

KUNSTMATIG BLAD LEVERT VOEDSEL VOOR CHEMISCHE INDUSTRIE



In 2030 moet eenderde van de chemische industrie 'biobased' zijn. Dat wil zeggen gebruikmaken van groene grondstoffen. Het probleem is alleen dat de natuur niet zo erg efficiënt is bij het omzetten van zonlicht in energie en chemicaliën. „We moeten ons niet baseren op de natuur, maar er ons door laten inspireren om het beter te doen”, vinden **René Klein Lankhorst** en **Huib de Vriend**. In het BioSolar Cells-onderzoeksprogramma ontwikkelt Nederland kunstmatige bladeren waarin fotosynthese wordt nagebootst voor de productie van grondstoffen uit zonlicht, water en CO₂.

Voor de productie van energie en chemicaliën maken we nog altijd op grote schaal gebruik van fossiele bronnen, omdat die nog steeds volop voorradig zijn en aantrekkelijk geprijsd. Het gebruik ervan leidt echter tot de uitstoot van CO₂ en draagt daarmee bij aan klimaatverandering. Bovendien gaat de exploitatie van fossiele bronnen gepaard met vervuiling van water en lucht. Met de zon beschikken we over een enorme, schone en schier oneindige energiebron.

Met zonnepanelen en zonnecentrales wordt zonne-energie in toenemende mate benut voor het opwekken van elektriciteit. Daar kunnen we apparaten op laten draaien, woningen mee verwarmen en elektrische auto's op laten rijden. We hebben echter ook schone brandstoffen en grondstoffen voor de chemische industrie nodig. Ook daarbij kan de zon ons helpen. Biomassa - organische (rest)producten uit de bosbouw, landbouw en industrie - wordt inmiddels op grote schaal gebruikt als bron van energie, onder andere door bijstoken in kolencentrales.

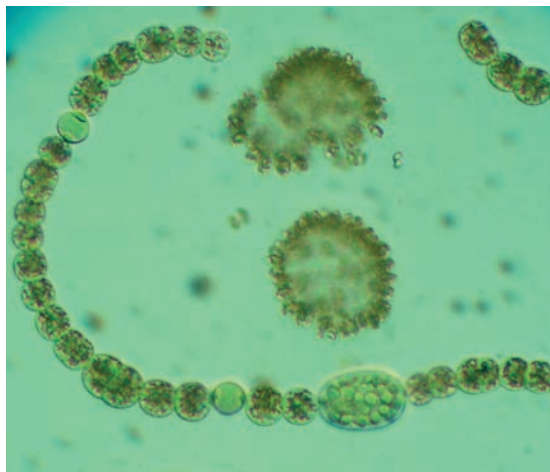
Diezelfde biomassa wordt in de chemische industrie steeds vaker gebruikt als grondstof voor chemicaliën. Planten,

algen en micro-organismen blijken uitstekend inzetbaar als leverancier van specifieke chemische verbindingen (fijnchemie) voor de productie van levensmiddelen, farmaceutica en cosmetica. Via bioraffinage worden micro-organismen - al dan niet genetisch gemodificeerd - gebruikt voor het omzetten van lignine en cellulose in suikers en/of van suikers in bio-ethanol, biobutanol en andere grondstoffen voor de bulkchemie.

NIET ERG EFFICIËNT

Er zijn twee, of eigenlijk drie redenen waarom de route via plantaardige biomassa niet erg gunstig is. Op de eerste plaats absorberen planten slechts een deel van het zonlicht en daarmee van de energie die de zon levert. Ten tweede leggen de meeste planten niet meer dan 0,1 tot 1% van de energie uit het wel ingevangen zonlicht vast in suikers of andere vormen van chemische energie. Het grootste deel van de energie gaat verloren in de tussenstappen die nodig zijn om biomassa te maken.

En de derde reden is dat (plantaardige) biomassa als zodanig meestal niet geschikt is als grondstof. Er zijn chemische, fysische of microbiële processtap-



Cyanobacterien (blauwalgen) benutten zonlicht beter dan planten en bomen en vragen maar weinig inputs

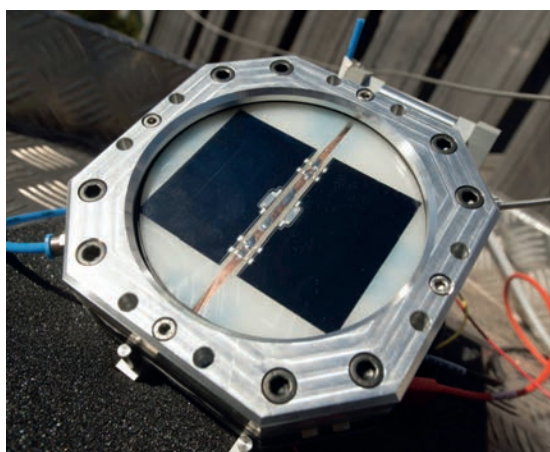
pen nodig om tot bruikbare inputs voor de chemische industrie te komen. Ook die processtappen kosten energie. Vanwege hun hoge toegevoegde waarde is dat bij fijnchemicaliën niet persé een probleem, maar in de bulkchemie wordt gewerkt met grondstoffen met een veel lagere toegevoegde waarde en is het dus van groot belang de bewerkingsstappen te minimaliseren.

RECHTSTREEKSE CONVERSIE

In het BioSolar Cells-consortium zijn twee strategieën uitgewerkt voor het verbeteren van de conversie van zonlicht naar eindproducten. Een strategie richt zich op verbetering van de efficiëntie van de fotosynthese zelf, de andere op het uitschakelen van de

(bio)raffinage stap door het rechtstreeks omzetten van zonlicht, water en CO₂ in een eindproduct. Deze twee strategieën komen samen in de ontwikkeling van kunstmatige bladeren, waarin het fotosyntheseproces met biologische en niet-biologische componenten wordt nagebootst.

Het BioSolar Cells-consortium is opgericht in 2010 en bestaat uit 10 kennisinstellingen en 45 bedrijven en richt zich op onderzoek naar de werking van fotosynthese. Voor een deel wordt de kennis die dat oplevert, gebruikt voor het verbeteren van de fotosynthese in planten en voor de productie van brandstof en basischemicaliën in algen en cyanobacteriën. Laatstgenoemde organismen zijn interessant omdat ze van nature



Prototype van een kunstmatig blad, opgebouwd uit een lichtgevoelige laag, een membraan en een katalysator. Er gaat water in en er komt waterstof en zuurstof uit. waterstof en zuurstof

al een veel groter deel van de energie uit zonlicht (tot 5%) benutten, terwijl ze relatief weinig inputs vragen; ze groeien op voedingsstoffen uit afvalstromen, (zout) water, CO₂ en licht. Bovendien kunnen ze worden gemodificeerd zodat het eindproduct rechtstreeks kan worden geoogst uit het medium waarin ze groeien.

KUNSTMATIG BLAD

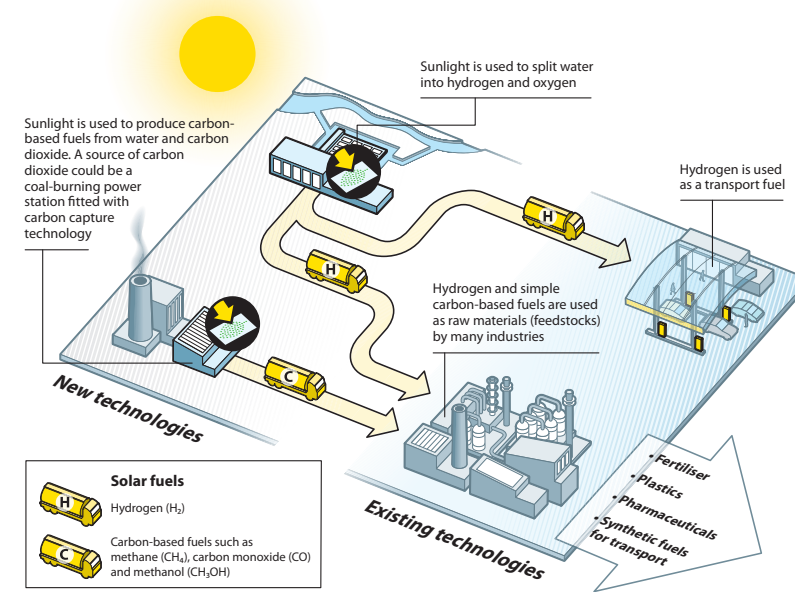
Naast verbeteren van de natuurlijke fotosynthese in planten, algen en bacteriën, richt het onderzoek zich op een nog verdere vermindering van het energieverlies door de ontwikkeling van systemen voor kunstmatige fotosynthese. Daarbij wordt de energie uit zonlicht in drie stappen vastgelegd in waterstof. In de eerste stap worden fotonen - de dragers van energie uit zonlicht - opgevangen met een spiegel waarachter zich een laag bevindt met lichtgevoelige moleculen die de energie opnemen. Die moleculen kunnen het volledige spectrum van zonlicht absorberen, waardoor een groter deel van de ingestraalde energie wordt benut dan het geval is bij planten.

In de tweede stap wordt die energie omgezet in twee gescheiden elektrische ladingen die vervolgens in de derde stap via een katalytisch proces worden gebruikt voor het chemisch splitsen van water in waterstof en zuurstof. Volgens theoretische schattingen zouden we op deze manier in Nederland 75 ton waterstof per hectare nuttig oppervlak per jaar kunnen produceren. Rond de evenaar zal dat een factor 3 hoger zijn. Inmiddels zijn in het BioSolar Cells-consortium vijf verschillende prototypes ontwikkeld en is het mogelijk om in het laboratorium waterstofgas te produceren uit zonlicht met een efficiëntie van 5%. Verder ontwikkelingswerk is nodig om de efficiëntie te verbeteren, het systeem robuuster te maken en de kosten te verlagen.

HERGEBRUIK VAN CO₂

Waterstof is in principe geschikt als brandstof voor bijvoorbeeld auto's, maar is veel interessanter als grondstof voor de productie van koolwaterstofverbindingen omdat we daarmee CO₂ kunnen vastleggen. Dat kan door waterstof onder toevoeging van energie (uit zon-

What could the production and use of solar fuels look like?



Productie van zonnegrondstoffen en -brandstoffen (Bron: RSC)

licht) te laten reageren met CO₂ volgens de reactievergelijking:



De benodigde CO₂ kan uit de lucht komen, maar we kunnen ook gebruikmaken van puntbronnen zoals de staalindustrie. Uitgaande van 20 ton/km² waterstof kun je dan per dag 460 ton mierenzuur (HCOOH), 280 ton koolmonoxide (CO), 40 ton methaan (CH₄) of 107 ton methanol (CH₃OH) maken (zie tabel). De (bio)raffinageproces die nodig is bij de conventionele en biobased conversie van zonlicht naar een product, wordt hier dus volledig overgeslagen.

GLAZEN BOL

Met deze technologie kunnen we in 2050 niet alleen 100% van de dan benodigde elektriciteit uit zonlicht halen, maar ook de helft van al onze vloeibare brandstof voor personenauto's in de vorm van waterstof. Eveneens de helft van de vloeibare brandstoffen die nodig zijn voor luchtvaart en vrachtvervoer - kerosine en diesel - kunnen we uit biomassa, algen en kunstmatige bladeren halen. Dat

betekent dat de helft van de dan benodigde transportbrandstoffen, gebaseerd is op fossiele bronnen. De CO₂ die daarbij vrijkomt, kunnen we echter via omzetting met waterstof benutten voor de productie van nieuwe brandstof en van grondstoffen voor de chemische industrie. Als we nog wat dieper in onze glazen bol kijken, dan zien we in de daarop volgende vijftig jaar het gebruik van fossiele bronnen tot nul afnemen, terwijl er efficiënte technieken beschikbaar komen om de benodigde CO₂ uit de atmosfeer te halen. Voordat we kunnen beschikken over goedkope en duurzame systemen voor de productie van waterstof en van koolstofhoudende brandstoffen en grondstoffen, moeten nog een aantal belangrijke stappen worden gezet. De vijf prototypes van kunstmatige bladeren die we in het BioSolar Cells-programma hebben ontwikkeld, zijn nog maar een paar vierkante centimeter groot, hebben een korte levensduur en zijn gemaakt van kostbare, zeldzame materialen.

STAPPEN

De eerste stap is opschaling. Hoe komen we van die paar vierkante centimeters

| Eindproduct | Reactie | CO ₂ conversie potentieel | Brand- of grondstof productiepotentieel |
|--------------|---|--------------------------------------|---|
| Waterstofgas | 2H ⁺ + 2e ⁻ → H ₂ | - | 75 |
| Mierenzuur | CO ₂ + 2H ⁺ + 2e ⁻ → HCOOH | 1.606 | 1.679 |
| Koolmonoxide | CO ₂ + 2H ⁺ + 2e ⁻ → CO + H ₂ O | 1.606 | 1.022 |
| Formaldehyde | CO ₂ + 4H ⁺ + 4e ⁻ → HCHO + H ₂ O | 803 | 547 |
| Methanol | CO ₂ + 6H ⁺ + 6e ⁻ → CH ₃ OH + H ₂ O | 537 | 390 |
| Methaan | CO ₂ + 8H ⁺ + 8e ⁻ → CH ₄ + 2H ₂ O | 401 | 146 |

Tabel: Productiepotentieel van kunstmatige bladeren voor Nederland (ton/ha/jaar) en de hoeveelheid CO₂ die daarbij wordt vastgelegd.

KUNSTMATIG BLAD MAAKT RIJDEN OP MIERENZUUR EFFICIENTER

Studenten van de Technische Universiteit Eindhoven werken samen met busbouwer VDL aan een bus die mierenzuur als brandstof gebruikt. Voorlopig mierenzuur uit fossiele bron, maar de bedoeling is dat elektriciteit uit wind en zon wordt omgezet in waterstof, dat vervolgens weer met CO₂ wordt omgezet in mierenzuur. Eenmaal getankt wordt het mierenzuur in een aparte reactor in de bus weer omgezet in waterstof - dat als brandstof dient - en CO₂. Het voorgestelde traject, waarvan de werking begin dit jaar werd aangetoond in een schaalmodel van een Porsche, is nogal omslachtig. Als gevolg van de reeks omzettingen - van elektriciteit naar waterstof naar




mierenzuur en weer terug - gaat 70 tot 80 procent van de uit zon en wind geogste elektriciteit verloren. Met een kunstmatig blad zouden zonlicht en CO₂ rechtstreeks omgezet kunnen worden in mierenzuur, waardoor een fors deel van de omzettingsverliezen teniet kan worden gedaan.

naar de benodigde vierkante kilometers in de toekomst? Om deze vraag te beantwoorden willen we over vijf jaar de stap hebben gezet naar een demonstratieopstelling van 100 vierkante meter, waarin we de verschillende laboratorium-concepten gaan testen. Tijdens het opschalen naar het niveau van vierkante meters moeten nog veel wetenschappelijke vragen worden beantwoord en veel technische problemen worden opgelost.

Tweede stap is het verhogen van de efficiëntie van de kunstmatige bladeren, zodat ze niet 5 maar minimaal 20% van het ingevangen zonlicht omzetten in waterstof. Tegelijkertijd moeten we onderzoek doen naar stabiele en goedkope, ruim voorradige materialen voor het maken van kunstmatige bladeren. De derde stap tenslotte betreft de ontwikkeling van kunstmatige bladeren die koolwaterstoffen kunnen maken uit CO₂. Die ontwikkeling loopt momenteel nog een paar jaar achter bij de ontwikkeling om waterstof te maken uit

zonlicht en water. Op dit terrein zal de komende jaren nog veel fundamenteel onderzoek verricht moeten worden voordat de eerste prototypes ontwikkeld zijn.

Met het BioSolar Cells-programma is in Nederland een goede basis gelegd om die vervolgstappen te zetten. We hebben ook de kennis en kunde in huis om die basis verder uit te bouwen. Op die manier kan een flinke bijdrage geleverd worden aan de duurzame productie van basisgrondstoffen voor de chemie met behulp van zonlicht, water en CO₂ met technieken die zijn geïnspireerd op de natuurlijke fotosynthese. 

René Klein Lankhorst is Algemeen Directeur van het BioSolar Cells-consortium. Huib de Vriend is zelfstandig adviseur maatschappelijk verantwoorde innovatie in life-sciences. Meer informatie over BioSolar Cells is te vinden op www.biosolarcells.nl

Beeld: **Istock en Bio Solar Cells.**