

teec

Forschung und Entwicklung in Institutionen

bild der wissenschaft

Eine Sonderpublikation
in Zusammenarbeit
mit dem Energieforum der
Ruhr-Universität Bochum



ENERGIEPROBLEME?

WIR PACKEN SIE AN!

WINDENERGIE_2
FUSION_12

EFFIZIENZ_4
BIOBATTERIEN_16

PROBLEMFELDER_6
GESETZESLAGE_20

WERKSTOFF-ENTWICKLUNG_8
BLOCKHEIZKRAFTWERKE_22

Wasserstoff aus der Biobatterie

Umweltfreundlich und klimaneutral – Wasserstoff gilt als Favorit unter den Energieträgern der Zukunft. Doch bislang mangelt es an effizienten Wegen zu seiner Gewinnung mit Hilfe regenerativer Energien. Biologen setzen ihr Vertrauen nun in ein CO₂-neutrales Verfahren durch Mikroalgen.

Autoren: Matthias Rögner, Anja Hemschemeier, Thomas Happe

Wasserstoff hat viele Vorteile. Das einfach aufgebaute Molekül besitzt einen hohen Energiegehalt, ist speicher- und transportierbar.

Eine viel versprechende, kostengünstige und klimaneutrale Produktionsmethode für Wasserstoff stellt die photobiologische Wasserstoff-Produktion durch Mikroalgen dar. Diese mikroskopisch kleinen, pflanzlichen Organismen, die im Boden oder auch im Gartenteich vorkommen, können unter bestimmten Bedingungen die Energie des Sonnenlichts nutzen, um aus Wasser das energiereiche Gas Wasserstoff freizusetzen. In den Algen findet der Prozess der Photosynthese statt, in dem Lichtenergie in chemische Energie (Zucker) überführt wird. Genauer gesagt, wird Wasser oxidiert, und die frei werdenden Elektronen werden durch das am häufigsten vorkommende Protein der Erde, die Rubisco, genutzt, um CO₂ in Zucker umzuwandeln. Unter bestimmten Bedingungen jedoch werden die Elektronen aus dem Wasser genutzt, um molekularen Wasserstoff (H₂) durch spezielle Enzyme, die Hydrogenasen, zu produzieren. So können die Algen das Sonnenlicht nutzen, um aus zwei Molekülen Wasser zwei Moleküle H₂ und ein Molekül Sauerstoff (O₂) zu bilden.

Besonders geeignet für diesen Prozess ist die Grünalge *Chlamydomonas reinhardtii*. Dieser einzellige Organismus besitzt hoch effiziente Enzyme zur Wasserstoff-Produktion, die bis zu 5000 Moleküle H₂ pro Sekunde bilden können. Diese ungewöhnliche Aktivität wollen Forscher der Ruhr-Universität Bochum gezielt nutzen und noch weiter verstärken.

Der Ansatz der photobiologischen H₂-Gewinnung bietet gegenüber den bisher üblichen Herstellungstechniken von Wasserstoff vielfältige Vorteile: Die Prozesse laufen bei Umgebungstemperatur

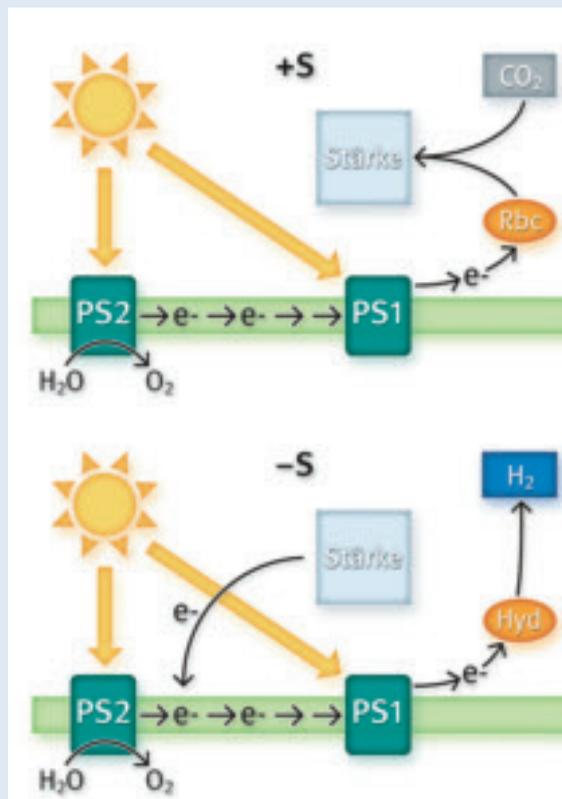
und -druck ab, woraus eine einfache Aparatetechnik resultiert. Das Substrat (hauptsächlich Wasser) ist preiswert und kann regeneriert werden. Als Energiequelle steht Sonnenlicht zur Verfügung. Es wird Wasserstoffgas erzeugt, das gegenüber dem H₂ aus Vergasungsverfahren keine Begleitstoffe enthält, die schädlich für Brennstoffzellen sind.

Um die Algen in einem Bioreaktor zur Wasserstoff-Produktion anzuregen, bedient man sich eines Tricks: Man entzieht den Organismen einen wichtigen Nährstoff, zum Beispiel Schwefel. Diese „Schwefeldiät“ hemmt das Wachstum der Zellen, doch nach wie vor wandeln sie Sonnenlicht in Energie um. Um diese überschüssige Energie loszuwerden, wird

sie zur Bildung von Wasserstoff genutzt. Dieser ist für die Algen also eine Art Abfallprodukt, während er für uns Menschen eine willkommene Energieform ist.

Im Gegensatz zur technischen Herstellung von H₂ arbeiten die Mikroalgen in einem zyklischen System. Sie fangen die Energiequelle Sonnenlicht ein, verbrauchen das klimaschädliche CO₂ Gas, betreiben damit ihren eigenen Stoffwechsel und bilden anschließend das energiereiche H₂-Gas. Obwohl diese Technologie bislang noch nicht optimiert ist, liegt ihr Wirkungsgrad bereits bei zehn Prozent. Das entspricht bereits jetzt dem Wirkungsgrad, den man erzielt, wenn man Wasserstoff mit Strom aus Solarzellen gewinnt.

Dennoch sind die Bioreaktoren für ei-



+S: Unter normalen Wachstumsbedingungen reduzieren die Algen mit Hilfe des Enzyms Rubisco (Rbc) CO₂ zu Kohlenhydraten (Stärke) mittels Elektronen, die durch Sonnenenergie aus Wasser gewonnen und durch die photosynthetische Elektronentransportkette transportiert werden.

-S: Unter Schwefelmangel wird die photosynthetische Wasserspaltung sowie die Stärkebildung gedrosselt, nun werden photosynthetisch erzeugte und in der Stärke zwischengelagerte Elektronen zur H₂-Bildung durch die Hydrogenase (Hyd) genutzt.

ne technische Anwendung derzeit noch ungeeignet. Um etwa den Energiebedarf eines durchschnittlichen Dreipersonenhaushalts mit Wasserstoff aus Algen decken zu können, würde man rund 50 Kubikmeter Algenkultur benötigen. Um die Organismen mit ausreichend Licht zu versorgen, kann man die Algen nur in schmalen, höchstens 20 cm tiefen Gefäßen halten.

In Zukunft wird es also darauf ankommen, den Flächenverbrauch zu reduzieren. Natürliche Selektion und genetische Manipulationen haben bereits Algen hervorgebracht, die fünfmal mehr Wasserstoff produzieren. Auch könnte der Wirkungsgrad des Systems um den Faktor vier bis sechs gesteigert werden, wenn es gelänge Algen einzusetzen, die das Licht effizienter nutzen, was insbesondere die Entwicklung von neuen Bioreaktoren mit tieferen Gefäßen ermöglichen würde.

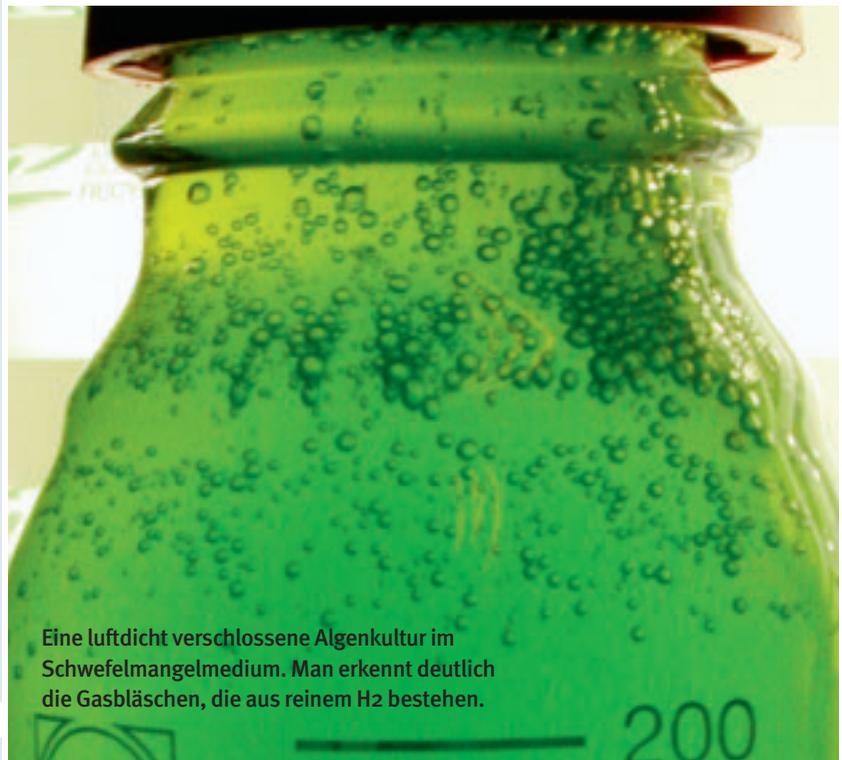
Große Fortschritte erhoffen sich die Bochumer Wissenschaftler auch von der sogenannten Biobatterie: Für diese kleine Wasserstofffabrik nutzen sie lediglich diejenigen Enzyme aus den Algenzellen, die für die Wasserstoffproduktion relevant sind, das heißt sie arbeiten unabhängig von den Rahmenbedingungen, die innerhalb einer Zelle gegeben sind. Diese Enzyme werden auf Goldelektroden immobilisiert, was sie stabilisiert und die Elektronenübertragung erleichtert. Durch die räumliche Trennung der Gesamtreaktion in zwei Kompartimente können sie außerdem elegant ein gravierendes Problem umgehen, welches sich zum Teil noch in den natürlichen Zellen stellt: Die hohe Empfindlichkeit des Enzyms Hydrogenase, welches Wasserstoff produziert, gegenüber Sauerstoff (der bei der Wasserspaltung der Photosynthese automatisch entsteht). Da beide Reaktionsräume der Biobatterie durch einen Draht miteinander verbunden sind, können die Elektronen von der Wasserspaltung bis zur Wasserstoffproduktion wandern.

Ein weiterer Vorteil des Systems besteht darin, dass auf den Elektroden jeweils diejenigen Proteine aus verschiedenen Organismen kombiniert werden können, die am besten geeignet sind. Dadurch kann mit diesem Modellsystem der Wirkungsgrad systematisch verbes-

Eine Wissenschaftlerin prüft die Massenanzucht von Cyanobakterien im Photobiofermenter. Cyanobakterien sind ein wesentlicher Bestandteil der Photosyntheseforschung.



Lehrstuhl für Biochemie der Pflanzen



Eine luftdicht verschlossene Algenkultur im Schwefelmangelmedium. Man erkennt deutlich die Gasbläschen, die aus reinem H₂ bestehen.

Arbeitsgruppe für Photobiotechnologie

H₂ – WIE MAN WASSERSTOFF HERSTELLT UND NUTZT

Wasserstoff ist ein farb- und geruchloses Gas. Es verbrennt mit Sauerstoff zu Wasser, ohne dass dabei Luftschadstoffe und Klimagase entstehen. Die dabei abgegebene Wärme entspricht etwa 30 Prozent der bei der Verbrennung von Erdgas frei werdenden Wärme.

Im Gegensatz zu Erdgas oder Erdöl kommt Wasserstoff nicht in der Natur in Lagerstätten vor. Es muss mit Hilfe von anderen Energieträgern gewonnen werden. Das am häufigsten verwendete Verfahren ist die Erdgasreformierung, bei der in einer chemischen Reaktion aus Erdgas und Wasser Kohlendioxid und Wasserstoff entsteht. Auch in Erdölraffinerien fällt Wasserstoff an, er wird dort aber wieder im Prozess benötigt. Mit Hilfe von Elektrizität kann Wasserstoff in Elektrolyseanlagen durch Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff erzeugt werden.

Weltweit werden jährlich etwa 500 Milliarden Kubikmeter Wasserstoff erzeugt, davon in Deutschland etwa 20

Milliarden Kubikmeter. Er wird überwiegend als Grundstoff in Raffinerien und in anderen Zweigen der chemischen Industrie eingesetzt. Würde man diese Menge ausschließlich als Energieträger verwenden, könnten damit sowohl weltweit als auch in Deutschland rund 1,5 Prozent des Energiebedarfs gedeckt werden. Der Weg in eine zukünftige Wasserstoffwelt erfordert also eine erhebliche Steigerung der Produktion.

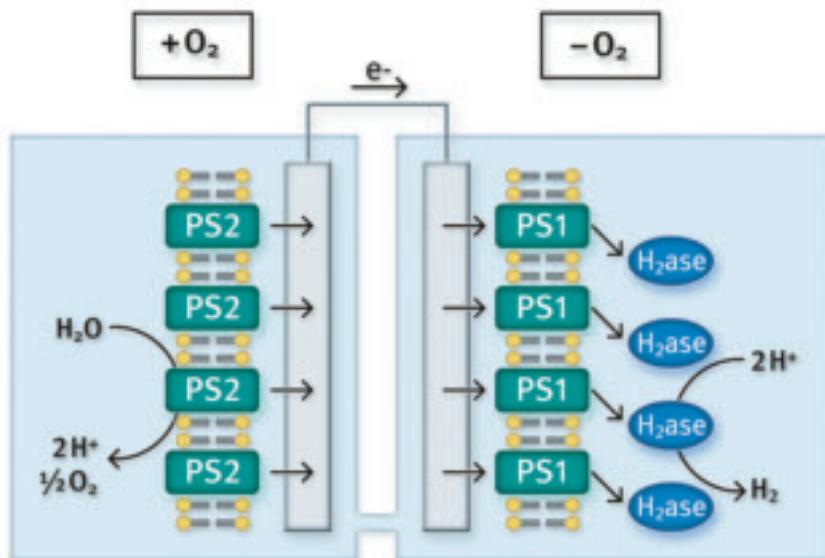
Die Herstellung von Wasserstoff ist im Gegensatz zu seiner Verbrennung nur dann frei von Luftschadstoffen und Klimagasen, wenn für die Elektrolyseanlagen Strom aus Wasserkraft, Wind- oder Sonnenenergie eingesetzt wird. Nur auf etwa ein Promille des heute erzeugten Wasserstoffs trifft das zu.

Große Anlagen erzeugen den Wasserstoff aus Erdgas für etwa 14 Eurocent pro Kubikmeter. Umgerechnet auf den Energieinhalt entspricht das etwa dem 1,5-fachen des Preises für das eingesetzte Erdgas. Elektrolysewasserstoff, der mit Hilfe

von Strom aus großen Wasserkraftwerken erzeugt wird, kostet gut das Doppelte des aus Erdgas gewonnenen Wasserstoffs. Noch kostspieliger ist der Wasserstoff, der mit Hilfe von Strom aus Solarzellen hergestellt wird. Dafür muss rund der 16-fache Betrag gegenüber der Herstellung aus Erdgas aufgewendet werden, weil Solarzellen noch sehr teuer sind. In der Entwicklung befinden sich Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff aus Biomasse und das hier beschriebene Mikroalgen-Verfahren.

Die Wasserstoffherzeugung aus Algen steht noch nahe an der Grundlagenforschung. Seine Erzeugung in Laboranlagen ist noch nicht so energieeffizient und auch teurer als die konkurrierende Wasserstoffherzeugung mit Hilfe erneuerbarer Energien oder Biomasse. Das Verfahren bietet aber ein sehr hohes Verbesserungspotential seitens der Biologie und durch den Übergang auf größere und kommerzielle Anlagen.

Hermann-Josef Wagner



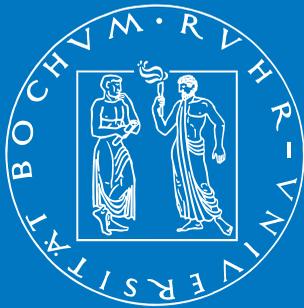
Semiartificialles Modellsystem, bestehend aus 2 Goldelektroden in 2 getrennten Kompartimenten, auf denen Photosystem 2 (PS2, links) bzw. Photosystem 1 (PS1) und Hydrogenase (H₂ase, rechts) immobilisiert sind. Durch die Trennung in ein sauerstoffreiches (links) und ein sauerstoffarmes (rechts) Kompartiment wird die sauerstoffempfindliche Hydrogenase vor Sauerstoff geschützt und kann optimal funktionieren. Mit diesem Modellsystem kann die Erzeugung von H₂ aus Wasser mittels Lichtenergie optimiert werden, bevor sie später wieder in natürliche Zellen verlagert wird.

sert werden. Nach Optimierung der Komponenten des Modellsystems und der erfolgreichen Manipulation der Hydrogenase zur Sauerstoffunempfindlichkeit sollen diese Prozesse wieder zurück in natürliche Zellen verlagert werden – nicht zuletzt deshalb, weil sich diese selbstständig mittels Lichtenergie vermehren können und dadurch langlebiger und kostengünstiger sind. Die Bochumer Forscher basteln daher mittelfristig auch an einem maßgeschneiderten Cyanobakterium mit optimaler Energietransformation. ■

Prof. Dr. **Matthias Rögner** ist Inhaber des Lehrstuhls für Biochemie der Pflanzen an der Ruhr-Universität Bochum. Er arbeitet auf dem Gebiet der Bioenergetik der Photosynthese sowie der Biotechnologie der Wasserstoffherzeugung.

Prof. Dr. **Thomas Happe** leitet die Arbeitsgruppe Photobiotechnologie an diesem Lehrstuhl und beschäftigt sich mit der Wasserstoffherzeugung von Mikroalgen.

Dr. **Anja Hemschemeier** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Arbeitsgruppe Photobiotechnologie.



Die Ruhr-Universität Bochum besitzt eine langjährige Tradition im Bereich der Energieforschung. Im Energieforum pflegen Wissenschaftler aus acht Fakultäten Informationsaustausch und Kooperationen. Führende Forscher aus dem Forschungszentrum Jülich, aus dem Fraunhofer-Institut UMSICHT, aus dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. sowie aus dem Rheinisch-Westfälischen Institut für Wirtschaftsforschung sind Professoren der Ruhr-Universität und arbeiten im Energieforum mit. In diesem Heft berichten Mitglieder über ihre Forschungsthemen.

Weitere Informationen zum Energieforum und den Forschungsarbeiten sind auf den folgenden Webseiten zu finden.

Energieforum

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

Prof. Dr.-Ing. Viktor Scherer
Ruhr-Universität Bochum
Gebäude IB-3, Universitätsstr. 150
44780 Bochum
Telefon: 0234 32 26323
scherer@leat.ruhr-uni-bochum.de

<http://www.energieforum.rub.de>



Lehrstuhl für Energiesysteme und Energiewirtschaft

Prof. Dr.-Ing. Hermann-Josef Wagner
<http://www.lee.ruhr-uni-bochum.de>



Lehrstuhl für Biochemie der Pflanzen

Prof. Dr. Matthias Rögner
<http://www.bpfl.ruhr-uni-bochum.de>



Arbeitsgruppe Photobiotechnologie

Prof. Dr. Thomas Happe
<http://www.ruhr-uni-bochum.de/pbt>



Lehrgebiet Werkstoffprüfung

Prof. Dr.-Ing. Michael Pohl
<http://www.wp.ruhr-uni-bochum.de>



Lehrstuhl für Verbrennungsmotoren

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Eifler
<http://www.ruhr-uni-bochum.de/lvm/>



Institut für Berg- und Energierecht

Prof. Dr. Johann-Christian Pielow
<http://www.ruhr-uni-bochum.de/ibe/>



Arbeitsgruppe für Energiesystemtechnik

Prof. Dr. Constantinos Sourkounis
<http://www.ruhr-uni-bochum.de/agensys/>



Institut für Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich

Prof. Dr. Robert Wolf
<http://www.fz-juelich.de/ipp/>

Arbeitseinheit Kognitions- und Umweltpsychologie

Prof. Dr. Rainer Guski
<http://eco.psy.ruhr-uni-bochum.de>