

Künstliche Photosynthese

Mit der natürlichen Photosynthese nutzen Pflanzen Energie aus dem Sonnenlicht zur Einbindung des Kohlenstoffdioxids aus der Umgebungsluft in neue Pflanzenmasse. Dieser Vorgang wird von Experten als der wahrscheinlich wichtigste biochemische Prozess auf der Erde eingeschätzt, läuft aber nur mit einem geringen Wirkungsgrad ab. Schon seit den 1970er Jahren versucht man ernsthaft, ihn technisch nachzubilden und zu optimieren. Aber erst in jüngster Zeit haben neue Erkenntnisse aus der synthetischen Biologie zusammen mit einem verstärkten Einsatz von Fördermitteln zu Fortschritten geführt, die auf erste praktische Einsätze künstlicher Photosynthese bereits in absehbarer Zeit hoffen lassen.

Grob gesprochen ist Photosynthese der Prozess der Nutzung von Strahlungsenergie durch den das Sonnenlicht absorbierenden Pflanzenfarbstoff Chlorophyll zur Umwandlung von Wasser und Kohlenstoffdioxid in Sauerstoff und Glucose, aus der schließlich neues Pflanzenmaterial gebildet wird. In Zwischenschritten dieses natürlichen Prozesses entstehen freie, durch das Licht energetisch angeregte Elektronen sowie schließlich Wasserstoff, der zur Synthese der entstehenden Kohlenwasserstoffe (also der Glucose bzw. des neuen Pflanzenmaterials) gebraucht wird. Die Nutzung des Endprodukts Biomasse z.B. zur Erzeugung alternativer Kraftstoffe ist heute Stand der Technik, wenn auch wegen des geringen Gesamtwirkungsgrads der natürlichen Photosynthese (ca. 1 Prozent mit relativ großem Flächenbedarf verbunden). Letzteres liegt schon allein daran, dass der natürliche Farbstoff Chlorophyll lediglich blaue und rote Anteile des Sonnenlichts absorbiert, Wellenlängen im mittleren grünen Bereich jedoch reflektiert. Aber auch auf die „Zwischenprodukte“ elektrische Energie oder Wasserstoff kann im Prinzip zugegriffen werden. Allerdings sind die Wirkungsgrade der hier zugrunde liegenden natürlichen Prozesse so gering, dass nur deren technische bzw. künstliche Optimierung zu brauchbaren Ergebnissen führen kann. Große Probleme bei der Entwicklung künstlicher Pho-

tosynthesysteme bereitet jedoch immer wieder die geringe Umweltstabilität der eingesetzten Komponenten bzw. Materialien. Diese sollen gleichzeitig robust und kostengünstig sein und einen hohen Wirkungsgrad ermöglichen. Bis heute ist es nicht gelungen, diese drei Forderungen alle gleichzeitig zu erfüllen.

Auf der Grundlage photosynthetischer Teilprozesse basierende photovoltaische Systeme sind die sogenannten Farbstoffsolarzellen, nach ihrem Erfinder auch als Grätzelzellen bezeichnet. Eine Grätzelzelle besteht aus zwei Elektroden in sehr geringem Abstand, von denen eine doppelt beschichtet ist. Unmittelbar auf dieser Elektrode ist eine dünne Schicht aus Titandioxid aufgetragen, darauf eine weitere dünne Schicht aus Farbstoffmolekülen. Durch Absorption von Licht werden Elektronen von den Farbstoffmolekülen gelöst. Das Titandioxid nimmt die dabei frei werden den Elektronen auf, während die positiven Ionen zur anderen Elektrode wandern. Dadurch entsteht eine elektrische Spannung. Im Detail weisen unterschiedliche Varianten der Farbstoffsolarzellen erhebliche Unterschiede auf. So nutzte Grätzel natürliche pflanzliche Farbstoffe, während heute synthetische Farbstoffe eingesetzt werden. Theoretisch könnten mit Grätzelzellen Alternativen zu herkömmlichen Solarzellen zur Verfügung stehen, die sowohl ökonomisch als auch ökologisch eine gute Bilanz vorweisen. Zum Beispiel können sie indirektes Licht ebenso gut nutzen wie direkte Sonneneinstrahlung. Hinzu kommt, dass Farbstoffsolarzellen in beliebigen Formen und Farben hergestellt werden können und sich so jeder Architektur anpassen. Allerdings fehlt es noch an Erfahrungen im alltäglichen Praxiseinsatz. Bis ins Detail sind die Vorgänge in einer Grätzelzelle außerdem noch immer nicht verstanden.

Die neuesten Erfolgsmeldungen zur Künstlichen Photosynthese kommen aus Projekten zur Nutzbarmachung der Wasserstoffgewinnung aus der Energie des Sonnenlichts bzw. zur instantanen Weiterverarbeitung des Wasserstoffs zu Biokraft-

stoffen oder schließlich gar zu beliebigen Verbindungen aus Kohlenstoffdioxid. Ziel ist auch hier, die geringen Wirkungsgrade der natürlichen Photosynthese deutlich zu verbessern und z.B. auf Werte um die 20 Prozent zu steigern. Ein wesentlicher Ansporn zur Realisierung von Verfahren der Künstlichen Photosynthese zur Erzeugung von Kohlenwasserstoffen ist neben der Nutzbarmachung der Endprodukte insbesondere die Tatsache, dass gleichzeitig das klimaschädliche Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre entfernt wird.

Eines der größten Probleme sind jedoch bisher die Materialien für die Photoanode, die für die Absorption des Sonnenlichts zuständig sind (also die Ersatzstoffe für das natürliche Chlorophyll). Eine Forschungsrichtung konzentriert sich bei ihrer Suche auf Materialien, die sowohl kostengünstig als auch stabil sind und entwickelt diese zu besseren Lichtabsorbieren. In diesem Zusammenhang sind insbesondere bestimmte Metalloxide zu nennen. Eine andere Schule geht dagegen von effizienten Lichtabsorbieren aus und arbeitet daran, diese stabil und preisgünstig zu machen. Auch organische Moleküle oder die in die Solarzellenforschung in den letzten Jahren intensiv untersuchten Perowskite könnten in der Künstlichen Photosynthese eine Rolle spielen. Ein weiterer Schwerpunkt der Entwicklungsbemühungen liegt bei den benötigten Katalysatoren. Erfolg versprechende Ansätze gibt es hier bei der Nachbildung der Funktionalität natürlicher Enzyme durch anorganische Werkstoffe, die gleichzeitig über ausreichende Robustheit und Lebensdauer verfügen.

So lassen die gegenwärtig intensiven Forschungsbemühungen insgesamt erwarten, dass man bereits in 10 bis 20 Jahren zu praxistauglichen Verfahren der Künstlichen Photosynthese zur Erzeugung von Wasserstoff oder anderen Brennstoffen kommen kann. Erste Anwendungen könnte es dort geben, wo keine herkömmliche Energieinfrastruktur vorhanden ist, also z.B. in Entwicklungsländern für die Versorgung einzelner Gehöfte mit Biokraftstoffen.

Jürgen Kohlhoff