Integrierte Bioprozessentwicklung

Weißer Wasserstoff made in Leipzig

KATJA BÜHLER, JENS KRÖMER, STEPHAN KLÄHN, BRUNO BÜHLER, CHRISTIAN DUSNY, ANDREAS SCHMID
DEPARTMENT SOLARE MATERIALIEN, HELMHOLTZ ZENTRUM FÜR UMWELTFORSCHUNG, LEIPZIG

DOI: 10.1007/s12268-021-1572-x
© Springer Verlag GmbH 2021

■ Wasserstoff (H_2) ist ein wichtiger Baustein in der chemischen Industrie und wird, befeuert vom Zusammenhang zwischen Klimawandel und dem Verbrennen fossiler Energieträger, als zentraler Energiespeicher der Zukunft gehandelt. Derzeit wird H_2 überwiegend aus fossilen Energieträgern hergestellt. Als Schlüsseltechnologie für die nachhaltige und vor allem CO_2 -neutrale Produktion von „grünem“ H_2 gilt momentan die Elektrolyse von Wasser mit Strom aus regenerativen Energien mit einer maximalen Effizienz von ca. 16 Prozent.

Wir bearbeiten einen komplementären Produktionsansatz für H_2 . Das Grundkonzept ist dabei die Nutzung der oxygenen Photosynthese von Cyanobakterien mithilfe des Werkzeugkastens der „weißen“ (industriellen) Biotechnologie, daher der Name „weißer Wasserstoff“. Auch der weiße Wasserstoff könnte mit einer maximalen Effizienz von ca. 15 Prozent hergestellt werden. Beginnend mit der Entwicklung molekularer Werkzeuge (AG Klähn) über die quantitative Erfassung physiologischer Vorgänge (AG Krömer) und reaktionstechnischer Grundparameter (AG Dusny), der daraus abzuleitenden Erzeugung einer katalytisch aktiven cyanobakteriellen Zelle (AG Bruno Bühler) bis hin zur Bioprozesstechnik (AG Katja Bühler) verfolgen wir dazu einen gesamtheitlichen und integrierten Ansatz (Abb. 1).

Bei der Biophotolyse werden die bei der Wasseroxidation freigesetzten Elektronen über die Photosysteme und Redox-Kofaktoren auf eine Hydrogenase übertragen, die sie zur H_2 -Bildung nutzt. Bei der Biophotovoltaik wird die photo-

synthetische Elektronentransportkette über Elektronenträger mit der Anode einer mikrobiellen Elektrolysezelle verbunden und treibt an der Kathode die Reduktion von Protonen zu H_2 an.

Schlüsselprobleme der Biophotolyse sind die Natur der Hydrogenasen und die Knallgasproblematik [1]. Die meisten Hydrogenasen haben eine ausgeprägte Sensitivität gegenüber O_2 . Hier ist uns kürzlich mit der Expression einer O_2 -toleranten Hydrogenase in Cyanobakterien ein zentraler Schritt gelungen. Eine weitere Herausforderung ist das für die H_2 -Bildung benötigte stark negative Redoxpotenzial und somit die effiziente Kopplung der Hydrogenase an die Elektronentransportkette. Zudem muss die Bildung von Knallgas über eine Gasabtrennung vermieden werden. In der Biophotovoltaik besteht dieses Problem nicht, da O_2 -Entwicklung und H_2 -Produktion in getrennten Kompartimenten stattfinden. In unserem Verfahren kann H_2 schon heute erfolgreich abgetrennt werden. Die derzeit erreichte Effizienz in der Umwandlung von Licht in H_2 ist allerdings noch gering und unser Fokus liegt derzeit auf der Verbesserung der Elektronenflüsse von der Zelle zur Anode [2].

In einem integrierten Ansatz arbeiten wir an der Biokatalysatorentwicklung, der quantitativen Beschreibung und der Reaktionstechnik. Letztere zielt u. a. auf grundsätzliche Limitationen heutiger skalierbarer Photobioreaktoren: Lichtausbeute und Biomassedichte. Hier setzen wir auf die Anwendung von cyanobakteriellen Biofilmen. Innerhalb solcher Strukturen werden zum einen sehr hohe Zelldichten erreicht, was bei der Kultivierung von phototrophen Mikroben in suspendierten Zellkulturen nicht möglich ist. Zum anderen erhalten sich Biofilme über lange Zeiträume und erfüllen damit eine Grundvoraussetzung für eine kontinuierliche Prozessführung [3]. Die kontinuierli-

che Produktion von H_2 über Biophotolyse gelingt bereits stabil über viele Tage in Biofilm-Mikroreaktoren.

Mit zukünftigen Fortschritten in der integrierten Stamm- und Prozessentwicklung birgt das Konzept der weißen H_2 -Produktion das Potenzial, ein Schlüsselement im Energiemix einer zukünftigen Bioökonomie zu werden. ■

Literatur

- [1] Fritsch J, Lenz O, Friedrich B (2013) Structure, function and biosynthesis of O_2 -tolerant hydrogenases. *Nat Rev Microbiol* 11: 106–114
- [2] Tschörtner J, Lai B, Krömer JO (2019) Biophotovoltaics: green power generation from sunlight and water. *Front Microbiol* 10: 866
- [3] Hoschek A, Heuschkel I, Schmid A et al. (2019) Mixed-species biofilms for high-cell-density application of *Synechocystis* sp. PCC 6803 in capillary reactors for continuous cyclohexane oxidation to cyclohexanol. *Bioresour Technol* 282: 171–178

Katja Bühler, Jens Krömer und Stephan Klähn (obere Reihe), sowie Bruno Bühler, Christian Dusny und Andreas Schmid (untere Reihe, v. l. n. r.).

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. Katja Bühler
AG Katalytische Biofilme
Department Solare Materialien
Helmholtz Zentrum für Umweltforschung
Permoserstraße 15
D-04318 Leipzig
katja.buehler@ufz.de
www.ufz.de/index.php?de=34239

Katja Bühler ist seit Februar 2021 Mitglied im Nationalen Wasserstoffrat. Der NWR berät die Bundesregierung zur Umsetzung der nationalen Wasserstoffstrategie und setzt sich zusammen aus Vertretern der Wissenschaft, Industrie und der Zivilgesellschaft.

◀ Abb. 1: H_2 made in Leipzig. In einem integrierten, iterativen Forschungsansatz verfolgen wir parallel die unterschiedlichen Ebenen der Bioprozessentwicklung – angefangen bei der Entwicklung molekularer Tools für das Stamm-Engineering von Cyanobakterien, über die eigentliche Biokatalysatorentwicklung, dessen Charakterisierung und Adaption in die jeweilige Prozessumgebung.