



Natuurkunde uitleggen met eetbare producten

“Kan ik dit opdrinken?” is de eerste vraag die ik krijg als ik de intrigerende spuiten gevuld met een dieprode kleurstof laat zien. Vlugge vingers van de leerlingen in labjassen grijpen naar de föhn op het midden van de tafel terwijl nieuwsgierige neuzen aan alle spannende potjes ruiken. “Echt lekker zal het niet smaken, maar ja, het zou kunnen”, roep ik vanaf de voorkant van het rijdende klaslokaal.

De Zwitserse hoogleraar Michael Grätzel is net de Jouw Energie van Morgen truck binnengekomen. Hij staat vol bewondering te kijken naar alle glazen plaatjes, potloden, ijscostokjes en spuiten met de nog ongedefinieerde rode vloeistof. “Het is hibiscusthee”, leg ik uit. Ook staan er potjes gevuld met een dikke witte pasta, een soort tandpasta. Het is titaniumdioxide, een stof die vaak in tandpasta wordt verwerkt. De Jouw Energie van Morgen truck van de Rijksuniversiteit Groningen is een inspirerend, rondreizend klaslokaal waarmee projectleider Theo Jurriens al vijftien jaar lang rondreist in binnen- en buitenland. Met als hoofdthema Jouw Energie van Morgen, bieden we in de truck een les- en practicumprogramma aan met thema’s die nauw aansluiten bij de bètavakken. Naast het leveren van een educatieve bijdrage aan de energietransitie, hebben de lessen als doel het promoten van de bètavakken. En met succes! Zo heeft de truck al meer dan 1.600 bezoeken aan scholen afgelegd. De afgelopen vijf jaar heb ik als bijbaan naast mijn studie bij bezoeken mogen assisteren. Ik hield me voornamelijk bezig met een les over elektrochemische

zonnecellen, wat inspiratie gaf voor het schrijven van dit artikel.

Hoe werkt een zonnecel?

Zonnecellen bestaan uit twee verschillende soorten halfgeleiders: p-type en n-type. Een p-type-halfgeleider dankt zijn naam aan het feit dat hij door de afwezigheid van een elektron een positieve lading heeft. Daarentegen zorgen in een n-type-halfgeleider de elektronen voor een negatieve lading. Het verschil in het materiaal zorgt voor de richting van de stroom door de zonnecel.

Op dit moment is een van de meest gebruikte halfgeleiders het materiaal silicium, een element met foto-elektrische eigenschappen. Om p- en n-type-silicium te maken, voegen we onzuiverheden toe aan de kristalstructuur. Deze creëren positief geladen holes in de p-type en een overschot aan elektronen in de n-type-siliciumlaag. Wanneer het n-type-silicium een deel van de energie van de zon absorbeert, worden vrije elektronen losgemaakt die in een zonnepaneelsysteem dusdanig worden geleid om in één richting te stromen. Dit zorgt voor het ontstaan van een elektrische stroom.

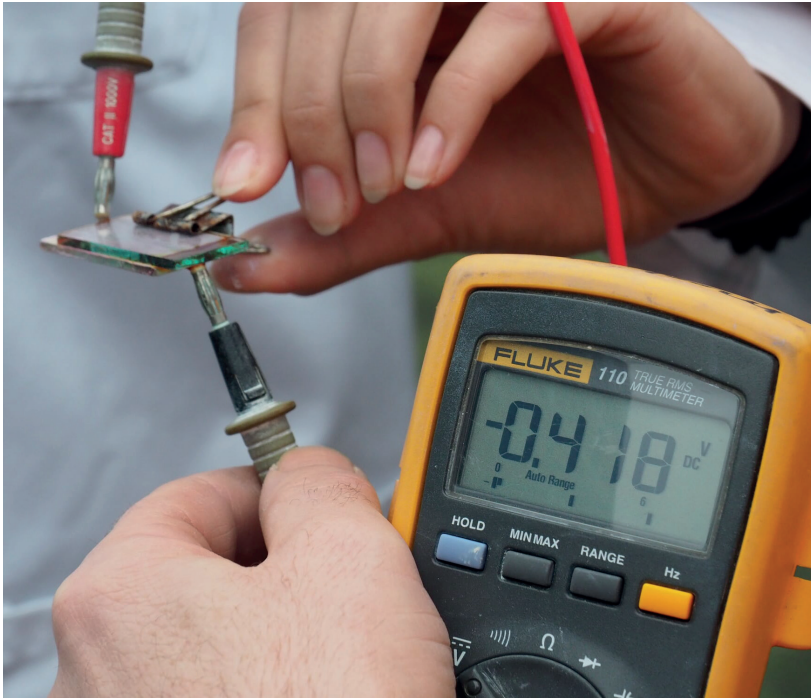
Het gebruik van zonne-energie is duurzaam, maar het maken van silicium zonnecellen helaas niet. Het zuiveren en daarna ‘vervuilen’ van het materiaal kost veel energie. Je zou hiervoor goede energie kunnen gebruiken, maar om energie te besparen proberen wetenschappers een ander soort materiaal met dezelfde werking te vinden. In het thema van energietransitie vertellen we de scholieren in de truck daarom over een ander soort zonnecel: een *dye-sensitized solar cell* (DSSC), ook wel kleurstofgevoelige zonnecel.

De dye-sensitized solar cell

Een DSSC, ook wel Grätzelcel genoemd, behoort tot de groep van *thin film solar cells*. De productie van de cellen is eenvoudig, bevat milieuvriendelijke materialen en is relatief goedkoop. Dit komt mede doordat de werking van de cel gebaseerd is op elektrolyse. Daarnaast hebben ze

een goede efficiëntie. Een groot nadeel is echter de temperatuurgevoeligheid van de vloeibare elektrolyt, die de opbrengst van de cel onstabiel maakt. Momenteel wordt er onderzoek gedaan om de celstabiliteit van de elektrolyt te verbeteren.

De cel bestaat uit vier primaire onderdelen: de photosensitizer (licht gevoelige kleurstof), redoxmediator (elektrolyt), werkende- (anode) en tegen- (kathode) elektrode. Beide elektrodes bestaan uit glasplaten waarop een dunne transparante geleidende coating (*transparent conductive oxide* (TCO)), aangebracht wordt. Op de coating van de anode wordt een dunne film van oxiderend halfgeleidend materiaal, zoals titaniumdioxide, (TiO_2), aangebracht. Nadat de film in de kleurstof is gedrenkt, wordt deze kleurstofoplossing covalent gebonden aan het TiO_2 - oppervlak. De kleurstof is niet alleen verantwoordelijk voor de maximale opname van het invallende licht, maar bevat ook de benodigde pigmenten die lichtenergie kunnen opvangen. Tot slot bestaat de kathode uit de andere glasplaat met een dunne Pt-film die als katalysator dient. Als elektrolyt wordt een jodide- of trijodide-oplossing gebruikt. Beide elektroden worden tegen elkaar gedrukt en afgedicht zodat de elektrolyt niet uit de cel lekt. De werking van de cel is opgedeeld in vier stappen: lichtabsorptie, elektroneninjectie, transport van drager en verzameling van stroom. Het licht valt op de anode en wordt opgenomen door de kleurstofmoleculen. Elektronen worden van de grondtoestand naar een hoger energieniveau ‘gebracht’. De kleurstof in de aangeslagen toestand zorgt ervoor dat elektronen worden overgedragen aan het TiO_2 waardoor de kleurstof geoxideerd wordt. De TiO_2 -moleculen dragen de elektronen naar het geleidende TCO en bereiken via de externe kring de kathode. Op hetzelfde moment haalt het elektrolyt elektronen op van de kathode om de geïoniseerde kleurstof te regenereren. Er ontstaat een kring van rondlopende elektronen en de stroomkring is opgewekt.



De Grätzelcel.

De 'versimpelde' uitleg van de Grätzelzonnecel voor scholieren in de truck

De natuur zit vol met kleine zonnecellen die gebruikmaken van fotosynthese. Maar wat is fotosynthese precies en hoe kan dit elektrische energie opwekken? Organismen als algen en planten waaronder ook peterselie en spinazie bevatten chlorofyl. Chlorofyl is een kleurstofmolecuul dat zorgt voor hun groene kleur. Fotosynthese begint wanneer zonlicht op een chlorofylmolecuul valt. Deze moleculen kunnen de zonne-energie goed opnemen. Hiermee kunnen de planten de CO_2 die ze uit de lucht halen, met behulp van water, omzetten in zuurstof en suikers. De energie die vrijkomt bij de fotosynthese wordt overgedragen naar twee elektronen uit het molecuul. Deze twee elektronen hebben genoeg energie om vrij te kunnen rondlopen en kunnen we gebruiken voor de geleiding van elektriciteit. Als we voedsel eten, krijgen we energie binnen om te bewegen, de kilojoules. Met een fietsdynamo

kunnen we deze bewegingsenergie omzetten in elektrische energie. Zouden we ook direct eetbare ingrediënten, zoals spinazie, kunnen gebruiken om elektrische energie op te wekken? Hoogleraar Michael Grätzel kwam in 1991 met het idee om een zonnecel te maken van organisch materiaal. Deze zonnecel, ook wel bekend als Grätzelcel, kan energie uit zonlicht halen dankzij het gebruik van natuurlijke kleurstoffen. De cel zet zonlicht direct om in een spanning via het fotonvoltaïsch proces. Hiermee wordt het proces van fotosynthese overgeslagen. De dieprode hibiscusthee, uit de intrigerende spuit, is de kern van deze organische zonnecel. Maar wacht even, rood? Uit onderzoek blijkt dat anthocyanen, rode kleurstofmoleculen, nog beter zijn in het omzetten van energie dan de groene chlorofylmoleculen. Anthocyanen zijn wederom veel voorkomend in voeding. Zo vinden we het in onder andere rodekool, aubergine, aardbeien en dus ook in hibiscusbloemen. Met dieprode hibiscusthee kunnen we

dus energie van de Zon opvangen, waarna we deze omzetten in de vorm van vrije elektronen en daarmee elektrische energie produceren. Hoe dit proces te werk gaat demonstrenen we in de Jouw Energie van Morgen truck. Op een glazen plaatje met een transparante geleidende coating brengen we een laagje van de thee aan. Deze coating is essentieel voor de geleiding van de opgewerkte elektriciteit. Om de thee aan het glas te laten hechten, maken we gebruik van een dun laagje titaniumdioxide. Het TiO_2 bestaat uit allemaal nanobolletjes. Door het glaasje met het laagje TiO_2 te bakken vormen de nanobolletjes een soort sponscake die de thee goed kan absorberen. Bij het ontbreken van een oven voldoet de warmte van een simpele föhn. De cake vormt de negatieve pool van de zonnecel. De positieve pool wordt gecreëerd door met behulp van een potlood een laagje grafiet op een tweede glasplaatje aan te brengen. De negatieve en positieve pool worden als een boterham met al het beleg naar binnen op elkaar gelegd. De ruimte tussen de polen vullen we op met een elektrolytvloeistof. De positieve pool draagt de losse elektronen over op de ionen in de elektrolytvloeistof, die de lading weer overdraagt naar de negatieve pool. Er ontstaat een gesloten stroomkring. De spanning van een enkele cel is maximaal 0,5 volt en door de elektrolyt onstabiel. Daardoor kunnen we geen (led)lamp laten branden. Maar, je hebt wel elektrische energie opgewekt met behulp van thee en tandpasta. Het leuke van dit type zonnecel in een natuurkundepracticum is dat hij vrij gemakkelijk zelf te maken is. Het laat de scholieren zien dat ze met 'eetbare' producten, zoals thee en tandpasta, stroom kunnen opwekken. Elke les is wordt er gevraagd of ze de TiO_2 kunnen gebruiken voor hun tanden en de thee mogen opdrinken. Het schept het idee dat techniek niet te ingewikkeld hoeft te zijn, dat iedereen kan bijdragen aan de energietransitie en dat natuurkunde ontzettend leuk is.