

Lesmodule voor HAVO en VWO 3

Zonne-energie voor elektriciteitsopwekking



-Docentenversie-

Ontwikkeld voor



Door

Jeroen Verschelling

Solar Consult

augustus 2012



Inhoud

1 Hoe werkt een zonnecel?	3
1.1 Leerdoelen	3
1.2 Zonne-energie	3
1.3 Hoe werkt een zonnecel?	3
1.4 Verschillende type zonnecellen	4
1.5 Opbouw van een zonnepaneel uit zonnecellen	5
1.6 Hoe worden zonnepanelen gemaakt?	6
1.7 Proef met een zonnecel in de klas.	7
1.8 Meer informatie:	8
2 Toepassingen van zonne-energie: netgekoppeld en autonoom	9
2.1 Leerdoelen	9
2.2 Hoe sla je de zonne-energie op?	9
2.3 Netgekoppelde PV	10
2.4 Hoeveel zonnepanelen heb jij thuis nodig ?	11
2.5 Autonome PV	14
2.6 Opdracht	15
2.7 Meer informatie:	16
3 Maatschappelijke aspecten van zonne-energie	17
3.1 Leerdoelen	17
3.2 Energiebeleid	17
3.3 Op jacht naar een hoger zonnecel rendement	18
3.4 Wat is de energierugverdiensijd van een zonnepaneel?	20
3.5 Schaalvergroting en kostenreductie	21
3.6 Meer informatie:	23
4 Bijlage	24
4.1 Inhoud leskist	24
4.2 Antwoorden op vragen in de lesmodule	25

1 Hoe werkt een zonnecel?

1.1 Leerdoelen

Aan het einde van dit hoofdstuk:

- Begrijpt de leerling hoe een zonnecel is opgebouwd en hoe hij werkt
- Begrijpt de leerling hoe een zonnepaneel is opgebouwd
- Is de leerling in staat een zonnecel aan te sluiten en een kleine stroom/spanning op te wekken

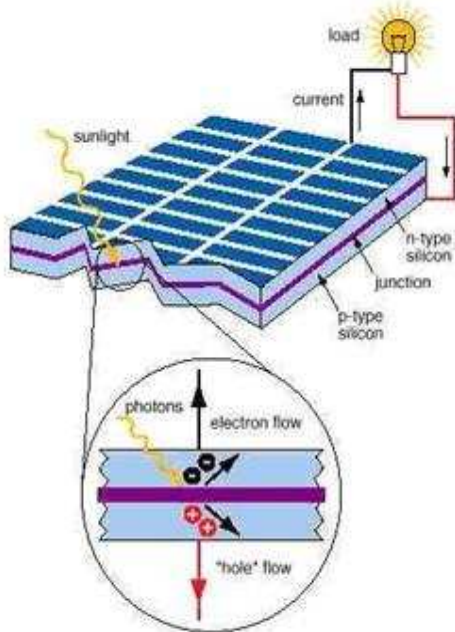
1.2 Zonne-energie

De hoeveelheid zonne-energie die de aarde bereikt is gigantisch. Om je een idee te geven: de totale hoeveelheid zonne-energie die in minder dan anderhalf uur wordt geabsorbeerd door de atmosfeer van de aarde, onze oceanen en continenten samen, is meer energie dan de gehele wereldbevolking in een heel jaar verbruikt!

Er is dus ruim voldoende energie voorhanden, de kunst is om al deze zonne-energie goed te benutten. Dat kan onder andere met behulp van zonne-cellen. In deze lesmodule gaan we hier dieper op in.

1.3 Hoe werkt een zonnecel?

Voor het opwekken zonne-energie (ook wel PV genoemd, van het Engelse photovoltaic) heb je zonnecellen nodig. In de zonnecellen wordt licht omgezet in elektriciteit. Zonnecellen vinden we al jaren op rekenmachines, en ook in de zonnepanelen die we steeds vaker plaatsen op onze daken.



Verreweg de meeste zonnecellen zijn gemaakt van kristallijn silicium. Dat silicium is een halfgeleider die bestaat uit twee lagen: een p-type laag en een n-type laag (zie figuur 1) met elk een verschillende elektrische geleiding. In de n-laag zijn extra negatieve vrije ladingdragers (electronen) aanwezig, in de p-laag geldt dit voor positieve vrije ladingdragers ('gaten'). De zone waar deze twee lagen grenzen, heet de pn-overgang of ook wel 'junction'.

Figuur 1: Opbouw en werking van een kristallijne zonnecel: Door het invangen van fotonen ontstaan gaten en electronen en gaat er een stroom lopen. Bron: <http://www.esdalcollege.nl/eos/vakken/na/zonnecel.htm>

Bij blootstelling van een zonnecel aan (zon)licht wordt de energie gebruikt om extra ladingsdragers (electronen en gaten) te creëren.

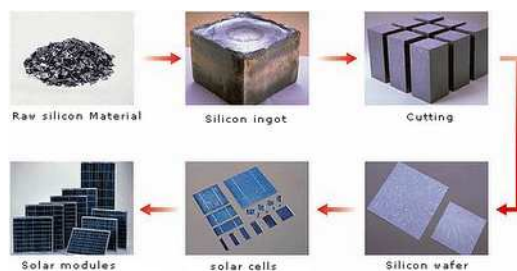
De ontstane elektronen gaan naar het n-gedeelte en de (positieve) gaten gaan juist de andere kant op. Zo verzamelt zich aan de ene zijde positieve lading en aan de andere kant negatieve lading. Er ontstaat een spanning. Als de beide zijden uitwendig met een koperdraadje verbonden worden, gaat er een stroom lopen. De zonnecel is dan dus een stroombron geworden.

Hoe zuiverder het silicium van de zonnecel, hoe hoger het rendement van dit proces. Immers, een groter aantal vrije ladingdragers wordt omgezet in elektrische stroom.

Een leuk animatiefilmpje op internet legt dit principe heel duidelijk uit voor een zonnecel die is gemaakt van organisch materiaal, de Grätzel zonnecel. Zie: <http://vimeo.com/6237654>.

1.4 Verschillende typen zonnecellen

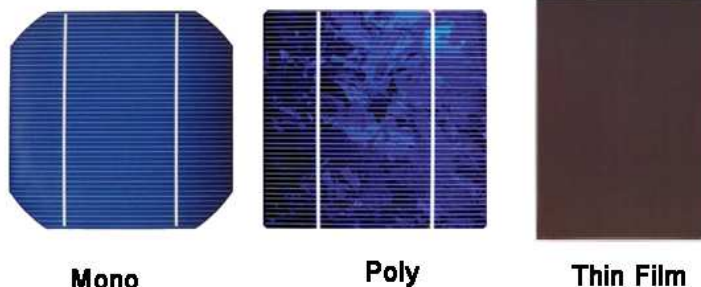
Bij kristallijne zonnecellen onderscheiden we monokristallijn, waarbij de kristallen in één richting staan en polykristallijn (figuur 3) dat er gevlekt uit ziet. Deze soorten zonnecellen worden gemaakt door een groot blok zuiver silicium in hele dunne plakjes cellen te zagen.



Figuur 2: van silicon tot zonnepaneel (bron solarphotovoltaic.blogspot.com).

Hoewel de kristallijne zonnecel de meest toegepaste technologie is, zijn er nog andere soorten zonnecellen. Bij dunne film zonnecellen wordt een heel dun laagje celmateriaal met een op damp techniek op een drager aangebracht. Deze cellen zijn een flink stuk dunner dan hun kristallijne collega's. De cellen zijn een beetje buigzaam en kunnen daardoor op ronde oppervlakken worden geplakt.

Het rendement van dunne film zonnecellen is een stuk lager en het productieproces is erg ingewikkeld, maar de benodigde hoeveelheid grondstof is zeer gering. Hierdoor zijn de cellen per oppervlakte-eenheid goedkoper dan kristallijne cellen. Omdat je voor dezelfde opbrengst een groter oppervlak nodig hebt, ben je meestal niet goedkoper uit.



Verschillende cellen hebben hun eigen kenmerken zoals rendement, levensduur en kosten. In hoofdstuk 3 zullen we daar verder op in gaan.

Figuur 3: Monokristallijne zonnecel, polykristallijne zonnecel en dunne film. (bron: Pvsolarchina.com)



Figuur 4: De Nuna 5 racewagen op zonne-energie gebouwd door studenten van de TU Delft voor de World Solar Challenge (2009), 3000km dwars door Australië. De zonnecellen volgen de enigszins gebogen vorm van de Nuna en hebben een rendement van maar liefst 34%. (bron: <http://www.solarwebsite.nl>). De Nuna haalt een topsnelheid van 145 km/h.

Watt peak (Wp)

Het vermogen van een zonnepaneel wordt uitgedrukt in Wattpeak (Wp). Het Wp vermogen geeft aan hoeveel vermogen het paneel opwekt onder vastgelegde test omstandigheden. Bijvoorbeeld: een 100Wp zonnepaneel kan op een zonnige, totaal onbewolkte zomerse dag 100W opwekken, mits het paneel loodrecht op de zon is geplaatst.

1.5 Opbouw van een zonnepaneel uit zonnecellen

Omdat de spanning over een kristallijn silicium zonnecel erg laag is, ongeveer een halve volt, worden vaak meerdere zonnecellen in serie geschakeld in een *zonnepaneel*. Een zodanige keten van zonnecellen noemen we een string en meestal zijn er 2 strings parallel geschakeld in een zonnepaneel. De kwetsbare zonnecellen worden aan de voorkant beschermd tegen weer en wind door een glasplaat met aan de achterkant een witte waterdichte kunststof folie die EVA (Ethylene-Vinyl Acetate) heet. De aansluiting voor de electriciteits snoeren vinden we aan de achterkant in de aansluitdoos (zie figuur 5).



Figuur 5: Een zonnepaneel bestaat uit afzonderlijke zonnecellen (bron www.solarpanels.nl) met op de achterkant de aansluitdoos voor de kabels (bron alcatronic.nl).

Zonnepanelen heb je in alle soorten en maten: kleine zonnepanelen van 10Wp of minder, en grote zonnepanelen van 200Wp of meer.

Van een zonnepaneel is het heel belangrijk hoe lang het mee gaat. De meeste fabrikanten geven garantie van 20 of 25 jaar. Verder is het rendement belangrijk: hoeveel % van het zonlicht wordt omgezet in elektriciteit? En natuurlijk is de prijs belangrijk. Daarover meer in hoofdstuk 3.

1.6 Hoe worden zonnepanelen gemaakt?

De meeste zonnepanelenfabrikanten zijn slechts actief in de laatste stappen van de productieketen: zij kopen de zonnecellen in, en 'lijsten ze in' tot een zonnepaneel. Er zijn verschillende kwaliteiten zonnecellen. Hoe zuiverder het silicium dat is gebruikt om de cellen van te maken, hoe hoger het rendement.

In de zonnepanelenfabriek worden de cellen eerst aan elkaar gesoldeerd en daarna op de glasplaat gelegd met de achterkant naar boven. Vervolgens wordt de EVA folie erop gelegd en gaan ze naar de laminator, het apparaat dat de EVA er luchtdicht op plakt. Daarna gaat er een aluminium frame omheen (figuur 6), en wordt er een aansluitdoos op de achterkant geplakt.



Figuur 6: Aluminium frames en aansluitdozen worden gemonteerd in een aantal kleine zonnepanelenfabriek in Shenzhen, China (bron: J. Verschelling).

In deze video wordt duidelijk uitgelegd hoe een zonnepaneel wordt gemaakt:

http://www.schooltv.nl/beeldbank/clip/20060411_zonnepaneel01

Vragen:

- Wat zijn de voor- en nadelen van zonne-energie? Kun je er 8 noemen?
- Wat zou er volgens jou moeten veranderen om zonne-energie een flink deel van onze elektriciteit te laten opwekken? Noem tenminste 5 veranderingen en bedenk per verandering wie volgens jou het initiatief zou moeten nemen?

1.7 Proef met een zonnecel in de klas.

We kunnen nu een kleine proef met zonne-energie in de klas doen. Voor deze proef maken we gebruik van het zonnecel bouw pakketje van Picosol.

Verder heb je nodig:

- Een sterke halogeen bureaulamp (>60W) met een lange, verstelbare arm
- Een meetlint en gekleurd plakband
- Schaar en kleine schroevendraaier
- Een horloge met secondenwijzer
- Pen en ruitjespapier
- Benodigde tijd: 35-50 minuten

Stappen:

1. Zet de zonnecel in elkaar volgens de bijgeleverde instructies en laat hem draaien onder de bureaulamp
2. Plak een gekleurd stukje plakband op de rand van de cel: dit is het ijkpunt
3. Zet de bureaulamp aan, een stukje boven de bovenkant van de zonnecel beweegt hem omlaag tot de cel net begint te draaien. Het aantal keer dat het plakband langs komt in 1 minuut. Dit is het aantal



omwentelingen per minuut. Noteer in een tabel de hoogte van de bureaulamp en het aantal omwentelingen.

4. Verlaag de hoogte van de bureaulamp met 5cm, en meet opnieuw het aantal omwentelingen in een minuut
5. Herhaal dit totdat de bureaulamp vlak boven de zonnebloem staat
6. Zet de metingen uit in een grafiek: hoogte bureaulamp op de Y-as en omwentelingen op de X-as
7. Vergelijk de grafieken met je klasgenoten en bespreek de uitkomsten in de klas.

1.8 Meer informatie:

- Nuna : <http://www.nuonsolarteam.nl/nuna/>
- Nuna filmpje:
http://www.youtube.com/watch?v=g37Hb3_HOy0&feature=related
- De zonnebloem: www.picosol.nl
- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Zonnepaneel>
- Praktische informatie over zonnepanelen op je woning:
<http://www.milieucentraal.nl/thema%27s/thema-1/energie-besparen/zonnepanelen/>

2 Toepassingen van zonne-energie: netgekoppeld en autonoom

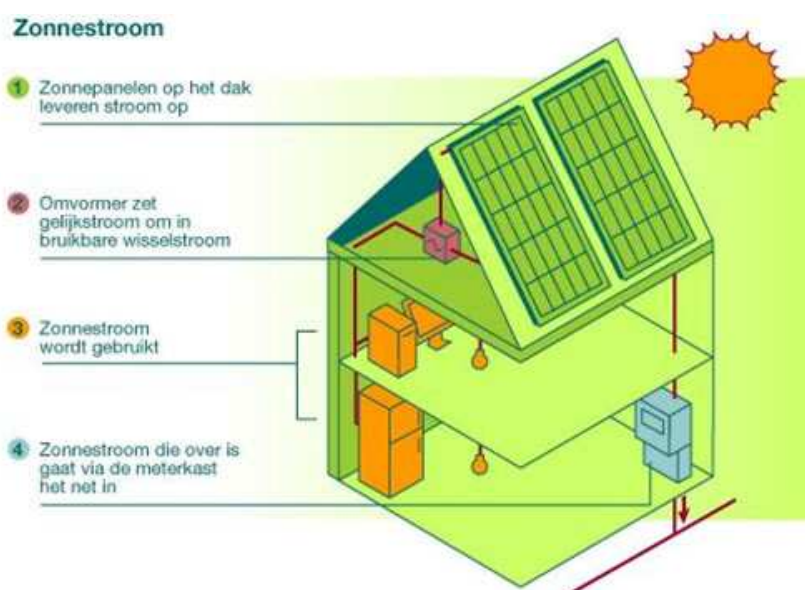
2.1 Leerdoelen

Aan het einde van dit hoofdstuk:

- Begrijpt de leerling hoe een netgekoppeld zonne-energie systeem werkt
- Begrijpt de leerling hoe een autonoom zonne-energie systeem werkt en wat de toepassingen ervan zijn.
- Kan de leerling berekenen hoeveel zonnepanelen hij thuis nodig heeft voor de elektriciteitsvoorziening van zijn huis.

2.2 Hoe sla je de zonne-energie op?

Een zonnepaneel wekt elektriciteit op. Als je deze zonnestroom niet meteen kunt benutten, bijvoorbeeld zoals bij de zonnebloem voor het motortje, kun je hem opslaan zodat je er later nog wat aan hebt. Dat kan bijvoorbeeld in een accu of oplaadbare batterij. Maar het kan ook met behulp van het elektriciteitsnet, zie figuur 7. Als je de gelijkstroom van het zonnepaneel omzet in 230V wisselstroom (AC) met een omvormer, kun je de stroom invoeden in het net. Er gaat dan een stroom lopen van het zonnepaneel naar het net. In dat geval spreken we over een *netgekoppeld PV systeem*. Wordt de zonnestroom opgeslagen in een accu, dan spreken we van een *autonoom PV systeem*.



Figuur 7: Zonnepanelen op het dak wekken gelijkstroom op (1). Deze wordt omgezet in wisselstroom met behulp van een omvormer (2). De zonnestroom wordt gebruikt in de woning voor verlichting, koelkast, computer etc. (3). De overgebleven elektriciteit die niet in huis kan worden gebruikt gaat via de meterkast het net in (4).
(bron: flevolandbespaart.nl)

2.3 Netgekoppelde PV

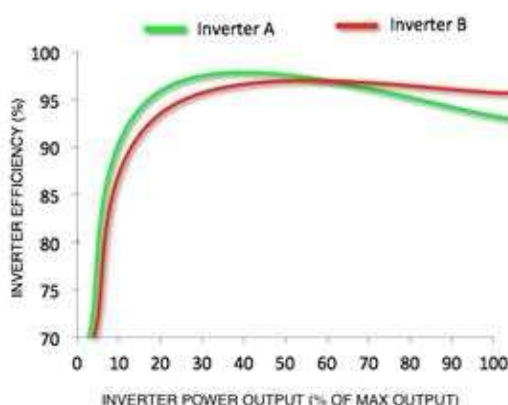
Onmisbaar voor het netgekoppelde PV (Photo voltage) systeem is de omvormer, ook wel 'inverter' genoemd. De inverter zet de gelijkstroom uit de zonnepanelen om in 230V wisselstroom.



Figuur 8: Solar inverter van het Nederlandse bedrijf Mastervolt. (www.mastervolt.nl)

Bij een inverter gaat het erom dat hij het hoogst mogelijke omzettingsrendement heeft: immers, er mag zo weinig mogelijk zonnestroom verloren gaan. Goede inverters halen rendementen dichtbij 100% (zie figuur 9). Verder is het belangrijk dat de omvormer een lange levensduur heeft en dat hij niet te duur is. Een leuke extra voor een netgekoppeld PV-systeem is de mogelijkheid om informatie over de opgewekte energie uit te lezen.

Afhankelijk van het type inverter kan dit via een internet pagina of met een app, of dient er een display te worden aangeschaft.



(bron: solarquotes.com.au)

Figuur 9: Inverter rendements karakteristiek: inverter A heeft een hoger rendement in deellast (bij minder dan 100% output), inverter B in vollast (bij 100% output)

De zonnepanelen produceren de meeste elektriciteit als de zon er onder een hoek van 90° op staat. Om meer opbrengst uit de panelen te halen wordt in landen met veel direct zonlicht soms gewerkt met solar trackers: Draaibare systemen die de panelen laten meedraaien met de zon. (zie figuur 10). De meeste trackers variëren ook de hellingshoek voor de zomer en winter.



Figuur 10: Solar trackers volgen de zon en worden gebruikt in zonnige landen om de opbrengst van de panelen te verhogen. (bron: treehugger.com)

Vragen:

1. Zie figuur 9: De twee inverters hebben een verschillende karakteristiek. Voor welke situatie zou je juist voor inverter A kiezen, en voor welke situatie inverter B?
2. Zie figuur 10: Wat zijn de voor- en nadelen een solar tracker? Kun je er 5 noemen?
3. Zie figuur 10: We zien in Nederland nauwelijks solar trackers, maar in warme landen wel. Waarom worden in Nederland nauwelijks solar trackers gebruikt? Denk je dat er in de toekomst meer of minder solar trackers zullen worden gebruikt? Waarom?

2.4 Hoeveel zonnepanelen heb jij thuis nodig?

Hoeveel zonnepanelen heb je nodig om bij jou thuis alle stroom met PV op te wekken?

Een gemiddeld Nederlands huishouden verbruikt ongeveer 3500kWh per jaar. In Nederland wekt een PV systeem van 1kWp (1000 Wp, dus bijv. 5 panelen van 200Wp) ongeveer 800 kWh uur op, mits het optimaal staat gericht op de zon (zie figuur 10). De meeste zonnepanelen hebben een vermogen van ca 150Wp/m². Dus als je weet wat de jaarlijkse elektriciteitsconsumptie is bij jou thuis, kun je berekenen hoeveel zonnepanelen je nodig zou hebben om jullie gehele verbruik met zonnestroom op te wekken en hoeveel m² je daarvoor nodig hebt. Omgekeerd kun je ook berekenen aan de hand van het beschikbare dak-

oppervlak hoeveel m^2 zonnepanelen je kwijt kan. Vervolgens kun je met oriëntatie van het dak ten opzichte van het zuiden en de hellingshoek berekenen hoeveel kWh je kunt opwekken met je dak. Door dat te vergelijken met de jaarlijkse consumptie weet je hoeveel procent van je verbruik je theoretisch kunt opwekken.

Voorbeeld:

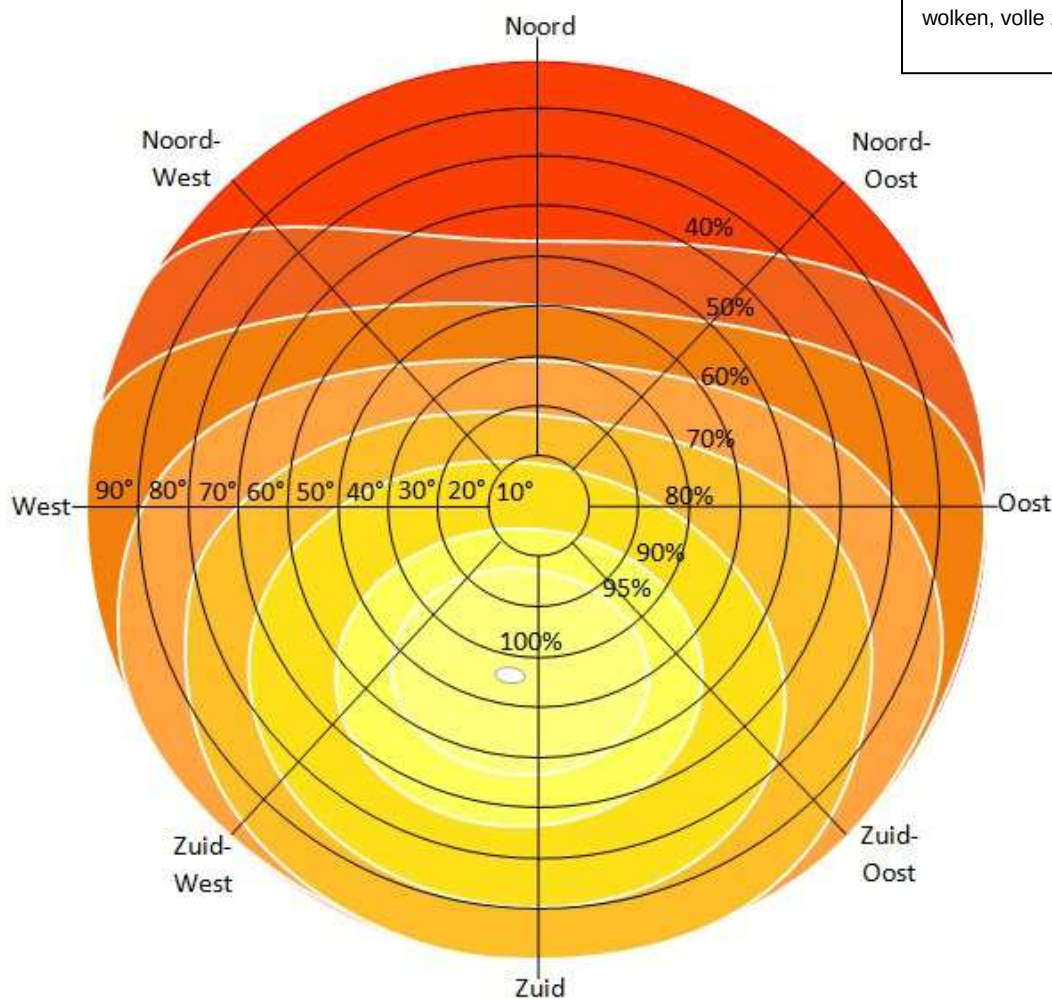
Stel het jaarlijkse elektriciteitsgebruik is 3000kWh/jaar bij jou thuis. Jullie huis heeft een dak van 5x4m richting het zuidwesten en er staan geen bomen of schoorstenen voor die schaduw geven. De hellingshoek van het dak is 60° t.o.v. horizontaal.

Op het dakoppervlak past maximaal 20m^2 zonnepanelen. Dat komt overeen met $20\text{m}^2 \times 150\text{Wp/m}^2 = 3\text{kWp}^*$. Dit is het maximale vermogen dat je kwijt kunt als de zonnepanelen precies passen (in de praktijk verlies je meestal wat ruimte langs de randen van het dak).

Je maximale opbrengst bij 60° dakhelling en zuidwest oriëntatie is 90% (zie instralingsschijf). Met 1kWp aan zonnepanelen kun je in Nederland ongeveer 800kWh opwekken.

Je kunt per jaar dus $3\text{kWp} \times 800\text{kWh/kWp} \times 90\% = 2160\text{kWh/jaar}$ opwekken met jullie dak. Dat is 72% van jullie jaarlijkse elektriciteitsverbruik.

*Zonne-energie reken je met Wattpeak of Wp. Dat is het maximale piekvermogen dat uit de zonnepanelen kan komen onder optimale omstandigheden (geen wolken, volle zon recht op het paneel).



Figuur 11: met behulp van de bovenstaande instralingsschijf kun je berekenen hoeveel jouw dak oplevert. Schat thuis de dakhelling met behulp van je geodriehoek en stel de oriëntatie vast met een kompas. Met deze twee gegevens kun je op de instralingsschijf opzoeken hoe optimaal je de zonnepanelen kunt opstellen. (bron www.picosol.nl).



Opdracht:

Hoeveel elektriciteit gebruik jij thuis?

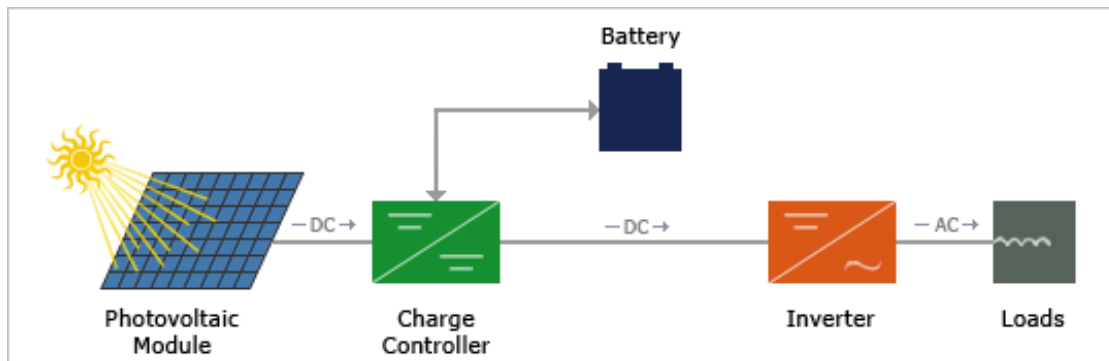
- Vraag thuis om de elektriciteitsrekening en zoek het jaarlijkse elektriciteitsverbruik op [kWh/jaar].
- Ruimte op het dak? Schat thuis de dakhelling met behulp van je geodriehoek en stel de oriëntatie vast met een kompas.
- Kijk op de instralingsschijf (figuur 11, zit ook in de leskist) en reken uit hoeveel % van jullie elektriciteitsverbruik met zonnepanelen zou kunnen worden gedekt.
- Vergelijk de uitkomsten met je klasgenoten en bespreek in de klas.

Meer informatie over zonne-energie voor particulieren:

- Algemene informatie:
<http://www.youtube.com/watch?v=5lpJelTcE1Y&feature=related>
- Filmpje over de techniek van het aanbrengen van zonnepanelen:
<http://www.youtube.com/watch?v=sJZirl37DsY&feature=related>
- Filmpje over de investering:
<http://www.youtube.com/watch?v=CJRHBa5 UNE>

2.5 Autonome PV

Zonne-energie wordt ook veel toegepast op plaatsen waar het elektriciteitsnet ver weg is. Het gaat dan om zonne-energie systemen die een accu hebben, de zogenaamde *autonome PV systemen*. We vinden dergelijke systemen hoog in de Alpen, op de Noordzee, langs de snelweg, in afgelegen gebieden of in ontwikkelingslanden.



Figuur 12: In een autonoom PV systeem zorgt de accu voor de energieopslag. Er hoort ook een laadregelaar (charge controller) in, die voorkomt dat de accu te ver wordt opgeladen en te diep wordt ontladen: daar kan de accu niet tegen. De omvormer ('inverter') zorgt wederom voor de wisselstroom. De gebruikers ('loads') kunnen gelijkstroom ('DC') of wisselstroom ('AC') zijn.

In ontwikkelingslanden zijn er veel huishoudens die primitieve olielampen gebruiken voor verlichting. Die olielampen hebben een heel laag rendement, geven weinig licht, zijn brandgevaarlijk in de houten of rieten huisjes, en ze zijn ongezond voor de gebruikers want ze veroorzaken roet en rook.

Samen met studenten uit Delft ontwikkelde het Nederlands-Cambodjaanse zonne-energiebedrijfje Kamworks een zonnelantaarntje voor arme Cambodjanen: de MoonLight. Dit handige lantaarntje heeft al diverse prijzen gewonnen. Kamworks assembleert het lampje in Cambodja waar het wordt verhuurd en verkocht (25 dollar) op het platteland. De Cambodjaanse dorpling heeft binnen 1 jaar zijn investering terugverdiend omdat hij geen lampenolie meer hoeft te kopen.

Op internet staan een paar leuke videos over de MoonLight, de makers en de gebruikers ervan: www.kamworks.com/media/



Figuur 13: Cambodjaanse dorpeling steekt haar olielampje, gemaakt van een conserveblikje aan (bron www.kamworks.com foto: mathieuyoung)



Figuur 14: MoonLight zonnelantaarn, ontwikkeld door Kamworks en TU Delft voor Cambodjaanse dorpelingen.



Vragen:

1. Wat zijn de voor- en nadelen van het gebruik van een accu om zonne- energie in op te slaan?
2. En van het elektriciteitsnet als opslag?
3. Bedenk nog een paar praktische toepassingen van autonome PV.

2.6 Opdracht

Werking van een autonoom zonne-energiesysteem

- Haal de MoonLight uit elkaar
- Leg de onderdelen naast elkaar op tafel
- Kijk of je de verschillende onderdelen (paragraaf 2.5) erin kunt ontdekken
- Waarom is het zonnepaneeltje opgebouwd uit meerdere stukjes zonnecel?
- Bespreek met je klasgenoten en zet de MoonLight weer in elkaar.
Werkt hij nog?

2.7 Meer informatie:

- Filmpje over de productie van zonnepanelen:
http://www.schooltv.nl/beeldbank/clip/20060411_zonnepaneel01
- Uitleg over de eenheid Wattpeak: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Wattpiek>

3 Maatschappelijke aspecten van zonne-energie

3.1 Leerdoelen

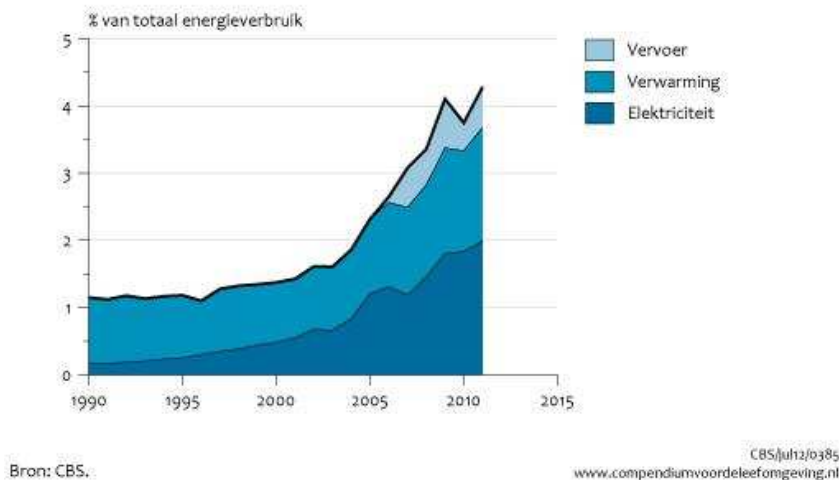
Aan het einde van dit hoofdstuk:

- Begrijpt de leerling wat de duurzame energie doelstelling van de EU is en hoe Nederland presteert
- Begrijpt de leerling wat de energierugverdiëntijd is van een zonnepaneel en waarom dit belangrijk is.
- Begrijpt de leerling waarom zonne-energie goedkoper aan het worden is.

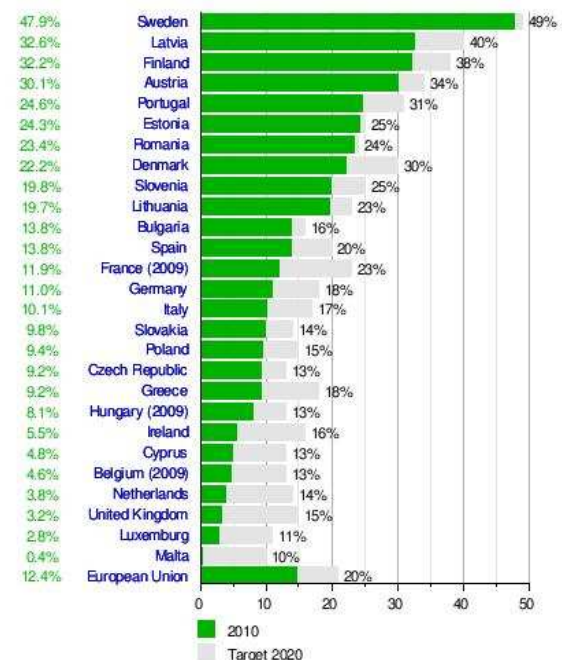
3.2 Energiebeleid

Nederland wil in 2050 zijn overgestapt op een CO₂-arme samenleving. Dit sluit aan bij de energiedoelstelling van de Europese Unie. De EU streeft naar 80-95% minder CO₂-uitstoot in 2050 (ten opzichte van 1990). Teveel uitstoot van CO₂ is een belangrijke oorzaak van de opwarming van de aarde en daarmee de klimaatverandering. Zonne-energie kan een belangrijke bijdrage leveren, maar daarvoor is wel een goed en stabiel duurzame energiebeleid nodig

Eindverbruik hernieuwbare energie naar toepassing



Figuur 15: Het Nederlandse aandeel duurzame energie (elektriciteit, warmte en vervoer) is slechts 4.3% in 2011. (bron: CBS/www.compendiumvoordeleefomgeving.nl)



Figuur 16: Aandeel duurzame energie als deel van het bruto elektriciteitsverbruik in 2010. Groen: situatie in 2010. Grijs: doel in 2020.

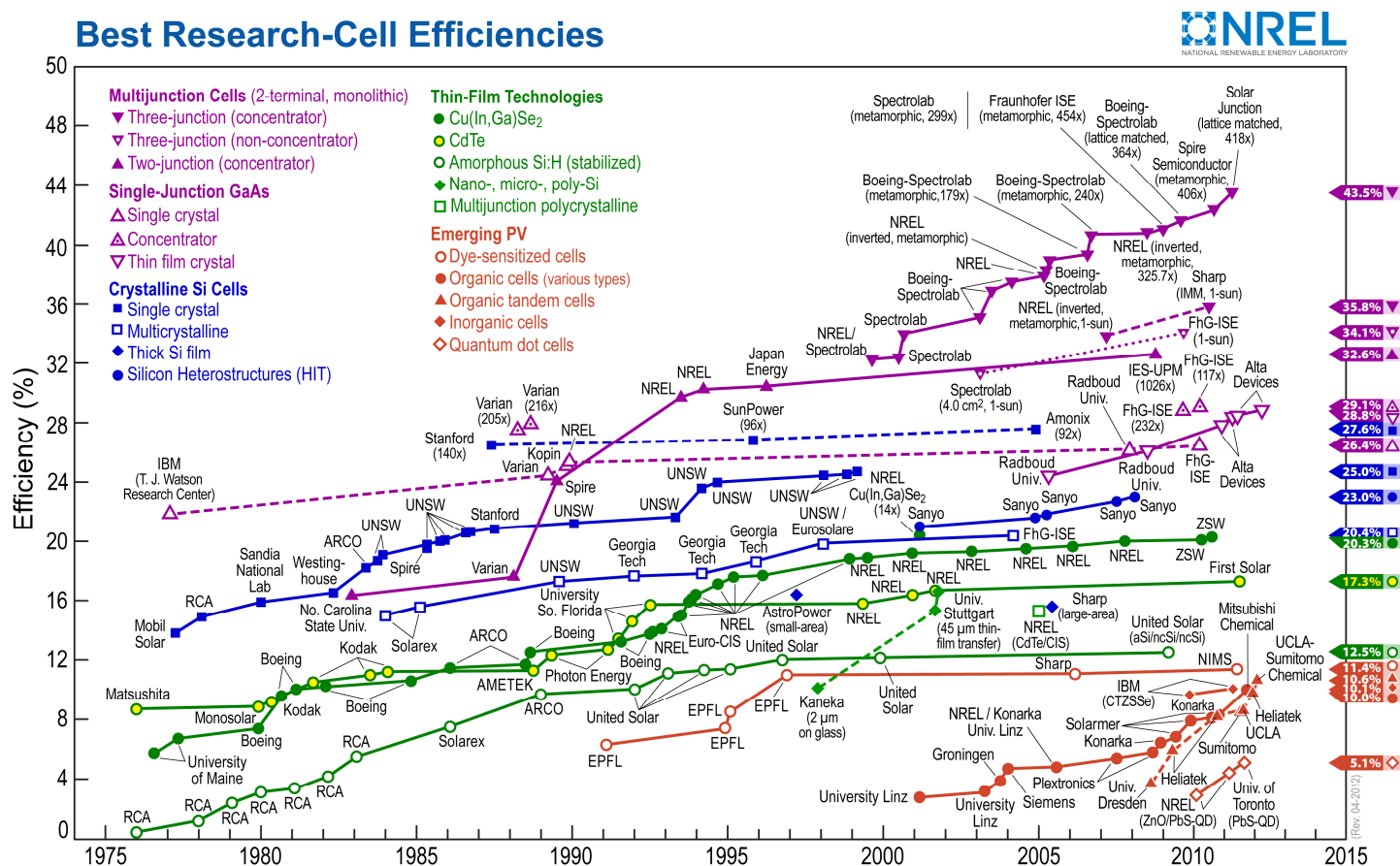
Nederland bungelt onderaan. (bron: http://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy_in_the_European_Union)

3.3 Op jacht naar een hoger zonnecel rendement

Over de hele wereld werken onderzoekers en technici aan nieuwere en betere zonnecellen: cellen die langer meegaan, cellen die goedkoper kunnen worden geproduceerd, cellen die het milieu minder belasten en cellen die een hoger rendement hebben.

Fundamenteel onderzoek wordt gedaan bij onderzoeksinstituten en universiteiten. Zodra de technologie toepasbaar wordt, stappen de zonne-energiebedrijven in en verbeteren de cel en de productietechniek met het doel het op de markt te brengen. Dit onderzoek is heel belangrijk om zonne-energie in de toekomst een grotere rol in onze energievoorziening te laten spelen. Nederlandse kennisinstituten zoals bijvoorbeeld Radboud universiteit, Energieonderzoekscentrum Nederland (ECN), FOM (Fundamenteel Onderzoek der Materie) en Universiteit Utrecht spelen een belangrijke rol bij het ontwikkelen van betere zonnecellen. Vaak gaan er jaren overheen voordat een technologie ver genoeg is ontwikkeld om in productie te worden genomen.

In figuur 17 kun je de ontwikkelingspaden van de verschillende technologieën vergelijken.



Figuur 17: Celrendementen van de verschillende zonnecelfamilies door de jaren heen.
(Bron <http://www.nrel.gov/>)



Vragen:

- Welke technologie boekt de snelste vooruitgang?
- Kun je ook Nederlandse spelers ontdekken in het overzicht met celrendementen?

Meer informatie:

- <http://www.fom.nl/live/nieuws/artikel.pag?objectnumber=1>

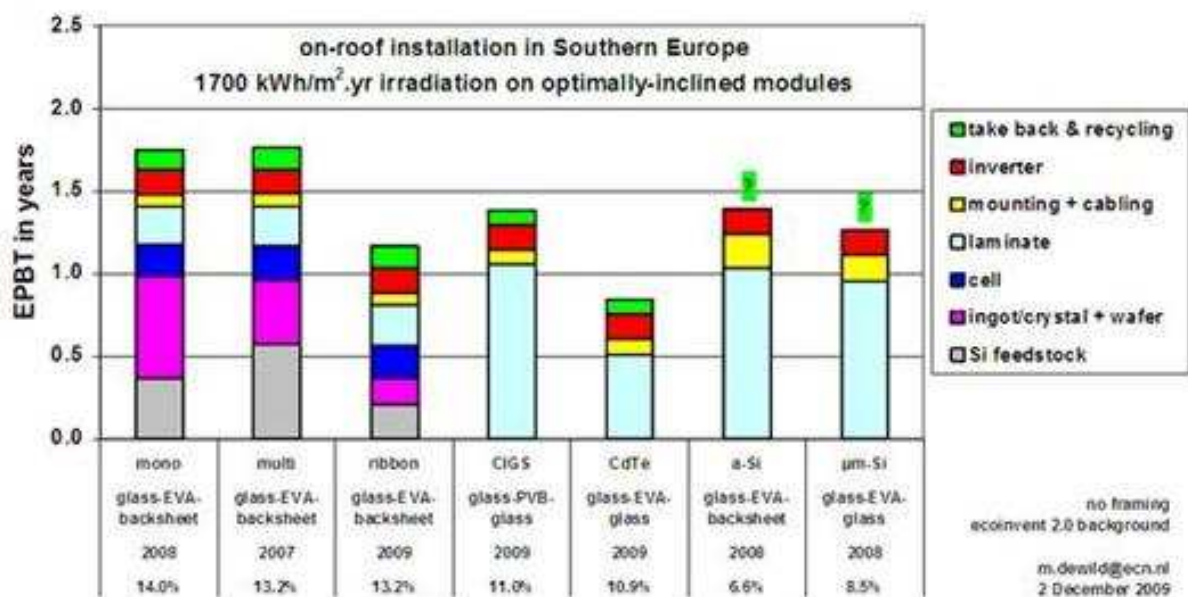
Betrokkenheid ECN bij de Nuna 6:

- <http://www.youtube.com/watch?v=w9BPi9HCUFQ>

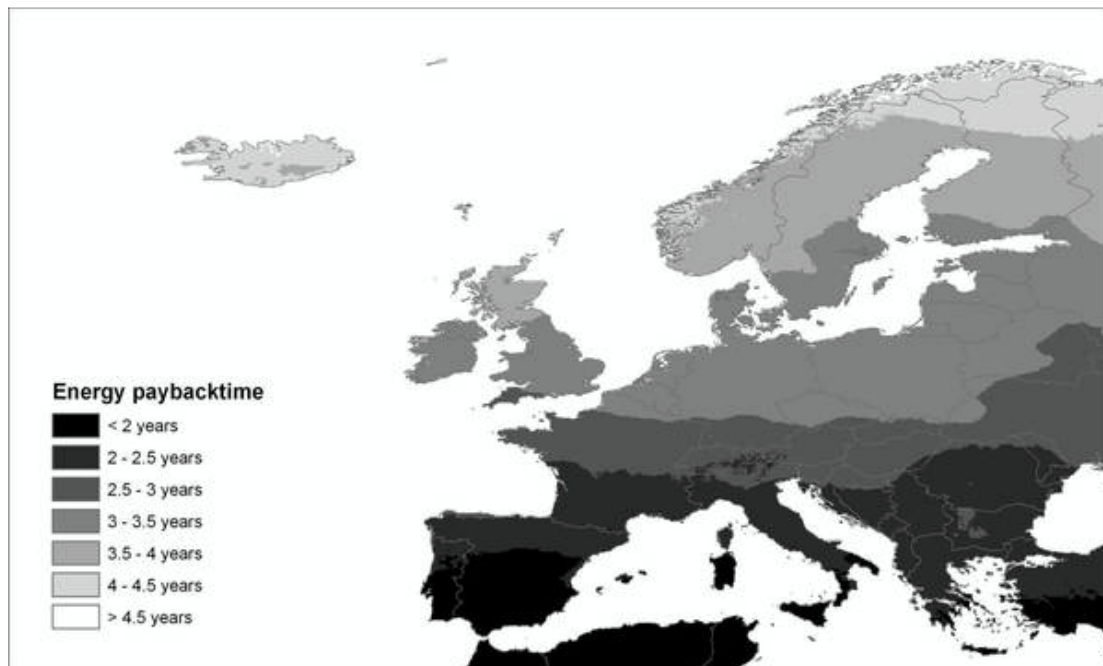
3.4 Wat is de energierugverdiertijd van een zonnepaneel?

De energierugverdiertijd van een zonnepaneel is de tijd die het kost om de energie op te wekken die nodig was om het paneel te produceren. Het is belangrijk om deze tijd te weten, want als de energierugverdiertijd heel lang zou zijn, bijvoorbeeld 20 jaar, en het zonnepaneel maar 25 jaar meegaat, dan is de uiteindelijke netto opbrengst aan duurzame energie van het paneel heel laag! Voor de volledigheid moeten we natuurlijk ook de kabels, inverters, bouten en moeren meerekenen, alsmede het recyclen aan het einde van de technische levensduur.

In figuur 18 worden netgekoppelde PV systemen met verschillende type zonnecellen met elkaar vergeleken.



Figuur 18: Energieterugverdiertijd van zonne-energie systemen in Zuid Europa. Verschillende types zonnecellen. Mono en multi zijn de meest toegepaste zonnepanelen. (bron <http://www.iea-pvps-task12.org>)



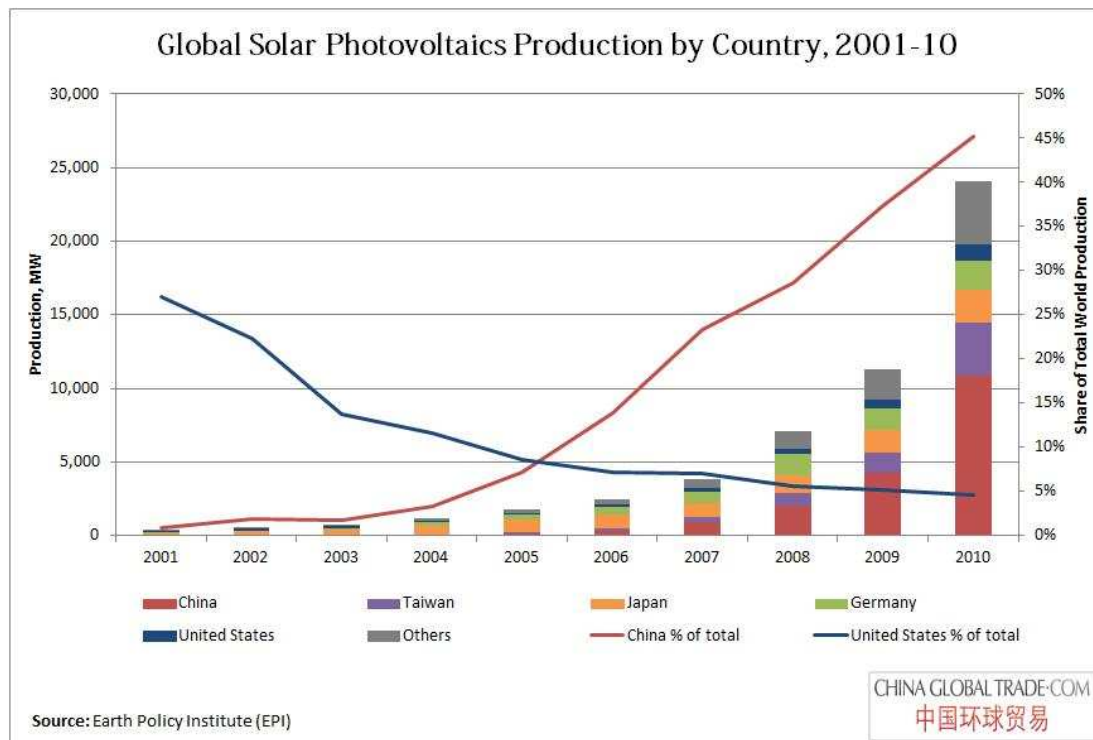
Figuur 19: Energieterugverdiertijd van monokristallijne PV panelen voor de verschillende landen van Europa. (bron <http://www.iea-pvps-task12.org>)

Vragen:

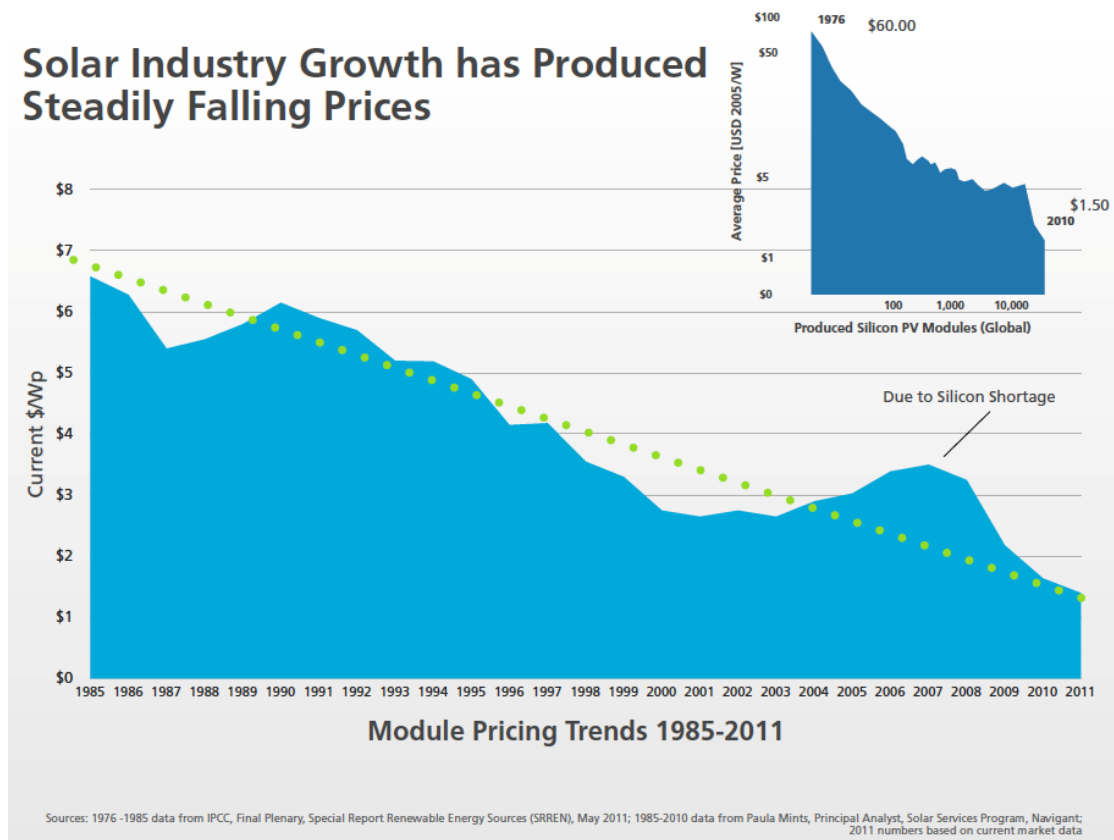
- Waarom is de energieterugverdiertijd zo belangrijk?
- Hoe komt het dat de plaats waar de zonnepanelen worden geproduceerd een rol speelt?

3.5 Schaalvergroting en kostenreductie

De afgelopen jaren zijn de kosten van zonnepanelen sterk gedaald. Hierdoor hebben steeds meer mensen zonnepanelen aangeschaft en is de productie enorm gegroeid. Onderstaande plaatjes tonen dit aan. De verwachting is dat deze trend (productieschaal vergroting en kostenreductie), inmiddels al zo'n 25 jaar gaande, zich verder doorzet.



Figuur 20: Toename van de wereld PV productie 2001-2010. (bron: chinaglobaltrade.com)



Figuur 21: prijsdaling van zonnepanelen sinds 1985 van 7USD/Wp tot ruim 1 USD/Wp in 2011. (bron: rwer.wordpress.com)



3.6 Meer informatie:

- TV Programma Geoclips over verschillende energiebronnen:
<http://www.uitzendinggemist.nl/afleveringen/1258866>
- TV programma Labyrint over duurzame energie:
<http://www.uitzendinggemist.nl/afleveringen/1121557>
- Energieterugverdiensijd: <http://dewiki.nl/index.php/Terugverdiensijd>
- WWF/Ecofys: rapport over de haalbaarheid van een duurzame energievoorziening in 2050: www.panda.org/energyreport/
- Veel informatie over PV zonne-energie in Nederland: [Polderpv.nl](http://polderpv.nl)
- Mc Kinsey rapport over zonne-energie, markt en prijs ontwikkelingen:
http://www.mckinsey.com/client_service/sustainability/latest_thinking/solar_powers_next_shining
- Video: http://www.new-energy.tv/zon/goedkope_zonne_energie_solar_bottle_light.html



4 Bijlage

4.1 Inhoud leskist

Elk NME centrum in Zeeland heeft een leskist behorende bij deze lesmodule, deze is voor scholen gratis te leen. Voor adressen kijkt u op www.nmezeeland.nl

- 4 Zonnebloemen (ook zelf te bestellen bij Picosol: www.picosol.nl) t.b.v. opdracht 1.7
- 4 MoonLights (ook zelf te bestellen bij Kamworks: www.kamworks.com), incl zonnepaneeltje, t.b.v. opdracht 2.6
- 4 x Instralingsschijf (ook zelf te downloaden bij het kennisplein van <http://kids.picosol.nl/>)

4.2 Antwoorden op vragen in de lesmodule

1.5: enkele voor- en nadelen:

- voordelen zonne-energie:
 - o stil en schoon
 - o weinig onderhoud
 - o kan bij iedereen op het dak
- nadelen:
 - o zonne-energie is relatief dure energie vergeleken met kolen, gas of kernenergie
 - o de investeringskosten zijn hoog
 - o je hebt er veel ruimte voor nodig

2.3: inverters en solar trackers

- o Op plaatsen waar het zonne-energiesysteem vaak in deellast werkt, bijvoorbeeld vanwege het klimaat (veel bewolking), kies je voor inverter A. Maar als je een draaibaar systeem dat vaak in vollast wordt bedreven, dan kun je beter inverter B kiezen.
- o Voordelen van solar trackers: meer opbrengst; meteen goede opbrengst als de zon op komt (in vergelijking met een vast gemonteerd zonnepaneel dat op het zuiden staat gericht), dit kan soms van belang zijn bij een pompsysteem, zodat de pomp meteen gaat werken als de zon opkomt. Nadelen solar trackers: hogere investeringskosten, kwetsbaarheid voor storm, minder geschikt voor regio's met veel bewolking. Ook vergen ze enig onderhoud.
- o Trackers hebben alleen zin als het niet bewolkt is (direct zonlicht). In Nederland is het vaak bewolkt. Er is dus niet zoveel direct zonlicht en daarom zijn trackers niet rendabel. Omdat zonnepanelen steeds goedkoper worden, is het niet zo waarschijnlijk dat de toepassing van solar trackers sterk zal groeien.
- o Praktische toepassingen van autonome PV zijn: parkeer meters, berghutten, boeien op zee, meteostations, verkeerssignalering, etc.

2.6 MoonLight

- Het zonnepaneeltje bestaat uit meerdere stukjes zonnecel die in serie zijn geschakeld om de juiste voltage te maken om het accuutje op te laden.

3.2 Milieu effecten

- Het is belangrijk om deze tijd te weten, want als de energierugverdiensijd heel lang zou zijn, bijvoorbeeld 20 jaar, en het zonnepaneel maar 25 jaar meegaat, dan is de uiteindelijke netto bijdrage aan duurzame energie van het paneel heel laag!

De plaats waar de zonnepanelen gemaakt worden speelt om 2 redenen een rol: ten eerste is het belangrijk te weten hoe schoon de elektriciteit is die gebruikt is om het paneel te maken: als bij de opwekking van die stroom bijvoorbeeld veel (vervuilende) kolen worden gestookt, dan komt er meer CO₂ (en andere stoffen) in de atmosfeer dan bij productie in een land met veel waterkracht. Ten tweede speelt de afstand en het transport naar Nederland een (relatief kleine) rol.