Thema: Energiespeicherung | **Autor:** Tom Smolinka

H_2-ERZEUGUNG DURCH WASSERELEKTROLYSE

Entwicklungstrends und Herstellerübersicht

Abb. 1: Alkalischer Nel-Elektrolyseur bei Akzo Nobel [Quelle: Nel Hydrogen]

Die Aufspaltung von Wasser mit Hilfe elektrischer Energie in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff wird allgemein als Wasserelektrolyse bezeichnet. Dieser Vorgang entspricht der aus dem Schulunterricht bekannten Knallgasreaktion in entgegengesetzter Richtung. Sofern die Anode und die Kathode in einer Elektrolysezelle durch eine semipermeable Membran oder ein Diaphragma getrennt sind, können die produzierten Gase getrennt aus der Zelle abgeführt werden.

Durch den stetigen Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und die damit einhergehende Transformation unseres Energiesystems ist die Bedeutung der Wasserstofferzeugung durch Wasserelektrolyse in den letzten Jahren erheblich gewachsen. Als elektrochemisches Verfahren erlaubt die Wasserelektrolyse eine Kopplung der Elektrizitätserzeugung mit anderen energiewirtschaftlichen Sektoren (Power-to-X-Konzept).

Der mit grünem Strom erzeugte Wasserstoff oder seine Folgeprodukte lassen sich als Speichermedien für erneuerbare Energien einsetzen. Verwendung finden sie nicht nur als Ausgangsstoffe für chemische Prozesse, sondern auch als Sekundärenergieträger in stationären und mobilen Anwendungen der unterschiedlichen Sektoren.

Stimuliert durch den erfolgreichen Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland in den letzten 15 Jahren und die verstärkte Förderung durch die öffentliche Hand, konnten sich verschiedene Akteure in Deutschland bei der Forschung, Entwicklung und Demonstration von Wasserelektrolysetechnologien international eine (mit) führende Position erarbeiten. Zahlreiche Power-to-Gas- und neuerdings auch Power-to-Liquid-Projekte (PtG und PtL; s. Abb. 3) wurden initiiert. [1]

ENTWICKLUNGSTRENDS Es gibt heute drei relevante Verfahren der Wasserelektrolyse: die alkalische Elektrolyse (AEL) mit einem flüssigen, basischen Elektrolyten, die saure Proton-Exchange-Membrane-Elektrolyse (PEMEL) mit einem polymeren Festelektrolyten und die Hochtemperatur-Elektrolyse mit einem Festoxid als Elektrolyten (SOEL). >>

Abb. 2: Neuartiges flexibles und fertigungsoptimiertes Elektrodenpackage für Stromdichten bis 1 A/cm² [Quelle: ZSW]

Vor allem die alkalische Elektrolyse mit flüssigen Elektrolyten (Betriebstemperatur ca. 80 °C) wird seit über 100 Jahren kommerziell genutzt (s. Abb. 1). In der Mitte des vergangenen Jahrhunderts wurden teilweise Elektrolyseanlagen mit einer Anschlussleistung von bis zu 140 MW aufgebaut und vor allem für die Erzeugung von Wasserstoff als chemischem Ausgangsstoff für die Düngemittelherstellung genutzt. Auch heute noch sind diese Module im einstelligen Megawatt-Bereich, mit Zellflächen bis zu 3 m² und meistens in atmosphärischer Betriebsweise verfügbar und werden zunehmend in modifizierter Form für PtG-Anwendungen eingesetzt.

Neuere Entwicklungen in der alkalischen Elektrolyse weisen häufiger eine kompakte, in Standard-Containern integrierte Bauweise auf (s. Abb. 3) und arbeiten meistens bei Drücken zwischen 10 und 20 bar. Aktuelle Entwicklungen zielen weniger auf die Zellgröße, den Betriebsdruck oder die Betriebstemperatur ab, sondern vielmehr auf eine Erhöhung der Stromdichte von derzeit etwa 0,2 bis 0,4 A/cm² auf Werte bis rund 1 A/cm², um so die spezifischen Investitionskosten senken zu können. Dies soll vor allem durch den Einsatz elektrochemisch aktiverer Elektroden, eine Optimierung des Bipolarplatten-Elektrodenverbunds (s. Abb. 2) und eine verbesserte Elektrolytführung erreicht werden. Eine Herausforderung hierbei ist es, trotz komplexerer Katalysatorsysteme und höherer Stromdichte eine ähnlich hohe Lebensdauer zu erzielen, wie sie von den konventionellen Zellmaterialien in der alkalischen Elektrolyse bekannt ist.

Die PEM-Elektrolyse konnte sich in den letzten 20 Jahren vor allem in industriellen oder Nischenanwendungen mit kleinen Produktionskapazitäten bis etwa 10 Nm³/h und hohem Betriebsdruck etablieren (Betriebstemperatur ca. 60 °C). Aufgrund ihrer prinzipiellen Eignung zur Kopplung mit erneuerbaren Energien (schnelles Start- und Stoppverhalten, Teillast- und Überlastfähigkeit auf Stack-Ebene, hohe Druckfestigkeit in kompakter Bauweise, Möglichkeit des Differenzdruckbetriebes usw.) setzten in den letzten zehn Jahren in fast allen Ländern intensive Entwicklungsbestrebungen sowohl auf industrieller Seite als auch in Forschungseinrichtungen ein. Vor allem das Scale-up der Zellfläche und damit die Erhöhung der Stack-Leistung stand und steht im Fokus aktueller Entwicklungsarbeiten.

Waren in den oben genannten Nischenanwendungen Zellflächen von bis zu 200 cm² üblich, werden aktuell in den Modulen für die kleine Megawatt-Klasse Zellen mit einer aktiven Fläche von 600 bis 1.500 cm² eingesetzt (s. Abb. 4).

Bereits heute gibt es erste Entwicklungsarbeiten für die nächste Generation von PEM-Zellstapeln mit einer Zellfläche von 2.000 bis über 5.000 cm². Eine eindeutige Tendenz zu höheren Betriebsdrücken und -temperaturen lässt sich hingegen nicht ausmachen. Zwar wurden in den letzten Jahren wiederholt Stack-Prototypen mit einem Betriebsdruck von bis zu 100 bar vorgestellt, aber trotzdem scheint sich aus Anwendersicht und auch aus Kostengründen ein Betriebsdruck von 30 bis maximal 50 bar zu etablieren. Als Ausnahme können die Arbeiten bei Honda und Proton OnSite gelten, die auch Zellstapel mit einer Druckfestigkeit von 350 bar und höher entwickeln.

Bei der Stromdichte wird hingegen noch ein erhebliches Potenzial nach oben gesehen. Heutige Zellen arbeiten typischerweise bei Stromdichten von 1 bis 2 A/cm². In den aktuellen Prototypen werden Stromdichten bis 4 A/cm² umgesetzt, während in den Laboren auch Membran-Elektroden-Einheiten für Stromdichten über 10 A/cm² untersucht werden. Dies soll vor allem durch verbesserte und dünnere Membranen erreicht werden. Zudem kommen aktivere Elektrokatalysatoren zum Einsatz. Technisch lassen sich diese Zellkonzepte umsetzen, jedoch bleibt die Frage zu beantworten, ob sich mit diesen neuen Membran-Elektroden-Einheiten auch gleichzeitig die Lebensdauer erhöhen lässt.

Abb. 3: Stromlückenfüller in Reußenköge [Quelle: GP Joule]

Abb. 4: PEM-Elektrolysemodul mit 250 Zellen in fünf Segmenten der Modellreihe Silyzer 200 [Quelle: Siemens]

HOCHTEMPERATURBEREICH Die Hochtemperatur-Wasserdampfelektrolyse befindet sich überwiegend noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium. Einzelne Zellstapel haben eine Anschlussleistung im unteren Kilowattbereich. Die Betriebstemperatur liegt typischerweise bei 750 bis 1.000 °C. Aufgrund der hohen Arbeitstemperaturen können die Stacks sowohl im Brennstoffzellen- als auch im Elektrolysemodus betrieben werden. Dies wird auch als Vorteil von den wenigen Anbietern und Entwicklern von Festoxid-Elektrolysezellen (Solid Oxide Electrolysis Cell) beworben. In fast allen SOEC-Entwicklungen werden daher Materialien aus der Brennstoffzellentechnik, der SOFC, eingesetzt, die gegebenenfalls für den Elektrolysebetrieb optimiert werden. Die planare Bauweise wird gegenüber dem tubularen Zelldesign eindeutig bevorzugt (s. auch Abb. 5).

Aktuelle FuE-Arbeiten fokussieren auf die Materialebene, unter anderem auf eine Verringerung des Innenwiderstandes der Anode und Erhöhung der Lebensdauer für diese >>

AREVA H_2Gen

We make it happen

www.arevah2gen.com

HANNOVER MESSE
HYDROGEN
FUEL CELLS
BATTERIES

24. – 28. April 2017
Stand C59
Besuchen Sie uns ! Wir freuen uns auf interessante Gespräche mit Ihnen !

AREVA

Tab. 1: Übersicht ausgewählter Elektrolyseurhersteller, ergänzend zu S. 16/17, Datenbasis 2017

Hersteller	Land	Baureihe	Typ	H_2-Druck [barg]	H_2-Rate [Nm³/h]	Status
EM Korea	KO	EHG EHP	AEL AEL	9,9 1 - 8	20 - 80 20 - 300	kommerziell kommerziell
Honda	JP	SHS	PEMEL	350	0,7	Vorserie
Hydrogenics	CA	Hylyzer	PEMEL	8	1 - 2	kommerziell
Hydrogenics	BE	HySTAT (outdoor)	AEL	10	10 - 60	kommerziell
Siemens	DE	SILYZER 100 SILYZER 200	PEMEL PEMEL	50 35	22 - 44 225	Prototyp (Feldtest) kommerziell
Teledyne Energy Systems	US	Titan HMXT Titan EC Titan EL Titan EL-N	AEL AEL AEL AEL	11,3 7,9 - 11,3 7,9 - 11,3 10	2,8 - 11,2 28 - 42 56 - 78 100 - 500	kommerziell kommerziell kommerziell
Tianjin Mainland Hydrogen Equipment	CN	FDQ FDQ	AEL AEL	50 30	2 - 60 80 - 400	kommerziell kommerziell

Quellen: Fraunhofer ISE, [2], [3]

Sauerstoffelektrode oder auf die Verbesserung der porösen Eigenschaften der Kathode. Prinzipiell ist die Senkung der Betriebstemperatur für eine Erhöhung der Lebensdauer erstrebenswert, jedoch wird darauf häufig zugunsten einer besseren Kinetik verzichtet. Die Druckfestigkeit bis etwa 10 bar wird in der Regel durch ein zusätzliches äußeres Druckkompartment ermöglicht. Durch den Einsatz keramischer Materialien ist die Zellfläche bei der SOEC deutlich kleiner als bei der PEMEL oder bei der AEL. Große Leistungsklassen können somit nur über eine Erhöhung der Anzahl der verwendeten Stacks/Module erreicht werden (Numbering-up).

MARKT- UND HERSTELLERÜBERSICHT Trotz der wachsenden Bedeutung der Elektrolyse für die intersektorale Kopplung in der Energiewirtschaft existiert weltweit nur ein kleiner kommerzieller Markt für Wasserelektrolyseure. International sind nur wenige, meistens kleine Firmen auf dem Gebiet aktiv und bieten ihre Produkte an. Neben den etablierten Märkten für eine industrielle Nutzung wie die Wasserstofferzeugung in Kraftwerken zur Generatorkühlung befindet sich der Markt zur Speicherung erneuerbarer Energien gerade im Aufbau. Meistens fehlen jedoch aktuell noch tragfähige Geschäftsmodelle, die einen rentablen Einsatz in diesem Markt erlauben.

Wie der Tabelle zu entnehmen ist, sind weltweit viele Systeme im Prinzip kommerziell verfügbar. Dabei sollte jedoch beachtet werden, dass die meisten Hersteller ihre Systeme nur in Kleinserie oder auf Anfrage in Einzelanfertigung produzieren. ||

→ Fraunhofer ISE in Hannover: Halle 27, C62

Abb. 5: Festoxid-Zellstapel, der sowohl im Elektrolyse- als auch im Brennstoffzellenbetrieb arbeiten kann [Quelle: Sunfire]

Literatur

[1] Deutsche Energie-Agentur GmbH: DENA Potenzialatlas Power-to-Gas, 06/2016.

[2] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Hrsg.): Studie über die Planung einer Demonstrationsanlage zur Wasserstoff-Kraftstoffgewinnung durch Elektrolyse mit Zwischenspeicherung in Salzkavernen unter Druck, Studie für das BMWi, 07/2015.

[3] Smolinka, T., Günther, M., Garche, J. (2011): Stand und Entwicklungspotenzial der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen Energien, NOW-Auftragsstudie, 05/2011.

Autor:

Dr. Tom Smolinka
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg
→ tom.smolinka@ise.fraunhofer.de