

# Duurzame energie

Lessenserie voor de bovenbouw havo/vwo.

Documentaeriaal

Verdiepende lessenserie over duurzame energie. Je gaat je oriënteren op duurzame energie, zelf een zonnecel bouwen en een eigen onderzoek uitvoeren.

**Ben Groenen**  
**Martijn van Harreveld**  
**Peter Kersten**  
**Petra Schuurman**

## Inhoud

Overzicht lessenserie .....	2
Les 1 – Oriëntatie op duurzame energie (1 lesuur van 50 min.) .....	5
A) Voor- en nadelen van duurzame energie (20-25 min.) .....	5
B) Energieopwekking in Europa (20-25 min.) .....	7
C) Energie-eenheden (15-20 min.) .....	8
Les 2 - Het bouwen van zonnecellen (duur: 1,5-2 uur) .....	11
A) Werking van de Grätzelcel (20-25 min.) .....	11
B) Het bouwen van een zonnecel.....	13
Les 3: Verdiepend onderzoek (duur: 1,5-2 uur) .....	20
A) Fotosynthese .....	21
B) Verdieping op de zonnecel.....	24
C) Verschillende typen zonnecellen .....	25
D) De zonnetoren .....	27
E) Werking van een windturbine (20-25 min.) .....	29
Les 4 - Conclusies en presentatie .....	32
Literatuurlijst.....	35
Lijst met internetlinks.....	36

## Overzicht lessenserie

De lessenserie bestaat uit vier gedeelten. Er wordt gestart met een oriëntatie op duurzame energie (duur: 50 min.). Daarna gaan de leerlingen zich oriënteren op de werking van een Grätzel zonnecel om vervolgens zelf een zonnecel te bouwen (duur: 1,5-2 uur). De les daarop volgt er een stukje verdieping met de focus op zonne-energie (duur: 1,5-2 uur). In het laatste gedeelte van de lessenserie delen de leerlingen hun bevindingen met elkaar (duur: 1-2 uur). Hieronder worden de vier lessen verder beschreven.

### Les 1 - Oriëntatie op duurzame energie (duur: 50 min.)

In de eerste les worden verschillende aspecten van duurzame energie belicht. Aan de hand van een serie vragen, verdiepen leerlingen zich in het onderwerp duurzame energie. De onderdelen die aan bod komen zijn:

- De voor- en nadelen van verschillende vormen van duurzame energie (20-25 min)
- De verschillende eenheden van energie (20-25 min)
- Hoe omgevingsfactoren de keuze voor duurzame energie beïnvloeden (10-15 min)

### Benodigdheden voor deze les

De leerlingen dienen de beschikking te hebben over internet om bronnen te kunnen raadplegen. Om het audiovisuele materiaal te kunnen beluisteren, hebben ze ook (ieder) een koptelefoon (of oortjes) nodig. Een (eenvoudige) rekenmachine is ook handig. Omdat er niet meer van de leerlingen gevraagd dan alleen eenvoudige berekeningen (vermenigvuldiging en optellen), is een grafische rekenmachine niet vereist. Ook voor de quiz is toegang tot internet (voor de leerlingen) noodzakelijk.

### Les 2 - Het bouwen van zonnecellen (duur: 1,5 uur)

Als voorbereiding op het practicum wordt aan het begin van deze les op de werking van de Grätzel zonnecel ingezoomd.

Dagelijks zien we in de natuur de meest fantastische zonnecellen, bijvoorbeeld groene groenten zoals spinazie, peterselie, de groene bladeren aan de bomen en algen. Met behulp van fotosynthese, zetten ze allemaal zonne-energie om in voor het leven zo belangrijke grond- en voedingsstoffen. Waarom zouden we dan niet spinazie met wat zonlicht gebruiken om elektrische stroom op te wekken? Het antwoord op deze vraag komt van de 'nanokristallijne kleurstof zonnecel', ook wel 'organische' of Grätzel-cel genoemd, naar de ontdekker professor Michael Grätzel. Dit nieuwe type zonnecel slaat de fotosynthese over en zet zonlicht direct in stroom om. Dit wordt het fotovoltaïsch proces genoemd.

Het hart van deze zonnecel bestaat, net zoals bij het bladgroen van planten, uit kleurstofmoleculen. De beste tot nu toe bekende natuurlijke kleurstoffen zijn 'Anthocyanen'. Deze vind je bijvoorbeeld in bramen, frambozen, kersen en hibiscusbloemen. Om een efficiënte omzetting van zonlicht in stroom te krijgen is het echter beter een synthetische kleurstof te gebruiken. Deze synthetische kleurstof wordt gebruikt bij de commerciële ontwikkeling van dit nieuwe type zonnecel.

De leerlingen gaan met behulp van het commerciële pakket “Man Solar” een Grätzel-zonnecel bouwen.

### Benodigheden voor deze les

- **Educatieve set Man Solar**<sup>1</sup> (één educatieve set per 16 leerlingen). Het is overigens ook mogelijk de verschillende onderdelen zelf te fabriceren. Omdat het buiten de scope van deze lessenserie valt, wordt het hier niet verder uitgediept. Een uitgebreide beschrijving hiervan is gemaakt door vier studenten aan de K.U.Leuven<sup>2</sup>.
- Per tweetal leerlingen:
  - Petrischaaltje
  - Waterkoker
  - Multimeter
  - Plakband
  - Pipet
  - Föhn (of een alternatief voor het drogen van de aangebrachte laag op de zonnecel)
  - Aluminiumfolie
  - Bunsenbrander
  - Driepoot
  - Gaasje
  - Grijs potlood

### Les 3 – Zonnecellen nader bekeken (duur: 1,5-2 uur)

Het derde deel van de lessenserie start met een korte formatieve toets, in de vorm van een quiz (duur: ongeveer 20 min.), waar een aantal belangrijke aspecten uit lessen 1 en 2 de revue passeren.

Vervolgens gaan de leerlingen in groepjes van twee (kan eventueel ook in groepjes van 3) een kort onderzoek doen naar een keuze onderwerp dat te maken heeft met zonne-energie of de werking van een windturbine. De opzet is wat opener dan les 1, de leerlingen worden aangemoedigd om zelf met onderzoeksvragen te komen, daarnaast worden er in het materiaal een aantal suggesties gedaan voor deelvragen bij deze onderzoeksvragen. Na het uitvoeren van een onderzoek, gaan de leerlingen een presentatie maken die dan in les 4 geven wordt aan de klasgenoten. De leerlingen hebben een keuze uit 5 onderwerpen, zijnde:

1. Fotosynthese  
Literatuuronderzoek met ondersteunende filmpjes
2. Oriëntatie / locatie van zonnecellen  
Praktisch onderzoek met onderdelen literatuuronderzoek
3. Verschillende typen zonnecellen  
Literatuuronderzoek
4. Zonnetoren  
Literatuuronderzoek
5. De werking van een windturbine

---

<sup>1</sup> Zie <http://www.mansolar.nl/products.html> voor meer informatie.

<sup>2</sup> [http://telescript.denayer.wenk.be/2009-10/f6a/public\\_html/index.shtml](http://telescript.denayer.wenk.be/2009-10/f6a/public_html/index.shtml) - zie 4. Praktische realisatie van de Grätzel-cel.

Literatuuronderzoek met een ondersteunend youtube-filmpje.

Het onderzoek moet ongeveer 50 min duren zodat er nog 30 min overblijft voor het maken van de presentatie, en het geheel in twee lessen of één blokkuur gedaan kan worden.

### Benodigheden voor deze les

Voor het doen van literatuuronderzoek en het maken van een presentatie moeten de leerlingen beschikking hebben over een computer met:

- Internet
- Audio
- Mogelijkheid tot printen

Dit geldt voor alle 4 de keuzeonderwerpen.

Voor het onderwerp *fotosynthese* moeten ze daarnaast kunnen beschikken over BiNaS.

Voor het onderwerp *Orientatie van zonnecellen* moeten ze kunnen beschikken over:

- Atlas
- Kompas
- Zonnecel (eventueel uit les 2)
- multimeter (of een aparte volt- en ampèremeter)
- Gradenboog of geodriehoek om hoeken te meten
- Statief of plateau om de zonnecel op te monteren.
- Kompas

Wanneer de leerlingen kiezen voor een alternatieve vorm van presenteren (bijvoorbeeld een poster) overleggen ze met de docent om te kijken wat daarvoor de mogelijkheden zijn.

### Les 4 - Conclusies en presentatie

In een laatste les gaan de leerlingen hun bevindingen (van de verdieping in les 3) uitwisselen door middel van een poster, een presentatie of een zelfgemaakt filmpje. Aan de hand van rubrics worden de presentaties beoordeeld.

## Les 1 – Oriëntatie op duurzame energie (1 lesuur van 50 min.)

De leerlingen krijgen een hand-out met vragen over drie verschillende onderwerpen, te weten:

- De voor- en nadelen van verschillende vormen van duurzame energie (20-25 min)
- Hoe omgevingsfactoren de keuze voor duurzame energie beïnvloeden (20-25 min)
- De verschillende eenheden van energie (20-25 min)

Per onderdeel staat een schatting van hoe lang de leerlingen ongeveer met de vragen bezig zouden moeten zijn. Uitgaande van een lesuur van 50 minuten, zou de docent een keuze kunnen maken van 2 uit de 3 onderwerpen.

De leerlingen gaan in groepjes van twee (en eventueel één groepje van drie) aan de slag. De leerlingen mogen hierbij bronnen op internet raadplegen, maar natuurlijk ook hun schoolboeken. Deze docentenhandleiding bevat (per onderdeel) voldoende bronnen, die de docent (in geval hij dat wenst) ook beschikbaar kan stellen aan de leerlingen.

Als docent is het belangrijk om de leerlingen te stimuleren om zelf te gaan zoeken naar de informatie die ze nodig hebben. Leerlingen moeten zoeken naar betrouwbare bronnen en daar de juiste informatie uit selecteren. De docent kan hierbij begeleiden en coachen.

### A) Voor- en nadelen van duurzame energie (20-25 min.)

**Opdracht:**

**Bedenk of zoek drie argumenten voor duurzame energie en drie argumenten tegen duurzame energie.**

**Opdracht:**

**Beschrijf in drie zinnen waarom jij duurzame energie belangrijk of niet belangrijk vindt. Kies hierbij dus eerst of je voor of tegen bent.**

Hierbij is belangrijk dat de leerling de argumenten die hij of zij eerder opgezocht heeft, gebruikt om zijn eigen mening te formuleren. Als een leerling die argumenten ook nog kan betrekken op zijn eigen omgeving is geeft dit een extra denkstap weer.

**Opdracht:**

**De opwekking van energie op een duurzame manier kan op veel verschillende manieren gebeuren. In principe bestaan er vijf bronnen/manieren. Probeer eerst die vijf bronnen zelf te bedenken, kom je er niet uit: zoek dan de resterende bronnen op.**

1. Zonne-energie
2. Windenergie
3. Waterkracht
4. Aardwarmte
5. Biomassa

**Opdracht:**

**Bedenk van elk van deze vijf bronnen een voordeel en een nadeel. Controleer daarna of hetgeen je bedacht hebt ook klopt, zoek dit bijvoorbeeld op.**

Uitgebreide beschrijving is te vinden via: [https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN\\_FD\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf) (vanaf pagina 46)

Qua voor- en nadelen hier een paar voorbeelden:

1. Zonne-energie: Het rendement van sommige materialen voor zonnecellen ligt behoorlijk laag, voor de huidige zonnecellen die veel aan particulieren worden verkocht ligt dit tussen de 10 % en 15 %. Daarnaast is deze vorm ook erg afhankelijk van de intensiteit van de zon en de hoek van inval van het zonlicht.

Installaties die gebruik maken van de warmte in de zon, zogenaamde zonnecollectoren, werken op dermate hoge temperaturen dat daar speciale zouten nodig zijn om op die temperatuur nog de warme vloeistof te kunnen transporteren.

Voordelen zijn dat je zonder CO<sub>2</sub> uitstoot op een relatief eenvoudige wijze energie op kan wekken. Daarnaast kunnen deze cellen en collectoren gemakkelijk op kleine schaal, bijvoorbeeld op het dak van een woning, worden toegepast.

2. Windenergie: Windturbines hebben een bepaalde hoogte nodig om de juiste windsnelheden te kunnen gebruiken. Daarbij ben je afhankelijk van de manier waarop het landschap eruit ziet, is er veel bebossing, staan er vaan gebouwen. Dit heeft allemaal invloed op de snelheden waarmee de lucht stroomt. Daarnaast bestaan er technische grenzen aan de constructie. De generator binnen in de windmolen kan maar met een bepaalde snelheid draaien, boven deze snelheid gaan er onderdelen kapot. Bij hele hoge snelheden worden windmolens dan vaak ook uitgezet om deze onderdelen te beschermen.

Een voordeel van windturbines is het feit dat er een groot potentieel is aan luchtstromen waarvan gebruik gemaakt kan worden. Daarnaast kan met enkele grote installaties, bijvoorbeeld op zee, gemakkelijk grote hoeveelheden energie geproduceerd worden.

3. Waterkracht: Voor een centrale op waterkracht heb je een van twee dingen nodig: een groot hoogteverschil of een grote massastroom. In Nederland hebben we geen grote hoogteverschillen maar wel een grote massastroom. Een voordeel is dat deze vorm van energieopwekking minder afhankelijk is van de omstandigheden. Zeker wanneer er gebruik wordt gemaakt van een stuwmeer en een hoogteverschil: het stuwmeer levert altijd voldoende water om een constante bron van energie te hebben.

Een nadeel van waterkracht is de invloed die een dergelijke centrale heeft op de omgeving en de ecologie in de waterstroom moet niet onderschat worden. Hele stukken land komen onderwater te staan door het stuwmeer dat nodig kan zijn. Daarnaast hebben de turbines zelf invloed op de levensvormen in het water. Vissen overleven het vaak niet als ze door een dergelijke turbine moeten zwemmen. Hiervoor zijn oplossingen bedacht, maar hier moet bij het ontwerp van de centrale al rekening gehouden worden om dit efficiënt toe te passen.

4. Aardwarmte: Een voordeel van aardwarmte is de relatief kleine schaal waarop het gebruikt kan worden. Per huishouden zou één put voldoende zijn om voor een langere tijd (circa 10 jaar) warmte en daarmee energie te kunnen leveren. Een nadeel van een systeem met één put is het feit dat de grond daarmee wel warmte afgeeft maar geen warmte terug krijgt. Uiteindelijk zal de put dus geen energie meer leveren.

- Biomassa: In het geval van biomassa zijn er twee grote nadelen. Ten eerste moet er flinke oppervlaktes gebruikt worden om de gewassen te laten groeien die gebruikt kunnen worden. Ten tweede zijn er geavanceerde technieken en installaties nodig om elektriciteit en warmte te kunnen winnen uit deze gewassen.

Het voordeel is wel dat bepaalde gewassen zo verwerkt kunnen worden dat ze brandstoffen produceren die veel lijken op de huidige fossiele brandstoffen. Hierdoor kunnen de huidige systemen voor verbranding gebruikt blijven worden. Uit suikerriet kan bijvoorbeeld ethanol geproduceerd worden. Dit kan met een aantal aanpassingen gebruikt worden in motoren. Dit betekent dat er niet direct een grote omschakeling nodig is naar elektrische voertuigen.

Hieronder een aantal meer sociaal economische voor- en nadelen.

Mitigation measures	Effect on additional objectives/concerns			
	Economic	Social	Environmental	Other
Nuclear replacing coal power	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ Energy security (reduced exposure to fuel price volatility)<sup>1</sup></li> <li>↑ Local employment impact (uncertain net effect)<sup>2</sup></li> <li>↑ Legacy cost of waste and abandoned reactors<sup>3</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Health impact via Air pollution<sup>4</sup>, coal-mining accidents<sup>5</sup></li> <li>↓ Nuclear accidents and waste treatment, U mining and milling</li> <li>↑ Safety and waste concerns<sup>6</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Ecosystem impact via Air pollution<sup>7</sup>, coal mining<sup>10</sup></li> <li>↑ Nuclear accidents<sup>11</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ Proliferation risk<sup>12</sup></li> </ul>
RE (wind, PV, CSP, hydro, geothermal, bioenergy) replacing coal	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ Energy security (resource sufficiency, diversity in the near/medium term)<sup>13</sup></li> <li>↑ Local employment impact (uncertain net effect)<sup>14</sup></li> <li>↑ Irrigation, flood control, navigation, water availability (for some hydro)<sup>15</sup></li> <li>↑ Extra measures to match demand (for PV, wind, and some CSP)<sup>16</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Health impact via Air pollution (except bioenergy)<sup>17</sup></li> <li>↓ Coal-mining accidents</li> <li>↑ Contribution to (off-grid) energy access<sup>19</sup></li> <li>? Project-specific public acceptance concerns (e.g., visibility of wind)<sup>20</sup></li> <li>↑ Threat of displacement (for large hydro)<sup>21</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Ecosystem impact via Air pollution (except bioenergy)<sup>22</sup></li> <li>↓ Coal mining</li> <li>↑ Habitat impacts (for some hydro)<sup>24</sup></li> <li>↑ Landscape/wildlife impact (for wind)<sup>25</sup></li> <li>↓ Water use (for wind and PV)<sup>26</sup></li> <li>↑ Water use (for bioenergy, CSP, geothermal, and reservoir hydro)<sup>27</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ Higher use of critical metals for PV, direct drive wind turbines<sup>28</sup></li> </ul>
Fossil CCS replacing coal	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ Preservation vs. lock-in of human and physical capital in the fossil industry<sup>29</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ Health impact via Risk of CO<sub>2</sub> leakage<sup>30</sup></li> <li>↑ Upstream supply-chain activities<sup>31</sup></li> <li>↑ Safety concerns (CO<sub>2</sub> storage and transport)<sup>32</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ Ecosystem impact via upstream supply-chain activities<sup>33</sup></li> <li>↑ Water use<sup>34</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ Long-term monitoring of storage<sup>35</sup></li> </ul>
BECCS replacing coal	See fossil CCS where applicable. For possible upstream effect of biomass supply, see Sections 11.7 and 11.13.6			
Methane leakage prevention, capture, or treatment	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ Energy security (potential to use gas in some cases)<sup>36</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↑ Occupational safety at coal mines<sup>37</sup></li> <li>↓ Health impact via reduced air pollution<sup>38</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>↓ Ecosystem impact via reduced air pollution<sup>39</sup></li> </ul>	

Uit IPCC Fifth assessment report 2013. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/>

## B) Energieopwekking in Europa (20-25 min.)

### Opdracht

Bekijk het bovenstaande bericht. Kies drie andere landen naast Nederland en schrijf voor elk van die drie landen op welke vorm van duurzame energie opwekking daar het meeste voorkomt en waarom.

Uitgebreide gegevens zijn te raadplegen via:

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/graph.do?tab=graph&plugin=1&pcode=ten00081&language=en&toolbox=data>

### Opdracht

Zoek op of jouw antwoord ook klopt, of dat er iets anders aan de hand is dan je dacht. Kan je de eventuele verschillen verklaren?

Ga naar de website van het Centraal Bureau voor de Statistiek ([www.cbs.nl](http://www.cbs.nl)) en zoek bij het kopje "Cijfers" naar gegevens over het energiegebruik in Nederland. Zoek ook naar cijfers over de verschillende duurzame energiebronnen.



**Opdracht**

**Beschrijf in drie zinnen hoe het energieverbruik in Nederland er uit ziet. Wat zijn de grootste gebruikers? Had je dit ook verwacht?**

Juiste gegevens zijn te vinden op:

[http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?VW=T&DM=SLNL&PA=81410NED&D1=0&D2=0,2,4-5,26-28,30-31,37-40,42-43,45-47,49-50,I&D3=\(I-1\)-I&HD=121119-1402&HDR=T,G2&STB=G1](http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?VW=T&DM=SLNL&PA=81410NED&D1=0&D2=0,2,4-5,26-28,30-31,37-40,42-43,45-47,49-50,I&D3=(I-1)-I&HD=121119-1402&HDR=T,G2&STB=G1) en

<http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=70846NED&D1=0-37&D2=15&D3=0-1,7,27,32-33&D4=I&HDR=G3,G1,G2&STB=T&CHARTTYPE=1&VW=T>

**Hoe zit het met de productie van duurzame energie, wat vind je van de cijfers die je daar vindt? Doen we genoeg aan duurzame energie in Nederland?**

Juiste gegevens zijn te vinden op:

<http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=7516&D1=a&D2=0-2,5,14,22,25,26-30,34,35,38,43&D3=a&D4=20-21&VW=T>

**Opdracht**

**Beschrijf in vier zinnen welke vorm van duurzame energieopwekking jou het meeste aanspreekt en leg uit waarom.**

Aandachtpunten hierbij zijn het gebruik van de voor- en nadelen die de leerlingen hiervoor bestudeerd hebben. Kunnen ze uitleggen welke voor- en nadelen het zwaarste wegen en waarom.

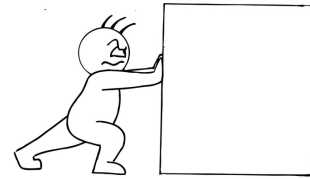
**C) Energie-eenheden (20-25 min.)**

Van oudsher werden voor verschillende vormen van energie verschillende eenheden gebruikt. Hieronder een kort overzicht van eenheden die worden gebruikt. Het verdient aanbeveling om (richting de leerlingen) te benadrukken dat we de voorkeur geven om de standaardeenheid te gebruiken. De totale energie van een systeem is namelijk gelijk aan de som van alle vormen van energie die op verschillende manieren zijn opgeslagen.

## De standaardeenheid: joule

Er worden een heleboel eenheden gebruikt om energie in uit te drukken. De internationale standaardeenheid van energie (SI-eenheid<sup>3</sup>) is de joule. De joule, genoemd naar James Prescott Joules<sup>4</sup>, staat voor de energie die nodig is om een object te verplaatsen met een kracht van 1 Newton over een afstand van 1 meter, uitgedrukt in de basis eenheden is 1 J gelijk aan  $1 \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2}$ .

Om een idee te geven waar we over praten: de energie om een kleine appel (0,102 kg) een meter op te tillen op aarde (bij een valversnelling van  $9,81 \text{ m s}^{-2}$ ) is ongeveer 1 J.



“ te verplaatsen met een kracht van 1 Newton over een afstand van 1 meter”

## Newton meter

Zoals al uit de definitie van de Joule volgt, geldt dat:  $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$ . Deze eenheid wordt vooral gebruik in de mechanica bij het berekenen van momenten.

## Kilocalorieën

In het lichaam worden onze voedingsstoffen afgebroken tijdens het spijsverteringsproces. De hoeveelheid energie die vrijkomt bij dit verteringsproces wordt in de voedingsindustrie meestal uitgedrukt in kilocalorieën (kcal.). Eén kilocalorie is de hoeveelheid energie die nodig is om één kilogram zuiver water één graad te verwarmen.

Er geldt dat:  $1 \text{ kcal} = 4186,8 \text{ J}$  (ofwel  $4,1868 \text{ kJ}$ )<sup>5</sup>. Om een indicatie te hebben: zowel één gram koolhydraten als één gram eiwit levert gemiddeld 4 kcal., en één gram vet 9 kcal.<sup>6</sup>.

## Kilowattuur

Op de energienota wordt de hoeveelheid gebruikte energie (stroom) uitgedrukt in kilowattuur. Een lamp met een elektrisch vermogen van 1 watt gebruikt in 1 seconde 1 joule aan elektrische energie, dit houdt in dat één joule gelijk is aan één wattseconde.

Daarom geldt voor een kilowattuur dat:  $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$  (MJ staat voor megajoule).

Vermeldenswaardig is dat de kosten voor opwekking van 1kWh aan elektriciteit in Nederland rond de 4 eurocent ligt, terwijl de verbruikersprijs rond de 23 eurocent ligt. Dit verschil zit hem in de kosten

<sup>3</sup> Het Internationale Stelsel van Eenheden of SI-stelsel werd op 11 oktober 1960 ingevoerd en wordt beheerd door het 'Bureau International des Poids et Mesures' te Sèvres ([www.bipm.org](http://www.bipm.org)).

<sup>4</sup> James Prescott Joule (1818-1889) was een markante Britse natuurkundige. Hij had een leidende functie in de bierbrouwerij van zijn vader en beoefende natuurkunde in zijn vrije tijd. Joule onderzocht de kenmerken van warmte en ontdekte de relatie met energie. Hij bedacht een aantal experimenten om de soortelijke warmte te meten. Hij kreeg pas laat erkenning voor zijn werk omdat hij als wetenschapper in eerste instantie niet serieus werd genomen. Dat, terwijl zijn metingen juist erg nauwkeurig waren omdat hij, vanwege zijn werk in de brouwerij, uitstekende praktische vaardigheden en geavanceerde technologie bezat.

<sup>5</sup> Joule had rond 1850, bij zijn onderzoek naar de soortelijke warmte van water, al een aardige benadering gevonden voor de relatie tussen joule en calorieën: zijn berekeningen leidden tot  $4,41 \text{ J} \approx 1 \text{ cal}$  (zie [http://nl.wikipedia.org/wiki/James\\_Prescott\\_Joule](http://nl.wikipedia.org/wiki/James_Prescott_Joule)).

<sup>6</sup> Zie <http://www.voedingscentrum.nl/encyclopedie/energie.aspx>.

van onder andere service, stroomtransport en energiebelasting. Een gemiddeld huishouden verbruikt te rond 3.500 kWh per jaar<sup>7</sup>.

## Elektronvolt

Bij deeltjesfysica, atoomfysica en vastestoffysica wordt de elektronvolt als eenheid van energie gebruikt. Eén elektronvolt (eV) is de energieverandering die een vrij deeltje met een lading van een elektron ondervindt wanneer het in een elektrisch veld een weg aflegt tussen twee punten die een onderling potentiaalverschil van 1 Volt hebben.

Omdat de lading van een elektron gelijk is aan  $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ e}$  geldt dat:

$$1 \text{ eV} = 1 \text{ Volt} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}.^8$$

## Antwoorden van het leerlingmateriaal

- 1) De joule (J)
- 2) We weten dat  $1 \text{ kcal} = 4186,8 \text{ J}$ , dus  $70 \text{ kcal} = 293076 \text{ J} \approx 293 \text{ kJ}$ .
- 3) We weten dat arbeid gelijk is aan kracht maal afgelegde afstand, dus:  
 $E = 5 \cdot 200 = 1000 \text{ Nm} = 1000 \text{ J} = 1 \text{ kJ}$ . Merk op dat  $1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$ .
- 4) Er geldt dat  $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$ . Dus voor een kilowattuur geldt:  
 $1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$  (MJ staat voor megajoule).
- 5) Voor € 0,50 kun je 2 kWh gebruiken. Als je de spaarlamp een uur laat branden kost dat 20 Wh = 0,02 kWh. Je kunt de lamp dus  $\frac{2}{0,02} = 100$  uur laten branden.
- 6) De elektronvolt wordt vooral gebruikt bij deeltjesfysica, atoomfysica en vastestoffysica.
- 7) a) meter (m), kilogram (kg), seconde (s), ampère (A), kelvin (K), mol (mol) en candela (cd).  
 b)  $1 \text{ J} = 1 \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2}$ .
- 8)  $1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 60 \text{ seconde} \cdot 60 \text{ min} \cdot 24 \text{ uur} \cdot 365 \text{ dagen} \cdot 0,10 \text{ rendement} = 3,1536 \cdot 10^9 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$ . Het energieverbruik in 2012 is  $3269 \text{ PJ} = 3269 \cdot 10^{15} \text{ J}$ . Dus de oppervlakte die nodig is, is:  
 $\frac{3269 \cdot 10^{15}}{3,1536 \cdot 10^9} = 1 \cdot 10^9 \text{ m}^2 = 1000 \text{ km}^2$ .

<sup>7</sup> Data overgenomen van <http://www.milieucentraal.nl/themas/energie-besparen/gemiddeld-energieverbruik-in-huis>.

<sup>8</sup> Een aardig filmpje ter illustratie: <http://www.natuurkundeuitlegd.nl/videolessen.php?video=elektronvolt>.

## Les 2 - Het bouwen van zonnecellen (duur: 1,5-2 uur)

### A) Werking van de Grätzelcel (20-25 min.)

Als voorbereiding op het practicum 'zonnecellen bouwen', gaan de leerlingen in groepjes van twee een filmpje bekijken over de werking van de Grätzel zonnecel (<http://vimeo.com/6237654>). Ze beantwoorden tijdens het bekijken van het filmpje onderstaande vragen. Ieder doet het in zijn eigen tempo: het filmpje mag tussendoor stil gezet worden om de antwoorden op de vragen op te schrijven. Om de laatste vraag te kunnen beantwoorden, moeten de leerlingen zelf informatie vergaren.

Het filmpje duurt iets minder dan 8 minuten. We schatten dat het invullen van de vragenlijst samen met het kijken naar het filmpje ongeveer 20-25 minuten duurt.

Hieronder de vragen en een voorbeeld van mogelijke antwoorden. De antwoorden zijn een stuk uitgebreider dan we van de leerlingen verwachten, dit ter volledigheid voor de docent.

- 1) Beschrijf in een paar zinnen hoe de versimpelde voorstelling van de werking van een zonnecel aan het begin van het filmpje wordt gegeven.

Het zonlicht wordt als volgt omgezet in elektrische energie. Door het zonlicht, in de vorm van fotonen, komen elektronen in beweging. Door de beweging van de elektronen ontstaat elektrische spanning. Als deze spanning in een stroomkring gebracht kan worden, dan hebben we stroom.

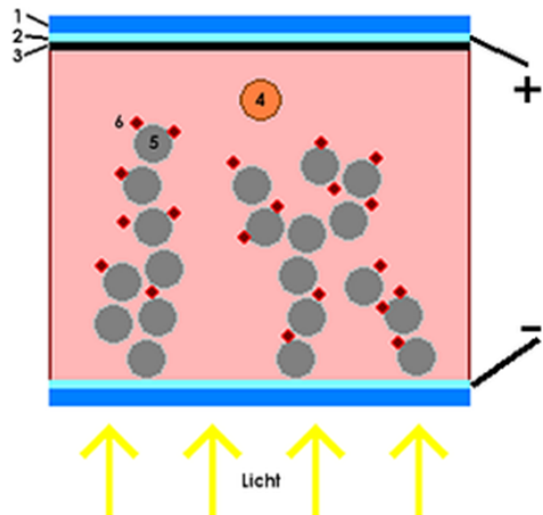
- 2) Uit welke lagen bestaat de zonnecel?

We illustreren dit aan de hand van een schematische tekening<sup>9</sup>. De nummers in de tekening corresponderen met de onderstaande nummers. Merk op dat plaatje het licht op de negatieve pool valt.

1. De buitenste laag (donkerblauw gekleurd) van glas die de cel beschermt.
2. Een doorzichtige geleidende laag, TCO genaamd (lichtblauw gekleurd).

De lagen in 1. en 2. vormen samen de glazen plaatjes boven en onder.

3. Een (geleidend) grafiet laagje (bijv. met potlood aangebracht). Dit laagje zit alleen op de positieve pool.
4. Een elektrolyt vloeistof (bijv. jodium of een andere zoutoplossing).
5. Een geleidende laag titaandioxide met daaraan vastgehecht ...
6. ... de moleculen van de hibiscusthee (of een ander geschikte kleurstof).



<sup>9</sup> Bron: Wikipedia ([http://nl.wikipedia.org/wiki/DSC\\_\(zonnecel\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/DSC_(zonnecel))), gemaakt door 'Wouter 1987'.

Om alles op een rijtje zetten zou de docent, voorafgaand aan het practicum, de verschillende lagen (en hun werking) met de klas te bespreken (daartoe is er een PowerPoint presentatie beschikbaar: '[Grätzel-zonnecel](#)').

- 3) Waarom wordt er hibiscusthee gebruikt?

Omdat de organische kleurstofmoleculen van de hibiscusthee de fotonen goed kunnen opnemen.

We willen niet dat het zonlicht teruggekaatst wordt<sup>10</sup>. De hibiscusthee zorgt er voor dat de fotonen wordt geabsorbeerd. Een kleurstofmolecuul bevat twee elektronen, waarvan er één in een baan van hoger energie kan komen op het moment dat het foton opgenomen wordt in het kleurstofmolecuul en hierbij zijn energie als het ware overdraagt aan het elektron van het kleurstofmolecuul.

- 4) Wat gebeurt er als de laag titaandioxide wordt verwarmd?

De nanobolletjes van titaandioxide klitten samen en vormen een sponsachtige geleidende laag waarop de kleurstofmoleculen zich vervolgens hechten.

- 5) In het glas zit een zogenaamde TCO-laag, wat is de functie van die laag?

De transparante elektrisch geleidende coating zorgt ervoor dat er contact wordt gemaakt met het koperdraadje waar de stroom door moet gaan lopen.

- 6) Hoe wordt in het filmpje de werking van de elektrolyt oplossing beschreven?

Een soort elektronen uitwisselingssysteem. Het is een ionische vloeistof die uitstekend geleid.

- 7) Welke kant van de zonnecel moet naar de zon gedraaid worden?

De negatieve pool, ofwel het plaatje met het titanium dioxide.

- 8) Dit type zonnecel werd (pas) in 1991 uitgevonden door de Zwitserse professor Michael Grätzel. Noem het belangrijkste voordeel van de Grätzel zonnecel, t.o.v. andere type zonnecellen. Noem ook een nadeel van dit type zonnecel. Dit wordt niet in het filmpje verteld, maar je kunt dit op internet opzoeken.<sup>11</sup>

Voordeel: Je hebt het kostbare silicium niet nodig om deze zonnecel te maken.

Belangrijkste nadelen: Het rendement ligt momenteel rond de 10%. Een stuk lager dan het

---

<sup>10</sup> **Ter info:** Maar ongeveer 45% van de invallende zonnestraling wordt door het aardoppervlak geabsorbeerd, de overige 65% procent wordt of door wolken, water, ijs of sneeuw direct teruggekaatst of opgenomen en verstrooid in de troposfeer (de onderste laag van de dampkring). Een informatief filmpje over zonnestraling (uitgezonden op 1 april 2014): 'Aardrijkskunde voor de tweede fase. Het mondiale klimaatsysteem: zon een aarde' te vinden via de volgende link (<http://www.uitzendinggemist.nl/afleveringen/1408211>).

<sup>11</sup> Een aantal **interessante sites** waar meer informatie te vinden is over de Grätzel zonnecel: op de website van Wikipedia - [http://nl.wikipedia.org/wiki/DSC\\_\(zonnecel\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/DSC_(zonnecel)), een project van vier studenten aan de K.U.Leuven - [http://telescript.denayer.wenk.be/2009-10/f6a/public\\_html/index.shtml](http://telescript.denayer.wenk.be/2009-10/f6a/public_html/index.shtml), een achtergrondartikel van nov. 2008 op kennislink.nl - <http://www.kennislink.nl/publicaties/nieuwe-kleurstof-biedt-perspectief-op-betere-gratzel-zonnecellen> en een interview met prof. Grätzel, de uitvinder van de kleurstofzonnecel <http://issuu.com/uhasse/Docs/magazine-03-09/27>.

rendement van de andere typen zonnecellen. Het grootste probleem is de degradatie als gevolg van blootstelling aan zonlicht.

## B) Het bouwen van een zonnecel

De leerlingen gaan in dit practicum een Grätzel-zonnecel bouwen, een kleurstof gesensibiliseerde zonnecel (in het Engels: dye sensitized solar cell, DSSC). In deze docentenhandleiding worden enkele aandachtspunten gegeven om de leerlingen goed te kunnen begeleiden.

### Benodigheden

- De leerlingen vormen een groep en gaan twee zonnecellen maken. Eentje met hibiscusthee
  - - hibiscusthee uit de Man Solar set
- en eentje waarbij ze een keuze maken uit één van onderstaande kleurstoffen. Uiteindelijk gaan ze de energieopbrengst van de twee zonnecellen met elkaar vergelijken.
- - 1 kopje sterke koffie
  - 1 glas (rode)vruchtensap
  - 1 glas rode wijn
- Verder hebben de leerlingen per groep nodig:
  - 1 educatieve set Man Solar
  - 1 petrischaaltje
  - 1 waterkoker
  - 1 multimeter
  - 2 kabels met krokodillenbekjes
  - Plakband
  - 1 pipet
  - 1 föhn (of een alternatief voor het drogen van de aangebrachte laag op de zonnecel)
  - Aluminiumfolie
  - 1 bunsenbrander
  - 1 driepoot
  - 1 gaasje
  - 1 grijs potlood
  - 1 muziekaart

*Extra: via ManSolar kunnen eventueel voorbereide glaasjes worden aangeschaft. Het titaan-dioxide is dan al aangebracht op de glasplaatjes. De leerlingen kunnen op deze manier extra onderzoeken wat het rendement is van het zelf aanbrengen van de titaan-dioxide.*

**Stap 1: Het kiezen van een kleurstof**

De hibiscusthee en de rode vruchtensap geven de beste resultaten. De koffie en de rode wijn leveren minder stroom op. Als de vloeistof warm is, wordt de kleurstof beter door de zonnecel opgenomen.

**Stap 2: Meten van de elektrische weerstand van de glasplaatjes**

Zorg dat de multimeter in de juiste stand staat (200  $\Omega$ ).

**Stap 3: Afplakken van de glasplaatjes**

Let er op dat de geleidende kant wordt afgeplakt. Als de andere (niet geleidende) kant wordt afgeplakt, werkt de zonnecel niet.

**Stap 4: Maken van de min-elektrodes**

Zorg dat er een dunne gelijke laag op het glasplaatje wordt uitgesmeerd. Een eventueel te veel titaan-dioxide verwijderen en opnieuw aanbrengen. Laat het titaan-dioxide goed drogen (met een föhn). Via de lucht kan ook, maar duurt wat langer. De leerlingen brengen het titaan-dioxide aan op twee van de vier glasplaatjes.

*Extra: via ManSolar kunnen voorbereide glaasjes worden aangeschaft. Het titaan-dioxide is dan al aangebracht op de glasplaatjes. De leerlingen kunnen op deze manier extra onderzoeken wat het rendement is van het zelf aanbrengen van de titaan-dioxide.*

**Stap 5: Sinteren (bakken) van de min-elektrodes**

Het glasplaatje moet in het uiteinde van de vlam worden gehouden ten einde de juiste hoge temperatuur te bereiken voor het sinteren. Eerst wordt de witte laag titaan-dioxide bruin en daarna weer wit. Laat het plaatje rustig geleidelijk afkoelen. Als het plaatje te snel afkoelt, scheurt het glasplaatje.

**Stap 6: Het maken van de plus-elektrodes**

Let er op dat de geleidende kant wordt ingekleurd.

**Stap 7: Afmaken min-elektrodes**

Zorg dat het glasplaatje van de min-elektrode goed is afgekoeld en helemaal is ondergedompeld in de kleurstof.

**Stap 8: Elektrolyt aanbrengen**

Zorg dat de beide plaatjes niet recht op elkaar worden geklemd; er moet aan beide zijden in de lengte een stukje uitsteken.

**Stap 9: De zonnecel komt tot leven**

Een cel heeft een spanning van ongeveer 0,2 – 0,4 V.

**Stap 10: Geluid creëren met zonne-energie**

Eén zonnecel is te weinig om de geluidsmodule goed te laten werken. Er zullen meerdere zonnecellen in serie moeten worden geschakeld.

**Stap 11: Welke kleurstof werkt het beste in de zonnecel?**

-

## Les 3 - Zonnecellen nader bekeken (duur: 1,5-2 uur)

### Kahoot-quiz

Voor het opfrissen van de opgedane kennis in de lessen 2, is er een formatieve toets in de vorm van een quiz. *Kahoot!* wordt gebruikt om de quiz af te nemen. *Kahoot!* is een interactief vraag-en-antwoordspel dat gespeeld kan worden op de computer, op een tablet of een smartphone.

Voor het afnemen van de quiz is het niet noodzakelijk om je te registreren. De quiz kan afgespeeld worden via de link <https://play.kahoot.it/#/k/acc31749-82fc-4d33-a532-81ce2e57bf9d>. De vragen moeten op een projectiescherm (of smartboard) worden getoond.

Het gaat als volgt in zijn werk:

- De leerlingen moeten via een device inloggen op [www.kahoot.it](http://www.kahoot.it). Voor een korte beschrijving zie de powerpoint 'Uitleg quiz' (dit kan voorafgaand aan de quiz even op het scherm worden getoond).
- De namen van de leerlingen (althans de namen die ze gekozen hebben) druppelen één voor één op het scherm binnen. Ook wordt er een tellertje bijgehouden hoeveel leerlingen zijn ingelogd.
- Als alle leerlingen ingelogd zijn, kan de quiz gestart worden.
- De eerste vraag verschijnt automatisch. De leerlingen krijgen een (vooraf) bepaalde tijd om het juiste antwoord op hun device aanklikken. Als alle leerlingen dit gedaan hebben, stopt de klok en wordt het juiste antwoord getoond. Het antwoord kan even kort besproken worden.
- Om de volgende vraag te activeren, moet op 'Next' gedrukt worden.
- Tussentijds wordt er een stand bij gehouden. Bij een goed antwoord verdient de leerling punten, hoe sneller het juiste antwoord aangeklikt wordt, des te meer punten er verdiend kunnen worden.
- De quiz bestaat uit 9 vragen.
- Na afloop wordt de leerlingen nog om een evaluatie gevraagd.

Om het zelf te testen moet je via een tweede scherm (of een smartphone) zelf voor leerling te spelen. Dit doe je door de instructie van de powerpoint te volgen:





## Quiz

- Open een browser of pak je smartphone
- Ga naar [www.kahoot.it](https://www.kahoot.it)
- Je krijgt zodadelijk een PIN
- Voer de PIN in
- Voer vervolgens je naam in

### Regels quiz

- Hoe sneller het juiste antwoord, des te meer punten je verdient
- Alleen bij een goed antwoord krijg je punten

Veel plezier/succes!

Mocht je je willen registreren, dan doe je dit via <https://getkahoot.com/>. Desgewenst kun je de quiz kopiëren en eventueel wijzigingen maken. Dit doe je door in de werkbalk bovenin 'Public' aan te klikken en te zoeken op 'Duurzame energie'.

Ter volledigheid de vragen in vogelvlucht. Het juiste antwoord is steeds in het rood gegeven. Onder een aantal vragen worden (in het groen) nog eventuele aanvullingen gegeven, die na afloop van de betreffende vraag met de leerling kan worden besproken.

- 1) Welke vorm van duurzame energie wordt het meest geproduceerd in Nederland?
  - a. Windenergie
  - b. Zonne-energie
  - c. Energie opgewerkt uit bio-massa**
  - d. Energie door waterkracht
- 2) Hoe groot is het aandeel duurzame energie in Nederland?
  - a. 2%
  - b. 5%**
  - c. 15%
  - d. 25%
- 3) Noorwegen is voor haar elektriciteit compleet zelfvoorzienend. De energie komt voor:
  - a. bijna 100% uit waterkracht**
  - b. 50% uit windenergie en 50% uit waterkracht
  - c. 50% uit windenergie en 50% uit geothermische energie

- d. bijna 100% uit windenergie

De leerlingen hebben gelezen dat Zweden de koploper was binnen de EU, met betrekking tot het percentage duurzame energie dat geproduceerd wordt. Ook daar wordt veel energie uit waterkracht gehaald.

- 4) Wat is (met zo'n 45%) de grootste energie verbruiker in Nederland?
- a. De transportsector
  - b. De industrie**
  - c. Huishoudens
  - d. Kantoren
- 5) Welk van onderstaande energiehoeveelheden is NIET gelijk aan 1 Joule?
- a. 1 Nm
  - b.  $1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$
  - c. 0,239 cal.
  - d. 1 As**

1 Joule is gelijk aan 1 Ws en niet 1 As

- 6) Hoeveel energie gebruikt een gemiddeld huishouden per jaar?
- a. 35 kWh
  - b. 350 kWh
  - c. 3500 kWh**
  - d. 35000 kWh
- 7) In plaats van hibiscusthee kun je ook bessensap gebruiken in de Grätzel zonnecel, omdat het
- a. dezelfde smaak heeft
  - b. dezelfde kleurstoffen bevat**
  - c. uit dezelfde streek komt
  - d. dezelfde zuurgraad heeft

De vloeistoffen bevatten dezelfde natuurlijke kleurstoffen, te weten 'Anthocyanen'. Deze vind je onder andere in bepaalde bessen (en bramen of frambozen) als mede in hibiscusbloemen.

- 8) Wat is waar over de Grätzel zonnecel?
- a. Hij heeft een hoger rendement dan de huidige zonnecel
  - b. Hij is goedkoper in aanschaf dan de huidige zonnecel
  - c. Hij is gemaakt van het goedkope silicium
  - d. Alle bovenstaande uitspraken zijn waar
- 9) Welk van de onderstaande beweringen is NIET waar?
- a. In een windmolen wordt, naast elektriciteit ook veel warmte geproduceerd.
  - b. De elektriciteit uit een windmolen kan niet direct in huis gebruikt worden.
  - c. Windmolens leveren altijd energie, zeker als het heel hard waait.

Bij de huidige technologie, wordt de windmolen stil gezet als het heel hard waait. Een windmolen werkt namelijk met een overbrengkoppeling. Deze versnellingsbak kan maar een beperkt aantal toeren draaien, daarboven gaat de bak kapot.

## Les 3: Verdiepend onderzoek

### Inleiding

In dit derde deel van de lessenserie gaan de leerlingen in groepjes van twee (kan eventueel ook in groepjes van 3) een kort onderzoek doen naar een onderwerp dat te maken heeft met zonne-energie. Daarna gaan ze een presentatie maken die dan in les 4 geven wordt aan de klasgenoten. De leerlingen hebben een keuze uit 4 onderwerpen, zijnde:

Onderwerp	Omschrijving v/d opdracht	Type werkzaamheden / onderzoek
<b>Fotosynthese</b>	Je leert meer over de biochemie van fotosynthese. Je zoekt online naar een onderzoeksproject over fotosynthese als energiebron	Literatuuronderzoek
<b>Verdieping op de zonnecel</b>	Je onderzoekt de invloed van de hoek van de zon op de zonnecel. Je onderzoekt welke plek het meest geschikt is voor zonnecellen	Praktisch onderzoek, klein gedeelte literatuuronderzoek
<b>Verschillende typen zonnecellen</b>	Je verdiept je in de werking van een silicium zonnecel. Je onderzoekt hoe de verschillende componenten van de zonnecel werken.	Literatuuronderzoek
<b>Zonnetoren</b>	Je verdiept je in de werking van een zonnepaneel. Je doet onderzoek naar de verschillende elementen(en hun functie) van een dergelijke energiecentrale.	Literatuuronderzoek

Het onderzoek moet ongeveer 60 min duren zodat er nog 30 min overblijft voor het maken van de presentatie, en het geheel in twee lessen of één blokkuur gedaan kan worden.

Wanneer er minder tijd beschikbaar is, kan er gekozen worden voor een 5e opdracht: de windturbine. (ongeveer 25m)

### Leerdoelen

De bedoeling van deze les is dat de leerlingen leren kennismaken met (natuurwetenschappelijk) onderzoek en hun bevindingen leren presenteren.

Meer specifiek: de leerdoelen t.a.v. het onderzoek zijn:

- Inzicht krijgen in de opbouw van onderzoek.
- Een plan van aanpak opstellen.
- Relevante gegevens verzamelen.
- Zelf een proefopstelling bedenken.
- Gegevens verwerken en interpreteren.
- Conclusies trekken over de onderzoeksvraag op grond van de gegevens.

Afhankelijk van de keuze van het onderwerp zullen bepaalde specifieke leerdoelen meer of minder aan bod komen.

Leerdoelen t.a.v. het maken van de presentatie:

- Gegevens overzichtelijk presenteren
- Keuze maken tussen relevante en niet relevante gegevens
- Het presenteren zelf / presentatietechnieken (les 4)

## Lesopbouw

Voor deze les staan twee reguliere lessen, het heeft de voorkeur om de 2 lessen aaneengesloten in een blokkur te geven.

Globale tijdsindeling:

1	Keuze voor onderwerp en indeling groepjes	5m
2	Doen van onderzoek (praktisch of literatuur)	60m
3	Vorbereiden van een presentatie	30m

## Benodigde materialen

Voor het doen van literatuuronderzoek en het maken van een presentatie moeten de leerlingen beschikking hebben over een computer met:

- Internet
- Audio
- Mogelijkheid tot printen

Dit geldt voor alle keuzeonderwerpen.

Voor het onderwerp *fotosynthese* moeten ze daarnaast kunnen beschikken over BiNaS.

Voor het onderwerp *verdieping op zonnecellen* moeten ze kunnen beschikken over:

- Atlas
- Kompas
- Practicumbenodigdheden (verder benodigdheden zijn te vinden bij deze deelopdracht)

Wanneer de leerlingen kiezen voor een alternatieve vorm van presenteren (bijvoorbeeld een poster) moeten ze eerst overleggen met de docent om te kijken wat daarvoor de mogelijkheden zijn.

## Presentatie

Wanneer de leerlingen de presentatie maakt, let dan naast de inhoudelijke aspecten op de *rubrics* die als bijlage bij les 4 zijn toegevoegd.

## De opdrachten

Verder in dit document staan de verschillende opdrachten uitgewerkt. Tips en mogelijke aanwijzingen zijn opgenomen voor de docent om de leerlingen te ondersteunen en te sturen indien nodig. Ook zijn er mogelijke antwoorden opgenomen.

### A) Fotosynthese

De bedoeling van keuzeopdracht 1 is dat leerlingen enig begrip krijgen van het proces fotosynthese. Daarnaast moeten ze zelf algemene informatie kunnen zoeken. Tenslotte moeten ze zelf een (literatuur)onderzoekje doen naar innovatieve manieren om fotosynthese te gebruiken als duurzame energiebron. Als voorbeelden zijn gekozen *kunstmatige bladeren* en *algen en bacteriën als energiebron*, maar in principe mag het ook over een ander onderwerp gaan. De leerlingen werken dit dan uit tot een korte presentatie in de volgende les.

Leerlinginformatie is weergegeven in het grijs

Tijdens deze les leer je eerst meer over fotosynthese in planten. Daarna ga je een kort onderzoek doen naar mogelijkheden om deze techniek in de toekomst te gaan gebruiken als energievoorziening. Je maakt van je onderzoek een poster of presentatie die je dan in de volgende les gaat presenteren.

Fotosynthese is de manier van planten om zonne-energie te gebruiken. Planten halen energie uit zonlicht en zetten die via complexe mechanismen om in suikers, andere brandstoffen en bouwstoffen. Het is het belangrijkste proces voor vrijwel al het leven op aarde.

2m 1) Waarom is fotosynthese ook van levensbelang voor mensen en dieren?

Fotosynthese zorgt voor de zuurstof in de lucht

Al het voedsel dat we eten ontstaat oorspronkelijk door fotosynthese.

Fotosynthese is een ingewikkeld proces, bestaande uit meerdere chemische reacties. We onderscheiden 2 hoofdstadia: de lichtreactie en de donkerreactie.

Om een indruk te krijgen van de complexiteit van de lichtreactie bekijk je nu de animatie op <http://www.schooltv.nl/video/de-lichtreactie-het-eerste-deel-van-de-fotosynthese/> over de lichtreactie.

6m 2) Schrijf hieronder de netto reactievergelijking (zoek op!) op voor de lichtreactie, waarin de stoffen ADP + P<sub>i</sub> en NADP<sup>+</sup> worden omgezet in de energierijke stoffen ATP en NADPH.

bron: <http://en.wikipedia.org/wiki/Photosynthesis>



Bekijk nu de animatie op <http://www.schooltv.nl/video/de-donkerreactie-het-tweede-deel-van-de-fotosynthese/> over de donkerreactie of Calvincyclus. De grondstof in deze reactie is CO<sub>2</sub>. Bij deze cyclus ontstaat na 3 omlopen *glyceraldehyde-3-fosfaat* (kortweg G3P). Dit is een suikermolecuul met drie koolstofatomen. Twee G3P-moleculen kunnen vervolgens worden omgezet in één molecuul glucose met zes koolstofatomen.

- 6m 3) Geef hieronder de netto reactievergelijking (voor de vorming van 1 molecuul G3P) voor de donkerreactie.

bron: <http://en.wikipedia.org/wiki/Photosynthesis>



- 2m 4) Zoals je hebt gezien is het belangrijkste eindproduct van de fotosynthese suiker. Hoe noemen we de energiesoort die daarin zit opgeslagen?

Hints: Suiker is een brandstof.

Net zoals alle andere brandstoffen bevat suiker chemische energie

- 3m 5) Geef een voordeel en een nadeel hiervan ten opzichte van de elektrische energie uit zonnepanelen.

In principe geldt natuurlijk energie is energie. Maar er kleven zeker voor en nadelen aan het gebruik van verschillende energiesoorten.

Mogelijke voordelen:

- chemische energie kun je makkelijk opslaan, elektrische energie niet
- brandstoffen sluiten beter aan bij huidige infrastructuur: ongeveer 85% van het huidige energieverbruik (2008) bestaat brandstoffen

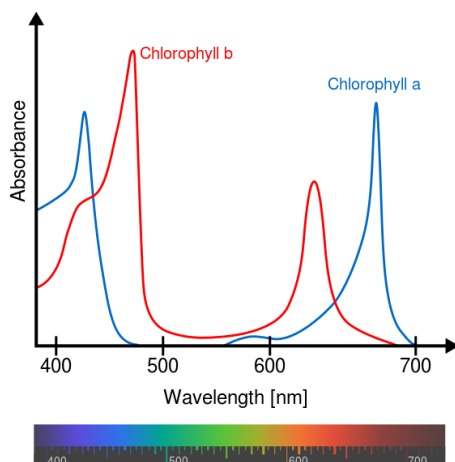
bron: [http://en.wikipedia.org/wiki/World\\_energy\\_consumption](http://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_consumption)

Mogelijke nadelen

- Energieverbruik verschuift langzaam naar elektrisch. In de westerse wereld tenminste. Je zou dus kunnen zeggen dat elektrische energie meer toekomstgericht is.

- Elektrische energie kun je snel transporteren

- 10m 6) Hoe komt het dat de meeste planten groen zijn, en wat heeft dat te maken met fotosynthese? Geef hieronder uitleg. *Hint: onderstaand plaatje heeft hier alles mee te maken.*



Bladgroenkorrels zijn groen. Dit betekent dat van het witte zonlicht vooral het rode en blauwe licht wordt gebruikt bij de fotosynthese. Deze kleuren worden dus meer geabsorbeerd door de plant, en het groene licht wordt gereflecteerd. Dat zien wij dan als groen.

Er zijn ook pigmentmoleculen met een andere kleur, die dus ook andere golflengten van het licht absorberen. Voor een compleet overzicht kijk op deze link:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Chloroplast>

Natuurlijke fotosynthese is een geweldig complex en mooi systeem dat aan de basis staat van alles wat leeft. Helaas gebruiken planten maar zo'n 0.5% tot 1% van de zonne-energie effectief.

Geïnspireerd door de natuur proberen onderzoekers fotosynthese na te bootsen en efficiënter te maken om zo uiteindelijk schone alternatieve energiebronnen te ontwikkelen.

Twee veelbelovende onderzoeksgebieden hierin zijn:

- kunstmatige bladeren
- algen en bacteriën als brandstof

Kunstmatige bladeren zijn nog in een vroege ontwikkelingsfase: laboratoria, universiteiten e.d.

Informatie hierover is beperkt, meestal Engelstalig, en behoorlijk ingewikkeld.

Voor duidelijke Nederlandstalige informatie kijk op

[http://www.biosolarcells.nl/onderzoek/kunstmatige\\_bladeren/](http://www.biosolarcells.nl/onderzoek/kunstmatige_bladeren/)

en bekijk de eerste video vanaf 15m50!

Algen en bacteriën worden op sommige plaatsen al gebruikt als brandstof, op kleine schaal weliswaar. Informatie en voorbeelden van *algen en bacteriën als brandstof* kun je vinden op

<http://www.biosolarcells.nl/onderzoek/algen/>

<http://www.biosolarcells.nl/onderzoek/algen/verwante-onderzoeksprojecten-algen.html>

40m 7) Kies een voorbeeld van een onderzoek of project m.b.t. algen of kunstmatige bladeren en beschrijf in je eigen woorden (in minimaal 10 regels) hoe dit werkt.

30m 8) Verwerk de resultaten van het onderzoek in een korte presentatie. De vorm van de presentatie is vrij, je mag hier zelf iets voor verzinnen. Voorbeelden zijn een poster, een presi maar een animatie of een minicollege op het bord kunnen natuurlijk ook. Overleg even met je docent over de gekozen presentatievorm.

De volgende onderdelen moeten terug komen in de presentatie:

- Waarom hebben jullie voor dit onderzoek gekozen?
- Waarom is dit onderzoek relevant voor de rest van de leerlingen? Wat kunnen zij hiervan leren?
- Hoe hebben jullie onderzoek gedaan?
- Wat waren de resultaten?
- Wat hebben jullie hiervan geleerd? Wat moeten de toehoorders onthouden van deze presentatie?

Deze presentatie moet 10 minuten duren dus let daar op bij de voorbereiding.



## B) Verdieping op de zonnecel

Voor deze opdracht is het de bedoeling om leerlingen zelf een beetje te laten experimenteren met het doen van een aantal metingen. Er zijn een viertal deelopdrachten beschreven die verwerkt kunnen worden tot een eindproduct. Daarbij is het wel belangrijk om even te kijken hoeveel tijd er beschikbaar is om de opdrachten in uit te voeren.

De vorm van het eindproduct is geheel open, leerlingen mogen zelf beslissen op welke manier zij hun bevindingen gaan presenteren aan de rest. Aangezien het de bedoeling is om binnen deze les ook dit eindproduct te maken is het belangrijk dat de docent in de gaten houdt wat de leerlingen aan het doen zijn en wanneer zij beter kunnen beginnen aan het maken van het eindproduct.

Voor de docent is het belangrijk om de leerlingen te begeleiden in het proces van onderzoek doen. In deze handleiding staan een aantal tips die handig zijn om in gedachten te houden.

Benodigdheden:

- Zonnecel (eventueel uit les 2)
- multimeter (of een aparte volt- en ampèremeter)
- Gradenboog of geodriehoek om hoeken te meten
- Statief of plateau om de zonnecel op te monteren.
- Kompas

### Opdracht 1 (20-25 min):

Alternatief voor het meten in de zon is het gebruik van peertjes met verschillende aantal lumen het vergelijken van deze meet gegevens. Eventueel kan met een lenzensysteem het licht uit een dergelijke lamp gericht worden tot een evenwijdige lichtbundel. Hiermee kunnen vergelijkbare experimenten worden gedaan als met het zonlicht. Ideaal is echter het gebruik maken van de zon, dit is natuurlijk afhankelijk van het weer.

Een (uitgebreid) onderzoek waarmee de resultaten vergeleken kunnen worden is te vinden op [http://www.physics.arizona.edu/~cronin/Solar/References/Irradiance%20Models%20and%20Data/LI L07.pdf](http://www.physics.arizona.edu/~cronin/Solar/References/Irradiance%20Models%20and%20Data/LI%20L07.pdf)

Een eenvoudige onderzoek om het mee te vergelijken is <http://gammascienceuniverse.wordpress.com/2013/05/18/tilt-of-the-solar-panel-does-it-affect-the-voltage/>

### Opdracht 2 (20 min):

Voor deze opdracht kunnen leerlingen de metingen gebruiken uit het vorige experiment indien ze er aan denken om de zonnecel in het eerste experiment te richten op een van de vier windrichtingen. Een aandachtspunt is om er voor te zorgen dat de leerlingen niet het hele eerste experiment herhalen maar proberen om met een beperkter aantal metingen een beeld te krijgen of er verschillen zijn per windrichting. Vergelijkingsdata is wederom te vinden in het eerste onderzoek dat hierboven is genoemd.

### Opdracht 3 (20 min):

Voor deze en de volgende opdracht is het belangrijk dat leerlingen een bron raadplegen die betrouwbaar is. De docent kan hierin begeleiden, zodat de leerlingen ervan bewust worden op welke manier zij een bron vinden met niet alleen de juiste informatie maar die ook nog eens betrouwbaar is.

Voor deze opdracht zou het onderstaande rapport een goede bron zijn.

[http://www.knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie/Zonnestraling\\_in\\_Nederland.pdf](http://www.knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie/Zonnestraling_in_Nederland.pdf)

Dit rapport is behoorlijk uitgebreid dus het kan lastig zijn voor leerlingen om de juiste informatie hieruit te halen. Het is echter niet de enige bron maar een voorbeeld, dus mogelijk vinden leerlingen zelf een iets bruikbaarere bron.

### Opdracht 4 (15 min)

Een voorbeeld van het type bron waarnaar we opzoek zijn voor deze opdracht is de onderstaande link.

<http://theenergycollective.com/stephenlacey/384156/solar-versus-grid-map-shows-where-pv-makes-most-sense>

Als een alternatief, als leerlingen bijvoorbeeld bedacht hebben dat Afrika een goede locatie zou zijn, kunnen rapporten zoals het onderstaande document gebruikt worden om te bekijken of hun idee ook klopt.

[http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Africa\\_renewable\\_future.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Africa_renewable_future.pdf)

## C) Verschillende typen zonnecellen

In deze keuzeopdracht is het de bedoeling dat leerlingen zelfstandig de werking van een gangbare zonnecel gaan onderzoeken.

Goed begrip van de principes van de zonnecellen bevat een aantal kennispunten die de leerlingen waarschijnlijk nog niet hebben gehad in hun schoolvakken. Echter aangezien dit een verdiepingsopdracht is, is dit natuurlijk een mooie gelegenheid om daarover te leren. kernbegrippen:

- valentie-elektronen
- aantal valentie-elektronen afgeleid uit periodiek systeem (voor elementen uit groep III, IV en V)
- elektrisch veld

Je kan er als docent voor kiezen deze theorie eerst uit te leggen aan je leerlingen als je denkt dat ze er zelf niet uitkomen. Je kan het ze natuurlijk ook zelf laten onderzoeken en helpen indien nodig. Het is uiteraard ook sterk aanbevolen je zelf even in te lezen in deze stof als je er niet in thuis bent. Goed startpunt: <http://www.natuurkunde.nl/artikelen/view.do?supportId=687503>

Leerlinginformatie is weergegeven in het grijs

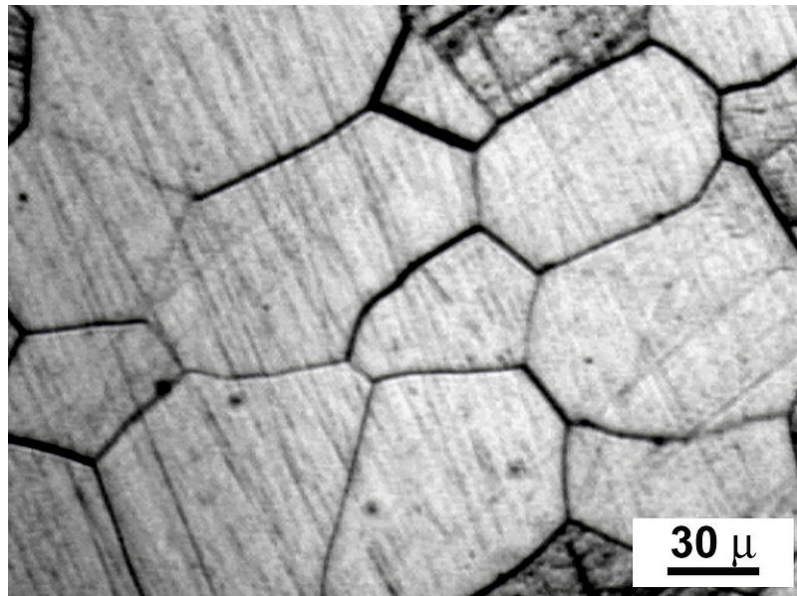
In de voorgaande lessen heb je kennism gemaakt met de Grätzel zonnecel of DSSC zonnecel. Dit type zonnecel is relatief nieuw en wordt op dit moment nog niet veel gebruikt in commerciële toepassingen. De meeste zonnecellen die je ziet op bijvoorbeeld daken van huizen zijn *silicium zonnecellen*.

Binnen de groep van silicium zonnecellen maken we ook weer onderscheid tussen '*monocrystalline silicon*' en '*polycrystalline silicon*'.

*Monocrystalline silicon* bestaat uit een ononderbroken kristalrooster van silicium. Het is dus eigenlijk één groot kristal, met niet of slechts heel weinig onzuiverheden. Vandaar ook de naam. Deze hoogwaardige vorm van silicium wordt ook gebruikt voor hoogwaardige elektronica zoals chips.

*Monocrystalline silicon* zonnecellen hebben het hoogste rendement van ca. 15-20%, maar zijn ook het duurste om te fabriceren.

*Polycrystalline silicon* bevat meerdere kristallen die tegen elkaar aanzitten. Tussen de verschillende kristallen zit de zogenaamde korrelgrens. Onder de microscoop kun je deze korrelgrens goed zien. (Zie afbeelding)



*Polycrystalline crystal: bron: wikipedia*

Zonnecellen van dit materiaal hebben een rendement tot ongeveer 10%, maar zijn goedkoper om te maken.

Een vorm van zonnecellen die de laatste jaren in opkomt is, is de zogenaamde '*thin film*' zonnecel. (TFSC) Deze vorm van zonnecel bestaat uit een of meerdere dunne laagjes lichtgevoelig materiaal op een substraat. Dat is de dikkere laag die eronder zit. De Grätzel zonnecel is ook een *thin film* zonnecel, met een organische (=koolstofverbinding) kleurstof die het licht opvangt. Er bestaan ook vele andere typen *thin film* zonnecellen, met silicium, maar ook met andere anorganische (niet koolstofverbinding) materialen.

Meer informatie is te vinden onder de onderstaande links:

<http://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_cell#Practical\\_materials](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell#Practical_materials)

### Opdracht 1 (60min)

Onderzoek hoe de kristallijne zonnecel met silicium werkt. Wat zijn de verschillen en overeenkomsten met de Grätzel zonnecel? Denk aan de verschillende componenten die jullie zelfgebouwde cel had en vind je deze ook terug in de silicium zonnecel.

Goeie site die uitleg geeft over het principe:

<http://www.natuurkunde.nl/artikelen/view.do?supportId=687503>

Wanneer leerlingen vastlopen bij deze opdracht kun je ze daarheen sturen.

### Opdracht 2 (30min)

Verwerk de resultaten van het onderzoek in een korte presentatie. De vorm van de presentatie is vrij, je mag hier zelf iets voor verzinnen. Voorbeelden zijn een poster, een presi maar een animatie of een minicollege op het bord kunnen natuurlijk ook. Overleg even met je docent over de gekozen presentatievorm.

De volgende onderdelen moeten terug komen in de presentatie:

- Waarom hebben jullie voor dit onderzoek gekozen?
- Waarom is dit onderzoek relevant voor de rest van de leerlingen? Wat kunnen zij hiervan leren?
- Hoe hebben jullie onderzoek gedaan?
- Wat waren de resultaten?
- Wat hebben jullie hiervan geleerd? Wat moeten de toehoorders onthouden van deze presentatie?

Deze presentatie moet 5 minuten duren dus let daar op bij de voorbereiding.

## D) De zonnetoren

Het doel van deze keuzeopdracht is dat leerlingen kennismaken met deze nieuwe vorm van duurzame energie. Leerlingen zoeken online naar goede bronnen over dit type energiecentrale. Het is de bedoeling dat leerlingen ontdekken dat sommige energieomzettingen in de centrale, zoals de (stoom)turbine en generator algemeen zijn voor elektriciteitscentrales.

Leerlingen moeten inzicht krijgen in het begrip 'rendement' en dit kunnen gebruiken bij hun uitleg / presentatie.

Een nieuwe vorm van zonne-energie die in ontwikkeling is, is de zonnetoren. De eerste energiecentrale met deze techniek is gebouwd in Spanje bij Sevilla in 2006(zie afbeelding). Inmiddels zijn er meerdere zonnetorens gebouwd in verschillende landen. Door gebruik te maken van parabolisch gevormde spiegels die met de zon meedraaien wordt al het zonlicht gereflecteerd naar een collector bovenin de toren.



De zonnecentrale PS10 (Planta Solar 10) bij het Spaanse Sevilla  
 bron: <http://kitskinny.files.wordpress.com/2013/09/tour5.jpg>

De zonne-energie wordt in de collector opgevangen. Er zijn verschillende manieren waarop deze energie wordt omgezet naar elektriciteit. Dit verschilt per centrale.

### Opdracht 1 (50min)

Onderzoek wat deze manieren zijn en waarin ze verschillen. Denk hierbij aan de volgende dingen:

- welke energieomzettingen vinden er plaats, en welke apparaten en stoffen/materialen worden daarbij gebruikt. Wat is het rendement van de verschillende omzettingen?
- kan de centrale ook stroom leveren als de zon niet schijnt?
- Wat zijn de overeenkomsten met een "ouderwetse" kolencentrale?

De eerste generatie centrales gebruikten de zonne energie rechtstreeks om water op te warmen. Modernere centrales gebruiken gesmolten zout om de zonne-energie op te nemen. Deze zouten kunnen worden opgeslagen in tanks en kunnen zo als buffer dienen. De warmte uit de zouten wordt gebruikt om water te koken en zo weer een turbine aan te drijven. Vanwege het opslagsysteem kan dit ook plaatsvinden als de zon niet schijnt.

[http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_power\\_tower](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_tower)

### Opdracht 2 (10min)

In totaal zijn er 624 spiegels bij deze centrale, elk met een oppervlakte van  $120\text{m}^2$ . Bereken het *theoretisch* maximaal vermogen dat deze centrale kan opwekken in MW. Onderzoek daarvoor eerst wat het vermogen van de zon is op het aardoppervlak.

In werkelijkheid levert deze centrale 11MW.  
 Geef een verklaring voor dit verschil.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Sunlight>

maximum zonnevermogen wanneer de zon aan de top van de hemel staat:  $1120 \text{ W/m}^2$

$1120 \text{ W/m}^2 \times 120\text{m}^2 \times 624 = 84\text{MW}$

### Opdracht 3 (30 min)

Verwerk de resultaten van je onderzoek in een korte presentatie. De vorm van de presentatie is vrij, je mag hier zelf iets voor verzinnen. Voorbeelden zijn een poster, een presi, maar een animatie of een minicollege op het bord kunnen natuurlijk ook. Overleg even met je docent over de gekozen presentatievorm.

De volgende onderdelen moeten terug komen in de presentatie:

- Waarom hebben jullie voor dit onderzoek gekozen?
- Waarom is dit onderzoek relevant voor de rest van de leerlingen? Wat kunnen zij hiervan leren?
- Hoe hebben jullie onderzoek gedaan?
- Wat waren de resultaten?
- Wat hebben jullie hiervan geleerd? Wat moeten de toehoorders onthouden van deze presentatie?

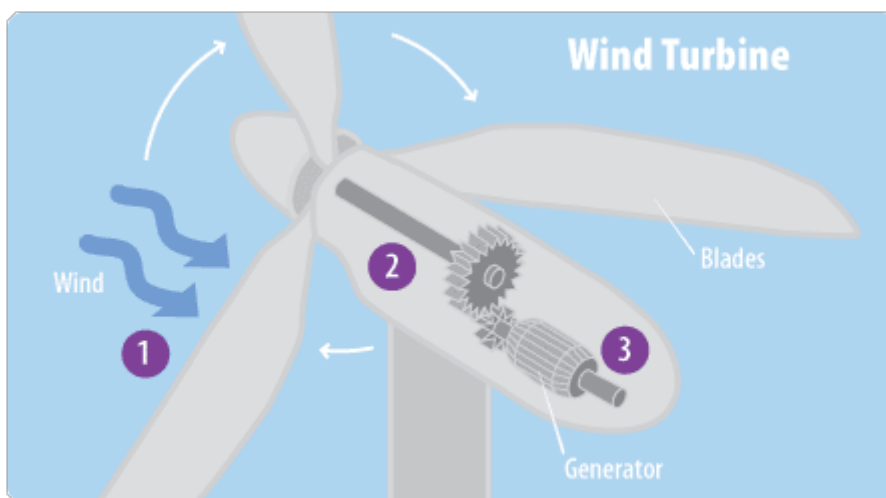
Deze presentatie moet 5 minuten duren dus let daar op bij de voorbereiding.

### E) Werking van een windturbine (20-25 min.)

#### Opdracht

**Maak een schets van een windmolen en de manier waarop je denkt dat hierbij energie opgewekt wordt.**

Een voorbeeld zou zijn:



Educatiemateriaal van: <http://www.epa.gov/climatestudents/solutions/technologies/wind.html>

#### Opdracht

Bekijk eerst het volgende filmpje <http://www.youtube.com/watch?v=LNXTm7aHvWc> tot 3:55. Beantwoord daarbij de volgende vragen.

Het doel is dat leerlingen zich kunnen voorstellen hoe een windturbine energie uit de luchtstroom kunnen halen. Het idee van de vragen bij het filmpje is om de concepten die voor een “normale” turbine gelden ook te kunnen toepassen en benoemen in andere ontwerpen voor een windturbine.

- In het begin wordt er gezegd dat de meeste windmolens een horizontale as hebben. Schets hoe een windmolen met een verticale as eruit zou zien. Zoek deze daarna op.



Een voorbeeld:

- Er wordt gezegd dat de meeste molens drie bladen hebben, zouden er ook molens met twee of een blad bestaan? Leg uit waarom je denkt dat dit wel of niet kan.



Een voorbeeld:

Het doel is dat leerlingen kunnen benoemen waarom dit nog steeds werkt.

- Waarom kunnen zowel de turbine zelf, als de bladen roteren om verschillende assen? Denk je dat deze onderdelen 360 graden kunnen draaien of zijn er beperkingen? Leg uit waarom je denkt dat er wel of geen beperkingen zijn.

De bladen en de turbines kunnen roteren om verschillende assen om het maximale uit de luchtstroom te halen. Aangezien de generator in de windmolen maar een beperkt toerental heeft moet het toerental van de wieken daarop aangepast worden. Door de hoek tussen een wiek en de windstroom te veranderen kan de kracht op de wiek bepaald worden en daarmee ook het toerental.

- Waarom zijn er transformatoren nodig onderin de windmolen?

Om ervoor te zorgen dat pieken en dalen in de productie van elektriciteit worden opgevangen. Deze pieken en dalen in de spanning en de stroom zijn dan niet terug te vinden in de uitgaande elektriciteit. Daarnaast is een hoog voltage efficiënter tijdens het transport.

### Opdracht

**Een windmolen wordt gebruikt om elektrische energie op te wekken, het principe waarop dit gebaseerd is lijkt erg veel op een dynamo zoals deze op een fiets zit. Beschrijf in je eigen woorden het energie omzettings-proces dat bij de molen plaats moet vinden. Gebruik de volgende begrippen: wind, bewegingsenergie, kracht, arm, arbeid, dynamo, elektrische energie.**

Een voorbeeld zou zijn:

De bewegingsenergie uit de wind oefent een kracht uit op de wieken. Hierdoor gaan de wieken ronddraaien en leveren daarbij arbeid (kracht over een afstand). Deze ronddraaiende beweging wordt met behulp van een soort dynamo omgezet in elektrische energie.



## Les 4 - Conclusies en presentatie

Voor deze les is het de bedoeling dat de groepjes aan elkaar onderling hun resultaten uit de onderzoeksopdracht van les 3 presenteren. Naast het presenteren is het de bedoeling dat de leerlingen feedback geven op elkaar presentatie. Daarvoor is een feedbackformulier te vinden in het leerlingenmateriaal, dit kan individueel maar ook als groepje ingevuld worden. Dit gedeelte van de lessenserie kan in ongeveer een half uur uitgevoerd worden, uitgaande van vier groepen, elke presentatie mag dan circa 10 minuten duren met nog een paar minuten om eventuele vragen te beantwoorden. en te reageren op feedback.

Voor de beoordeling is er in dit document een rubric toegevoegd waarin beschreven staat wat als voldoende zou kunnen gelden. Natuurlijk is dit open voor interpretatie door de docent. Er wordt aangeraden om ook de manier waarop er feedback genoteerd wordt door de groepjes mee te nemen in de beoordeling.

## Rubrics Les 4: Presentatie

	Onvoldoende	Voldoende	Goed	Uitmuntend
<b>Opening</b>	De leerling geeft niet aan waarom hij of zij voor dit onderwerp gekozen heeft.		De leerling geeft duidelijk aan waarom hij of zij dit onderwerp een nuttig onderwerp vinden	
<b>Opmaak, indeling</b>	De indeling van de presentatie is onduidelijk, de opmaak is slordig en/of slecht leesbaar.	De indeling van de presentatie is onduidelijk, de opmaak is net en duidelijk leesbaar.	De presentatie heeft een duidelijke indeling, de opmaak zet er netjes uit en is goed leesbaar.	
<b>Relevantie</b>	Er is geen koppeling naar het dagelijkse leven <b>en</b> er worden geen argumenten benoemd voor het uitdiepen van dit onderwerp	Er is geen koppeling gemaakt naar het dagelijkse leven <b>of</b> de beargumentering voor het uitdiepen van dit onderwerp is niet duidelijk.	De koppeling naar het dagelijkse leven is aanwezig, er wordt beargumenteerd waarom dit onderwerp uitgediept moest worden.	De koppeling naar het <b>dagelijkse</b> leven is duidelijk aanwezig, er wordt <b>goed</b> beargumenteerd waarom dit onderwerp uitgediept moest worden.
<b>Onderzoeksstappen</b>	De stappen in het onderzoeksproces worden niet benoemd, het is onduidelijk waarom het onderzoek op deze manier is uitgevoerd.	De stappen in het onderzoeksproces worden neergezet, er wordt redelijk toegelicht waar elke stap voor dient.	De stappen in het onderzoeksproces worden duidelijk neergezet, er wordt toegelicht waar elke stap voor dient.	
<b>Presentatie resultaten</b>	De resultaten zijn onoverzichtelijk weergegeven. Er wordt niet of nauwelijks ingegaan op wat die resultaten nu betekenen. (wat er te zien is)		De resultaten zijn overzichtelijk weergegeven. Opvallende zaken worden benoemd.	De resultaten zijn overzichtelijk weergegeven. Opvallende zaken worden toegelicht. Logische vervolgstappen voor het huidige onderzoek of toekomstig onderzoek worden benoemd.

<b>Conclusie</b>	Er wordt geen antwoord gegeven op de onderzoeksvragen . Onduidelijk is wat we nu allemaal mee moeten nemen uit dit onderzoek	Er wordt antwoord gegeven op de onderzoeksvraag. Onduidelijk is wat we nu allemaal mee moeten nemen uit dit onderzoek		Er wordt antwoord gegeven op de onderzoeksvraag . Vervolgens wordt de conclusie uit de resultaten benoemd. Er wordt een verband gelegd met de relevantie van het onderwerp. ( wat is voor ons allemaal nu relevant aan de conclusie?)
<b>Afsluiting</b>	De groep als geheel kan vragen niet beantwoorden		Leerling speelt goed in op vragen, groepsleden vallen bij om te helpen indien de presentator er niet volledig uitkomt.	
<b>Bronnen</b>	Er is niet duidelijk verwezen naar de gebruikte bronnen, de betrouwbaarheid van de bronnen is onduidelijk.		Er wordt verwezen naar de bronnen. Daarnaast is de betrouwbaarheid van de bronnen duidelijk.	Er wordt veelvuldig en duidelijk verwezen naar de bronnen. Het is duidelijk wat de relevantie van de bronnen is. Daarnaast is de betrouwbaarheid van de bronnen duidelijk.

Als het vier van de acht onderdelen onvoldoende zijn wordt de beoordeling onvoldoende afgegeven.

In andere gevallen wordt gewogen hoeveel van de onderdelen in de verschillende categorieën vallen en daaruit wordt een gemiddelde beoordeling gekozen. Bijvoorbeeld: twee onderdelen onvoldoende, drie onderdelen voldoende, drie onderdelen goed. Een logische keuze zou zijn om hiervoor (ruim)voldoende toe te kennen.

## Literatuurlijst

- ANP, "Noorden wil meer duurzame energie opwekken.",  
<http://www.nu.nl/economie/3742452/noorden-wil-meer-duurzame-energie-opwekken.html>
- ANP, "Nederland in achterhoede duurzame energie.",  
<http://www.nu.nl/economie/3722387/nederland-in-achterhoede-duurzame-energie.html>
- Biosolarcells, "De kennis van nu: energie uit kunstmatige blaadjes.",  
[http://www.biosolarcells.nl/onderzoek/kunstmatige\\_blaadjes/](http://www.biosolarcells.nl/onderzoek/kunstmatige_blaadjes/)
- Biosolarcells, "Gerelateerde onderzoeksprojecten algen en bacteriën.",  
<http://www.biosolarcells.nl/onderzoek/algen/verwante-onderzoeksprojecten-algen.html>
- CBS, "Share of renewables in energy consumption up to 14% in 2012.",  
[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_PUBLIC/8-10032014-AP/EN/8-10032014-AP-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_PUBLIC/8-10032014-AP/EN/8-10032014-AP-EN.PDF)
- CBS, "Hernieuwbare energie; eindverbruik en vermeden verbruik fossiele energie.",  
<http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=7516&D1=a&D2=0-2,5,14,22,25,26-30,34,35,38,43&D3=a&D4=20-21&VW=T>
- Educatieve kit van Man Solar, artikel 1000 kit. <http://www.mansolar.nl/products/article-1000-kit-1.html>
- Energy Informative, "Which Solar Panel Type is Best? Mono- vs. Polycrystalline vs. Thin Film",  
<http://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/>
- Klug, J., "De werking van een Grätzel zonnecel.", <http://vimeo.com/6237654>
- KU Leuven, "Wetenschappelijk Project: De Zonnecel", [http://telescript.denayer.wenk.be/2009-10/f6a/public\\_html/index.shtml](http://telescript.denayer.wenk.be/2009-10/f6a/public_html/index.shtml)
- Rijksvoorlichtingsdienst voor ondernemend Nederland, "Subsidieregeling zonnepanelen gesloten.",  
<http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/subsidieregeling-zonnepanelen-gesloten>
- School-tv, "De lichtreactie", <http://www.schooltv.nl/video/de-lichtreactie-het-eerste-deel-van-de-fotosynthese/>
- School-tv, "De donkerreactie", <http://www.schooltv.nl/video/de-donkerreactie-het-tweede-deel-van-de-fotosynthese/>
- Wikipedia, "Solar Cell", [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_cell#Practical\\_materials](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell#Practical_materials)
- Youtube, "Wind turbine: how does it work?", [https://www.youtube.com/watch?v=YCpGQ\\_aMb7I](https://www.youtube.com/watch?v=YCpGQ_aMb7I)

## Lijst met internetlinks

[https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN\\_FD\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf)

<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/graph.do?tab=graph&plugin=1&pcode=ten00081&language=en&toolbox=data>

[http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?VW=T&DM=SLNL&PA=81410NED&D1=0&D2=0,2,4-5,26-28,30-31,37-40,42-43,45-47,49-50,I&D3=\(I-1\)-I&HD=121119-1402&HDR=T,G2&STB=G1](http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?VW=T&DM=SLNL&PA=81410NED&D1=0&D2=0,2,4-5,26-28,30-31,37-40,42-43,45-47,49-50,I&D3=(I-1)-I&HD=121119-1402&HDR=T,G2&STB=G1)

<http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=70846NED&D1=0-37&D2=15&D3=0-1,7,27,32-33&D4=I&HDR=G3,G1,G2&STB=T&CHARTTYPE=1&VW=T>

<http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=7516&D1=a&D2=0-2,5,14,22,25,26-30,34,35,38,43&D3=a&D4=20-21&VW=T>

[http://nl.wikipedia.org/wiki/James\\_Prescott\\_Joule](http://nl.wikipedia.org/wiki/James_Prescott_Joule)).

<http://www.voedingscentrum.nl/encyclopedie/energie.aspx>

<http://www.milieucentraal.nl/themas/energie-besparen/gemiddeld-energieverbruik-in-huis>.

<http://www.natuurkundeuitgelegd.nl/videolessen.php?video=elektronvolt>.

<http://www.uitzendinggemist.nl/afleveringen/1408211>).

[http://nl.wikipedia.org/wiki/DSC\\_\(zonnecel\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/DSC_(zonnecel)),

[http://telescript.denayer.wenk.be/2009-10/f6a/public\\_html/index.shtml](http://telescript.denayer.wenk.be/2009-10/f6a/public_html/index.shtml)

<http://www.kennislink.nl/publicaties/nieuwe-kleurstof-biedt-perspectief-op-betere-gratzel-zonnecellen>

<http://issuu.com/uhasselt/docs/magazine-03-09/27>

<https://play.kahoot.it/#/k/acc31749-82fc-4d33-a532-81ce2e57bf9d>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Photosynthesis>

[http://en.wikipedia.org/wiki/World\\_energy\\_consumption](http://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_consumption)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Chloroplast>

<http://www.biosolarcells.nl/onderzoek/algen/verwante-onderzoeksprojecten-algen.html>

<http://www.physics.arizona.edu/~cronin/Solar/References/Irradiance%20Models%20and%20Data/LI07.pdf>

<http://gammascienceuniverse.wordpress.com/2013/05/18/tilt-of-the-solar-panel-does-it-affect-the-voltage/>

[http://www.knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie/Zonnestraling\\_in\\_Nederland.pdf](http://www.knmi.nl/klimatologie/achtergrondinformatie/Zonnestraling_in_Nederland.pdf)

<http://theenergycollective.com/stephenlacey/384156/solar-versus-grid-map-shows-where-pv-makes-most-sense>

[http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Africa\\_renewable\\_future.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Africa_renewable_future.pdf)

<http://www.natuurkunde.nl/artikelen/view.do?supportId=687503>

<http://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_cell#Practical\\_materials](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell#Practical_materials)

<http://www.natuurkunde.nl/artikelen/view.do?supportId=687503>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_power\\_tower](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_tower)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Sunlight>

<http://www.epa.gov/climatestudents/solutions/technologies/wind.html>

<http://www.youtube.com/watch?v=LNXTm7aHvWc>