

PRODUCTIE NATUURLIJKE BRANDSTOF KOMT BINNEN BEREIK

Via kunstmatige fotosynthese brandstof maken uit zonlicht, water en CO₂; schoner kan het niet. Een ver-van-mijn-bed-show? Als het aan de onderzoekers van BioSolar Cells ligt, komt een dergelijke op de natuur geïnspireerde brandstofproductie daadwerkelijk van de grond.

Anno 2015 voorziet brandstof in ongeveer 85% van onze energiebehoefte. Door energiebesparing en investeringen in zonnepanelen, windmolens en andere technieken kunnen we fossiele brandstof vervangen door duurzaam opgewekte elektriciteit. Toch is in vrijwel alle toekomstscenario's voor de energievoorziening nog altijd een belangrijke rol weggelegd voor CO₂-neutrale brandstoffen. Voor zwaar transport, vliegverkeer

en een deel van de industrie blijft brandstof immers de aangewezen energiebron. Het klimaatneutraal maken van onze brandstofproductie verdient dus alle aandacht. Een kansrijke mogelijkheid wordt onderzocht in het Nederlandse BioSolar Cells-consortium. Wetenschappers uit verschillende disciplines werken hier samen om efficiënte systemen te ontwikkelen voor de productie van brandstof uit zonlicht, water en CO₂.

Prototype van een kunstmatig blad, onderdeel van een proefopstelling in een gasstation voor Leidse stadsbussen. Via het venster wordt energie uit het zonlicht opgevangen dat door een katalysator rechtstreeks wordt omgezet in waterstof. Het apparaat is onderdeel van een praktijkproef: het geproduceerde waterstof wordt bijgemengd in aardgas voor stadsbussen in Leiden.

Planten, algen en bacteriën
Brandstof maken uit zonlicht, water en CO₂; dat is precies wat planten kunnen, dankzij hun vermogen tot fotosynthese. Met hun bladgroen vangen ze de energiedeeltjes (fotonen) in zonlicht op. Vervolgens zetten ze die deeltjes om in chemische energie in de vorm van suikers. Alleen doen planten dat niet erg efficiënt. Netto legt een plant niet meer dan 0,1 – 1% van de energie uit

Robin Purchase doceert fysische chemie aan de Universiteit van Leiden en is sinds 2011 betrokken bij het onderzoek naar kunstmatige fotosynthese. Huib de Vriend (devriend@liscoconsult.nl) is adviseur maatschappelijk verantwoorde innovatie in de levenswetenschappen. Huub de Groot is hoogleraar biofysische organische chemie aan de Universiteit van Leiden en wetenschappelijk directeur van BioSolar Cells.

zonlicht vast. Het grootste deel van de energie gaat verloren tijdens de vele stappen die nodig zijn om zonlicht uiteindelijk om te zetten in biomassa.

Naast planten is het onderzoek gericht op algen en cyanobacteriën. Deze organismen maken ook gebruik van fotosynthese, maar gaan wel vijf keer zo efficiënt om met energie als planten (maximaal 5-10%). Bovendien kunnen we bepaalde algen en cyanobacteriën zodanig modificeren dat ze continu brandstof afscheiden in het medium waarin ze leven. Dit betekent dat je de bacteriën niet hoeft te oogsten. Terwijl bij plantaardig of ander organisch restmateriaal altijd een conversiestap nodig is om de biomassa te ontsluiten en in brandstof om te zetten, kan hier in principe rechtstreeks brandstof worden geoogst. Deze algen en bacteriën kunnen we laten groeien op voedingsstoffen uit afvalstromen, (zout) water, CO₂ en licht. In BioSolar Cells onderzoeken we hoe we de teelt kunnen optimaliseren.

Kunstmatige fotosynthese

Maar ook in algen en cyanobacteriën gaat nog veel energie verloren tijdens de omzetting van het zonlicht. Dit energieverlies kunnen we voorkomen door de fotosynthese in een kunstmatig systeem na te bootsen. Bovendien wordt in natuurlijke fotosynthesesystemen maar een deel van het lichtspectrum benut (zie kader 'Absorptie van zonlicht'). Kunstmatige fotosynthesesystemen kunnen we zo ontwerpen dat vrijwel het hele lichtspectrum - en dus een groter deel van de energie uit zonlicht - wordt benut (zie kader 'Fotosynthese').

In principe kunnen we kunstmatige fotosynthese gebruiken om koolstofhoudende brandstoffen te maken. Die zijn gemakkelijk inpasbaar in de bestaande brandstofinfrastructuur. Wel vereist het maken ervan extra vermogen om de CO₂ te reduceren, ook omdat die uit de atmosfeer gewonnen moet worden. Een andere mogelijkheid is de productie van waterstof. Die brandstof kunnen we met minder energie maken.

Eerste prototype

Inmiddels hebben we in BioSolar Cells een eerste prototype van een 'kunstmatig blad' ontwikkeld. Hiermee kunnen we waterstof uit water genereren met een efficiëntie van ongeveer 5%. Dit prototype kent uiteraard nog een aantal tekortkomingen. Zo zijn de gebruikte materialen nog veel te duur, is het systeem nog onvoldoende robuust en moet de efficiëntie sterk worden verbeterd. Door verder onderzoek lijkt een efficiëntie van 18-20% haalbaar.

Efficiënter

Voor verbetering van de efficiëntie kijken we zowel naar de absorptie van energie uit zonlicht (stap 1) als naar de manier waarop de chemische reacties in de vervolgstappen verlopen. De kunst is om zoveel mogelijk fotonen om te zetten. Maken we voor de absorptie van zonlicht gebruik van twee stappen die elk een deel van het spectrum absorberen, dan kunnen we met twee fotonen een potentiaalverschil van 2,9 Volt overbruggen. Dat is net genoeg om water te splitsen. Daarom zoeken we naar combinaties van lichtgevoelige moleculen in tandenvorm, waarbij het ene deel het zichtbare deel van het lichtspectrum absorbeert en het andere deel het infrarode gedeelte.

In de daarop volgende fotosynthesestappen moet die geabsorbeerde zonne-energie met zo weinig mogelijk interne verliezen worden omgezet naar brandstof. Tot nu toe komen we met enkele erg dure systemen niet veel verder dan het benutten van een kwart van de binnenkomende fotonen. Hier kunnen we nog veel leren van de natuur, die bij een lage licht-intensiteit bijna alle fotonen kan omzetten. Dit hoge chemische

rendement is te danken aan de zogeheten 'responsieve matrix', de eiwitomgeving waarin de verschillende onderdelen van het natuurlijk fotosynthesesysteem is ingebed. Deze responsieve matrix zorgt ervoor dat de opeenvolgende stappen in de fotosynthese met minimale verliezen worden doorlopen. Moderne meettechnieken en het gebruik van kwantummechanische modellen hebben ons veel kennis verschaft over de werking ervan; kennis die het mogelijk maakt om het kunstje van de natuur na te doen in een kunstmatig systeem.

Robuust en goedkoop

Om te kunnen concurreren met andere technologieën voor de productie van waterstof, proberen we het gebruik van zeldzame en dure materialen te vermijden en de hoeveelheid materiaal te beperken. Dat geldt zowel voor de katalysatoren als de halfgeleiders.

Voor katalysatoren gebruiken we de natuur als inspiratie. Het voordeel van natuurlijke systemen is dat ze in potentie ook zelfassemblerend zijn en dus gemakkelijker te maken. Er zijn al verschillende katalysatoren ontwikkeld die zijn gebaseerd op organische moleculen, waarvan we de reactiesnelheid en duurzaamheid verder kunnen verbeteren. Ook zijn er kleurstofmoleculen gevonden die geschikt zijn om zonlicht in te vangen. Door deze moleculen aan een oppervlak te verankeren, kunnen we hun bruikbaarheid en efficiëntie verbeteren.

Voor het fabriceren van halfgeleiders kijken we naar anorganische nanomaterialen waarmee we het oppervlak kunnen vergroten, zodat we per m² kunstmatig blad meer (moleculaire) katalysator kunnen binden. Ook hier zoeken we naar goedkope grondstoffen die ruim voorradig zijn.

Maatschappelijke inbedding

Met de huidige technologie levert 20 m² garagedak met kunstmatige bladeren voldoende waterstof op om een Toyota Mirai, een auto met brandstofcellen die in 2017 op de Nederlandse markt wordt geïntroduceerd, een kleine 4.000 km te laten rijden. Door verbeterde auto-, brandstof-

Absorptie van zonlicht

De zonnestraling die we op aarde ontvangen beslaat een breed spectrum van golflengtes en bevat zowel fotonen met hoge energie in het ultraviolette spectrum en het zichtbare licht als fotonen met lage energie in het infrarode spectrum. De bladgroenkorrels in planten absorberen licht in het zichtbare deel, met een golflengte onder de 700 nanometer. Daarmee gebruiken planten maar de helft van het aantal fotonen, zij het dat die fotonen een hoog potentiaalverschil kunnen leveren: ze hebben genoeg energie om een verschil van 1,8 Volt te overbruggen. Zonnecellen van silicium absorberen licht onder de 1.100 nanometer. Daarmee absorberen ze dus meer fotonen, maar leveren wel een lager potentiaalverschil (1,1 Volt).

Fotosynthese

In natuurlijke fotosynthesesystemen verloopt de omzetting van zonlicht in suikers in vier stappen, te weten:

1. Het absorberen en concentreren van fotonen door antennemoleculen (bladgroen);
2. Het omzetten van de energie uit zonlicht in twee gescheiden elektrische ladingen;
3. Het verzamelen van de positieve ladingen, waarmee water wordt gesplitst in waterstofionen en zuurstof: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$;
4. De productie van brandstof uit CO_2 , waarbij opnieuw gebruik wordt gemaakt van fotonen uit zonlicht, de negatieve geladen elektronen en de waterstofionen uit de voorgaande stap: $\text{CO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow (\text{H}_2\text{CO}) + \text{H}_2\text{O}$.

Gecombineerd leidt dit tot de volledige fotosynthesereactie: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{H}_2\text{CO}) + \text{O}_2$



Planten kunnen zonlicht omzetten in suikers

cellen- en fotosynthesetechniek kan dat in de komende 10 jaar oplopen naar zo'n 28.000 km per jaar.

Naast de technisch-wetenschappelijke aspecten van kunstmatige fotosynthese besteden we in BioSolar Cells aandacht aan de maatschappelijke aspecten en wensen op het gebied van duurzame energievoorziening. Kiezen we voor centrale productie in grote parken en integratie in de bestaande energie-infrastructuur? Of voor decentrale productie op daken van woningen en bedrijfsgebouwen, bijvoorbeeld gekoppeld aan auto's die rijden op waterstof? Wie profiteert van de voordelen en wat zijn de nadelen en risico's? We hopen dat verdere discussie en verdieping aan de hand van dit soort vragen ons helpen om vorm te geven

aan een biobased economy die is verankerd in een economisch en sociaal duurzame samenleving.

Dit artikel is gebaseerd op een recente publicatie over kunstmatige fotosynthese in de reeks 'Groene Grondstoffen'. BioSolar Cells is een publiek-private samenwerking die in 2010 is gestart en wordt gefinancierd door FOM/ALW/NWO, het Nederlandse ministerie van Economische Zaken, een groot aantal bedrijven en een aantal Nederlandse universiteiten en onderzoeksinstituten. Meer informatie over BioSolar Cells is te vinden op www.biosolarcells.nl

Robin Purchase, Huib de Vriend en Huub de Groot