

**Zeitschrift:** Bulletin Electrosuisse  
**Herausgeber:** Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik  
**Band:** 106 (2015)  
**Heft:** 9

**Artikel:** Testplattform für Power-to-Gas  
**Autor:** Santner, Guido  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-856712>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 19.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Testplattform für Power-to-Gas

## Die Suche nach der optimalen Technologie-Kombination

Überflüssiger Strom lässt sich schlecht speichern. Elektrolyseure können damit aber Wasserstoff generieren, der entweder direkt gespeichert oder in Methan umgewandelt werden kann. Das PSI testet auf einer Forschungsplattform, wie Elektrolyseure und Brennstoffzellen im Verbund mit Biomassereaktoren, Methanisierungsanlagen und CO<sub>2</sub>-Capturing betrieben werden können. Der eingesetzte Elektrolyseur wurde von Siemens entwickelt.

### Guido Santner

Der Anteil an erneuerbarer Energie im europäischen Stromnetz wächst von Jahr zu Jahr. Schon heute gibt es Situationen, in denen nicht der gesamte Strom ins Netz eingespeist werden kann – beispielsweise wenn der Wind an der Nordsee bläst und die Konsumenten wenig Strom verbrauchen. Damit das Netz stabil bleibt, regeln die Netzbetreiber den erneuerbaren Strom ab. Sie müssen ihn aber trotzdem bezahlen: 2013 in Schleswig-Holstein rund 25 Millionen Euro für Windstrom, den sie nicht abnahmen.

### Energie speichern

Eine Alternative wäre, die Energie zu speichern. Dazu gibt es verschiedene Technologien: Pumpspeicherkraftwerke pumpen Wasser in einen Stausee hoch, um später daraus wieder Strom zu generieren. Die Technologie ist bewährt. Die Investitionen in einen Stausee sind allerdings gross und der Strom kann nur gespeichert werden, wenn er auch zum Pumpspeicherkraftwerk transportiert werden kann. Beispielsweise werden die Leitungen für das künftige Pumpspeicherkraftwerk in Nant de Drance durch Einsparungen verhindert. Ab 2018 könnten hier Pumpen 900 MW Strom aufnehmen – nur fehlt bisher die dazu nötige 400-kV-Höchstspannungsleitung. Aber Engpässe im Hochspannungsnetz gibt es nicht nur in der Schweiz.

Anstatt das Netz auszubauen, kann der Strom lokal gespeichert werden: In Batterien, die ans Nieder- oder Mittelspannungsnetz angeschlossen werden. Dies hat den Vorteil, dass der erneuerbare Strom nicht mit Verlusten in die Hochspannungsebene transformiert wer-

den muss. Die Kapazität der Batterien ist aber limitiert, grössere Systeme würden sehr teuer. So gleichen Batteriespeicher in der Regel lediglich die Stromproduktion über den Tag aus. Über Mittag speichern sie Strom aus PV-Anlagen und speisen ihn am Abend wieder ins Netz.

### Saisonale Speicher

Eine Herausforderung bleibt die Speicherung über mehrere Wochen oder saisonal vom Sommer in den Winter. Auch Pumpspeicherkraftwerke sind nur für kurze Zyklen ausgelegt, der obere Speichersee bei Linth-Limmern wäre nach zwei Tagen voll, wenn er mit voller Leistung gefüllt würde. Die einzige Technologie, die sich für die saisonale Speicherung eignet, ist Power to Gas: Aus Strom wird Wasserstoff hergestellt, der entweder direkt genutzt oder zusammen mit CO<sub>2</sub> in Methan (synthetisches Erdgas,

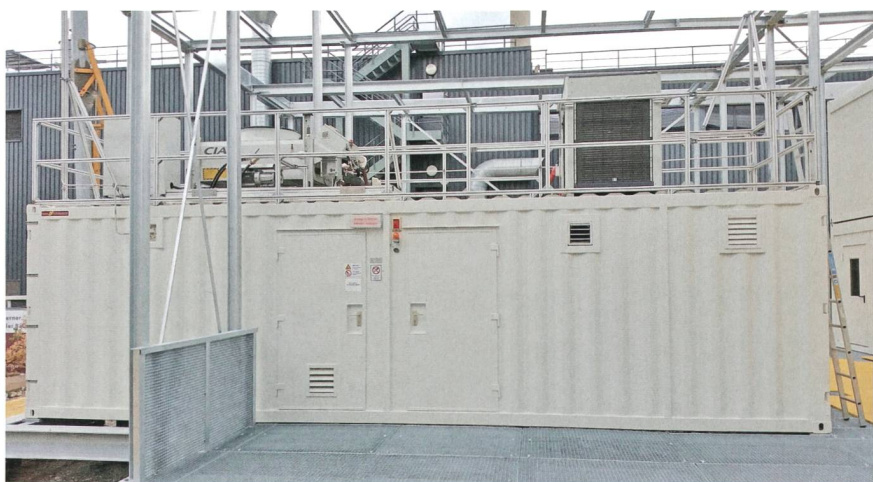
SNG) umgewandelt wird. Letzteres kann ins Erdgasnetz eingespeist und beliebig lange gespeichert werden.

### Aktionsplan Energieforschung

Elektrolyseure, die Wasserstoff herstellen, und Systeme, die den Wasserstoff methanisieren, werden bereits in mehreren Pilotprojekten eingesetzt. Die Energieversorger testen kleinere Systeme im Netzbetrieb, um Erfahrungen zu sammeln. Noch ist aber nicht klar, welche Speichertechnologie ökonomisch am sinnvollsten wäre. Der Bund lancierte 2013 den Aktionsplan zur Koordinierten Energieforschung in der Schweiz. Mit 70 Millionen Franken werden verschiedene Kompetenzzentren gefördert, sogenannte Swiss Competence Centers for Energy Research (SCCER). Eines davon ist das SCCER Heat & Electricity Storage, das vom Paul-Scherrer-Institut (PSI) geleitet wird. Mit weiteren 48 Millionen Franken fördert der Aktionsplan konkrete Projekte in der Energieforschung. Aus diesen Fördergeldern wurde die Energy System Integration (ESI) Plattform (**Bild 2**) lanciert: Auf dem Campus des PSI werden verschiedene Technologien wie die Biomasse-Umwandlung, die Methanisierung, die Elektrolyse und Brennstoffzellen in einem System kombiniert.

### Power-to-Gas und Biomasse

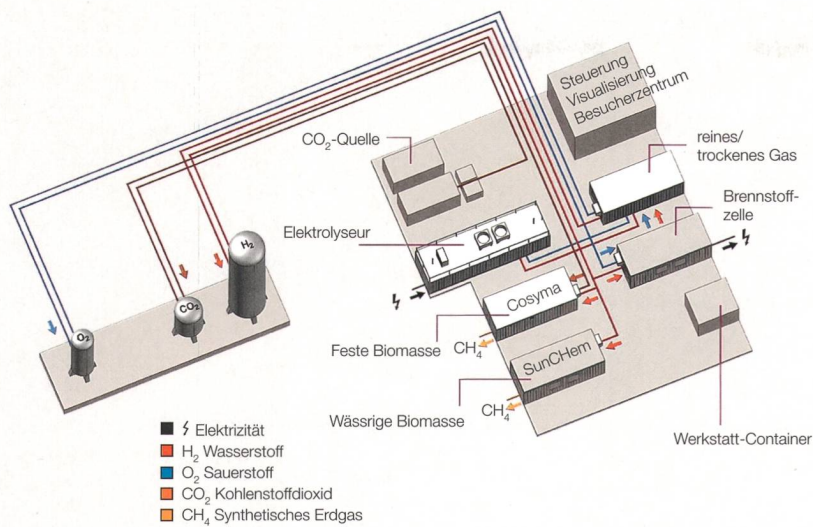
Die Technologien wurden bisher nicht im Verbund betrieben – was aber sinnvoll wäre: Wenn Biomasse in Produktgas um-



**Bild 1** Der PE-Elektrolyseur von Siemens wird am PSI im Verbund mit Brennstoffzellen, Biomassereaktoren, Methanisierungsanlagen und CO<sub>2</sub>-Capturing betrieben.



Paul-Scherrer-Institut



**Bild 2** Auf der ESI-Plattform werden die Biomasse-Umwandlung, die Methanisierung, die Elektrolyse und Brennstoffzellen in einem System kombiniert. So fällt bei der Biomasse-Umwandlung mehr CO<sub>2</sub> an, als zusammen mit dem H<sub>2</sub> in Methan umgewandelt werden kann. Zusätzliches H<sub>2</sub> aus dem Elektrolyseur verbessert die Gesamteffizienz.

gewandelt wird, muss überflüssiges CO<sub>2</sub> entfernt werden. Anstatt das CO<sub>2</sub> zu entfernen, könnte dem Prozess zusätzlicher Wasserstoff (H<sub>2</sub>) zugefügt werden und es entstünde je nach CO<sub>2</sub>-Gehalt 50 bis 100% mehr Methan. Es bietet sich also an, aus einem Elektrolyseur Wasserstoff beizufügen, der aus überflüssigem Strom im Netz gewonnen wurde.

Ebenso kann eingefangenes CO<sub>2</sub> zusammen mit H<sub>2</sub> methanisiert werden. Wird also die Plattform mit CO<sub>2</sub>-Capturing erweitert, kann CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entfernt und mit überflüssigem Strom in Methan umgewandelt werden. Das CO<sub>2</sub> könnte auch aus einem Zementwerk stammen, das sehr viel CO<sub>2</sub> ausstösst. Leistungen in der Grössenordnung von einem Gigawatt wären theoretisch möglich.

**Hintergrund**

**Wie funktioniert die Elektrolyse?**

Bereits Anfang des 19. Jahrhunderts experimentieren Wissenschaftler mit einfachen Batterien und Salzwasser und trennten damit Wasser (H<sub>2</sub>O) in Wasserstoff (H<sub>2</sub>) und Sauerstoff (O<sub>2</sub>) auf. Die elektrische Spannung spaltet die Wassermoleküle. Am Pluspol (Anode) steigt das O<sub>2</sub> auf, am Minuspol (Kathode) das H<sub>2</sub>. In destilliertem Wasser würde die Reaktion sehr langsam ablaufen. Säure macht das Wasser elektrisch leitend und beschleunigt den Prozess. In den technischen Anlagen ist die Säure in einer Membran immobilisiert.

Im PE-Elektrolyseur trennt die Membran Kathode und Anode. Die Säuregruppen in der Membran lassen nur die Protonen durch (H<sup>+</sup>). Das Wasser wird auf der Seite der Anode zugeführt, wo es von einem Katalysator (Iridiumoxid) und der angelegten Spannung aufgespalten wird. Das O<sub>2</sub> entweicht und die übrig gebliebenen H<sup>+</sup>-Protonen wandern durch die Membran auf die Kathodenseite (Minuspol), wo sie unter Aufnahme zweier Elektronen zu Wasserstoffmolekülen (H<sub>2</sub>) kombinieren.

**Brennstoffzellen**

Der Wasserstoff und der Sauerstoff aus der Elektrolyse können zudem direkt wieder zurück in Strom umgewandelt und dieser ins Netz eingespeist werden. Die dazu nötigen Brennstoffzellen wurden im Rahmen des Belenos-Projekts (heute Swiss Hydrogen) am PSI entwickelt. Im Gegensatz zu anderen Brennstoffzellensystemen entnimmt das Belenos-System den Sauerstoff nicht aus der Luft, sondern führt den Wasserstoff in den Zellen mit reinem Sauerstoff zusammen. Der Wirkungsgrad kann damit um über 10% auf 60 bis 70% gesteigert werden.

**Elektrolyseure evaluiert**

Eine Schwierigkeit zeigte sich aber, als Felix Büchi, Leiter Brennstoffzellensysteme am PSI und verantwortlich für den Wasserstoffpfad der ESI-Plattform, die verschiedenen Elektrolyseure evaluierte: «Wir wollen die Gase in Tanks mit einem Druck von 50 bar speichern. Die meisten Elektrolyseure geben aber nur den Wasserstoff mit hohem Druck ab,

der Sauerstoff hat in der Regel einen sehr tiefen Druck», so Büchi. Ein wichtiges Kriterium der Ausschreibung war deshalb der Druck der Gase. «Einzig Siemens hatte ein System, das auch den Sauerstoff mit 50 bar ausgibt. So müssen wir ihn nicht nachträglich mit einem Kompressor verdichten», erklärt Büchi den Entscheid für das Silyzer-System von Siemens (**Bild 1**), einem Elektrolyseur mit einer Nennleistung von 100 kW (kurzzeitig 300 kW).

**Dynamischer Betrieb**

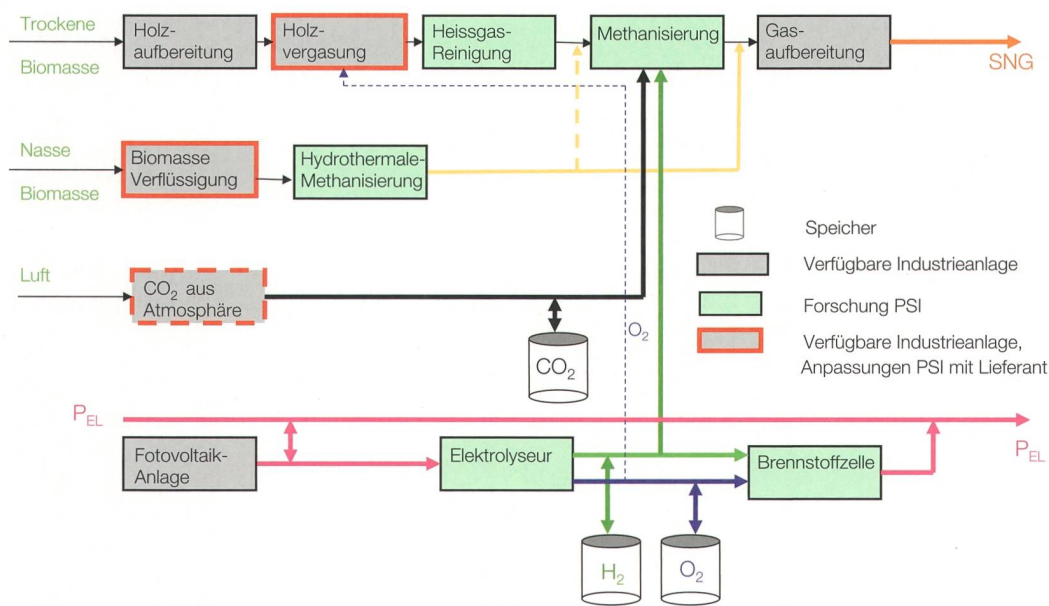
Ein weiteres Kriterium war die Dynamik des Elektrolyseurs: «Wenn dem Übertragungsnetzbetreiber mit der Last des Elektrolyseurs Regenergie angeboten werden soll, so muss die Leistung innerhalb von Sekunden angepasst werden können», sagt Büchi. Zur Elektrolyse von Wasserstoff gibt es verschiedene Systeme. Beim alkalischen Elektrolyseur dient eine Kalilauge als Elektrolyt. Solche Systeme wurden zum Beispiel beim Assuan-Staudamm in Ägypten bereits 1960 genutzt, um überflüssigen Strom in Wasserstoff umzuwandeln und damit im Haber-Bosch-Verfahren unter Zugabe von Stickstoff Dünger (NH<sub>3</sub>) herzustellen. Die Anlage aus 288 einzelnen Elektrolyseuren hatte eine Leistung von 200 MW.



Erol Morgan, Siemens

**Bild 3** Im Hintergrund die PE-Stacks des Elektrolyseurs, vorne die Gas- und Wasseraufbereitung.





Paul-Scherrer-Institut

**Bild 4** Auf der ESI-Plattform können verschiedene Betriebsmodi getestet werden. Energiequellen sind Biomasse und Strom, woraus synthetisches Erdgas hergestellt werden kann oder Strom, der zu Spitzenzeiten ins Netz eingespeist wird.

Alkalische Elektrolyseure eignen sich aber schlecht für den dynamischen Betrieb: Der Separator, der die Wasserstoff- und Sauerstoffgase trennt, funktioniert nur bei gleichem Druck auf beiden Seiten. Im dynamischen Betrieb können stark unterschiedliche Drücke entstehen, Wasserstoff und Sauerstoff könnten sich vermischen.

### PE-Elektrolyseur

Für den dynamischen Betrieb eignen sich die PE-Elektrolyseure. Hier trennt eine Membran, ein sogenannter Polymer-Elektrolyt (PE) die beiden Seiten. Nur einzelne Wasserstoffkerne (Protonen) können die Membran durchdringen. So findet auch bei grossen Druckunterschieden kein Gasaustausch statt. Der am PSI eingesetzte Silyzer arbeitet mit der PE-Technologie. Seine Leistung kann pro Sekunde um 6% erhöht oder verkleinert werden – im Extremfall also innerhalb 16 s über die ganze Leistungsbreite. Das initiale Hochfahren dauert 20 Minuten.

### ESI-Plattform in Betrieb

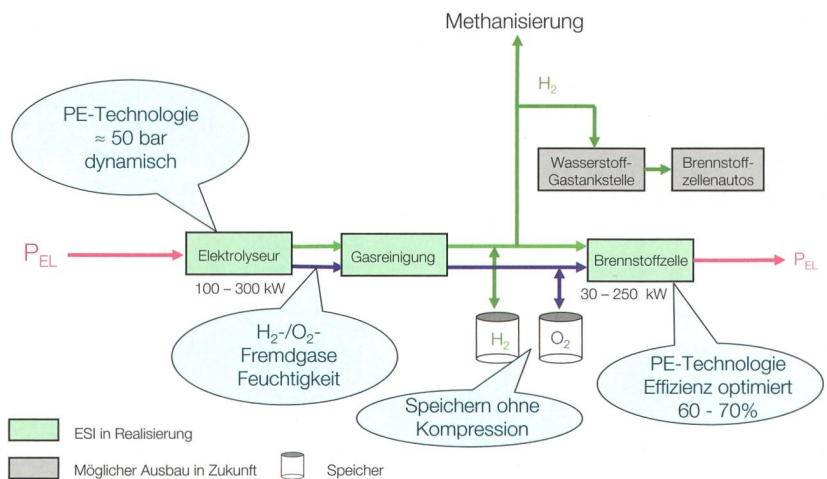
Die einzelnen Module der ESI-Plattform trafen im Sommer ein. Ab Winter 2015/16 wird die Plattform in verschiedenen Modi getestet. Beispielsweise kann (je nach Lastzustand) bei der Methanisierung das H<sub>2</sub> aus dem Elektrolyseur zugemischt werden. Umgekehrt kann aber auch der Elektrolyseur als primäre Komponente nach dem Strompreis gefahren werden und die Methanisierung muss sich der Menge des produzierten H<sub>2</sub> anpassen. In allen Modi wird die Dy-

namik getestet, der Teillastbetrieb sowie die Lebenserwartung der elektrochemischen Komponenten. Vom Elektrolyseur wird eine Betriebsdauer von 80000 h erwartet.

Gespannt sind die Forscher am PSI auf die Daten der Gesamtwirkungsgrade. Sie werden wichtige Hinweise geben, welche Komponenten zukünftig in einem Netz ökonomisch betrieben werden könnten. So kann es sein, dass unter Umständen nicht die effizienteste Technologie eingesetzt wird, sondern eine mit geringeren Investitionskosten. Oder wie bei der Kombination von Elektrolyseur und Brennstoffzelle in der ESI-Plattform ein System, das ohne mechanische Kompression der Gase auskommt.

### Ökonomische Aspekte

Entscheidende Rahmenbedingungen zu den ökonomischen Aspekten sind die aktuellen Energiepreise. Wie günstig kann überflüssiger Strom eingekauft werden? Wie teuer kann er zu Spitzenzeiten ins Netz eingespeist werden? Fossiles Erdgas ist zurzeit sehr günstig. Attraktiv ist die Methanisierung vor allem dann, wenn das Gas als Biogas verkauft werden kann. Ebenso attraktiv ist es, den Wasserstoff direkt an einer Tankstelle für Brennstoffzellenfahrzeuge zu verkaufen. Hierfür braucht es aber eine entsprechende Infrastruktur. Ein weiteres Szenario wäre, dem Netzbetreiber (Swissgrid) Regelleistung anzubieten. Welche Betriebsarten ökonomisch sinnvoll sind, soll die Plattform zeigen.



Paul-Scherrer-Institut

**Bild 5** Im Wasserstoffpfad werden sowohl H<sub>2</sub> als auch O<sub>2</sub> gespeichert. Damit die Druckbehälter nicht rosten, werden die Gase getrocknet. Gleichzeitig werden sie gereinigt von Fremdgasen (O<sub>2</sub> im H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> im O<sub>2</sub>).

## Ähnlich wie Brennstoffzelle, aber nicht gleich

Parallel zu den Komponenten in der ESI-Plattform arbeiten die Forscher am PSI an einzelnen Teilprozessen. Neben der Methanisierung von Biomasse wird insbesondere an Brennstoffzellen gearbeitet und seit ein paar Jahren an PE-Elektrolyseuren, deren Technologie den Brennstoffzellen gleicht. Die Membran ist ähnlich und auch Aspekte wie die Gas- und Wasserverteilung müssen in beiden Systemen beachtet werden. Mit Neutronen- und Röntgen-Imaging machen die PSI-Wissenschaftler die Wasserverteilung sichtbar. Als Elektroden und Katalysatoren können allerdings nicht dieselben Materialien verwendet werden. Die bei Brennstoffzellen üblichen Kohlenstofffasern als leitende Struktur würden bei den höheren Potenzialen im Elektrolyseur mit dem Sauerstoff reagieren und zu CO<sub>2</sub> oxidieren. Ebenso wird Iridiumoxid als Katalysator eingesetzt anstelle von Platin. Forschungsgruppen am PSI arbeiten sowohl an der Membran als auch an den Katalysatoren.

Um die hohen Lebenszyklen zu erreichen, sind die Stromsammler und die Stackseparatoren der Elektrolyseure heute aus Titan. Als Kontaktfläche zur Membran dient poröses Titan, damit die Gase abgeführt werden können. Erol Morgan, bei Siemens Schweiz für die

### Résumé

#### Une plate-forme d'essai pour la conversion d'électricité en gaz

##### La recherche de la combinaison optimale de différentes technologies

La conversion électrolytique en gaz, soit directement en hydrogène soit par transformation du CO<sub>2</sub> en méthane, constitue actuellement la méthode de stockage saisonnier de l'énergie électrique la plus judicieuse d'un point de vue économique. Ces gaz peuvent ensuite être injectés dans le réseau de gaz naturel où il est possible de les stocker à long terme. Afin de trouver un système aussi économique que possible, différentes technologies telles que la conversion de biomasse, la méthanisation, l'électrolyse et les piles à combustible sont combinées et analysées au sein d'un système sur la plateforme ESI (energy system integration) de l'Institut Paul Scherrer. Un électrolyseur disponible à l'échelle industrielle doté d'un électrolyte polymère y joue un rôle majeur : il est utilisable de manière dynamique, sa puissance peut être variée de 6 % par seconde, et est donc en mesure d'apporter une contribution à l'énergie de réglage.

No

Elektrolyseure verantwortlich, sagt, dass in der neuen Generation Titan und Kunststoff kombiniert werden. Nicht nur um die Kosten zu senken, sondern auch um Gewicht zu sparen. Angestrebt wird bei den neuen Systemen vorerst eine Nennleistung von 1,25 MW.

### Prozesse besser verstehen

Büchis Gruppe am PSI wiederum will mit Experimenten die Abläufe im Elektrolyseur besser verstehen. Das elektrochemische Potenzial zwischen der Sauerstoffseite (auf der auch das Wasser zugeführt wird) und der Wasserstoffseite beträgt theoretisch 1,23 V. In der Praxis kommen Verluste hinzu. In der Brenn-

stoffzelle bedeutet dies, dass in einem System pro Zelle nur 0,6 bis maximal 1 V generiert werden kann. Im Elektrolyseur wiederum muss eine Spannung von 1,5 bis 2 V angelegt werden, damit der Prozess im Gang bleibt. Könnte man diese Spannung im Elektrolyseur reduzieren, würde der Wirkungsgrad gesteigert. In kleinen Zellstapeln mit Gasdrücken von bis zu 300 bar versucht das Team von Büchi deshalb, die Transportprozesse besser zu verstehen.

### Autor

**Guido Santner**, Wissenschaftsjournalist.  
Sprachwerk AG, 8000 Zürich, santner@sprachwerk.ch.

Der Artikel entstand in Zusammenarbeit mit dem Paul-Scherrer-Institut und Siemens Schweiz.

Anzeige

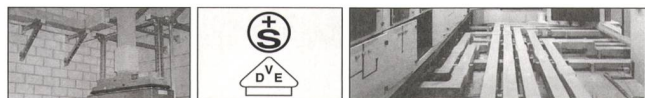
## WETRAOIL GmbH

Probleme mit Ihren Isolierölen?  
Wir beraten Sie gerne und stehen mit unserer breiten Palette von Nynas Isolierölen zur Seite.

**WE TRADE & WE CARE**



WETRAOIL GmbH  
062 295 01 20  
simon.wernli@wetraoil.ch



## LANZ HE Stromschienen 400 A – 3200 A IP 68

1. geprüft auf Erdbebensicherheit SIA 261 Eurocode 8 (EMPA)
2. geprüft auf Schockwiderstand 1 bar Basisschutz (ACS Spiez)
3. geprüft auf Funktionserhalt im Brandfall 90 Minuten (Erwitte)

**3-fach** geprüft gibt Sicherheit in schwierig zu evakuierenden Gebäuden, in Anlagen mit grossem Personenverkehr, in Wohn-, Hotel- und Bürohochhäusern.

**Sehr kurze Planungs-, Produktions- und Montagetermine. Preis günstig. Qualität top. Zuverlässig: LANZ nehmen.**

•3xS8



### lanz oensingen ag

CH-4702 Oensingen Südringstrasse 2  
Telefon 062 388 21 21 Fax 062 388 24 24  
www.lanz-oens.com info@lanz-oens.com