

De beste **plant** is nep

#Energie Wereldwijd werken onderzoekers koortsachtig aan dé oplossing van het energievraagstuk: 'kunstmatige bladeren' die met behulp van zonlicht water direct omzetten in waterstofgas. Op kop in de race ligt het team van de Amsterdamse hoogleraar Joost Reek: 'Misschien kunnen we de plant verbeteren.'

Tekst **Marcel Hulspas** Illustratie **Merijn Beeldverteller**



Als het gaat om het schoon benutten van zonne-energie, kunnen we een voorbeeld nemen aan een plant. Een plant maakt van zonlicht, water en koolzuur suikers – de natuurlijke manier om brandstof te produceren. Hoog tijd om die slimme groene truc na te bootsen, liefst op grote schaal. In ons land is daarom dit jaar het onderzoeksprogramma Towards Biosolar Cells van start gegaan, dat in de komende vijf jaar een aantal proefopstellingen moet afleveren die ook zonlichtgedreven brandstof moeten produceren om vooral duidelijk te krijgen welke het best geschikt kunnen worden voor toepassingen. Daarom, zo legt de Amsterdamse hoogleraar homogene en supramoleculaire katalyse Joost Reek uit, zijn er drie onderzoeksrichtingen uitgezet.

Ten eerste is er het onderzoek naar het optimaliseren van het biologisch systeem. We willen kijken hoe we kunnen ingrijpen in het huishouden van de planten om die omzetting van zonne-energie naar suikers efficiënter te kunnen maken. Je moet bedenken dat planten helemaal niet zo efficiënt zijn: ze leggen maar 1 procent van de zonne-energie vast in chemische energie. Daar liggen dus kansen. In het andere thema richten onderzoekers zich op algen en cyanobacteriën, die dusdanig aangepast worden dat ze uit zonlicht direct brandstof, zoals ethanol, gaan produceren. Het voordeel ten opzichte van planten is dat ze geen extra kunstmest nodig hebben en hogere rendementen kunnen halen. En in het derde thema is er het onderzoek naar het direct imiteren van de fotosynthese.

Dat is waar ik me, in samenwerking met collega's van de VU, Leiden en Delft, mee bezig hou.'

Doen wat een blad ook doet, daar komt het op neer.

'We willen een volledig artificieel systeem maken waarmee we zonlicht kunnen gebruiken om een brandstof te produceren. Welke brandstof dat wordt, is in dit stadium niet van belang. Cruciaal is dat het een proces is waarbij steeds energie moet worden toegevoegd, en dat die energie, net als bij de plant, gehaald wordt uit zonlicht. De eerste stap in de plant is het splitsen van watermoleculen in zuurstof en protonen en elektronen, en daar kun je dan weer waterstof mee maken. En waterstofgas is voor ons mensen een interessante brandstof. De plant neemt koolzuur op om koolwaterstoffen te maken, maar zo ver hoeven wij nog niet te gaan. Die eerste stap – het splitsen van water – is ook de grootste uitdaging.'

Moeder Natuur heeft in de loop van miljoenen jaren een heel mooi systeem ontwikkeld om die truc in kleine stapjes uit te voeren. Een sluw 'antennensysteem' vangt de invallende fotonen op en concentreert de energie via een uiterst complex systeem, zodanig dat er elektronen uit zogenoemde mangaanclusters gehaald kunnen worden, zodat het in staat is om watermoleculen op te splitsen in zuurstofmoleculen en losse protonen. Die zuurstof ontsnapt, maar de protonen en elektronen worden naar andere eiwitten geleid om daar verder hun werk te doen. Weer andere enzymen, hydrogenases, gebouwd rond een ijzercomplex, kunnen enorm efficiënt

van elektronen en protonen waterstofgas maken. Reek en zijn team kunnen de afzonderlijke onderdelen van het systeem, water splitsen en waterstofgas maken, nabootsen, maar daarmee zijn ze er nog niet:

'De kunst is om de chromoforen op de juiste afstand te plaatsen van de moleculen die de volgende stappen moeten uitvoeren. Niet te ver, niet te dichtbij. In het geval van de eerste stap, het splitsen van water, zijn we daar nog niet in geslaagd. Dat splitsen is niet het probleem, maar de katalysator die dat doet, moeten we op een andere manier van energie voorzien. Maar het is ons twee jaar geleden wél gelukt om een chromofoor met moleculair klittenband te koppelen aan de katalysator die protonen omzet in waterstof. Als eerste onderzoeksgroep ter wereld hadden we

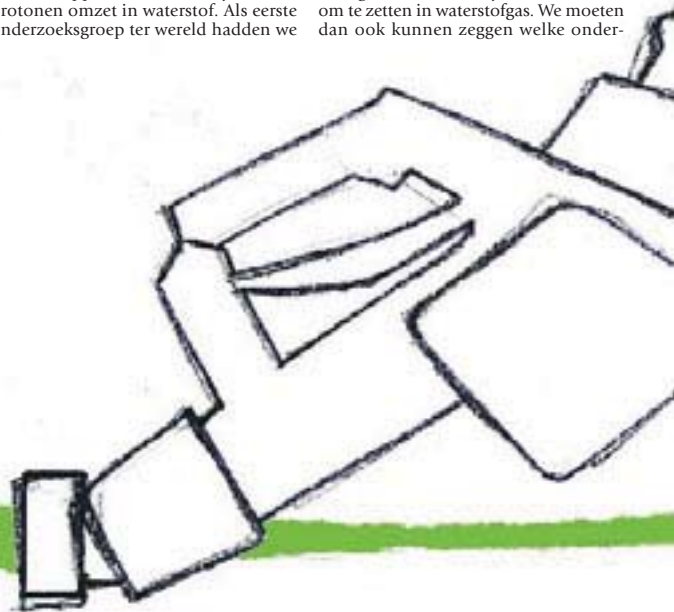
een lichtgedreven waterstofgenerator.'

Nu die eerste koppeling nog, en het blad is klaar?

'Nou, misschien kunnen we de plant verbeteren. Planten maken geen gebruik van het hele spectrum. Misschien kunnen we een artificieel systeem ontwikkelen dat veel meer golflengte kan benutten, en daardoor dus veel efficiënter is dan planten.'

Waar wil je over vijf jaar staan?

'Er zijn nog veel fundamentele vragen, we moeten nog veel leren, maar ik hoop dat we over vijf jaar een bioreactor hebben, met algen die brandstoffen produceren, en zeg twee artificieële systemen om licht om te zetten in waterstofgas. We moeten dan ook kunnen zeggen welke onder-



Griekse geruchten

Volgens de Griekse toneelschrijver Aeschylus kon beeldhouwer/uitvinder Daedalus (die van de vlucht naar de zon) beelden maken die konden bewegen.



Duivelse tronie

Wijsgeer Albertus zou een mechanisch hoofd hebben gemaakt dat kon spreken. Thomas van Aquino zou het aan stukken hebben geslagen.



Bronzen verschrikking

Volgens biograaf Giorgio Vasari zou Leonardo da Vinci voor de graaf van Milaan een mechanische leeuw hebben gemaakt die kon lopen en brullen.





ten zie je dat de onderdelen na een paar dagen vervangen worden.

Na een week heb je eigenlijk een blad vol compleet nieuwe brandstoffabriekjes. Dat wil je in principe niet; we willen iets maken dat jaren meegaat, dat veel stabiel is.'

Waterstofgas is wel gevaarlijk.

'Het is lastiger in gebruik dan ethanol of methanol, maar dat zijn koolwaterstoffen en om die te maken moeten we de volgende stap van de fotosynthese onder de knie krijgen: het afvangen en benutten van koolzuurgas uit de atmosfeer. Het afvangen en het reduceren zijn nog lastige problemen waar we uiteraard ook aan werken.'

En de auto voor de deur?

'Ik heb eens uitgerekend dat als we auto's zouden bekleden met artificieel blad dat heel efficiënt met het zonlicht omgaat, dat auto zelf per jaar een hoeveelheid energie kan produceren die overeenkomt met duizend liter diesel. Voor de meeste auto's is dat genoeg.'

Een blad nabootsen, verbeteren zelfs: het klinkt fantastisch. Hoeveel onderzoekers hebben zich hier al op gestort?

'Heel veel, in Europa én in de VS. Onze grootste concurrent is, denk ik, Michael Nocera van het MIT. Die is ook ver en heeft ook plannen om binnen een aantal jaar het eerste artificiële systeem op de markt te brengen.'

zoeksrichtingen het meest kansrijk zijn voor toepassing op grote schaal. En ook hoe we de verschillende systemen verder kunnen optimaliseren. Om een voorbeeld te geven: op dit moment werken we voor dat splitsen van watermoleculen met een katalysator gebaseerd op iridium. Dat is een zeldzaam metaal, dat kun je nooit op grote schaal gebruiken, óf je moet in staat zijn om het zéér efficiënt te benutten. Daarover moet we over vijf jaar een beslissing kunnen nemen. Uiteindelijk wil je dat ieder huishouden in zijn eigen energie voorziet door middel van zonlicht. Bijvoorbeeld een dak bedekt met platen die waterstofgas produceren.'

En dat liefst tien, vijftien jaar zonder haperen.

'Ook dat is een interessant punt. Bij plan-

MIT

De Amerikaanse uitdager: Dan Nocera

Het team van Joost Reek heeft maar één echte concurrent: de Amerikaanse onderzoeker Daniel Nocera van het prestigieuze MIT. En die pakt het Amerikaans aan. Terwijl de Nederlanders in betrekkelijke stilte doorwerken, is elk persbericht van Nocera meteen wereldnieuws.

Nocera wil in principe hetzelfde bereiken als de Nederlanders: water splitsen in waterstof en zuurstof. In maart heeft hij een eerste *artificial leaf* gedemonstreerd, formaat speelkaart, gemaakt van silicium. Daarop zijn op sluwe wijze zonnecellen en de noodzakelijke katalysatoren verwerkt. Reek werkt anders: met behulp van chromofoor, kunstmatig chlorofyl, en zijn katalysatoren zijn gebaseerd op ijzer en iridium. Nocera heeft katalysatoren ontwikkeld op basis van nikkel en kobalt. Geen dure, zeldzame metalen, dus ze zijn zeker veelbelovend. Maar of zijn systeem werkelijk iets wordt, of het uiteindelijk méér toekomst heeft dan wat het Nederlandse onderzoeksprogramma gaat opleveren, dat is voorlopig nog volstrekt onduidelijk.

Dankzij zijn gevoel voor publiciteit heeft Nocera echter veel media-aandacht gekregen – en

daarmee investeerders. Het Indiase Tata Steel investeert in Nocera's bedrijf Sun Catalytix dat de technologie naar de markt moet gaan brengen. Niet zo gek dat juist een Indiaas bedrijf belangstelling heeft: daar hebben miljoenen mensen geen aansluiting op het elektriciteitsnet, terwijl er zonlicht genoeg is. Wie weet kan iedereen daar straks zijn eigen waterstof maken met zijn eigen 'kunstmatige boom' naast de deur. Nocera benadrukt dat je voor zijn systeem echt geen zuiver water nodig hebt – een beetje vuil mag best. Als het blad maar regelmatig schoongeveegd wordt. Echt een uitkomst dus voor ontwikkelingslanden. 'Het duurt nog zo'n drie tot vijf jaar voordat het product klaar is', laat Nocera per e-mail weten. En wanneer kunnen we in het rijke Westen zijn kunstbladeren zien groeien? 'Voor ons is het nog te duur, want stroom uit waterstof zal nooit zo goedkoop zijn als stroom uit kolen. Om de wereld echt te veranderen, heb je overheidsprikkels als een CO₂-prijs nodig.'

Jan-Hein Strop



Wereldtopper

Joost Reek studeerde in Nijmegen en werd in 2006 hoogleraar aan de Universiteit van Amsterdam.

Hij publiceerde twee jaar geleden in de Amerikaanse *Proceedings of the National Academy of Sciences* een belangrijke door-

braak op het terrein van de kunstmatige productie van waterstofgas uit water, met behulp van zonlicht.

Sindsdien behoort zijn onderzoeksgroep tot de wereldtop op dit terrein.

Wageningen en Delfzijl

Van CO₂ in één keer naar methanol

In het kader van het programma Towards Biosolar Cells worden vele mogelijke combinaties van anorganische chemie, biochemie en biotechnologie onderzocht – zolang het maar schone energie kan opleveren. Zo werkt de universiteit Wageningen samen met biomethanol-producent BioMCN in Delfzijl aan een project dat planten op een compleet andere manier wil imiteren – en wie weet verbeteren.

De onderzoeksgroep van Joost Reek in Amsterdam wil voorlopig niet verder gaan dan het produceren van waterstofgas uit water. Planten zetten daarna een volgende stap: ze halen CO₂ uit de atmosfeer, breken dat af en com-

bineren hun waterstof met de koolstof om langere koolwaterstofketens (suikers, cellulose) te maken.

Het Wagenings-Delfzijlse BIOCOMET-project wil die beide stappen in één keer zetten: de onderzoekers willen CO₂ die door fabrieken wordt uitgestoten, opvangen en deze in contact brengen met water, waarna slimme enzymen, gebaseerd op de enzymen die ook in de plant dit zware werk doen, beide stoffen combineren tot methanol (CH₃OH). De hiervoor benodigde energie moet dan komen uit zonnecellen. Die methanol is dan weer grondstof voor plastics en brandstoffen zoals biodiesel.

Vrouw aan boord!

Het verhaal gaat dat toen René Descartes in 1648 verhuisde, zeelieden in zijn bagage een vrouwelijke robot aantroffen. Ze smeten haar overboord.

Nog niks bedacht

In Neuchâtel zijn twee mechanische jongetjes te bewonderen, gebouwd rond 1750. De een tekent, de ander schrijft: 'Ik denk, dus ik besta'.

Encore!

In 1776 hadden Pierre en Henri-Louis Jaquet-Droz groot succes in Londen met een vrouwelijke robot die vijf liedjes kon spelen op een spinet.