

Wie kommen Wind und Sonne ins Gasnetz?

Pilotprojekt zur elektrolytischen Wasserstoff-erzeugung erfolgreich abgeschlossen

Die Elektrolyse-Technik ist durch ihr Vermögen, elektrische Energie direkt in Wasserstoff (also chemische Energie) zu wandeln, **in den Fokus der Energiespeicherung gerückt**. Fluktuierende überschüssige Wind- oder Solarstrommengen können damit mittels Elektrolyse im bestehenden Erdgasnetz zwischengespeichert werden (Power-to-Gas, PtG); dies unterstützt die Integration der Erneuerbaren in die vorhandene Energieinfrastruktur. Doch auch **die Bereitstellung von Wasserstoff für Mobilität, den Wärmemarkt oder die chemische Industrie** wird damit möglich. Der nachfolgende Beitrag beschreibt ein Pilotprojekt zur elektrolytischen Wasserstoff-erzeugung in Hamburg-Reitbrook und fasst die wesentlichen Erkenntnisse des Probetriebs zusammen.

von: Bastian Haubner, Dr.-Ing. Helge Föcker (beide: Uniper Energy Storage GmbH), Bernd Pitschak (Hydrogenics), Armin Bayer (Greenery GmbH), Aldo Gago, Philipp Lettenmeier (beide: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.), Christoph Voglstätter & Tom Smolinka (beide: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE)

Im Oktober 2016 wurde das durch die Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) geförderte Kooperationsprojekt „Kompaktes 1 MW-PEM-Wasserstoffelektrolyse-System in Hamburg-Reitbrook“ (KompEISys) erfolgreich abgeschlossen. Im Rahmen dieses Projekts konnte eine neuartige Proton Exchange Membrane (PEM)-Elektrolyse-

technologie durch die beteiligten Partner Hydrogenics, Greenery, Fraunhofer ISE, DLR und Uniper zur Marktreife entwickelt werden. In der Folge wurde die Anlage mit einer Gesamtproduktionskapazität von 290 Normkubikmetern pro Stunde (Nm^3/h) Wasserstoff ausgelegt, gebaut, in Betrieb genommen, umfangreich getestet und optimiert.

Die Partner im Konsortium verfügten bereits beim Start des Projekts über umfangreiche Expertise auf ihren Fachgebieten: Hydrogenics ist ein etablierter Hersteller von Elektrolyse- und Brennstoffzellensystemen. Die Firma Greenery wiederum verfügt über umfangreiches Know-how auf dem Gebiet der Elektrochemie sowie der Entwicklung und Herstellung von

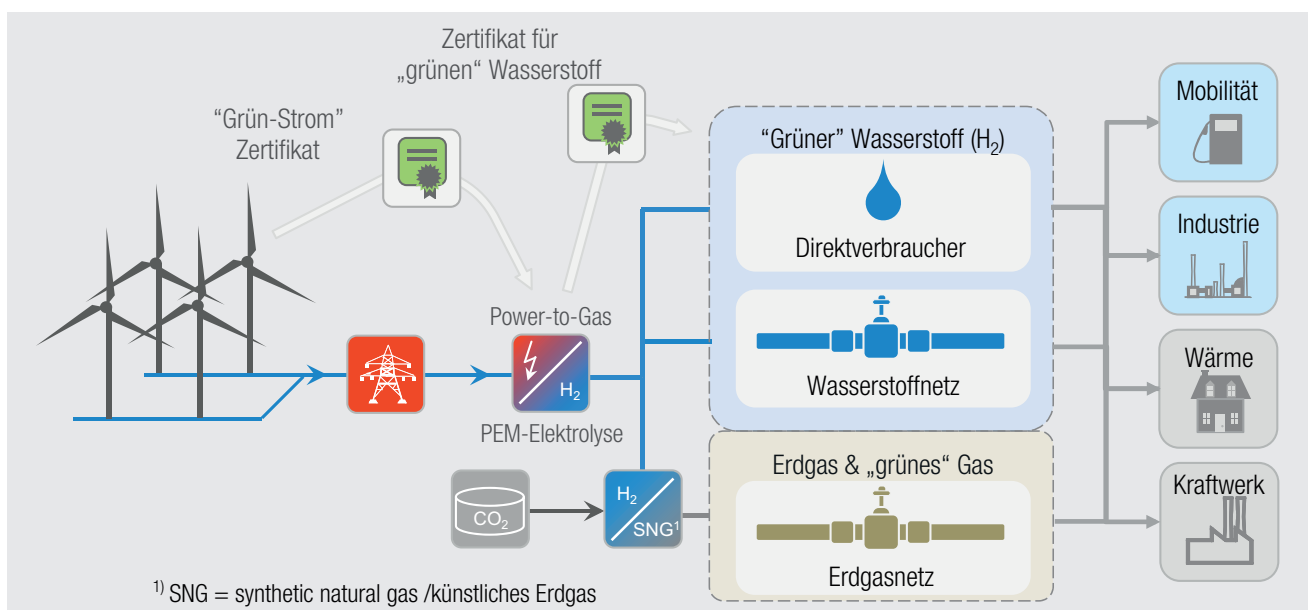


Abb. 1: Mögliche Nutzungspfade für die PEM-Elektrolyse als zentraler Baustein der Power-to-Gas-Technologie

Membran-Elektroden-Einheiten (Membrane Electrode Assemblies, MEAs) für PEM-Elektrolyseure und PEM-Brennstoffzellen. Uniper betreibt als Energieversorgungsunternehmen bereits eine mit alkalischen Elektrolyseuren ausgestattete großtechnische Power-to-Gas-Anlage im brandenburgischen Falkenhagen und verfügt daher über umfassende Erfahrungen in der Einbindung und im Betrieb vergleichbarer Installationen. Die beiden renommierten Forschungsinstitute Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE und das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) begleiten das Projekt wissenschaftlich. Das Fraunhofer ISE verfügt über 25 Jahre Erfahrung im Bereich der PEM-Elektrolyse und beschäftigt sich in dem Projekt insbesondere mit der systematischen Charakterisierung von Komponenten wie MEAs und porösen Transportschichten (porous transport layer, PTL) sowie der Systemsimulation. Des Weiteren wurden optimierte Wartungskonzepte entwickelt und Kostensenkungspotenziale identifiziert.

Hierbei wurden systematische Charakterisierungen, Alterungs- und Komponentenuntersuchungen, die Entwicklung von optimierten Wartungskonzepten und die Durchführung von System-Simulationen durchgeführt.

Die im Projekt entwickelte PEM-Elektrolyse kombiniert kompakte Baumaße mit einem hohen Wirkungsgrad und eignet sich somit insbesondere für die Wasserstoffherzeugung vor Ort. Aufgrund ihrer modular skalierbaren Leistungsgröße können neben kompakten, auf Wasserstofftankstellen zugeschnittenen Systemen auch größere Systeme im Multi-Megawatt-Bereich für die zentrale Wasserstoffherzeugung aufgebaut werden. **Abbildung 2** vermittelt anhand eines Vergleichs zwischen klassischen Alkali-Elektrolysestacks und dem neuartigen PEM-Elektrolyse-Stack, der in Hamburg-Reitbrook zum Einsatz kam, einen Eindruck der zu erzielenden Platz-Ersparnis.

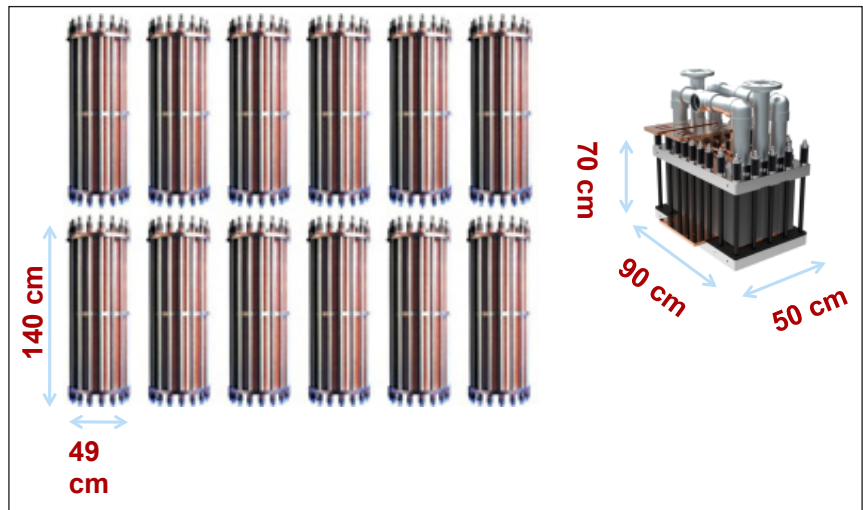


Abb. 2: Vergleich herkömmlicher Alkali-Elektrolysestack-Technologie (links) zu PEM-Elektrolysestack-Technologie (rechts) mit jeweils 1 MW Nennlast

Ziel des Projekts war es, einen PEM-Wasserelektrolyseur in der 1 MW-Leistungsklasse zu entwickeln, als Pilot-Anlage zu bauen und im Realeinsatz zu erproben. Die entwickelte PEM-Elektrolyseanlage soll dabei die Vorteile der PEM-Technik (wie z. B. das sehr gute dynamische Betriebsverhalten, die hohe Effizienz und die große volumetrische Stackdichte) in einer bisher nicht realisierten Leistungsklasse zur Verfügung stellen und durch das Upscaling der Einheitsengröße Kostenvorteile ermöglichen. Die Entwicklung des PEM-Elektrolyseurs sollte dabei hauptsächlich den Anforderungen eines Einsatzes im Mobilitätssektor (wirtschaftliche Erzeugung von grünem Wasserstoff als Treibstoff) sowie der hochflexiblen Integration erneuerbarer Energien im Energie- und Wärmesektor genügen.

Zeitlicher Ablauf

Das Projekt mit einem Gesamtvolumen von 14,7 Mio. Euro begann im November 2012. In einem ersten Schritt entwickelte Greenerity in Abstimmung mit dem Elektrolysehersteller Hydrogenics die für den späteren Elektrolysestack benötigten MEAs. Diese sind das elektrochemische Herzstück der PEM-Elektrolysetechnologie und bestehen aus der namensgebenden Membran, welche auf beiden Seiten

Tabelle 1: Vergleich der Design-Spezifikation mit der Spezifikation der später errichteten Anlage

| Parameter | Spezifikation / Wert Antrag / Soll | Spezifikation / Wert Ausgeführt / Ist |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Aktive Fläche der Membran | 1.250 cm ² | > 1.500 cm ² |
| Anzahl Zellen | 255 | 212 |
| Stack-Volumen | 0,25 m ³ | 0,38 m ³ |
| Wasserstoffproduktion bei Nennlast | k. A. | 229 Nm ³ /h |
| Elektrische Leistung bei Nennlast | 1 MW | 1 MW |
| Wasserstoffproduktion bei Max.-Last | k. A. | 290 Nm ³ /h |
| Elektrische Leistung bei Max.-Last | 1,5 MW | 1,5 MW |
| Auslegungsdruck (DP) | k. A. | 40 barü |
| Maximaler Betriebsdruck (MOP) | 10-30 barü | 30 barü |
| Betriebstemperatur | 50-80 °C | 50-80 °C |
| Wasserstoffreinheit | > 99,99 % | > 99,999 % |
| Systemantwort (Min.-Last – 1 MW) | < 1 s | < 30 s |

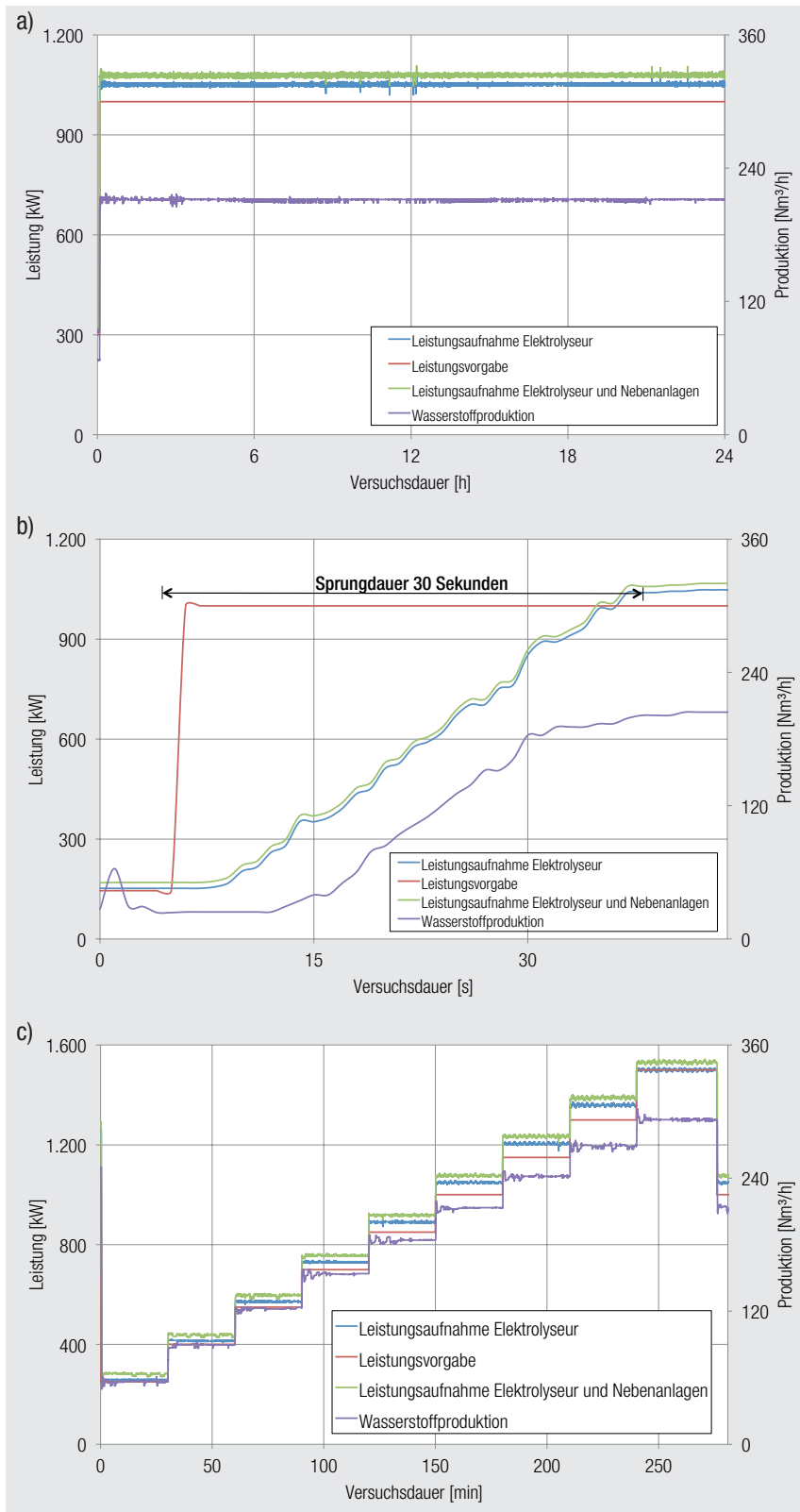


Abb. 3: Messprotokolle aus der Betriebsphase a) stationärer Betrieb, b) Anfahrvorgang (Standby -> Nennlast), c) Treppenprofil mit verschiedenen Arbeitspunkten

mit elektrochemisch aktiven Katalysatoren und Bindemittel, also den Elektroden, beschichtet ist. Nach Abschluss dieser Arbeiten und der erfolgreichen Validierung der Serienherstellung der MEAs Mitte des Jahres 2014 durch

Greenerity baute Hydrogenics den eigentlichen Elektrolyse-Stack. Parallel dazu wurden die benötigten Nebenanlagen (Trocknung, Stromversorgung, Wasseraufbereitung etc.), ba-

sierend auf den durch das Konsortium festgelegten Designvorgaben, errichtet (Tabelle 1) und zusammen mit dem Stack in einem handelsüblichen 40-Fuß-Container installiert. Der Elektrolysecontainer wurde Mitte des Jahres 2015 ausgeliefert und am Standort Hamburg-Reitbrook in Betrieb genommen. Nach der Inbetriebnahme erfolgte ein einjähriger Testbetrieb, bei dem die neue Anlage intensiv unter realen Betriebsbedingungen erprobt wurde. Hierbei konnten die durch die Institute DLR und Fraunhofer ISE entwickelten Modelle und Simulationen (z. B. zur System- und Stack-Komponentenalterung) an der realen Anlage validiert werden.

Projektergebnisse

Die Tabelle 1 vergleicht die zum Beginn des Projekts festgelegten Designspezifikationen mit der Spezifikation der realen Pilotanlage. Dabei wird deutlich, dass alle Ziele des Projekts vollumfänglich erreicht werden konnten; die einzige Abweichung ist die längere Reaktionszeit der realen Anlage im Vergleich zur ursprünglichen Designspezifikation. Hier wurde das Design der Pilot-Anlage im Nachhinein bewusst angepasst, um die Anlage zu Gunsten einer höheren Effizienz zu optimieren. Die Reaktionsgeschwindigkeit der Pilotanlage ist ausreichend, um einen Einsatz der PEM-Technologie im Regelenergiemarkt zu ermöglichen. Dies gilt auch bei anspruchsvollen, hochpreisigen Produkten wie z. B. der Bereitstellung von Primärregelenergie.

Die Überlastfähigkeit der Technologie verschafft der PEM-Elektrolyse einen weiteren Vorteil gegenüber der etablierten alkalischen Elektrolysetechnologie: Im konkreten Fall wurde die Reitbrooker Anlage auf 150 Prozent Überlast ausgelegt und ist somit theoretisch in der Lage, besonders viel Leistung (im Fall der Pilot-Anlage bis zu 1,5 MW) zu niedrigen Preisen abzugreifen. Dies hätte netzstabilisierende Effekte und würde es ermöglichen, sowohl positive als auch negative Reserveleistung anzubieten. Durch parallele Degradationsmes-

Quelle: Uniper

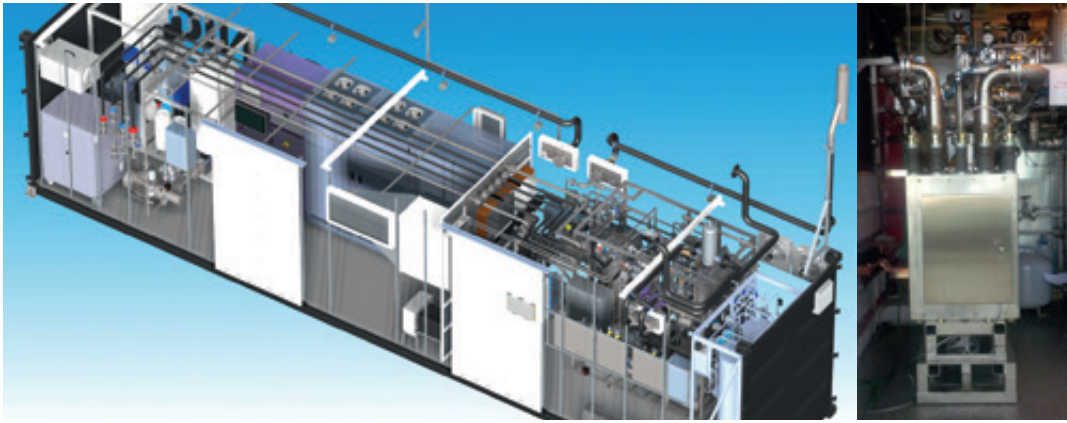


Abb. 4: CAD-Modell der Gesamtanlage (links) und Foto des verbauten Elektrolyse-Stacks (rechts)

Quelle: Hydrogenics

sungen sowie semiempirische modellbasierte Simulationen lässt sich auch die Auswirkung von Überlast auf die Alterungseffekte und die Langlebigkeit abschätzen, sodass ein betriebswirtschaftlich optimierter Betrieb ermöglicht werden kann. Die Wasserstoffgestehungskosten auf Grundlage der EEX-Strommarktpreise und realistischer Auslastung liegen in einem Band zwischen 3 und 7 Euro pro Kilogramm produzierten Wasserstoffs durch PEM-Elektrolyse [1]. Dies würde eine rentable

Nutzung von Wasserstoff im Mobilitätssektor schon heute ermöglichen. Eine zusätzliche Entlohnung für das Lastmanagement würde die Wirtschaftlichkeit der Anlage darüber hinaus deutlich verbessern. Hierfür fehlen allerdings die dafür notwendigen energiepolitischen Rahmenbedingungen, da Speicher im Energiesystem als Verbraucher angesehen werden und daher unsachgemäße Abgaben und Steuern zahlen müssen, wodurch ihr Beitrag zur Systemintegration in keinsten Weise honoriert wird.

Abbildung 3 zeigt beispielhaft einige Messungen aus der Betriebsphase des Elektrolyseurs (zeitliche Entwicklung von Stromaufnahme (links) und Wasserstoffproduktion (rechts)). Die Anlage läuft, wie in der Abbildung gezeigt, im stationären Betrieb sehr stabil und kann innerhalb von wenigen Sekunden zwischen verschiedenen Betriebszuständen wechseln.

Abbildung 4 wiederum zeigt ein CAD-Modell des von Hydrogenics konstru-

Berliner 2017
ENERGIETAGE
 Energiewende in Deutschland

DIE LEITVERANSTALTUNG DER ENERGIEWENDE IN DEUTSCHLAND

3. – 5. Mai 2017

JETZT ANMELDEN!

#ENERGIETAGE
WWW.ENERGIETAGE.DE



Abb. 5: PEM-Elektrolyse in Hamburg-Reitbrook nach Inbetriebnahme

ierten Elektrolyse-40-Fuß-Containers. Die eigentliche Elektrolyse und die zugehörige Gasabtrennung/-aufbereitung befinden sich im rechten Teil des Containers; die Steuerung, Klimatisierung und Wasseraufbereitung sind im linken Teil des Containers untergebracht. Das Foto neben dem CAD-Modell zeigt den im Container verbauten Elektrolysestack.

Die installierte und in Betrieb genommene Komplettanlage ist in **Abbildung 5** zu sehen. Im Vordergrund ist der eigentliche Elektrolysecontainer samt Luftkühlern und Ausblase-Vorrichtungen zu erkennen, im Hintergrund (Betongebäude links) ist die zur Einbindung in die Gasinfrastruktur benötigte Wasserstoffmess- und Einspeiseanlage untergebracht.

Im Probetrieb wurden mittlerweile mehr als 100.000 Nm³ Wasserstoff erzeugt und ins Erdgasnetz eingespeist. Dabei konnten bislang keinerlei Hinweise auf Verschleiß oder Alterungsvorgänge gefunden werden. Mit einem PtG-Anlagenwirkungsgrad von 74 Prozent bei Nominalleistung (1 MW) zeichnet sich die Anlage in Hamburg-Reitbrook durch hervorragende Leistungsdichte und Effizienz aus. Verschiedene, kleinere verfahrenstechnische Modifikationen und Optimierungen der Nebenanlagen im Rahmen des Projekts konnten die Ef-

fizienz und Flexibilität der Gesamtanlage sogar noch weiter steigern.

Durch die kompakte Bauweise von 1,5 MW Elektrolyseleistung in einem 40-Fuß-Container ist eine dezentrale Wasserstoffversorgung an Tankstellen denkbar, welche zu einer Verbesserung der Wasserstoffinfrastruktur für Brennstoffzellenantriebe führen könnte. Die modulare Bauweise lässt allerdings auch die zentrale Erzeugung von Wasserstoff an geeigneten Standorten mit Kavernenspeicherung zu. Dies kann zur Reduktion von Abregelungen regenerativer Energiequellen führen [1].

Ausblick

Durch die Arbeiten im Projekt wurde nachgewiesen, dass die PEM-Technologie durch ihre kompakte Bauweise und den effizienten Betrieb ein großes Potenzial hat, die Gesteungskosten für regenerativ erzeugten Wasserstoff entscheidend zu verringern. Die Technologie wurde bis zur Marktreife entwickelt und könnte, sobald das regulatorische Umfeld es ermöglicht, als Speicherlösung und als Mechanismus zur Sektorenkopplung genutzt werden.

Die derzeitige Einstufung der PtG-PEM-Elektrolyse-Anlagen als Letztverbraucher und die damit verbundenen zusätzlichen finanziellen Belastun-

HYDROGENICS
SHIFT POWER | ENERGIZE YOUR WORLD

Greenenergy®

**uni
per**

Fraunhofer
ISE

DLR Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt

Quelle: Uniper

gen im operativen Betrieb stehen der erfolgreichen Integration dieser Technologie als netzstabilisierende und sektorübergreifende Nutzungsmöglichkeit regenerativer Energien aktuell noch entgegen. Die betriebswirtschaftliche Realisierung des volkswirtschaftlichen Nutzens solcher PtG-Anlagen kann daher nur durch die Anpassung der Rahmenbedingungen unterstützt werden. ■

Literatur

- [1] Friedrich, K. A.: Studie über die Planung einer Demonstrationsanlage zur Wasserstoff – Kraftstoffgewinnung durch Elektrolyse mit Zwischenspeicherung in Salzkaavernen. (2015).
[2] Projekt Webauftritt: www.windgas-hamburg.de

Die Autoren

Die Autoren dieses Beitrags stammen aus Forschungsinstituten, Energie-Versorgungsunternehmen und Herstellerfirmen und haben in den vergangenen Jahren durch ihre Arbeit aktiv zum Gelingen des vorgestellten Projekts beigetragen.

Kontakt:

Bastian Haubner
Uniper Energy Storage GmbH
Ruhrallee 80
45136 Essen
Tel.: 0201 94614-563
E-Mail: bastian.haubner@uniper.energy
Internet: www.uniper.energy/storage