

Plant haalt energie uit water en zonlicht

# Onnavolgbaar

**W**at doet fotosynthese, zonder meer het belangrijkste levensproces op aarde? Niets minder dan water in zuurstof en waterstof splitsen. En in het voorbijgaan ruimt de plant ook nog eens de overvloed aan CO<sub>2</sub> op door er nuttige stoffen van te maken.

“Per dag levert de zon evenveel energie als de hele mensheid in een jaar opmaakt”, zegt Devens Gust, professor organische chemie en als onderzoeker verbonden aan het ASU ‘Center for the study of early events in photosynthesis’ van Arizona State University. Het centrum, gefinancierd door het Department of Energy (DOE), de National Science Foundation en het National Institute of Health, loopt wereldwijd voorop in het onderzoek naar kunstmatige fotosynthese. “In het zuurstofvormende complex van de plant”, legt hij uit, “zet chlorofyl water en licht verbazingwekkend goed in stroom om. Dat gaat vele malen efficiënter dan met elektrodes. Kunnen we niet chlorofyl ontwerpen waarin we fotosynthese nabootsen om daaruit, net als de plant, energie te halen?”

De vraag impliceert meteen het antwoord van de biochemische wetenschap: talloze onderzoekers in de EU, Japan, VS en Groot-Brittannië zijn op zoek naar vervangers van de katalysator – die het proces moet aanjagen – en de receptor – waar waterstof uit splitsing van water wordt vastgehouden. Daniel Nocera, hoofd van het departement chemie aan het Massachusetts Institute of Technology (MIT), heeft als katalysator rhodium, een nogal duur metaal, gebruikt. Nocera’s reactie zorgde ervoor dat de fotonen waterstof vrijmaakten.

Maar dat is slechts de helft van de vergelijking. “Kijk”, zegt Stenbjörn Styring, “er zijn natuurlijk honderden manieren om waterstof te winnen. Maar we kennen er slechts één – natuurlijke fotosynthese – die waterstof en zuurstofgas middels een katalysator uit het water haalt. Dat imiteren is een gigantische uitdaging.”

Professor Styring, Europees expert biomimetica, leidt sinds 1994 het Zweeds consortium voor kunstmatige fotosynthese en de biochemische onderzoeksgroep van Solar H, het door de EU

**De natuur is onnavolgbaar. Wij maar denken dat we heersers van de schepping zijn. Maar de eerste de beste plant maakt intelligenter gebruik van het daglicht dan wij. Beetje water. Beetje zon. En zij maken er energie van. Onderzoekers zien nabootsing van het wonder van fotosynthese dan ook als ‘de heilige graal’. Net als de plant, gratis en voor niets, oneindige energiebronnen uit zonlicht halen! P+ speurde de hele wereld af. En vernam dat de eerste proefopstelling met kunstmatige fotosynthese pas over vijftien, twintig jaar valt te verwachten.**

Tseard Zoethout

Fotografie door Misha Keijser

Het proeflab op de Wageningen University van professor René Wijffels. Hij gelooft niet dat we fotosynthese kunnen nabootsen. Wel dat algen meer dan nu een bron voor biodiesel en ethanol kunnen zijn.

# Plant haalt energie uit water en zonlicht

## Wageningse energiealgen

Al in 1912 schetste Giacomo Ciamician, een Italiaanse chemicus, in vaktijdschrift 'Science' een toekomstvisioen waarbij talloze schoorstenen vervangen werden door nog veel meer bossen schone glazen buisjes. Daarin zouden we het 'best bewaakte geheim van de plant' nabootsen en voor altijd over onbeperkte duurzame energie beschikken. Zouden planten straks inderdaad de onuitputtelijke vervanger van olie worden?

Misschien. Maar de toekomst gaat altijd anders dan je het hebt voorgesteld. De bossen glazen buizen van Ciamician zijn er niet gekomen. Hoewel? Over de hele wereld worden experimenten gehouden waarbij wetenschappers fotosynthese bij groene en blauwzuuralgen onderzoeken. De resultaten kunnen dan weer voor kunstmatige fotosynthese worden gebruikt. In de VS leggen biotechnologen algen bijvoorbeeld onder de loep om te kijken of ze hun DNA structuur zódanig kunnen veranderen dat de alge meer waterstof afstaat. René Wijffels, hoofd van de vakgroep bioprocesstechnologie aan Wageningen UR, heeft binnen Solar H voor andere richtingen gekozen. De efficiency van deze nabootsingstechnologie met organisch materiaal (algen) bedraagt namelijk nog niet eens 1 procent. "In feite probeer je elektronen te laten vastleggen in een systeem waarbij de alge geen voordeel heeft", zegt onze hoogleraar. "En dan wordt het een hele klus dat ook zodanig te veranderen dat je daarmee hoge rendementen bereikt. Ik geloof daar dus niet in. Waar ik wel in geloof, is om ze heel andere energiedragers te laten maken. Algen kunnen lipiden ophopen (waaruit biodiesel gehaald kan worden) en zetmeel (waar je weer ethanol van kan maken). Dat zijn routes die veel meer potentie hebben dan waterstof en zuurstof."



gesponsorde consortium waaraan ook Wageningen Universiteit deelneemt (zie kader 'Wageningse energiealgen'). Solar H heeft net een nieuwe aanvraag ingediend voor een nieuw, vierjarig contract. Enige tijd geleden hadden de Zweden een wetenschappelijke doorbraak bereikt met een biochemische nabootsing van het zuurstofvormend complex. Uit een ruthenium-manganees complex, metaalverbindingen die chlorofyl vervangen, slaagde men erin om, precies zoals in de natuur, vier elektronen te halen. "Veel vakgroepen uit de onderzoeksweld", gaat Styring door, "stortten zich vervolgens op deze nieuwe structuur. We weten inmiddels dat manganese cruciaal is om elektronen uit water te halen. Maar het doel is dat het kunstmatig systeem zelfstandig water kan splitsen. Waar komen die elektronen vandaan? Uit het water zelf. Dat is hondsmoeilijk aan te pakken. De bouwstenen zijn bekend. Maar hoe de structuur van het chlorofyl bezittende, watersplitsende enzym precies in elkaar zit en welke processen zich waar afspelen, daar beginnen we nu pas enig zicht op te krijgen."

### Water door membraan

Hoe ziet een kunstmatig fotosynthetisch systeem er in het ideale geval uit? Styring kan zich goed voorstellen dat het op een PV-paneel zal lijken. Met één doorslaggevend verschil:

niet silicium is de drager van energie maar, heel gewoon, water. Door kunstmatig membraan – dat nu nog ontwikkeld moet worden – stroomt water dat, alleen met behulp van zonlicht, in waterstof en zuurstof uiteenvalt. Zo nu en dan wat water toevoegen en... presto! Je hebt twee oneindige bronnen van duurzame energie. Net alsof je de plantjes begiet. En, hoe komt de ideale energie-infrastructuur er op basis van kunstmatige fotosynthese uit te zien? Zijn er grote velden voor nodig die gigantisch veel ruimte in beslag nemen? Verre van dat. Styring heeft het eens uitgerekend. "De jaarlijkse influx van zonlicht is in Zweden pakweg duizend kWh per vierkante meter. Als we ervan uitgaan dat de efficiëntie van waterstof 15 procent is, kunnen we met een kunstmatig fotosynthetisch systeem op het dak voldoende energie opwekken om daar een huis mee te verwarmen", zegt hij.

Literatuur: Janie M. Benyus, 'How will we harness energy?', in: Biomimicry, 1997

Philip Hunter, 'The promise of artificial photosynthesis', in: Prosper Magazine, 14 mei 2004

### Onderzoek naar kunstmatige fotosynthese:

Universiteit van Uppsala (Zweden): <http://www.fotomol.uu.se/Forskning/Biomimetics/fotosyntes/index.shtm>

Arizona State University (VS): <http://photoscience.la.asu.edu:16080/photosyn>

Massachusetts Institute of Technology (VS): <http://web.mit.edu/chemistry/dgn/www/>

Wageningen UR (Nederland): <http://marine.wur.nl>

Er is echter – en Styring geeft het onmiddellijk toe – nog zeer veel fundamenteel onderzoek te doen. De biomimeticus ziet eerder dat bioreactoren (met alge) over vijftien jaar waterstof kunnen produceren. Pas daarna verwacht hij dat kunstmatige fotosynthese in proefopstellingen getest zal worden. "Onderzoek naar kunstmatige fotosynthese lijkt op kankeronderzoek. Het gaat met kleine stapjes. Elke ontdekking roept nog grotere vragen op. Wat kunstmatige fotosynthese van natuurlijke onderscheidt, is dat de laatste een deel van de energie in levensprocessen stopt. Bij kunstmatige fotosynthese is dat niet het geval. De enige limiterende factor is de zon."

En dat horen we ironisch genoeg vanuit Uppsala, de stad in Zweden waar de bevolking de helft van het jaar smacht naar een zonnestraaltje.

## Leven uit zonlicht

Wat is fotosynthese? Iedereen is wel eens met het fascinerende onderwerp in aanraking gekomen. Volkomen terecht: het is de 'groene' basis voor alle leven op aarde. Tijdens dit biochemisch proces zetten hogere planten, de meeste algen en sommige (blauwzuur)bacteriën water en kooldioxide in glucose om. Het enige wat ze daarvoor gebruiken, is zonlicht. Glucose (oftewel suiker) wordt vervolgens gebruikt als brandstof of als bouwsteen voor andere organische verbindingen. Nu lijkt die basisformule simpel in z'n eenvoud, maar wat zich op moleculair niveau afspeelt, is zó complex dat de wetenschap pas de laatste vijftien jaar – mede dankzij betere, snellere 3D-foto's en meetapparatuur – steeds meer van de voorbijflitsende, minuscule deelreacties begint te begrijpen. Spil van het fotosynthetische proces is chlorofyl, ook wel bekend als bladgroenkorrels. De evoluerende natuur heeft er miljoenen jaren over gedaan om uit te vinden dat waterstofsulfide, een chemische verbinding die sommige bacteriën nog gebruiken, een minder geschikte kandidaat was voor het opwekken van spanning in de cel. Water bleek veel beter. Driekwart van het aardoppervlak wordt immers door water in beslag genomen.

**Want wat gebeurt daar? Onder een bepaalde golflengte van het licht splitst de cel water in zuurstof en waterstof. Het lijkt op een razendsnel spelletje pingpong. Het chlorofyl, een enzym met antenne en reactorcentrum, vangt vervolgens de energie van het licht op. Dat brengt de plant in opwinding en zorgt ervoor dat een vrijkomend foton als een hete aardappel steeds verder naar het reactorcentrum wordt geslagen. Op die manier ontstaat membraanspanning tussen centrum en top van het chlorofyl, voldoende om tot moleculaire splitsing van het water te leiden. Het eind van het liedje is dat zuurstofgas de cel verlaat en de waterstofionen onmiddellijk als voeding of brandstof worden gebruikt. Of worden opgeslagen, afhankelijk van waar de plant op dat moment behoefte aan heeft.**

**Veel van deze lichtreactie is nog onbekend. Van de tweede helft – de zogenoemde donkerreactie – begrijpen wetenschappers iets meer. Bij de donkerreactie zet de plant CO<sub>2</sub> en vrijgekomen waterstof in koolhydraten en enzymen om. Later worden daaruit proteïnen en vetten gemaakt. Andere organismen voeden zich daarna met planten en verteren deze met behulp van zuurstof die planten als bijproduct hebben afgegeven. Tijdens hun leven produceren hogere organismen en dieren CO<sub>2</sub> die door planten juist weer als bouwstof wordt opgenomen. Zo ontstaat een koolstofkringloop waarop alle levensprocessen rusten.**

## Drempels opblazen

Door Matthijs Bierman

## Koopt Hollands Biologisch

'Koopt Nederlandsche Waar'. Zo probeerde de Vereniging Nederlands Fabrikaat tevergeefs de crisisjaren door te komen. Vandaag prijzen wij onszelf als handelsnatie gelukkig met onze open economie. Wij halen het spek liever uit Denemarken als dat een paar centen goedkoper is, dan dat we onze eigen lokale boeren ondersteunen.

In de Angelsaksische landen is er veel minder gêne om de voorkeur te geven aan producten uit eigen land. Britten kopen graag Brits en importeren pas als er een tekort is. In de Verenigde Staten klinkt in biologische kring zelfs de roep om regelrecht protectionisme. Voor een agrarische senaatscommissie legde de voorzitter van de Amerikaanse biologische sector dit voorjaar een 'getuigenis' af. Daarin betoogde ze dat er heel veel import van *organic food* was. Dat niemand precies wist hoeveel. Dat de VS dat snel zouden moeten onderzoeken, omdat na jaren van trage groei de vraag naar biologisch voedsel nu explosief stijgt. De VS zullen wel naar het buitenland moeten kijken.

Het heeft wel wat, zo'n getuigenverhoor. De Amerikanen zien een probleem van verre aankomen en roepen deskundigen op. Wij hebben hier in Nederland de neiging om pas achteraf een parlementaire enquête te organiseren, als de boel in het honderd is gelopen. En dat gaat gebeuren, want ook hier stijgt de vraag naar biologisch voedsel veel sneller dan de productie. De verkrijgbaarheid stijgt in doorsnee supermarkten, en dus ook de afzet. Straks een overheid die duurzaam moet inkopen. Bedrijfsrestaurants die zich in 2010 voor een paar honderdduizend hongerige ambtenaren moeten verantwoorden voor hun inkoopbeleid. "Ik had zeker weer een vegetarische kroket, zo weinig vlees zat er in." Ik zie de grappen al voor me.

Wat goed is aan het Amerikaanse verhaal, is dat het voorstel van de biologische sector om tot een nationale aanpak te komen onderdeel zou moeten zijn van de Farm Bill, de Landbouwwet. De organisatie OTA presenteerde een zeer gedetailleerde strategie, een integraal aanvalsplan. En jawel, met een hoofdstuk 'eliminate hurdles' ofwel: 'Drempels opblazen'. Kennisinstituten worden opgetuigd, want ook in de States staat de biologische sector ver op achterstand in vergelijking met de overheids gelden die naar genetische modificatie gaan. De Amerikaanse biologische boeren vinden zelfs dat zij hier met hun belastinggeld ten onrechte voor betalen, want zelf hebben ze nooit ergens steun voor mogen ontvangen. Pas als straks bekend is welke biologische producten de Amerikanen zelf niet in de benodigde hoeveelheid kunnen leveren, komt er een verlichting van de importheffingen. Zo kunnen bewuste consumenten die kwaliteit eisen toch een compleet biologisch voedingspakket samenstellen.

Hadden we in Nederland ook maar zo'n Landbouwwet. Wat minder protectionistisch misschien. Misschien een extra vervoersheffing op al dat onnodige gesleep met vlees. Misschien een extra vergoeding voor het betere natuurbeheer dat de biologische boer uitoefent in zijn bedrijf. Meer onderzoek naar gezondheid van biologisch eten en de overige maatschappelijke voordelen van een werkelijk ecologisch geïntegreerde landbouw. Maar wel een integraal plan. Den Haag kan hierin aan Washington een voorbeeld nemen.

[matthijs.bierman@triodos.nl](mailto:matthijs.bierman@triodos.nl)

