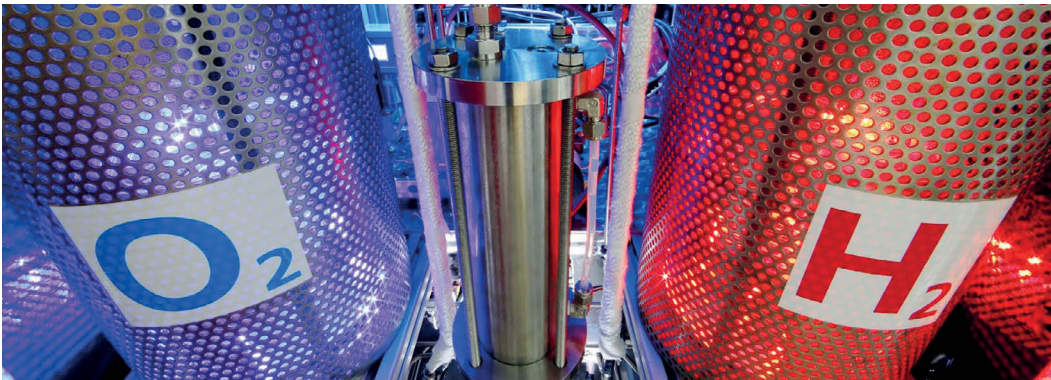


## Erneuerbarer Wasserstoff



Elektrolyseur  
© DLR

In einer nachhaltigen Energiewirtschaft wird Wasserstoff eine wesentliche Rolle im Verkehr und auch bei der Speicherung regenerativer Energien spielen. Dafür ist die Entwicklung effizienter Verfahren zur großtechnischen Erzeugung von Wasserstoff Voraussetzung. Mittelfristig ist die Wasserstoffbereitstellung mit Hilfe von Strom aus erneuerbaren Energien die sinnvollste Variante. Langfristig können auch solar-thermochemische Prozesse, wie etwa die solar beheizte Reformierung von Erd- oder Biogas oder die Spaltung von Wasser in Kreisprozessen auf Grund ihrer hohen Effizienz interessante Alternativen sein.

Erneuerbarer Wasserstoff bietet eine Reihe von Vorteilen:

- + Er ist flexibel nutzbar im Verkehr, in chemischen Prozessen, zur Elektrizitätserzeugung und für Wärmerückgewinnung.
- + Die Verwendung von Wasserstoff ist „sauber“, da er rückstandsfrei zu Wasser verbrennt.
- + Er ermöglicht Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffquellen.
- + Wasserstoff dient als Basis für die Erzeugung synthetischer Kraftstoffe.
- + Die hochdynamische Wasserstoffproduktion hat einen guten Wirkungsgrad.
- + Wasserstoff kann zentral großskalig gespeichert werden (z. B. in Salzkavernen) und ist dann mittels Pipelines verteilbar.
- + Wasserstoff kann auch dezentral (z. B. über Tankstellen) zur Verfügung gestellt werden.

Die folgenden potenziell CO<sub>2</sub>-freien Verfahren zur Wasserstoffproduktion befinden sich in unterschiedlichem Forschungs-, Entwicklungs- und Anwendungsstadium:

### • Alkalische Elektrolyse

AEL ist schon für die Erzeugung von Wasserstoff als chemischer Rohstoff industriell im Megawatt-Maßstab verfügbar (Betriebstemperatur ca. 80 °C).

### • Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse

PEM basiert auf einer protonenleitenden Polymerelektrolytmembran als Elektrolyt. Sie ist im MW-Maßstab bereits für Demonstrationszwecke verfügbar (Betriebstemperatur bei ca. 60–80 °C) und wird aktuell weiterentwickelt.

### • Hochtemperatur-Wasserdampfelektrolyse

SOEC basiert auf einem Sauerstoffionenleiter als Elektrolyt. Die Technologie befindet sich noch im Forschungsstadium und kann erst im unteren Kilowattbereich als Versuchsanlage betrieben werden (Betriebstemperatur ca. 800–1000 °C).

### • Solar thermochemische Kreisprozesse

Wasser kann auch thermochemisch über sogenannte Kreisprozesse gespalten werden. Die notwendige Wärme von 800 bis 1500 °C wird über konzentrierende Solarsysteme erzeugt. Die Technologien befinden sich in einem technischen Erprobungsmaßstab von bis zu 750 kW thermisch.

### • Photo-elektrochemische Wasserspaltung

Die direkte photoelektrochemische (PEC) Umwandlung von Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff mit modifizierten Halbleitermaterialien ermöglicht die Integration von Lichtabsorption und Elektrokatalyse in einem Bauelement. Die besten Wirkungsgrade variieren zurzeit zwischen 5–15 % für kostengünstige Metalloxide bzw. komplex aufgebaute III-V-Halbleiterelektroden. Derzeitige F&E-Arbeiten streben ein Verständnis der grundlegenden Mechanismen bei der lichtinduzierten Wasserspaltung an und entwickeln neue, im Kontakt mit einem wässrigen Elektrolyten chemisch stabile Halbleiterschichten und Katalysatoren, sowie Konzepte für skalierbare Systemlösungen.

### • (Photo)-bioelektrochemische Wasserspaltung

Alternativ zur abiotischen elektrochemischen Wasserspaltung gibt es die Möglichkeit einer biologisch basierten (photo)-bioelektrochemischen Wasserstoffproduktion. Hierbei dienen wasserstoffproduzierende Enzyme

### Kontakte

#### DLR

Dr. Alexander Dyck  
Tel.: 0441/99906-310  
alexander.dyck@dlr.de

Prof. Dr. K. Andreas Friedrich  
Tel.: 0711/6862-278  
andreas.friedrich@dlr.de

Prof. Dr. Christian Sattler  
Tel.: 02203/601-2868  
christian.sattler@dlr.de

#### Fraunhofer IEE

Jochen Bard  
Tel.: 0561/7294-346  
jochen.bard@iee.fraunhofer.de

#### Fraunhofer ISE

Dr. Tom Smolinka  
(Wasserstoffherzeugung durch  
Elektrolyse, Entwicklung von  
PEM-Elektrolysesystemen)  
Tel.: 0761/4588-5212  
tom.smolinka@ise.fraunhofer.de

#### HZB

Prof. Dr. Roel van de Krol  
(Solare Brennstoffe)  
Tel.: 030/8062-43035  
roel.vandekrol@  
helmholtz-berlin.de

Prof. Dr. Sebastian Fiechter  
Tel.: 030/8062-42927  
fiechter@helmholtz-berlin.de

#### Jülich

Prof. Dr. Detlef Stolten  
(Elektrochemische  
Verfahrenstechnik)  
Tel.: 02461/61-3076  
d.stolten@fz-juelich.de

Prof. Dr. Rüdiger-A. Eichel  
(Grundlagen Elektrochemie)  
Tel.: 02461/61-4644  
r.eichel@fz-juelich.de

#### KIT

Dr. Thomas Jordan  
(Wasserstoffsicherheit)  
Tel.: 0721/608-26105  
thomas.jordan@kit.edu

**Wuppertal Institut**

Frank Merten  
(Systemanalyse)  
Tel.: 0202/2492-126  
frank.merten@wupperinst.org

**UFZ**

Prof. Dr. Bruno Bühler  
Tel.: 0341/235-4687  
bruno.buehler@ufz.de

Prof. Dr. Andreas Schmid  
Tel.: 0341/235-1246  
andreas.schmid@ufz.de

Dr. Jörg Toepel  
Tel.: 0341/235-48 22 82  
joerg.toepel@ufz.de

**ZAE Bayern**

Dr. Matthias Rzepka  
Tel.: 089/329442-31  
matthias.rzepka@zae-bayern.de

Maximilian Möckl  
Tel.: 089/329442-77  
maximilian.moeckl@zae-bayern.de

**ZSW**

Dr. Michael Specht  
Tel.: 0711/7870-218  
michael.specht@zsw-bw.de

Prof. Dr. Werner Tillmetz  
Tel.: 0731/9530-607  
werner.tillmetz@zsw-bw.de

und Mikroorganismen als Bioelektrokatalysatoren. Von besonderem Interesse sind dabei mikrobielle Elektrolyseure, welche rein durch elektrischen Strom angetrieben werden, sowie auf Photoelektroden basierende Elektrolyseure. Während erste auf elektroaktiven Mikroorganismen basieren, basieren letztere auf biologischen Komponenten, welche die Photosynthese von Pflanzen bzw. von Algen nachahmen.

- **Bio-artifizielle Photosynthese**

Diese Art der Wasserstoffproduktion wird durch Sonnenenergie angetrieben. Hierbei werden wasserstoffproduzierende Enzyme an die natürliche Photosynthese von Mikroalgen gekoppelt. Diese Technologie befindet sich in einem frühen Forschungs- und Entwicklungsstadium. Ziel ist unter anderem auch die Entwicklung von wasserspaltenden/wasserstoffproduzierenden Katalysatoren zu ermöglichen, deren Komponenten die Photosynthese von Pflanzen bzw. von Algen nachahmen. Der Schwerpunkt liegt jedoch auf der Entwicklung zellbasierter Systeme.

### Forschungs- und Entwicklungsbedarf für erneuerbaren Wasserstoff

- Kostengünstige Materialien, Materialkombination und Ersatzstoffe für Katalysatoren, Membranen, Stromübertragungs- und Gasverteilungs-Schichten, Rahmen- und Dichtungsstrukturen für alkalische, PEM- und Hochtemperaturelektrolyseure
- Entwicklung kostengünstiger, langzeitstabiler Elektrodensysteme mit innovativen Elektrodenstrukturen und Elektrodenzusammensetzungen
- Entwicklung von sicheren, effizienten Hochdruck-Elektrolyseverfahren
- Entwicklung kostengünstiger, großserientauglicher Produktionstechnologien
- Entwicklung solarchemischer Verfahren zur Reformierung von Methan mit Hilfe konzentrierender Solarsysteme
- Realisierung der direkten Wasserspaltung mit Hilfe thermochemischer Kreisprozesse, um solaren Wasserstoff herzustellen
- Entwicklung von Betriebs- und Sicherheitsüberwachungssystemen für den vollautomatischen Wasserstofferzeugungsbetrieb; Verbesserung der Zuverlässigkeit der Anlagen
- Grundlagen der Erzeugung von Wasserstoff aus biogenen Ressourcen:
  - effiziente Kopplung von Hydrogenasen an die Photosysteme
  - Etablierung von geeigneten mikrobiellen Wirtssystemen
  - Kontinuierliche biologische Produktionssysteme

### Schnittstellentechnologien zu einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft

- Optimierung der systemtechnischen Einbindung und Betriebsführung; Reduktion der Systemkomplexität
- Reduktion des Eigenenergiebedarfs
- Verbesserte Nutzung von Stoff- und Energieströmen; Kopplung mit regenerativen Energien
- System- und regelungstechnische Einbindung in Energiespeichersysteme (Netz – Elektrolysesystem – Speicher – ggf. Rückverstromung – Nutzen von Abwärmen)
- Optimierung der Betriebsführung zur schnellen Bereitstellung von Regelenergie und zum Umgang mit fluktuierendem (Überschuss-)Stromangebot (z. B. dynamisches Abfahren realer Wind- und PV-Profile, intermittierender Betrieb, Umsetzen rascher Leistungssprünge)

### Photosynthese zur Wasserspaltung

- Entwicklung von edelmetallfreien Katalysatoren, die ungiftig, kostengünstig und leicht verfügbar sind
- Erforschung der kinetischen Prozesse bei der Wasserspaltung in künstlichen und natürlichen Systemen
- Entwicklung stabiler Photoabsorber und Photokatalysatoren auf molekularer und anorganischer Basis.