

rubin

wissenschaftsmagazin_frühjahr 14_4,00 eur

pdf-Datei
ausschließlich zur
privaten Nutzung

SEITE **10**

WIE PRACHTBIENEN
DUFTSTOFFE SAMMELN
UND EINSETZEN





ENERGIETRÄGER AUS DEM REAGENZGLAS



Abb. 1: Dr. Anja Hemschemeier im Labor an der RUB

LEISTUNGSSTARKE ENZYME AUS ALGEN

Neue Biokatalysatoren für die Wasserstoffproduktion

Anja Hemschemeier und Thomas Happe

Enzyme, auch Biokatalysatoren genannt, helfen bei der Herstellung von Lebensmitteln, sind in Waschmitteln vorhanden, werden in der medizinischen Diagnostik eingesetzt – und sie haben das Potenzial, Energieprobleme zu lösen. In Mikroalgen gibt es besondere metallhaltige Enzyme, die an komplizierten Stoffumwandlungen und Signalübertragungen im Energiestoffwechsel beteiligt sind. Das Team der AG Photobiotechnologie der RUB forscht an eisenhaltigen Biokatalysatoren, die Wasserstoff produzieren können. Vor Kurzem haben die Forscherinnen und Forscher einen Mechanismus entdeckt, der die biokatalytische Wasserstoffherstellung wirtschaftlich nutzbar machen könnte.

Die belebte Welt, wie wir sie kennen, existiert nur, weil bestimmte Enzyme chemische Reaktionen ausführen. Vom einfachsten Einzeller bis hin zu solch komplexen Wesen wie dem Menschen wandeln Enzyme beispielsweise Nahrung in Energie um. Die Fähigkeit, komplizierte chemische Reaktionen mit relativ wenig Energie- und Ressourcenaufwand zu katalysieren, macht Enzyme auch für biotechnologische Anwendungen interessant – zum Beispiel für die Produktion von Medikamenten, Feinchemikalien oder umweltfreundlichen Treibstoffen. Angesichts der Probleme, welche die Nutzung fossiler Brennstof-

fe mit sich bringt, wie etwa Luftverschmutzung und Treibhauseffekt, und der Tatsache, dass diese Energieträger zudem bald ausgeschöpft sein werden, benötigen wir dringend Alternativen.

Die meisten Enzyme sind Proteine, sie bestehen also aus Ketten von Aminosäuren. Häufig finden sich aber auch Nicht-Protein-Komponenten in ihnen. Diese sogenannten Co-Faktoren enthalten oft Metallatome wie Eisen, Kupfer oder Zink und sind für die Biokatalyse unabdingbar. Wie wichtig solche Metalle in der Biologie sind, zeigt auch ein Vergleich von Natur und Industrie: Der industrielle Prozess, in dem



Abb. 2: Um Grünalgen in flüssigem Medium anzuziehen, entnehmen die Forscher Algenzellen von einer Agarplatte.

Stickstoff in Ammoniak umgewandelt wird (Haber-Bosch-Verfahren), funktioniert nur bei hohem Druck von etwa 300 bar und hohen Temperaturen um die 450 Grad Celsius. Demgegenüber arbeitet der metallhaltige Biokatalysator, den Bakterien für diese Reaktion verwenden, bei Umgebungsdruck und Umgebungstemperatur.

In der Arbeitsgruppe Photobiotechnologie der RUB forschen wir (Abb. 1 und 5) seit vielen Jahren an eisenhaltigen Enzymen aus einzelligen Grünalgen der Art *Chlamydomonas reinhardtii* (Abb. 2 und 3). Unter anderem benutzt die Mikroalge diese Biokatalysatoren zur Bildung von molekularem Wasserstoff (H_2) – ein Energieträger, der durch seine Energie liefernde Reaktion mit molekularem Sauerstoff (O_2) zum Beispiel als Treibstoff oder zur Stromproduktion dienen kann, wobei als Endprodukt lediglich reines Wasser entsteht. Unsere Vision ist, einen effizienten Biokatalysator aus der Natur für die Herstellung von Wasserstoff im industriellen Maßstab einzusetzen. Daher untersuchen wir seit Jahren die Wasserstoff produzierenden Enzyme – Hydrogenasen genannt – von *Chlamydomonas*. Diese Mikroalgen betreiben normalerweise Photosynthese wie höhere Pflanzen auch, das heißt, sie nutzen die Energie des Sonnenlichts für die Herstellung von Kohlenhydraten und anderen Zellbestandteilen. Unter bestimmten Umweltbedingungen verwendet *Chlamydomonas* den photosynthetischen Apparat jedoch, um molekularen Wasserstoff zu bilden. Dabei ist das H_2 -Gas für die Alge ein Abfallprodukt: Sie nutzt es lediglich, um in Stresssituationen überschüssige Energie abzuleiten. Stress bedeutet für den Einzeller zum Beispiel, wenn Nährstoffe wie Schwefel oder Stickstoff fehlen. Für den Menschen stellt dieses Notfallprogramm der Mikroalge die optimale Form der Energiegewinnung dar. Denn im Prinzip wird einfach aus Wasser und Licht ein effizienter und sauberer Energieträger erzeugt, ganz ohne schädliche Emissionen oder den Abbau von Rohstoffen.

Allerdings lassen sich Grünalgen nicht so leicht dazu bringen, in großem Maßstab einen regenerativen Energieträger herzustellen. Denn *Chlamydomonas* schaltet bei Stress nur vorübergehend auf photosynthetische H_2 -Produktion um und bildet nur so lange und so viel Wasserstoff, dass sie über-

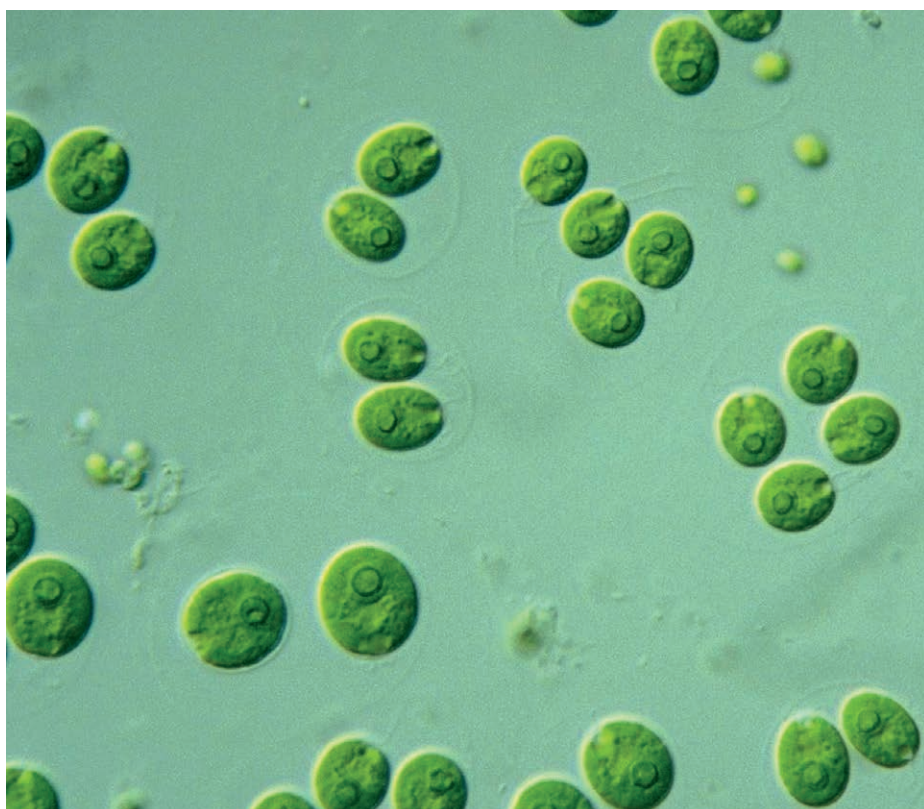


Abb. 3: Die ungefähr zehn Mikrometer große Grünalge *Chlamydomonas reinhardtii* unter dem Lichtmikroskop

leben kann. Darüber hinaus ist es nicht so einfach, den Einzeller unter Stressbedingungen zu kultivieren (Abb. 4), da kubikmeterweise Algen mit ausreichend Licht versorgt werden müssen, um die photosynthetische Wasserstoffproduktion in Gang zu halten. Die wirtschaftliche Wasserstoffherzeugung durch Algen liegt daher nach wie vor in der Zukunft. Diesem Problem nähern wir uns an der RUB auf verschiedenen Wegen. Zum einen haben wir es noch nicht aufgegeben, Wasserstoff mithilfe lebender Grünalgen zu gewinnen. Zum anderen isolieren wir das Hydrogenase-Enzym aus der Alge und testen, ob wir es auch im Reagenzglas zur Wasserstoffproduktion verwenden können.

Um die Produktionsleistung der lebenden Algen zu steigern, müssen wir den H_2 -Stoffwechsel und seine Regulation besser verstehen. Wir versuchen daher zu entschlüsseln, wie die Mikroalgen überhaupt merken, dass sie von normaler Photosynthese auf H_2 -Bildung umschalten müssen, und wie sie die Aktivität der dafür benötigten Gene ändern. Während eines Projekts, das wir gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen der Universität von Los An-

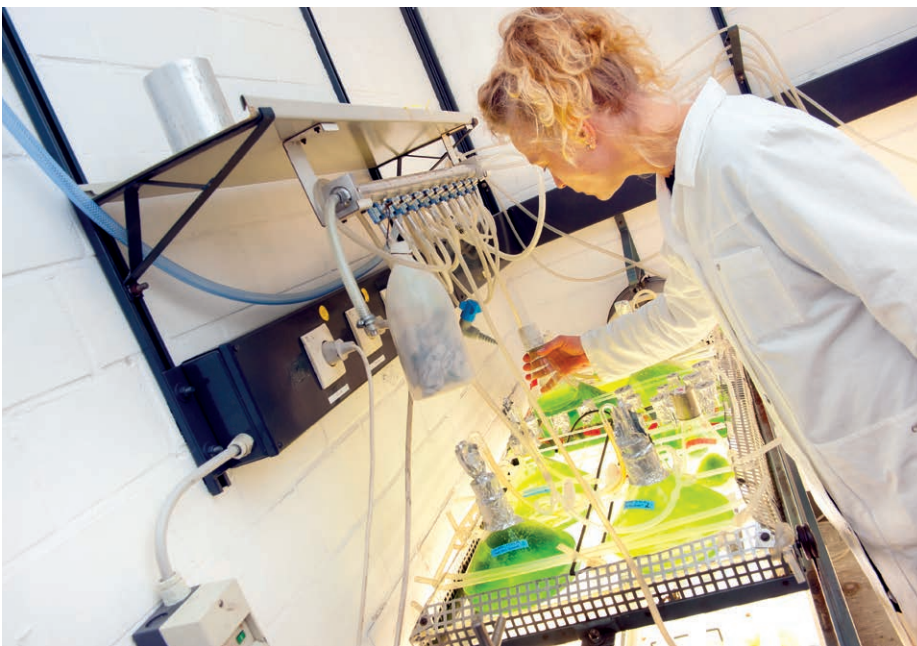


Abb. 4: Das RUB-Team pflegt zahlreiche Grünalgenkulturen in seinen Laboren. *Chlamydomonas* unter Stressbedingungen anzuziehen, sodass der Einzeller Wasserstoff produziert, ist nicht leicht.

geles in Kalifornien (UCLA) durchgeführt haben, stießen wir auf ein ganz bestimmtes Protein: ein Hämoglobin. Lange kannte man fast ausschließlich das Hämoglobin von Säugetieren, das für den Transport von Sauerstoff sorgt und unserem Blut die rote Farbe gibt. Heute weiß man, dass Menschen und Tiere verschiedene Formen von Hämoglobinen besitzen und dass diese auch in Bakterien, Einzellern und Pflanzen vorkommen. Dabei übernehmen die

eisenhaltigen Proteine nicht nur die Funktion von „Gas-Transportern“, sondern fungieren auch als stoffumsetzende Enzyme.

Welche Rolle das Hämoglobin in *Chlamydomonas* spielt, wissen wir noch nicht im Detail. Wir haben aber schon festgestellt, dass es unter Stressbedingungen, die die H_2 -Produktion ankurbeln, lebenswichtig für die Zellen ist. Wenn wir mittels molekularbiologischer Methoden verhindern, dass die Grünalgen ausreichende Mengen des Hämoglobins bilden können, vermehren sie sich unter Stressbedingungen kaum noch (Abb. 6). Diese wichtige Rolle des Hämoglobins scheint mit seiner Fähigkeit zu tun zu haben, Stickstoffmonoxid (NO) zu binden. NO gehört zu der Gruppe der Stickoxide, von denen man häufig im Zusammenhang mit Auspuffgasen und Luftverschmutzung hört. NO übernimmt aber auch in vielen Organismen wichtige Funktionen als Signalmolekül. Es ist ein Botenstoff, der unter anderem die Erweiterung von Blutgefäßen bewirkt. Die Alge *C. reinhardtii* benötigt Stickstoffmonoxid, um unter H_2 -Produktionsbedingungen wachsen zu können. NO ist außerdem wichtig für die Aktivität der Hydrogenase-Gene. Das *Chlamydomonas*-Hämoglobin reagiert im Reagenzglas sehr stark mit Stickstoffmonoxid, so dass wir momentan davon ausgehen, dass es die Effekte von NO in den Algenzellen vermittelt. Weitere Studien müssen zeigen, wie genau die Wasserstoffproduktion mit den Effekten von Hämoglobin und Stickstoffmonoxid zusammenhängt.

Neben neuen Erkenntnissen über die Regulation des H_2 -Stoffwechsels in Mikroalgen hat sich hier für uns auch ein neues Forschungsgebiet aufgetan. Wir haben in *Chlamydomonas* zwölf zum Teil sehr ungewöhnliche Gene entdeckt, die den Bauplan für Hämoglobine enthalten; die Aufgabe dieser Moleküle wollen wir herausfinden. Auch die Rolle von menschlichen Hämoglobinen ist noch nicht vollständig verstanden, obwohl sie sehr wichtig für eine reibungslose Funktion unseres Körpers sind. Erkenntnisse über das Zusammenspiel von Hämoglobin und Stickstoffmonoxid in *Chlamydomonas* könnten helfen, auch die Prozesse im menschlichen Körper besser zu verstehen. Denn die Grünalge scheint NO auf eine ganz ähnliche Weise als Botenstoff zu nutzen.

Was die Wasserstoffproduktion angeht, verfolgen wir an der RUB jedoch noch einen ganz anderen Ansatz: Wir holen das H_2 -bildende Enzym, die Hydrogenase, aus den Algen heraus. Unser Ziel ist, es so zu optimieren, dass wir es im isolierten Zustand nutzen können. Dann könnten wir den komplexen Stoffwechsel der Algenzelle umgehen und auf viel kleinerem Raum große Mengen Wasserstoff erzeugen.

Aber auch hier gilt es, einige Hürden zu überwinden. Ein aus biotechnologischer Sicht großer Nachteil ist die Sauerstoffempfindlichkeit von Hydrogenasen. Ihr eisenhaltiger Co-Faktor, das H-Cluster (Abb. 7, Info 1), reagiert mit Sauerstoff, was ihn irreparabel schädigt. Wir müssen das Enzym also von der Luft fernhalten. Außerdem ist es sehr schwierig, die aktive Hydrogenase in großem Maßstab aus lebenden Zellen zu isolieren. Bisher war das Arbeiten mit Hydrogenasen daher im Forschungsmaßstab und erst recht im industriellen Maßstab nicht gerade einfach, denn man braucht ausreichend große Mengen des isolierten Enzyms. In der Forschung meinen wir mit „großen Mengen“ nur zehn bis 20 Milligramm. Doch aus einem Liter *Chlamydomonas*-Kultur lassen sich gerade einmal einige Mikrogramm gewinnen.

Vor einigen Monaten jedoch haben wir gemeinsam mit Chemikern aus Gre-

noble in Frankreich sowie Biophysikern vom MPI Mülheim ein Verfahren entwickelt, das gleich mehrere Fliegen mit einer Klappe schlägt – möglicherweise ein Meilenstein auf dem Weg zur großtechnischen Wasserstoffproduktion mit Hydrogenasen. Wir stellten eine halbsynthetische Hydrogenase her, aus einer inaktiven chemischen Vorstufe des eisenhaltigen Co-Faktors und aus einem inaktiven Proteingerüst. Die beiden Bestandteile im Reagenzglas zu mischen reichte aus, um einen hochaktiven Katalysator zu erzeugen.

Es ist nicht sehr schwierig, den Co-Faktor der Hydrogenase, das H-Cluster, chemisch nachzubauen, obwohl es zu den komplizierteren biologischen Molekülen gehört (Abb. 7, Info 1). Tatsächlich gelang es Wissenschaftlern schon vor mehreren Jahren, ein künstliches H-Cluster herzustellen. Das Ziel war damals, eine rein chemische Nachahmung – ein sogenanntes Mimic – der gesamten Hydrogenase zu etablieren, die ganz ohne lebende Materie auskommt. Die Proteinstruktur von Enzymen ist aber in den meisten Fällen wichtig für die katalytische Aktivität eines Co-Faktors, und das „nackte“ H-Cluster-Mimic war im Reagenzglas kaum aktiv. Gemeinsam mit unseren Kolleginnen und Kollegen gelang es uns aber, dieses inaktive Mimic in eine – ebenfalls inaktive – Hydrogenase-Vor-

■ info 1

DAS H-CLUSTER: ZU SPEZIELL FÜR *E. COLI*

Viele metallhaltige Co-Faktoren gehören zur Grundausstattung der Lebewesen, und jede Zelle kann sie selbst herstellen. Andere sind nur als Sonderausstattung zu haben; hierzu gehört das katalytische Zentrum der Algen-Hydrogenasen, das H-Cluster (Abb. 7). Dieses besteht aus einem würfelförmigen Anteil mit vier Eisenatomen, die zusammen mit Schwefelgruppen ein sogenanntes Eisen-Schwefel-Cluster bilden. Daran gekoppelt ist eine Einheit aus zwei weiteren Eisenatomen, an der die Wasserstoffbildung stattfindet. Weitere Bestandteile verleihen der Zwei-Eisen-Untereinheit zusätzliche Komplexität. Fast jede Lebensform ist in der Lage, das Eisen-Schwefel-Cluster selbst herzustellen. Die Zwei-Eisen-Untereinheit dagegen ist sehr speziell und kann nur von Organismen gebildet werden, die einen bestimmten Hydrogenase-Typ enthalten. Das Darmbakterium *Escherichia coli*, das im Labor oft zur artfremden Produktion von Enzymen benutzt wird, besitzt solche Hydrogenasen nicht. *E. coli* kann daher zwar die Proteingrundstruktur der Algen-Hydrogenase und auch das Eisen-Schwefel-Cluster bilden, nicht aber die Zwei-Eisen-Untereinheit. Die Algen-Hydrogenase, die *E. coli* produziert, ist daher inaktiv.



Abb. 5: Prof. Dr. Thomas Happe, Leiter der AG Photobiotechnologie

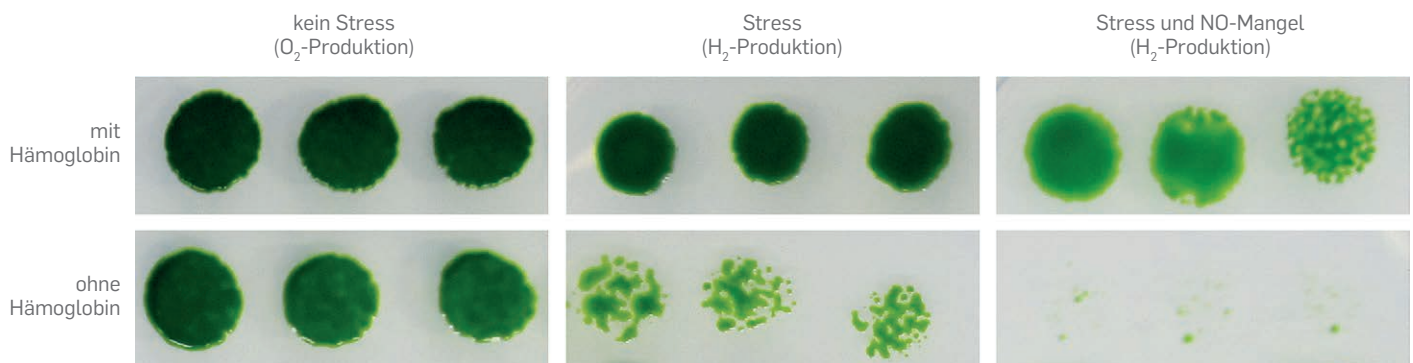


Abb. 6: Wenn *Chlamydomonas* nicht genug Hämoglobin bilden kann, wächst die Alge unter Stress sehr schlecht (Mitte). Ein Mangel an Stickstoffmonoxid (NO) schränkt das Wachstum weiter ein (rechts).

stufe ohne Co-Faktor zu integrieren. Dabei nutzten wir zunächst ein natürliches Helferprotein, das in lebenden Zellen am Zusammenbau der Hydrogenasen beteiligt ist. Im Reagenzglas baute dieses Hilfsenzym das künstliche H-Cluster in das Hydrogenase-Gerüst ein, und wir erhielten so eine halbsynthetische Hydrogenase, die im Reagenzglas große Mengen an H_2 bildete.

Kurze Zeit später wiederholten wir die Versuche an der RUB, diesmal allerdings ohne das Helferprotein. Wir gingen eigentlich davon aus, dass der Einbau des Co-Faktors in die Hydrogenase-Vorstufe auf Helferproteine angewiesen ist, aber wir dachten uns: „Man kann’s ja mal versuchen.“ Wir waren selbst überrascht, dass es auch ohne das Hilfsenzym funktionierte! Nun

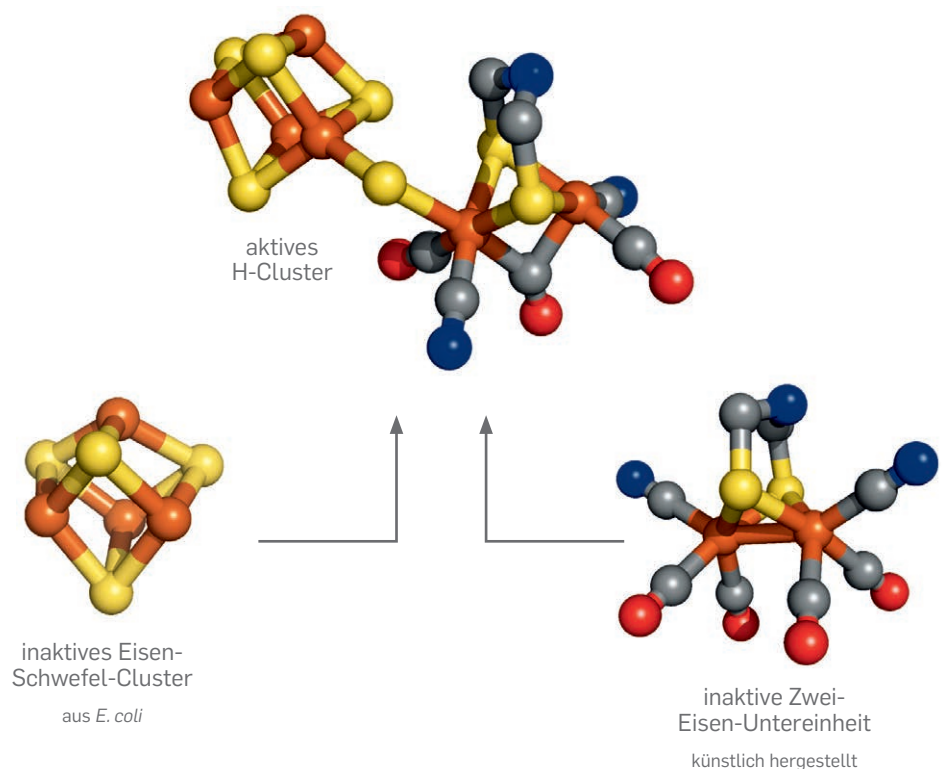


Abb. 7: Aus *Escherichia coli* gewonnene Algen-Hydrogenase enthält nur das Eisen-Schwefel-Cluster und ist inaktiv. Die chemisch synthetisierte Zwei-Eisen-Untereinheit ist ebenfalls nahezu inaktiv. Kombiniert man beide, entsteht das vollständige und aktive H-Cluster. Orange: Eisen, gelb: Schwefel, grau: Kohlenstoff, rot: Sauerstoff, blau: Stickstoff

hatten wir ein sehr einfaches System, um funktionstüchtige Hydrogenase im Reagenzglas zu erzeugen: einfach das synthetische H-Cluster mit dem Proteingerüst der Hydrogenase mischen, fertig.

Ganz verzichten können wir auf lebende Zellen zwar immer noch nicht. Denn wir brauchen das Darmbakterium *Escherichia coli*, um das Proteingerüst herzustellen. Die Arbeit mit *E. coli* und der inaktiven Hydrogenase-Form ist aber viel einfacher als alles, was wir zuvor versucht haben, und wir können nun schon im Labormaßstab recht schnell große Mengen an hochaktivem Enzym herstellen.

Auch auf anderen Ebenen verspricht das Mimic-System, die Forschung und Anwendung voranzutreiben. In unserer Arbeitsgruppe untersuchen wir, ob kleine Modifikationen des Hydrogenase-Proteingerüsts das Enzym so beeinflussen, dass es weniger empfindlich gegenüber Sauerstoff wird oder mehr Wasserstoff produziert. Um die Hydrogenase zu optimieren, tauschen wir einzelne Aminosäuren aus und analysieren die Konsequenzen. Meistens reicht es jedoch nicht, nur einen der insgesamt rund 500 Bausteine zu verändern, um deutliche Effekte hervorzurufen. Tauschen wir gleichzeitig mehrere Bausteine aus, müssen wir aber Tausende von Enzymvarianten untersuchen. Auch dies ist viel einfacher, schneller und zuverlässiger, wenn wir mit *E. coli* arbeiten und das so hergestellte Proteingerüst nachträglich aktivieren. Nicht zuletzt haben wir nun die Möglichkeit, das H-Cluster selbst zu manipulieren und es so vielleicht zu stabilisieren oder unempfindlich gegenüber Sauerstoff zu machen.

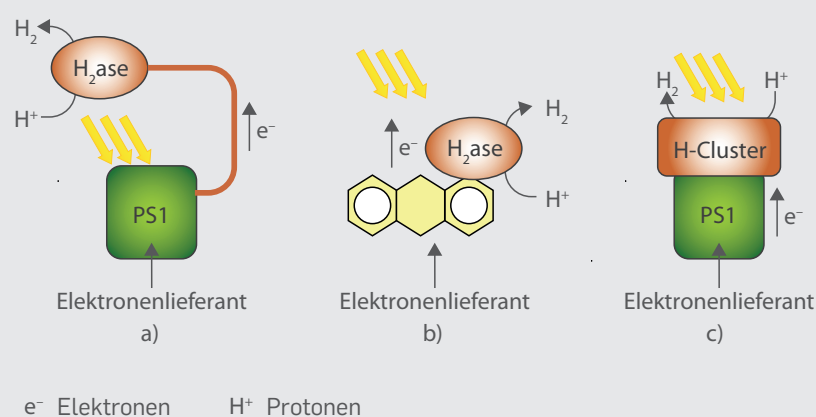
Wegen ihres Potenzials, zur Lösung der Energieprobleme beizutragen, haben Hydrogenasen schon länger das Interesse der Politik und Industrie geweckt. Unsere semibiologischen Hydrogenasen und die chemischen Mimics haben nun zum zweiten Mal die VolkswagenStiftung überzeugt, unsere anwendungsbezogene Forschung finanziell zu fördern. In dem aktuell unterstützten Projekt geht es speziell darum, die Hydrogenasen mit chemischen Molekülen zu verknüpfen, welche Lichtenergie für die Wasserstoffproduktion nutzbar machen sollen (Info 2).

Durch die intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit von Biologie, Chemie

■ info 2

BASTELN MIT MOLEKÜLEN

Hydrogenasen katalysieren eine sehr einfache chemische Reaktion: Sie verbinden jeweils zwei Protonen (H^+) und zwei Elektronen (e^-) zu einem Molekül aus zwei Wasserstoffatomen (H_2). Protonen sind in fast jeder wässrigen Umgebung vorhanden. Für die H_2 -Bildung braucht es aber außerdem besonders energiereiche Elektronen, die bei der Photosynthese durch die Umwandlung von Lichtenergie bereitgestellt werden. Ziel unseres neuen von der VolkswagenStiftung geförderten Projekts ist es, diese energiereichen Elektronen auch außerhalb der Algenzelle durch Sonnenlicht bereitzustellen, anstatt Chemikalien oder Strom als Elektronenlieferanten zu nutzen. Zum einen wollen wir daher chemische Lichtwandler direkt an die Hydrogenase koppeln. Zum anderen wollen wir die Enzyme nutzen, die für die photosynthetische Lichtumwandlung in Pflanzen und Algen zuständig sind, die sogenannten Photosysteme. Gemeinsam mit US-amerikanischen Kolleginnen und Kollegen haben wir bereits eine Hydrogenase an ein Photosystem gekoppelt und so im Reagenzglas lichtabhängig H_2 gebildet. Um solch ein System einfacher, stabiler und effizienter zu machen, wollen wir nun versuchen, den Co-Faktor der Hydrogenase in ein Photosystem einzupflanzen. Damit wäre die Hydrogenase quasi mit dem Photosystem verschmolzen, sodass keine Energie verloren gehen kann.



Drei Wege zur Wasserstoffproduktion im Reagenzglas. a) Die Proteine Photosystem 1 (PS1) und Hydrogenase (H_2ase) können über eine Art chemischen Draht verbunden werden und bilden im Reagenzglas lichtabhängig Wasserstoff. b) In Zukunft soll ein Licht wandelndes Molekül das Photosystem 1 ersetzen und direkt an die Hydrogenase gekoppelt werden. c) Alternativ soll das H-Cluster aus der Hydrogenase direkt in das Photosystem 1 integriert werden.

und Biophysik ergeben sich für die Zukunft spannende Konzepte, um neuartige Katalysatoren auf Biobasis zu generieren. Ähnlich wie in der Lebensmitteltechnologie und der Medizindiagnostik könnten diese halbkünstlichen Enzyme Einsatz finden, um umweltfreundlich Energie zu gewinnen.

Dr. Anja Hemschemeier und Prof. Dr. Thomas Happe, AG Photobiotechnologie, Fakultät für Biologie und Biotechnologie

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM



Die Ruhr-Universität Bochum ist eine der führenden Forschungsuniversitäten in Deutschland. Mehr Informationen zu den Forschungsschwerpunkten und Forschungsverbünden finden sich im Internet unter www.rub.de/forschung.

■ Impressum

Herausgeber

Rektorat der Ruhr-Universität Bochum in Verbindung mit dem Dezernat Hochschulkommunikation (Abteilung Wissenschaftskommunikation) der Ruhr-Universität Bochum

Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. Astrid Deuber-Mankowsky (Fakultät für Philologie), Prof. Dr. Reinhold Gleis (Fakultät für Philologie), Prof. Dr. Achim von Keudell (Fakultät für Physik und Astronomie), Prof. Dr. Ulrich Kück (Fakultät für Biologie), Prof. Dr.-Ing. Ulrich Kunze (Fakultät für Elektrotechnik u. Informationstechnik), Prof. Dr. Alfred Ludwig (Fakultät für Maschinenbau), Prof. Dr. Denise Manahan-Vaughan (Medizinische Fakultät), Prof. Dr. Käte Meyer-Draue (Fakultät für Philosophie und Erziehungswissenschaft), Prof. Dr. Christian Tapp (Katholisch-Theologische Fakultät), Prof. Dr. Klaus T. Überla (Medizinische Fakultät), Prof. Dr. Jörg Winter (Prorektor für Forschung)

Redaktion

Dr. Julia Weiler, jwe (Redaktionsleitung); Dr. Maren Volkmann, mv; Tabea Steinhauer, tst; Meike Drießen, md; Dr. Barbara Kruse, bk; Marion Nelle (Bildredaktion); Andreas Rohden (Webauftritt); Christian Busche (Webauftritt)

Bildnachweis

Titelseite: Thomas Eltz; S. 6: Elliot DeVries und Konrad Meister; S. 7: Andreas Pflitsch; S. 10, Abb. 2: Richard Weldle; S. 11, Abb. 1: Tamara Pokorny; S. 12, Abb. 4: Tamara Pokorny; S. 13, Abb. 5: Tamara Pokorny; S. 34, Abb. 1: www.russianposter.ru; S. 35, Abb. 2: Smena 7 (1958) auf Seite 12; S. 36, Abb. 3: Sovetskaja estrada i cirk 11 (1972) auf Seite 8; S. 36, Abb. 4 links: Smena 11 (1965) auf Seite 30; S. 37, Abb. 4 rechts: privat; S. 37, Abb. 5: privat; S. 40, Abb. 3: Kharlamova – iStock (Icons Personen); S. 42, Abb. 1: Mark Reid/USGS; S. 44, Abb. 3 links: Christiane Bergmann, Rolf Katzenbach/TU Darmstadt; S. 50, Abb. 4: Bundesamt für Verfassungsschutz (BfV); S.

53, Abb. 7: picture-alliance/dpa; S. 62: Peter Sondermann

Die Redaktion hat sich um die Einholung der nötigen Bildrechte mit allen Mitteln bemüht; wo das nicht möglich war, bitten wir eventuelle Rechteinhaber, sich mit der Redaktion in Verbindung zu setzen.

Anschrift

Dezernat Hochschulkommunikation, Abteilung Wissenschaftskommunikation, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel. 0234/32-25528, Fax: 0234/32-14136, rubin@rub.de, www.rub.de/rubin

Satz und Layout

diezwei designagentur, Geismarweg 20, 45259 Essen, info@diezwei-design.de, www.diezwei-design.de

Druck

AZ Druck und Datentechnik GmbH, 87437 Kempten

Auflage

4.000

Anzeigenverwaltung und -herstellung

vmm Wirtschaftsverlag GmbH&Co. KG, Kleine Grottenau 1, 86150 Augsburg, Kathrin Reichherzer, Tel. 0821/4405-432, www.vmm-wirtschaftsverlag.de

Bezug der Zeitschrift

RUBIN ist erhältlich im Dezernat Hochschulkommunikation (Abteilung Wissenschaftskommunikation) der Ruhr-Universität Bochum zum Einzelpreis von 4 Euro. Jahresabonnement (zwei Hefte inkl. Porto/Jahr): 7 Euro. Das Wissenschaftsmagazin RUBIN erscheint zweimal im Jahr, ein Teil der Auflage als Beilage zur Universitätszeitschrift RUBENS.

ISSN 0942-6639

Nachdruck bei Quellenangabe und Zusenden von Belegexemplaren