

Fotosynthese als brandstof

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

FOTOSYNTHESE ALS BRANDSTOF

Duurzame energie uit kunstbladeren

ENERGIEBEHOEFTE

Het kan je niet ontgaan zijn: de huidige manier van energievoorziening is niet duurzaam. Fossiele brandstoffen worden opgebruikt en daarbij komt CO₂ vrij, een bekend broeikasgas. Ook in politiek opzicht is de situatie niet ideaal: veel landen met een hoog energieverbruik zijn afhankelijk van een paar oerlijke landen wat hun energiebehoefte betreft. Dit kan leiden tot internationale conflicten. Mensen zullen altijd energie nodig hebben. Sterker nog, de vraag naar energie zal alleen maar stijgen. Zo neemt de energieconsumptie van bijvoorbeeld India en China, waar de welvaart stijgt, enorm toe. Momenteel

wordt er op de wereld zo'n 13*10¹¹ J/a verbruikt. Daarom doen we veel onderzoek naar duurzame energievormen. Denk hierbij aan nucleaire energie, windenergie, energie opgewekt in watervatbrans, energie uit biomassa en blue energy (energie die vrijkomt als je water met verschillende zoutconcentraties maakt). De natuur gaat ook door middel van het fotosyntheseproces, zonne-energie voor haar energiebehoefte. Ook mensen gebruiken de zon als energiebron om elektriciteit op te wekken. Denk bijvoorbeeld aan zonnepanelen die je wel eens op een dak ziet.



ZONNECELLEN

Licht bestaat uit een aantal 'energiepakketjes' (fotonen). Hoeveel energie zo'n foton heeft, is afhankelijk van de golflengte van het licht. Zo hebben fotonen van blauw licht meer energie dan die van rood licht. De energie van het licht wordt meestal omgezet in warmte. Dit kun je goed merken als je in de zon zit. Er is inmiddels een manier gevonden om zonne-energie als elektriciteit te gebruiken. Hiervoor gebruiken we zonnecellen. In een zonnecel zitten twee materialen die zo gekozen zijn dat een elektron van het ene materiaal onder invloed van een foton naar het andere gaat. Als we de twee materialen dan met stroomdraadjes verbinden, dan kan het elektron via de draadjes heen en weer springen. Zo ontstaat er een elektronenstroom en een stroom elektronen is elektriciteit!

FOTOSYNTHESE

Mensen hebben meer behoefte aan energie in de vorm van brandstof dan van elektriciteit. Auto's rijden op brandstof en de meeste mensen koken op gas. Wetenschappers van Wageningen Universiteit proberen daarom zonne-energie te gebruiken zoals de natuur dat ook doet; namelijk als brandstof. Planten en sommige bacteriën zijn in staat om de energie van een foton anders te gebruiken dan voor elektriciteit of warmte. Ze kunnen zonne-energie omzetten in brandstof. Daarvoor hebben ze een speciaal onderdeel in de cel, de chloroplast, dat de energie van het foton op kan vangen. Vervolgens wordt deze energie gebruikt om energierijke moleculen te maken. Bij het verbranden van zo'n energierijk molecuul komt veel energie vrij. Met andere woorden; het is een brandstof.



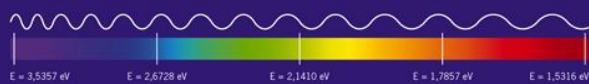
WWW.WAGENINGENUNIVERSITEIT.NL



KUNSTBLADEREN

Wetenschappers zijn bezig met de ontwikkeling van 'kunstbladeren' om brandstof uit zonne-energie te halen. In zo'n kunstblad moeten honderden moleculen (pigmenten) komen om zonne-energie op te kunnen vangen. De opgevangen energie wordt via een elektron doorgegeven aan een 'reactiecentrum'. In dit reactiecentrum wordt het elektron doorgegeven aan een molecuul naast het reactiecentrum. De afgifte van het elektron wordt dan gecombineerd van de plasmid van bijvoorbeeld een proton. Er is dan sprake van een ladingscheiding. Je kunt het vergelijken met het opladen van een batterij.

Deze 'opgeladen batterij' kan gebruikt worden om een energierijk molecuul te maken. Dan is het, net als in gewone planken, gekukt om zonnlicht om te zetten in brandstof. Nu moet alleen nog het elektronen tekort in de pigmenten aangevuld worden. Dit kan door bijvoorbeeld water te splitsen. Al deze processen zijn al mogelijk in het laboratorium. De kunst is nu om te zorgen dat deze processen ook efficiënt aan elkaar gekoppeld worden. Als dit lukt, hebben we een manier gevonden om duurzame, CO₂-neutrale brandstof te produceren.



WAGENINGEN UNIVERSITEIT
WAGENINGENUR



WAGENINGEN UNIVERSITY
WAGENINGENUR

Fotosynthese als brandstof

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

Inleiding

Het kan je niet ontgaan zijn: er zijn grote problemen met de huidige manier van energievoorziening. We halen de meeste energie uit het verstoken van fossiele brandstoffen. Deze raken op en aangezien er ook nog eens CO₂, een bekend broeikasgas, in de atmosfeer terecht komt door de verbranding, kunnen we niet preken van een duurzame situatie. Ook in politiek opzicht is de huidige situatie verre van ideaal; er zijn slechts een paar olieproducerende landen, waar alle landen met hoog energieverbruik afhankelijk van zijn. Dit leidt (of kan leiden) tot grote, internationale conflicten.

Het staat echter buiten kijf dat we energie nodig hebben om het leven van alledag mogelijk te maken. Sterker nog, de vraag naar energie zal alleen maar stijgen! Zo neemt de energieconsumptie van bijvoorbeeld India en China, waar de welvaart stijgt, enorm toe.

Momenteel wordt er op de wereld zo'n $13 \cdot 10^{12}$ J/s verbruikt.

Er wordt daarom hard gewerkt aan andere manieren van energievoorziening. Denk hierbij aan bijvoorbeeld nucleaire energie, windenergie, energie opgewekt in waterturbines, energie uit biomassa en blue energy (energie die vrijkomt als je water met verschillende zoutconcentraties mixt). Allemaal inventieve technieken. Alleen wijk je met de meeste technieken elektriciteit op, terwijl mensen $9 \cdot 10^{12}$ J/s aan energie als brandstof verbruiken. Dat is ruim 281.000 liter benzine per seconde! De vraag naar energie in de vorm van brandstof is dus groot.

Vaak loont het om ook eens te kijken hoe de natuur bepaalde problemen heeft opgelost. Dit blijkt in veel gevallen een inspiratiebron te zijn van hoe je het zelf kunt doen. Sommige wetenschappers menen dat dit ook bij het oplossen van het energieprobleem het geval is. De natuur komt aan energie doordat planten en sommige bacteriën de energie van het zonlicht om kunnen zetten in chemische energie (dit proces heet fotosynthese). En zonlicht is er in overvloed. Per jaar bereikt $3 \cdot 10^{24}$ J aan zonne-energie het aardoppervlak. Het zou mooi zijn als we in staat waren maar een piepkleine fractie van deze energie op te vangen en te kunnen gebruiken voor consumptie. Misschien ligt de oplossing van het energieprobleem dus in het opvangen van zonlicht en het vervolgens omzetten van deze energie naar een vorm waar vraag naar is. Daar gaat deze lesbrief over.

Doel

- Inzicht geven in hoe de natuur zonne-energie gebruikt
- Inzicht geven in hoe mensen tegenwoordig zonne-energie gebruiken
- Inzicht geven in hoe mensen in de toekomst zonne-energie zouden kunnen gaan gebruiken

Theorie

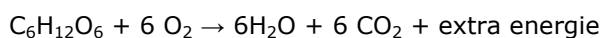
Fotosynthese

Eerst gaan we kijken hoe de natuur zonne-energie gebruikt. Dit wordt gedaan door middel van fotosynthese. Fotosynthese is het proces waarin energie van licht wordt omgezet in chemische energie. Alleen planten en sommige bacteriën zijn in staat om fotosynthese uit te voeren. Ze hebben hiervoor speciale organellen die in andere organismen ontbreken; de chloroplasten. In het membraan van de chloroplasten zitten pigmenten en deze pigmenten zijn moleculen die de energie van het zonlicht op kunnen vangen. Het bekendste pigment is chlorofyl.

De fotosynthese kan als volgt worden samengevat:



Het suikermolecuul bevat veel energierijke koolstofbindingen. Als de binding tussen twee koolstofatomen weer verbroken wordt, komt er energie vrij volgens:



Deze extra energie is vervolgens weer te gebruiken om bijvoorbeeld de cellen te onderhouden en het organisme te laten groeien. Het rendement van deze totale keten van reacties is 1 tot 2%.



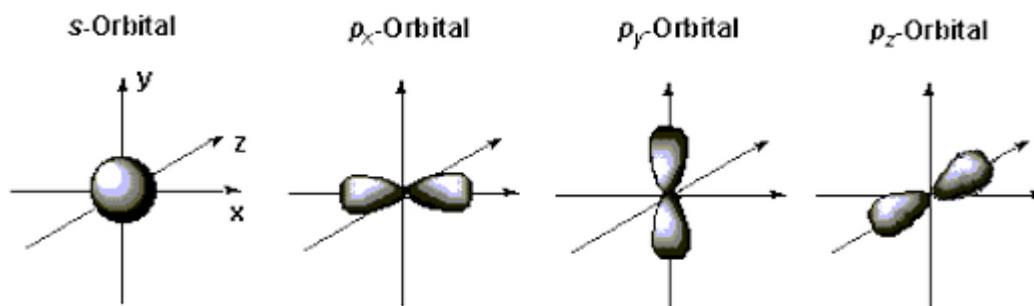
Fotosynthese als brandstof

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

Vraag 1. Wat wordt er bedoeld met de laatste zin?

Om te kunnen begrijpen hoe fotosynthese precies werkt, moeten we kijken naar wat er op moleculaire schaal gebeurt als het zonlicht bij een chloroplast komt. Daarvoor is eerst kennis over de opbouw van atomen en moleculen nodig.

Een atoom bestaat uit een kern met elektronen daar omheen. Elk elektron heeft rondom de kern een eigen gebied waar het vaak is. Meestal wordt dit de 'schil' genoemd, maar in de natuurwetenschappen wordt deze ruimte waarin een elektron zich bevindt 'orbitaal' genoemd. Er passen maar twee elektronen in één orbitaal. Elk atoom heeft meerdere orbitalen. In figuur 1 kun je een paar orbitalen zien. De vorm van de orbitalen volgen uit kwantummechanische berekeningen. Deze zijn ingewikkeld en zullen we in deze lesbrief niet behandelen. De orbitalen die het dichtst om de kern heen zitten, staan lager in energie dan die verder weg zitten. De elektronen zitten dus vaak in de orbitalen dicht bij de kern, want een lager energieniveau is gunstig. In deze orbitalen zit de negatieve lading van de elektronen het dichtst bij de positieve lading van de kern.



Figuur 1: de vorm van vier verschillende orbitalen.

Moleculen bestaan uit meerdere atomen die door overlap van de atomaire orbitalen met elkaar verbonden zijn. De orbitalen van afzonderlijke atomen hebben een sterke interactie met elkaar en vormen met elkaar moleculaire orbitalen. Ook moleculaire orbitalen hebben elk hun eigen energieniveau.

Vraag 2. Het is misschien lastig je iets voor te stellen bij de verschillende energieniveaus van orbitalen. Je kunt het vergelijken met potentiële energie die je ten gevolge van de zwaartekracht ondervindt. Stel dat de aarde het molecuul is, een orbitaal een verdieping van een gebouw en jij het elektron. Geef aan wanneer je een grotere potentiële energie bezit; op de eerste verdieping of op vijf hoog.

Fotosynthetiserende planten maken gebruik van het feit dat verschillende orbitalen een verschillend energieniveau hebben. Ze kunnen hiermee de energie van licht omzetten in chemische energie. Om dit te begrijpen, is het nodig te weten dat licht bestaat uit een reeks fotonen. Een foton is een pakketje energie. De energie van een foton is te berekenen met:

$$E(J) = h * f$$

Hierin is h de constante van Planck (de waarde hiervan is $6.6 \cdot 10^{-34}$ Js) en f de frequentie van het foton en die is weer te berekenen met de onderstaande formule:

$$f = \frac{c}{\lambda} \text{ met de lichtsnelheid } c \text{ (deze is } 3.0 \cdot 10^8 \text{ m/s) en de golflengte } \lambda \text{ in meters.}$$



Fotosynthese als brandstof

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

Je zult merken dat, als je de energie uit gaat rekenen, je te maken hebt met hele kleine getallen. Daarom wordt de energie vaak gegeven in elektronvolts. De omrekeningsfactor is:

$$E(eV) = \frac{E(J)}{1.6 * 10^{-19}}$$

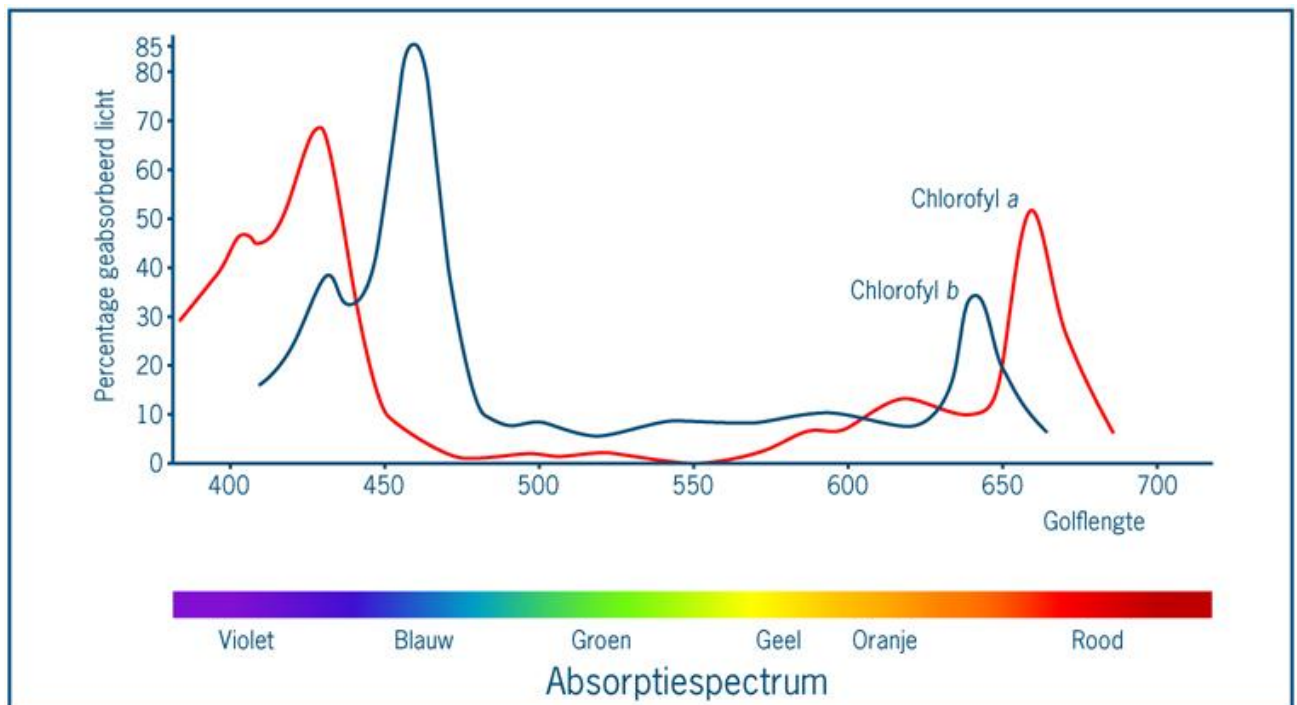
De eerste stap in de fotosynthese is het opvangen van de energie. Dit gebeurt door het 'aanslaan' van een elektron in een pigment. Dit betekent dat een elektron naar een orbitaal met een hoger energieniveau geslingerd wordt. De energie die hier voor nodig is, wordt geleverd door een foton van het zonlicht. Het is noodzakelijk dat dit foton precies de juiste energie-inhoud heeft om de overgang tussen de orbitalen te bewerkstelligen.

Vraag 3. Vul de onderstaande tabel in:

Kleur	Golflengte (nm)	Frequentie (s ⁻¹)	Energie (J)	Energie (eV)
Blauw	440			
Oranje		4.92*10 ¹⁴		
Groen			3.67	
Rood				1.90

Vraag 4. Denk terug aan vraag 2. Je bent nog steeds een elektron en staat op de begane grond. Welke golflengte zou een foton moeten hebben om jou aan te slaan naar de derde verdieping? Ga ervan uit dat elke verdieping drie meter hoog is.

Vraag 5. In figuur 2 zie je een typisch absorptiespectrum van twee verschillende typen chlorofyl (het molecuul in de chloroplasten dat fotonen opvangt).



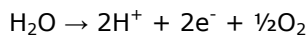
Figuur 2: absorptiespectra van chlorofyl-a en chlorofyl-b

Fotosynthese als brandstof

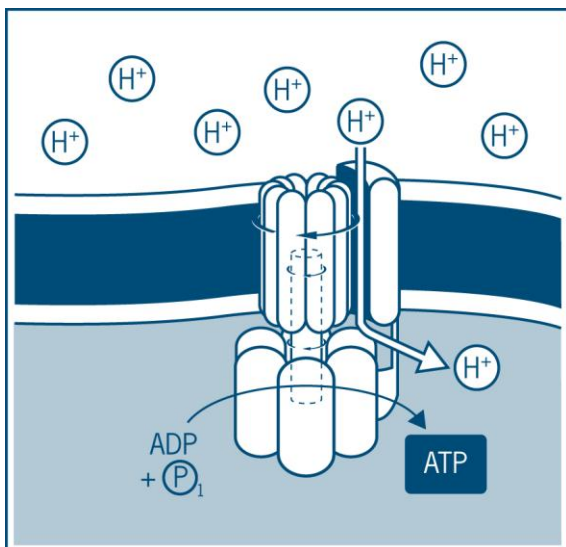
-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

- Bereken de frequentie van een foton dat het meest geabsorbeerd wordt door chlorofyl-b.
- Hoeveel energie hoort daarbij in Joule?
- Wat kun je nu zeggen over het energieniveau van de orbitalen?

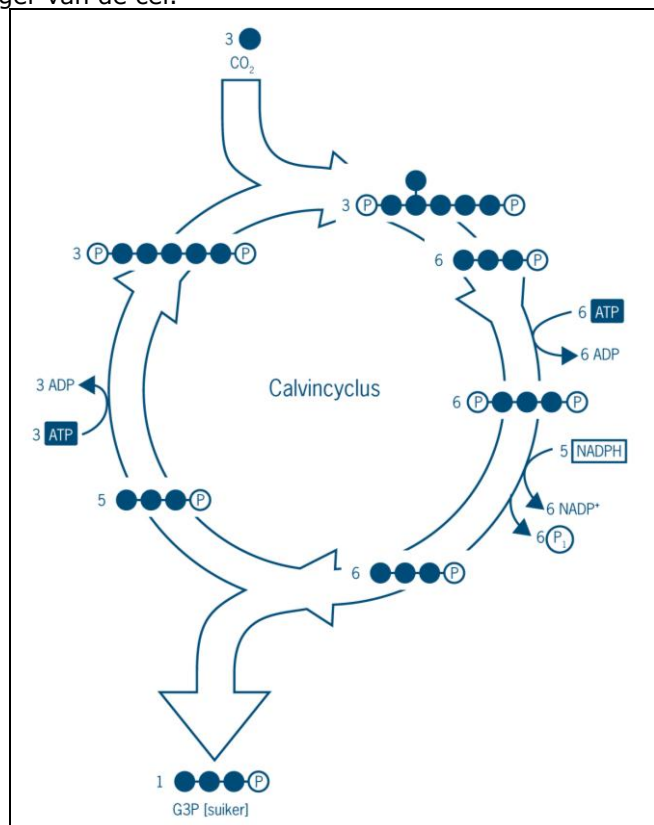
Elektronen worden vaak aangeslagen door fotonen. Meestal vallen ze weer terug naar het orbitaal waar ze uit kwamen zonder dat er iets aan de hand is. Bij fotosynthese zit er echter een molecuul direct in de buurt van het aangeslagen elektron in het pigment. Dit molecuul is in staat het elektron over te nemen van de aangeslagen toestand en geeft het weer af aan een volgend molecuul. Zo ontstaat er een keten van reacties. Uiteindelijk komen de elektronen terecht bij NADP^+ , een biochemische elektronendrager. Samen met twee elektronen en een proton vormt het NADPH. Ondertussen is er wel een 'elektronengat' ontstaan in het pigmentmolecuul. Dit gat wordt aangevuld door water te splitsen volgens:



De elektronen gaan naar het pigment en twee zuurstofatomen vormen samen O_2 (g). Dit splitsen van water gebeurt slechts aan één kant van het membraan van een chloroplast. Er ontstaat dus een overschot aan protonen aan één kant. Hierdoor willen protonen naar de andere kant van het membraan. Het membraan zelf laat geen protonen door. De protonen moeten daarom door een speciale doorgang in het membraan. Deze doorgang is opgebouwd uit eiwitten en wordt de ATP-pomp genoemd (zie figuur 3). Als het proton erdoorheen gaat, wordt er ATP gesynthetiseerd. En, zoals jullie vast wel weten, is ATP de energiedrager van de cel.



Figuur 3: de ATP-pomp



Figuur 4: de donkerreactie van de fotosynthese. De ingekleurde bolletjes zijn koolstofatomen, de cirkel met een P erin stelt een fosfaatgroep voor.

Fotosynthese als brandstof

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

Dit proces wordt de lichtreactie van de fotosynthese genoemd. Er is immers licht nodig om de elektronen aan te slaan. De volgende stap is de donkerreactie (ook wel Calvencyclus genoemd). Hierin wordt suiker gesynthetiseerd. Hiervoor is, naast de ATP en de NADPH uit de lichtreactie, ook CO_2 nodig. Het hele proces is, sterk versimpeld, weergegeven in figuur 4. Je kunt zien dat er niet zomaar zes koolstofatomen (donkerblauwe balletjes) aan elkaar gekoppeld worden, maar dat het een cyclus is waarin telkens één koolstofatoom per keer aan de keten wordt geplakt. Die keten splitst en er gebeuren allerlei reacties waarbij uiteindelijk suiker de cyclus verlaat en de ketens weer klaar worden gemaakt om een volgend koolstofatoom op te nemen (in de vorm van CO_2). De fosfaatgroepen (in de illustratie zijn dit de balletjes met een P erin) zijn nodig voor de energie die de reactie nodig heeft om te kunnen verlopen.

Zodra de licht- en donkerreactie uit zijn gevoerd, is de energie van zonlicht omgezet in chemische energie (brandstof). De energie die opgenomen is in de vorm van zonlicht, is variabel (want dit is afhankelijk van de golflengte). De energie die vrijkomt als één ATP wordt gebruikt, is 0.32 eV. Dit is dus een stuk minder dan er binnen is gekomen door middel van één foton (kijk maar in de tabel van vraag 2). Er is dan niet eens rekening gehouden met het feit dat het niet zo is dat het absorberen van één foton ook tot de synthese van één ATP leidt. Er zijn meerdere fotonen voor nodig om een ATP te maken. Dit energieverlies komt omdat de het via allerlei tussenstappen doorgegeven wordt. Bij elke tussenstap gaat er een deel verloren. Daar komen we nog op terug als we het gaan hebben over kunstbladeren. We gaan nu eerst kijken hoe zonne-energie vandaag de dag door mensen gebruikt wordt.

De zonnecel

Het idee om zonlicht te gebruiken als bron van energie is natuurlijk niet nieuw. De eerste wetenschapper waarvan we weten dat hij ermee bezig was, was de Franse Becquerel in 1839. Hij ontdekte dat er soms, als er licht op een oplossing met zouthalides viel, er een stroompje ging lopen tussen twee platina plaatjes die in de oplossing gestoken waren. Sindsdien is er veel gebeurd. Zo heeft Einstein in 1921 de Nobelprijs gekregen omdat hij met een deel van de verklaring kwam waarom zonlicht omgezet kan worden in elektriciteit. En vandaag de dag kan iedereen die het wil een zonnecel kopen.

Als wij ook willen begrijpen hoe de gebruikelijke zonnecel werkt, moeten we weer kijken naar wat er gebeurt op atomair niveau.

Zoals al gezegd zitten de elektronen van een atoom in vaste gebieden, de orbitalen. Er passen twee elektronen in een orbitaal.

Sommige orbitalen liggen dicht bij elkaar qua energieniveau. Als je die orbitalen samen neemt, dan heb je wat in de scheikundeboeken vaak een 'elektronenschil' genoemd wordt. De eerste schil bestaat uit één s-orbitaal (deze is rondvormig) en de tweede schil uit de vier orbitalen die zijn afgebeeld in figuur 1 (dit zijn dus weer een s-orbitaal en drie p-orbitalen). Daar kunnen dus acht elektronen in. Voor atomen is het energetisch gunstig om een schil helemaal vol met elektronen te hebben.

Vraag 6. Chemische bindingen bestaan uit het delen van elektronen door twee atoomkernen. Kun je met wat je net over orbitalen geleerd hebt, uitleggen waarom neon, een edelgas nergens mee reageert? En waarom koolstof vier bindingen aangaat? Tip: kijk naar het periodiek systeem der elementen.

Bij het maken van zonnecellen wordt gebruik gemaakt van het feit dat het voor atomen gunstig is om hun elektronenschil vol te hebben. De zogenaamde tweede generatie zonnecel bestaat uit twee lagen met verontreinigde siliciumkristalroosters. Silicium is een element en staat direct onder koolstof in het periodiek systeem der elementen. Dit betekent dat silicium ook vier bindingen aan gaat om de elektronenschil vol te krijgen.

Nu wordt het ene kristalrooster van silicium verontreinigd met een atoom dat maar drie bindingen aan wil gaan en het andere kristalrooster is verontreinigd met een atoom dat wel vijf bindingen aan wil gaan. De twee verschillende kristalroosters worden tegen elkaar geplakt.

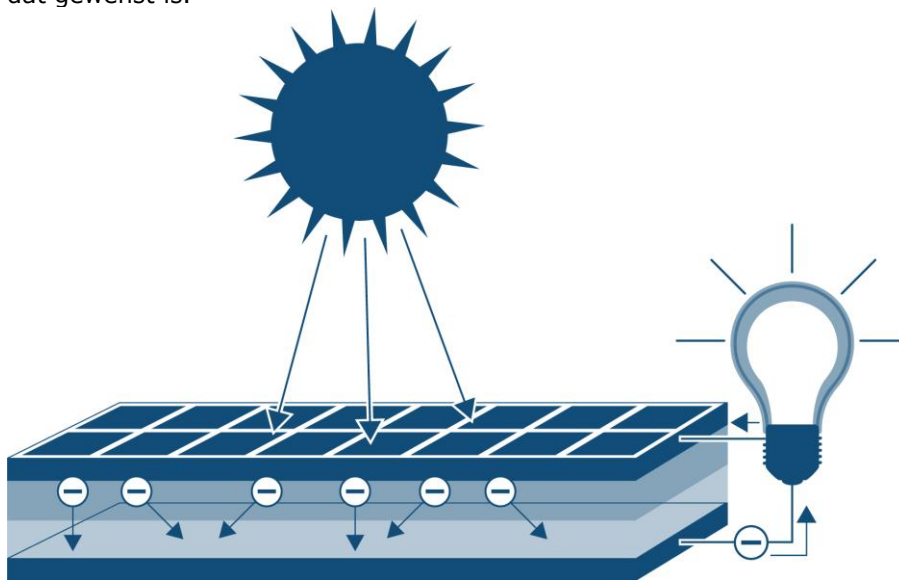


Fotosynthese als brandstof

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

Vraag 7. In welke kolom van het Periodiek systeem der elementen moet je kijken om atomen te vinden die drie bindingen aan willen gaan? En in welke rij kolom voor atomen die vijf bindingen willen?

Het resultaat is dat in het kristalrooster met een verontreiniging die maar drie bindingen aangaat, er een siliciumatoom is dat liever nog een binding aangaat. Er is dus een 'gat' in het aantal elektronen dat gewenst is.

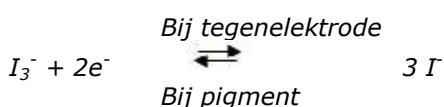


Figuur 5: Schematische weergave van een zonnecel

Als het rooster verontreinigd wordt met een atoom dat vijf bindingen aan wil gaan, dan is er een elektron in het rooster over. Dankzij de energie van een foton kan zo'n elektron losgeslagen worden. Het elektron zal dan naar een 'gat' van het andere kristalrooster gaan. In illustratie 5 zie je dit afgebeeld; dankzij de zonnestralen kan een elektron (een bol met een minlading) van de bovenste, donkerblauwe laag, naar de onderste, lichtblauwe laag. Het elektron stroomt dus van het ene kristalrooster naar het andere kristalrooster. En laat elektriciteit nu net het stromen van elektronen zijn! Nu hoeven alleen de beide kristalroosters nog aangesloten worden op een stroomkring en de zonnecel kan functioneren. Je kunt in illustratie 5 dan ook zien dat de elektronen die nu in de onderste laag zitten, via een stroomdraadje een lamp kunnen laten branden voordat ze weer naar de bovenste laag terug gaan.

Vandaag de dag zijn er veel zonnecellen ontwikkeld met andere materialen dan de twee verontreinigde kristalroosters. Het principe erachter is echter wel steeds hetzelfde; elektronen stromen van de ene laag naar de andere laag materiaal.

Een voorbeeld van een nieuw type zonnecel is de zogenaamde organische zonnecel. Hierbij wordt een pigment dat elektronen op kan vangen vastgezet op een laagje titaandioxide. Titaandioxide kan een aangeslagen elektron opnemen. Dit elektron gaat dan via een stroomdraadje naar de tegenelektrode; een geleidend materiaal. Nu moeten de titaandioxide met pigment en de tegenelektrode in oplossing met een reductor/oxidator komen te liggen. Bij de elektrode met het pigment staat de reductor een elektron af aan het pigment. Het gereduceerde molecuul in de oplossing diffundeert dan naar de tegenelektrode waar het weer een elektron op kan nemen. Er gebeurt dan dus het volgende (met jodide (I) als voorbeeld):



Fotosynthese als brandstof

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

Het rendement van zonnecellen ligt nu tussen zo'n 5% (organische zonnecel) tot 25% (een superdure zonnecel met Gallium-Arsenide). Dit is aanzienlijk meer dan de 1 tot 2% rendement van de fotosynthese!

Zonnecellen hebben één groot 'nadeel'; ze zetten zonlicht om in elektrische energie, niet in chemische energie. Nu is dit wel handig als je je zonnecel gebruikt om je bedlampje thuis te laten branden, maar voor bijvoorbeeld auto's en vliegtuigen is het niet zo geschikt. De wereld heeft juist behoefte aan brandstoffen (zie ook 'Inleiding').

Dit was voor een groep wetenschappers in Nederland (van Wageningen University, Universiteit van Leiden, de VU en de Universiteit van Groningen) de reden om de goede eigenschappen van fotosynthese te combineren met de goede eigenschappen van zonnecellen. Daarover gaat het laatste gedeelte van deze lesbrief.

Kunstmatige bladeren

Het idee van de kunstmatige bladeren is dat er uiteindelijk een 'blad' wordt gemaakt dat zeer efficiënt energie van zonlicht om kan zetten in chemische energie, bijvoorbeeld in de vorm van methanol. Deze alternatieve brandstofbron is daarmee volkomen CO₂-neutraal. Hiervoor zijn er vier onderdelen nodig:

1. Een heel stel pigmenten die een foton kunnen absorberen en zo een elektron in de aangeslagen toestand kunnen brengen. Vervolgens wordt dit aangeslagen elektron razendsnel doorgegeven totdat het bij een speciaal pigment belandt.
2. Dit speciale pigment is in staat om het elektron door te geven aan een naburig pigment. Hierdoor vindt er een ladingsscheiding plaats (een elektron heeft immers een negatieve lading). Het elektron wordt vervolgens telkens doorgegeven waardoor het uiteindelijk in de katalytische plaats belandt.
3. Op deze katalytische plaats kan de energie die oorspronkelijk afkomstig is van het foton, gebruikt worden om een molecuul te synthetiseren. Het is de bedoeling dat dit molecuul dienst kan doen als biobrandstof,
4. Het verhaal is nu bijna rond. Er mist nog maar één onderdeel. De pigmenten hebben een elektron doorgegeven, maar er nog niks voor terug gekregen. Er is daar dus een elektronentekort. Daarom is er een katalysator nodig die een elektron vrij kan maken voor de pigmenten. Zo'n proces waarbij elektronen vrij gemaakt worden, is bijvoorbeeld het splitsen van water.

Al deze vier onderdelen kunnen vandaag de dag in principe in het laboratorium gemaakt worden. Maar om een echt werkend kunstmatig blad te kunnen maken is er nog extra onderzoek nodig. Er is nog veel onbekend over hoe fotosynthese precies werkt. Ook zijn veel moleculen, als ze geïsoleerd worden uit de plant, helemaal niet stabiel. Het fotosynthesesysteem van een plant is opgebouwd uit vele eiwitten en moleculen om alles te laten functioneren. Er moet dus gezocht worden naar stabielere moleculen.

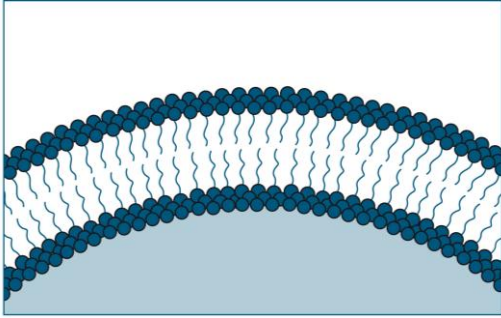
Deze moleculen moeten precies goed ten opzichte van elkaar komen te liggen in het kunstblad, anders kan de omzetting van zonlicht naar chemische energie niet plaatsvinden. Omdat dit op zo'n kleine schaal is, is het onmogelijk om dit door bijvoorbeeld een machine te laten doen. De moleculen zouden uit zichzelf goed moeten gaan liggen als ze bij elkaar gebracht worden. Dit laatste heet zelfassemblage.

Vraag 8. Een membraan van een cel is grotendeels opgebouwd uit vetten. Deze vetten bestaan uit een polaire kop en een apolaire staart. De inhoud van een cel is meestal waterig. In figuur 6 zie je een schematische weergave van een membraan. Leg het begrip 'zelfassemblage' uit aan de hand van deze vetten.



Fotosynthese als brandstof

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-



Figuur 6: schematische weergave van een membraan

Naast zelfassemblage zouden de moleculen ook moeten herkennen wanneer er een molecuul door het zonlicht beschadigd is geraakt. Zonlicht kan namelijk ook moleculen kapot maken. Dit weet je vast al; hoe vaak is je al niet verteld dat je je in moet smeren als je de zon in gaat? Bijvoorbeeld: een kapot pigment kan een aangeslagen elektron niet goed doorgeven. Hierdoor is het razendsnelle transport naar het speciale pigment dat lading kan scheiden, verhindert. Als er nu een zuurstofmolecuul in de buurt is, dan kan dit reageren met het elektron en zo een zuurstofradicaal vormen. Dit radicaal is erg reactief en kan dus nog meer moleculen kapot maken, waardoor je kunstmatige blad niet meer werkt. Dit is natuurlijk niet wenselijk.

Als we toch eisen gaan stellen aan de moleculen die in het kunstmatige blad het werk voor ons op moeten knappen, dan kunnen we net zo goed even doorgaan. Je weet nu dat slechts een deel van het spectrum gebruikt wordt door de planten voor fotosynthese. Hopelijk kunnen we nieuwe moleculen in het kunstmatige blad stoppen die ook andere golf lengten kunnen gebruiken. Dit zou het rendement enorm omhoog brengen.

Het rendement kan ook op een andere manier omhoog gebracht worden. Zoals al verteld is, wordt slechts een klein deel van het zonlicht door planten gebruikt voor fotosynthese. Als er eenmaal een foton met genoeg energie in staat is geweest om een pigment aan te slaan, dan wordt er een keten van reacties in gang gezet. Het elektron wordt telkens maar doorgegeven en bij elke reactie gaat een deel van de energie verloren. De energie die uiteindelijk beschikbaar is, wordt gebruikt voor dingen die voor ons wat minder belangrijk zijn, zoals onderhoud van de cel en celdeling. Het zou een stuk handiger zijn als de energie in minder stappen doorgegeven zou worden en als er eenvoudige moleculen worden gesynthetiseerd in plaats van allerlei ingewikkelde eiwitten en celwanden. Een voorbeeld is methanol of ethanol. Er is bepaald dat in 2020 10% van de transportbrandstof afkomstig moet zijn van biobrandstoffen. Daar zouden deze kunstmatige bladeren dus mooi aan bij kunnen dragen.

Vraag 9. Je gaat nu het maximale rendement berekenen zonder deze verbeteringen.

Lichtenergie wordt omgezet in chemische energie met 30% efficiëntie. Ook wordt slechts 40% van het inkomende licht gebruikt door de plant.

a) Wat is het theoretische maximale rendement?

b) Denk je dat het berekende rendement te behalen is?

Helaas is vandaag de dag een kunstmatig blad nog toekomstmuziek. In Amerika is er al onderzoek naar gestart en in Europa willen wetenschappers er ook aan beginnen, als er geld beschikbaar is gemaakt. De professor die in Wageningen met kunstmatige bladeren aan de slag wil, zegt hierover: *“Er wordt 800 miljoen euro per jaar voor 25 jaar door de EU uitgegeven aan het ITER-project. Dit project heeft als doelstelling om kernfusie op aarde te ontwikkelen als energiebron. En dat terwijl de zon, één grote kernfusiecentrale, ons al overvloedig van energie voorziet! Het is niet duidelijk of kernfusie ooit zal werken.*

Alle technieken die nodig zijn om kunstmatige bladeren te maken, zijn al beschikbaar. We hoeven ze alleen nog maar te verfijnen. Als er nu 800 miljoen euro voor 25 jaar beschikbaar komt voor onderzoek in deze richting, dan zal er zeker resultaat geboekt worden. Het is dus slimmer geld in ons onderzoek te steken.”



Fotosynthese als brandstof

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

Vraag 10. Geef een reactie op dit citaat. Denk je dat de professor objectief is in zijn voorspelling?

Suggesties voor verder onderzoek

In deze lesbrief zijn drie manieren aan bod gekomen om licht te gebruiken voor energie. Als je met het onderwerp verder wilt (bijvoorbeeld voor een profielwerkstuk), dan kun je je misschien richten op:

- Pigmenten. Welke structuren hebben deze pigmenten? Hoe moeten pigmenten ten opzichte van elkaar geplaatst zijn? Kun je elk pigment gebruiken voor een organische zonnecel?
- Maak eens een vergelijking tussen twee verschillende bronnen van duurzame energie.
- Hoe werken de verschillende soorten zonnecellen? Welke voor- en nadelen kun je vinden?
- Tijdens een masterclass, georganiseerd door Wageningen University, kun je je eigen organische zonnecel maken en krijg je meer informatie over dit onderwerp. Meer informatie is te vinden op www.bml.wur.nl/nl/masterclass.

Oriëntatie op vervolgonderwijs

Het onderwerp van deze lesmodule kom je ook tegen bij de opleiding Moleculaire Levenswetenschappen van Wageningen University. Kijk voor meer informatie op www.wageningenuniversity.nl/bsc.



Voor de docent

Inleiding

In deze lesbrief wordt het omzetten van licht naar andere vormen van energie (elektriciteit, brandstof) uitgelegd aan de hand van de orbitaaltheorie. Dit is een heel andere insteek dan de uitleg van de fotosynthese die leerlingen bij biologie krijgen. Leerlingen zien zo dat eenzelfde onderwerp via een andere discipline (hier via de fysische chemie) een heel andere manier van kijken oplevert. Door een onderwerp van verschillende kanten te benaderen, wordt de waardevolle toevoeging van een multidisciplinaire visie duidelijk geïllustreerd. Deze lesbrief is dan ook bij uitstek geschikt voor het vak NLT. Door uitleg over orbitalen en elektriciteit is het ook te gebruiken voor Scheikunde of Natuurkunde.

Aanvragen lesposter: <http://www.mijnwageningenuniversiteit.nl/docenten/poster/>.

Uitwerking van de vragen

1. Dat slechts 1 tot 2% van al de inkomende energie in de vorm van zonlicht omgezet wordt in chemische energie.
2. $U_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$. De massa en de gravitatieconstante is op beide verdiepingen hetzelfde, alleen de is de hoogte groter bij de vijfde verdieping. Dus op die verdieping heeft de leerling een hogere potentiële energie.

3.

Kleur	Golflengte (nm)	Frequentie (s^{-1})	Energie (J)	Energie (eV)
Blauw	440	$6.19 \cdot 10^{14}$	$4.5 \cdot 10^{-19}$	2.81
Oranje	610	$4.92 \cdot 10^{14}$	3.26	2.03
Groen	540	$5.56 \cdot 10^{14}$	3.67	2.29
Rood	650	$4.62 \cdot 10^{14}$	3.05	1.90

4. Het verschil in potentiële energie van de persoon op de verschillende verdiepingen is $\Delta U_{\text{pot}} = \Delta h \cdot m \cdot g$ met $\Delta h = 9 - 0$ meter. Dit moet overeenkomen met de energie van een foton. Dus de vergelijking $\Delta h \cdot m \cdot g = h \cdot c / \lambda$ moet worden ingevuld waarmee de λ makkelijk te vinden is volgens $\lambda = h \cdot c / \Delta h \cdot m \cdot g$
5.
 - a) Chlorofyl b absorbeert het meest bij zo'n 430 nm (kun je uit het plaatje afleiden). De frequentie van het foton f is dus c / λ met $\lambda = 430 \cdot 10^{-9}$ m en c de lichtsnelheid (te vinden in de tekst) en dit invullen geeft $f = 6.98 \cdot 10^{14}$
 - b) De energie is te berekenen volgens $E = h \cdot f$ met h de constante van Planck en is $4.6 \cdot 10^{-19}$ J
 - c) De berekende energie is het verschil in energie van de orbitaal waar het elektron eerst in zat en waar het elektron na het aanslaan in terecht gekomen is.
6. Edelgassen hebben hun 'elektronenschillen' helemaal vol en het heeft dus geen zin om een binding aan te gaan.
Koolstof heeft vier elektronen en zou er graag acht willen. Als een koolstofkern vier bindingen aan gaat, dan krijgt de kern vier 'extra' elektronen doordat ze gedeeld worden. Hiermee is de eerste schil vol. Dit is gunstig.
7. Voor drie bindingen moet gekeken worden naar de kolom van stikstof, voor vijf bindingen naar boor.
8. De vetten assembleren zich doordat de apolaire staarten bij elkaar gestoken worden en de polaire koppen in de waterige omgeving van de rest van de cel steken.



Fotosynthese als brandstof

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

9.

a) $0.4 * 0.3 = 0.12$

b) Het is zeer onwaarschijnlijk dat het maximale rendement te behalen is. In een kunstmatig blad zal er altijd wel een proces zijn dat minder efficiënt verloopt. In de praktijk lijkt 9 tot 10% haalbaar.

10. De professor heeft er veel belang bij om de zaken rooskleurig voor te stellen. Hij wil immers subsidie. Dit is niet objectief. De argumenten die hij aandraagt, zijn echter wel geldig. Vanuit dat oogpunt is hij dus wel objectief.



Fotosynthese als brandstof

-Vragen en opdrachten bij de lesposter-

Voor de vraagbaakmedewerker

Bronnen

Studieboeken

- Atkins Physical Chemistry, Peter Atkins en Julios de Paula, 2002
- Biochemistry, Jeremy M. Berg, John L. Tymoczko en Lubert Stryer, 2002
- Principles of Environmental Science, Cunningham en Cunningham, 2008

Artikelen

- Photoelectrochemical cells, Michael Grätzel, Nature volume 414, 15 november 2001
- Center for Photosynthesis Research, Towards BioSolar Cells, May 2008
- NLT module: Brandstof voor het leven
- Perspectief op langere termijn; Zonlicht oogsten met een kunstmatig blad, Joost van Kasteren, Spil 2007- nummer 1
- Kunstmatige bladeren, voor meer biobrandstof en minder CO₂, Eos

Websites

- http://www.kosmix.com/topic/Photovoltaics/-mod-wiki_detailed-modp-Photovoltaics-o-d-section-Summary-s
- www.wikipedia.org
- <http://www.tudelft.nl/live/pagina.jsp?id=808525ae-8bdd-40f2-992a-178e39fcabca&lang=nl>

Overig

- PowerPoint presentatie bij Masterclass organische zonnecellen, van H. v. Amerongen.

Auteur

Sabine Akerboom, student Moleculaire levenswetenschappen, maart 2009.

