstein (VHH) das erfolgreiche Konzept des Technologiezentrums Energie-Campus in Bergedorf ausbauen und den Standort zu einem Demonstrationszentrum für Sektorkopplung im Realmaßstab erweitern [7]. Schwerpunkt soll die Sektorkopplung Gas-Strom sowie der Mobilitätssektor und die Wärmeversorgung sein.

Die Wasserstoffeinspeisung in ein isoliertes Inselnetz im Praxisbetrieb mit realen Endkunden ist ein wichtiger Schritt auf dem Transformationspfad hin zu einem vollständig für regenerative Gase geeignetem Netz. Daher soll ein wichtiger Baustein des Demonstrationszentrums die Errichtung und der Betrieb eines Großelektrolyseurs zur Wasserstofferzeugung sein. Geplant ist in der ersten Ausbaustufe ein 500 kW PEM Elektrolyseur, der mit Windstrom des Windparks Curslack, welcher eine maximale Leistung von 12,6 MW bei 3000 Volllaststunden im Jahr zu Verfügung stellt, betrieben wird [8]. Unter den Rahmenbedingungen einer fluktuierenden Stromerzeugung soll am Demonstrationszentrum ein sowohl strom- als auch gasnetzdienlicher Betrieb des Elektrolyseurs inklusive eines Wasserstoffspeichers erprobt und zukünftige Szenarien für eine Hochskalierung beschrieben werden. Dabei soll nicht nur untersucht werden, wie die Wasserstofferzeugung und Verteilung unter fluktuierendem Stromdargebot der Windkraftanlagen funktioniert, sondern auch ob der Elektrolyseur weitere netzdienliche Eigenschaften haben kann. Die Kombination des Elektrolyseurs mit einem Wasserstoffspeicher ermöglicht es die Wasserstoffproduktion so zu optimieren, dass das Stromnetz zu Starkwindzeiten entlastet wird oder auch ein auf Strombörsenpreise optimierter Betrieb erfolgt. Diese Zusammenhänge wurden bereits im Rahmen einer Modellierung theoretisch untersucht [9] und sollen nun im Detail praktisch erprobt werden.

Der erzeugte Wasserstoff soll vor Ort in das örtliche Mitteldrucknetz eingespeist werden. Dabei sollen in der Praxis Wasserstoffgehalte von bis zu 30 Vol.-% erprobt werden, was ein bisher einmaliges Vorhaben in Deutschland darstellt. Abb. 3 zeigt schematisch die Verwendung des produzierten Wasserstoffs.

Das Mitteldrucknetz ist ein Inselnetz, das nur an einem Punkt aus dem Hochdrucknetz gespeist wird. Es dient der Versorgung von 38 Netzkunden, die überwiegend dem Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistung zuzuordnen sind. Da jedoch auch Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie eine Kombination aus BHWK und Brennwertkessel zur Versorgung eines Nahwärmenetzes über das Netz versorgt werden, bildet das Inselnetz einen breiten Querschnitt der in Hamburg zu versorgenden Kunden ab.

Vor der Inbetriebnahme der Einspeisung muss, wie bereits in Kap. III.A erwähnt, über eine Bestandsaufnahme aller Kundenendgeräte sowie aller Netzkomponenten die Tauglichkeit des Netzes gewährleistet werden. Gleichzeitig müssen die angeschlossenen Kunden über die anstehende Einspeisung und mögliche dadurch aufkommende Überprüfungen oder Umstellungen der Endanlagen informiert werden. Für die Einspeisung muss eine Genehmigung vom DVGW erfolgen. Damit wird sichergestellt, dass alle gängigen technischen Anforderungen erfüllt werden und die Versorgung der Kunden sicher ist.

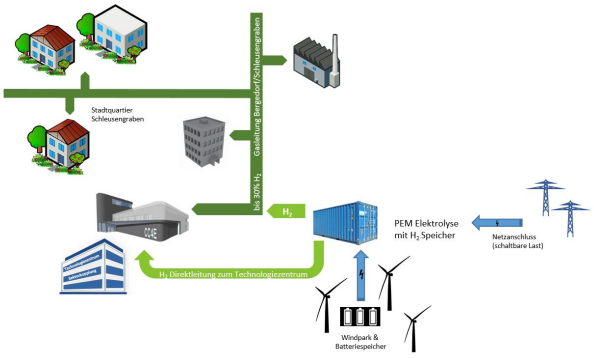

Abbildung 3: Verwendung des Wasserstoffs im Demonstrationszentrum Sektorkopplung.

Die Errichtung einer eigenen Brennwertzone muss durch das Eichamt genehmigt werden.

Die Einspeisung erfolgt unmittelbar hinter der Gasdruckregelanlage, in der das Erdgas aus dem Hochdrucknetz von 16 bar auf 500 mbar für das Mitteldrucknetz heruntergeregelt wird. So wird gewährleistet, dass der Wasserstoff sich gleichmäßig auf das gesamte Netz verteilt.

V. Bedeutung für den Klimaschutz

Mit der erfolgreichen Demonstration der Beimischung von bis zu 30 Vol.-% Wasserstoff in bestehende Gasnetze kann ein erhebliches Potenzial zur CO_2-Minderung aufgezeigt werden. Daraus ergibt sich bei gleichem Energiebedarf aufgrund des geringeren Brennwertes von Wasserstoff gegenüber Erdgas eine CO_2-Einsparung von 12%. Für das betrachtete kleine Modellnetz bedeutet dies eine Einsparung von 218 t/a. Es kann gezeigt werden zeigt, dass durch den Einsatz von Wasserstoff auch Sektoren, die durch vollständige Elektrifizierung nicht sinnvoll versorgt werden können, zukünftig dekarbonisiert werden können. Außerdem wird gezeigt, dass selbst im durch die Tauglichkeit der Endgeräte limitierten Prozentbereich eine signifikante Einsparung zu erzielen ist. Diese könnte entweder durch die Verwendung neuer, für höhere Wasserstoffkonzentrationen ausgelegte Endgeräte, oder aber durch den zusätzlichen Einsatz von aus grünem Wasserstoff und aus regenerativ erzeugtem CO_2 hergestellten synthetischen Methan gesteigert werden. Da hierdurch weitere Wirkungsgradverluste auftreten, ist ein Optimum aus Anwendbarkeit, Effizienz und Wirtschaftlichkeit zu finden. Generell soll gezeigt werden, dass auch heute schon Sektorkopplungstechnologien Anwendung finden und auch die Gasinfrastruktur heute und in Zukunft einen wichtigen Beitrag zu einem grünen und sicheren Energiesystem leisten kann und muss.

VI. Ausblick

In einer weiteren Ausbaustufe des Demonstrationszentrums sollen unter anderem die direkte Rückverstromung des Wasserstoffs sowie dessen Aufbereitung zu synthetischem Methan, vorzugsweise mit aus der Luft gewonnenem CO_2 im Realbetrieb untersucht werden. Die Erfahrungen, die durch das Demonstrationszentrum im Realbetrieb gewonnen werden, sollen zusätzlich eine Grundlage für die Weiterentwicklung des energiewirtschaftlichen Ordnungsrahmens im Hinblick auf die Sektorkopplung liefern.

Literatur

[1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, „Klimaschutzplan 2050“, 2016.

[2] acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V., Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V., Union der deutschen Akademien der Wissenschaften e.V., „Sektorkopplung – Optionen für die nächste Phase der Energiewende“, 2017.

[3] Agentur für Erneuerbare Energien, „Entwicklung des Anteils der erneuerbaren Energien 2012-201“, 2019, [Online]. Verfügbar: https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen. [letzter Zugriff am: 10. Mai 2019].

[4] G. Müller-Syring und M. Henel, „Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastruktur inklusive aller assoziierten Anlagen“, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., 2014.

[5] H. Dörr, K. Kröger, F. Graf, W. Köppel, F. Burmeister, J. Senner, Nitschke-Kowsky und W. Weßing, „Untersuchungen zur Einspeisung von Wasserstoff in ein Erdgasnetz“, *energie | wasser-praxis*, 2016.

[6] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., „Mehr Wasserstoff technisch sicher verankern“, April 2019. [Online]. Verfügbar: https://www.dvgw.de/der-dvgw/aktuelles/presse/presseinformationen/dvgw-presseinformation-vom-09042019-mehr-wasserstoff-technisch-sicher-verankern/. [letzter Zugriff am: 10. Mai 2019].

[7] Competence Center für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz (CC4E), [Online]. Verfügbar: https://www.haw-hamburg.de/cc4e/energie-campus/forschung-entwicklung.html. [letzter Zugriff am: 13. Mai 2019].

[8] Competence Center für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz (CC4E), „Neues vom Windpark Curslack“, [Online]. Verfügbar: https://www.haw-hamburg.de/cc4e/cc4e-ueber-uns/nachrichten/neues-vom-windpark-curslack.html. [letzter Zugriff am: 10. Mai 2019].

[9] S. Decher, „Simulationsbasierte Szenarioanalyse - Variabler Wasserstoffanteil im Gasnetz“, Masterarbeit, HAW Hamburg, 2019.