Lernen von der Natur

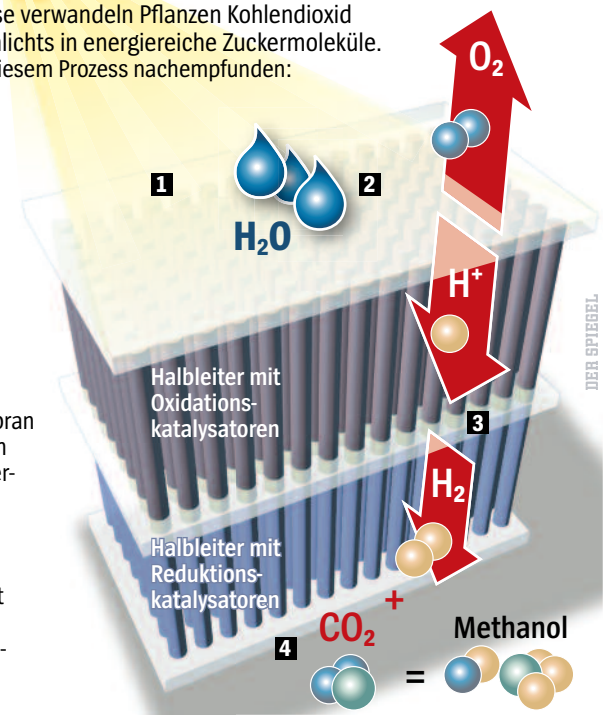
Bei der natürlichen Photosynthese verwandeln Pflanzen Kohlendioxid und Wasser mit Hilfe des Sonnenlichts in energiereiche Zuckermoleküle. Die künstliche Photosynthese ist diesem Prozess nachempfunden:

1 Sonnenenergie
Ähnlich wie in einer Solarzelle fällt Sonnenlicht auf einen photoaktiven Halbleiter.

2 Oxidation
Mit Hilfe der Lichtenergie wird Wasser in Sauerstoff und Protonen (H^+) gespalten. Der Sauerstoff entweicht in die Luft.

3 Reduktion
Die Protonen passieren eine Membran und verbinden sich in einer zweiten Reaktion zu energiereichem Wasserstoff, der als Treibstoff verwendet werden kann.

4 Treibstoffgewinnung
Alternativ kann der Wasserstoff mit Kohlendioxid Flüssigtreibstoffe wie Methanol bilden. Sogenannte Katalysatoren sind notwendig, um die Reaktionen voranzutreiben.



ENERGIE

Solare Tankstelle

Chemiker erschaffen künstliche Pflanzen. Die neuartigen Halbleiterfolien sollen das Sonnenlicht direkt in Treibstoff umwandeln.

Das Blatt aus dem Labor glänzt silbrig und ist kaum so groß wie ein Fingernagel. Vorsichtig taucht Peidong Yang die Siliziumfolie ins Wasser. Dann schaltet der Chemiker eine Lampe ein, die das Sonnenlicht simuliert.

Winzige Bläschen bilden sich alsbald an der Oberfläche der Folie. Elektronen huschen durch den Halbleiter. Yang lächelt zufrieden: Sein künstliches Blatt erwacht zum Leben.

„Wir versuchen, von der Natur zu lernen und sie noch zu übertreffen“, sagt der Forscher vom Joint Center for Artificial Photosynthesis (JCAP) im kalifornischen Berkeley. Sonnenlicht, Wasser und Kohlendioxid wollen Yang und seine Kollegen direkt in chemische Energie verwandeln. Photosynthese heißt der Trick der Natur, den alle Pflanzen und Algen beherrschen. Die Evolution brauchte einige hundert Millionen Jahre, um die chemische Reaktionskette hervorzubringen. Die JCAP-Experten wollen das Naturwunder in wenigen Jahren nachahmen und sogar noch verbessern.

Zehnmal so effizient wie die natürliche Photosynthese soll die Lichtreaktion aus dem Labor am Ende sein. 122 Millionen Dollar hat das US-Energieministerium für die Arbeit des kalifornischen Forschungsverbunds bereitgestellt, an dem rund 200 Wissenschaftler beteiligt sind. US-Präsident Barack Obama erklärte, das Projekt sei wegweisend, um die Abhängigkeit der USA vom Erdöl zu verringern.

Was Yang und seine Kollegen erschaffen wollen, ist weder grün, noch raschelt es im Wind. Den Wissenschaftlern schwebt eine dünne, robuste Energiefolie vor, die Wasser wie von Zauberhand in Sprit verwandelt. Aus Sicht der Forscher hat die künstliche Photosynthese das Vermögen, fossile Brennstoffe wie Kohle, Öl und Gas tatsächlich zu ersetzen.

„Der ultimative Kraftstoff kommt direkt von der Sonne“, sagt Yang. Tatsächlich ist das Potential der Technik gewaltig. Das Zentralgestirn strahlt in jeder Stunde mehr Energie auf die Erde ab, als die Menschheit in einem Jahr verbraucht. Herkömmliche Solarzellen können einen Teil dieser Energie einfangen und in Strom verwandeln. Diesen Strom wiederum zu speichern und dorthin zu transportieren, wo er benötigt wird, geht mit beträchtlichen Verlusten einher und ist eine große technische Herausforderung.

Praktischer wäre es, das Sonnenlicht direkt in Kraftstoff zu verwandeln, der dann wie gehabt herkömmliche Verbrennungsmotoren antreibt – das ist das Ziel der künstlichen Photosynthese.

Der Chemiker Daniel Nocera vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) bei Boston rechnet vor, dass eine fünf mal sechs Meter große Sonnenfolie in weniger als vier Stunden den täglichen Energiebedarf eines Einfamilienhauses decken könnte.

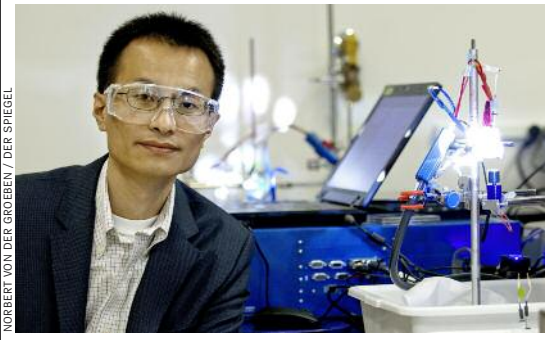
Im vergangenen Jahr präsentierte Nocera den ersten Prototyp eines künstlichen Blatts. Die Apparatur des MIT-Forschers hat die Größe einer Spielkarte und verwandelt Wasser mit Hilfe des Sonnenlichts in energiereichen Wasserstoff, der dann als Treibstoff verbrannt werden kann. Seine Solartankstelle sei ein „heiliger Gral“ der Wissenschaft, von dem Forscher „seit Jahrzehnten“ träumten, schwärmte Nocera bei der Präsentation.

Der MIT-Forscher versucht bereits, die Technik zu kommerzialisieren. Die von ihm mitgegründete Biotech-Firma Sun Catalytix entwickelt die winzigen Wasserstofftankstellen weiter. Das Unternehmen erwartet, ein Kilogramm Wasserstoff künftig für etwa drei US-Dollar herstellen zu können. Eine solche Menge des Gases enthält umgerechnet so viel Energie wie etwa 3,75 Liter Benzin.

Die kalifornischen JCAP-Forscher haben ein noch ehrgeizigeres Ziel. Ihr künstliches Blatt soll nicht gasförmigen Wasserstoff erzeugen, sondern flüssigen Kraftstoff, der sich, in Raffinerien aufbereitet, von heutigen Autos tanken lässt.

Die natürliche Photosynthese dient den Chemikern als Vorbild. Wie in jeder Pflanze wird auch im Laborblatt Wasser zunächst in Sauerstoff und Wasserstoffatome (Protonen) gespalten. In einem nächsten Reaktionsschritt verbinden sich je zwei Protonen zu Wasserstoff, der schließlich mit zugeführtem Kohlendioxid reagieren soll (siehe Grafik).

In Pflanzen entstehen als Endprodukte der Photosynthese vor allem energiereicher Rohrzucker



NORBERT VON DER GROEBEN / DER SPIEGEL

Forscher Yang: *Keine Angst vor Schädlingen*

und Stärke. Die künstlichen Blätter sollen Methanol oder sogar Benzin produzieren. Dass dies prinzipiell geht, ist längst bewiesen; doch die Schwierigkeit liegt im Detail.

Damit die Reaktion klappt, müssen chemische Bedingungen erschaffen werden, die jenen in den Chloroplasten der Pflanzen ähneln. Was im Grünzeug Enzyme erledigen, sollen im Laborblatt chemische Katalysatoren leisten – Substanzen, ohne deren Mithilfe die Minitankstellen nicht funktionieren.

Platin und Iridium sind als Katalysatoren zwar gut geeignet; doch diese Elemente sind selten und teuer. „Wir suchen nach Stoffen, die reichlich verfügbar, billig und reaktionsfreudig sind“, erläutert Yang. „Nur dann kann Sonnensprit konkurrenzfähig zu fossilen Kraftstoffen werden.“

Immerhin sind die Chemiker bei ihrer Suche schon fündig geworden: Wasser lässt sich auch mit Hilfe von billigem Kobalt und Phosphat spalten, wie MIT-Wissenschaftler Nocera herausgefunden hat. Die dabei frei werdenden Protonen wiederum vermag eine Legierung aus Nickel, Molybdän und Zink zu bändigen.

Gleichzeitig fahnden die Chemiker nach Materialien, die das Licht möglichst gut einfangen können. Der Pflanzenfarbstoff Chlorophyll würde bei ihnen glatt durch die Materialprüfung rasseln. Denn die grünen Blätter absorbieren nur einen kleinen Teil der Lichtenergie. Für eine optimale Ausbeute müssten sie eigentlich pechschwarz sein.

Unter dem Elektronenmikroskop betrachtet ähneln die künstlichen Blätter miniaturisierten Nagelbürsten. Aus einer ultradünnen Membran ragen winzige Siliziumfasern heraus, die mit den Katalysatoren bedampft sind und das Sonnenlicht einfangen. Durch ultrafeine Leitungen soll auf der einen Seite Wasser zugeführt und auf der anderen Seite Wasserstoff oder Methanol abgeleitet werden.

Noch in diesem Jahr will JCAP-Forscher Yang einen Prototyp „im iPhone-Format“ präsentieren. Eine kommerzielle Pilotanlage hofft er bis Ende des Jahrzehnts vorstellen zu können.

17,75 Billionen Joule Energie verbraucht die Menschheit zurzeit in jeder Sekunde. Bis 2050 soll sich der weltweite Energieverbrauch nochmals mindestens verdoppeln. „Um diesen Bedarf nachhaltig zu decken, ist eine robuste Technik nötig, die im industriellen Maßstab eingesetzt werden kann“, sagt Yang.

Direkter und sauberer als mit der künstlichen Photosynthese lasse sich aus Sonnenenergie kein Kraftstoff gewinnen, sagt der Chemiker. Im Vergleich zur Biospritgewinnung aus Pflanzen oder Algen hätten seine Laborblätter einen weiteren großen Vorteil: „Vor Schädlingen müssen wir uns nicht fürchten.“

Philip Bethge

ETHIK

Tödlicher Hausbesuch

In den Niederlanden betätigen Ärzte sich neuerdings als ambulante Sterbehelfer. Betrieben werden die Teams vom größten Euthanasie-Verein der Welt.

Als Petra de Jong das erste Mal einen Menschen tötete, wusste sie nicht, was sie tat. Die Ärztin arbeitete als Lungenspezialistin in einem niederländischen Krankenhaus, und der Patient litt an Krebs. Es sei ein hoffnungsloser Fall gewesen, sagt sie.

Der Mann bat sie, ihm beim Sterben zu helfen. De Jong spritzte ihrem Patienten ein Medikament, das schnell wirken sollte. Es dauerte neun Stunden, bis er starb. Die Dosis war zu gering gewesen. Er habe keine Schmerzen gehabt, versichert de Jong; aber seine Ehefrau habe die ganze Zeit an seinem Bett gesessen und gefürchtet, ihr Mann könnte für die nächsten 20 Jahre so daliegen.

Aktive Sterbehilfe war damals in den Niederlanden noch verboten. Die Ärztin durfte niemandem erzählen, was sie getan hatte. Heute, 20 Jahre später, ist Petra de Jong eine einflussreiche Frau in Sachen Sterben.

Als die Niederlande vor zehn Jahren das Töten auf Verlangen straffrei stellten, war das auch ein Triumph ihres Vereins. De Jong ist Direktorin der nach eigenen Angaben größten Euthanasie-Vereinigung der Welt, der „Niederländischen Vereinigung für ein freiwilliges Lebensende“ (NVVE). Ihre Mitglieder propagieren einen selbstbestimmten Tod – und diesem Ziel sind sie jetzt wieder einen Schritt näher gekommen.

Anfang März hat die NVVE die erste Sterbehilfeklinik der Welt eröffnet; „Levenseindekliniek“ lautet der Name – ein Platz fürs Lebensende. Sie dient als Anlaufstelle für all jene Niederländer, die sterben wollen, aber keinen Hausarzt haben, der bereit ist, ihnen dabei zu helfen. Zur Klinik gehören ambulante Euthanasie-Teams, jeweils bestehend aus einem Mediziner und einer Pflegekraft. Kommt ein Patient nach einer Prüfung seines Falls in Frage, fährt das Team zu ihm nach Hause, um ihm zwei Medikamente zu spritzen – das eine versetzt den Todeswilligen in einen tiefen Schlaf, das andere stoppt die Atmung und führt so zum Tod.

Noch darf kein Außenstehender das Klinikgebäude in Den Haag betreten. Bislang sitzt dort nur eine Büroangestellte und nimmt die Anträge entgegen. Seit Anfang des Monats haben sich 70 Euthanasie-Patienten angemeldet, die ersten zwei Fälle wurden schon ausgewählt und an die Ärzte weitergereicht.

Irgendwann sollen in dem Haus Betten auch für Euthanasie-Patienten stehen. Doch vor allem werden die Ärzte zu den Patienten kommen; denn die meisten Niederländer ziehen es vor, zu Hause zu sterben.

MARCUS KOPPEN

Lobbyistin de Jong: *Großer Einfluss*