

# Thema: Duurzame Energie

**IBS 2: schooljaar  
2020-2021  
Selectie ivm**

**INLEIDING**

**ZONNE-ENERGIE**



*Milieu onderzoeker, Milieu inspecteur*

2020



# 1 Voorwoord

Deze theoriebundel is bedoeld voor deelnemers voor de richting milieu-onderzoeker van de Helicon opleiding in 's-Hertogenbosch, niveau 4.

Als mbo leerling van de “groene” richting, en mogelijk later werkzaam is in het vakgebied, is het belangrijk dat men enige kennis heeft over de stand van zaken op het gebied van de opwekking van duurzame energie. Het is immer nu al, overal om ons heen.

Deze cursus laat de leerling kennis maken met de meest gangbare manieren om vandaag de dag duurzame energie op te wekken, en nieuwe ontwikkelingen richting de toekomst.

Wij hopen dat je als deelnemer met veel werkplezier aan dit vak werkt en het met goed resultaat afsluit.

Helicon Opleidingen, Den Bosch

Toine van de Sande, november 2020

---

## 2 Inhoud

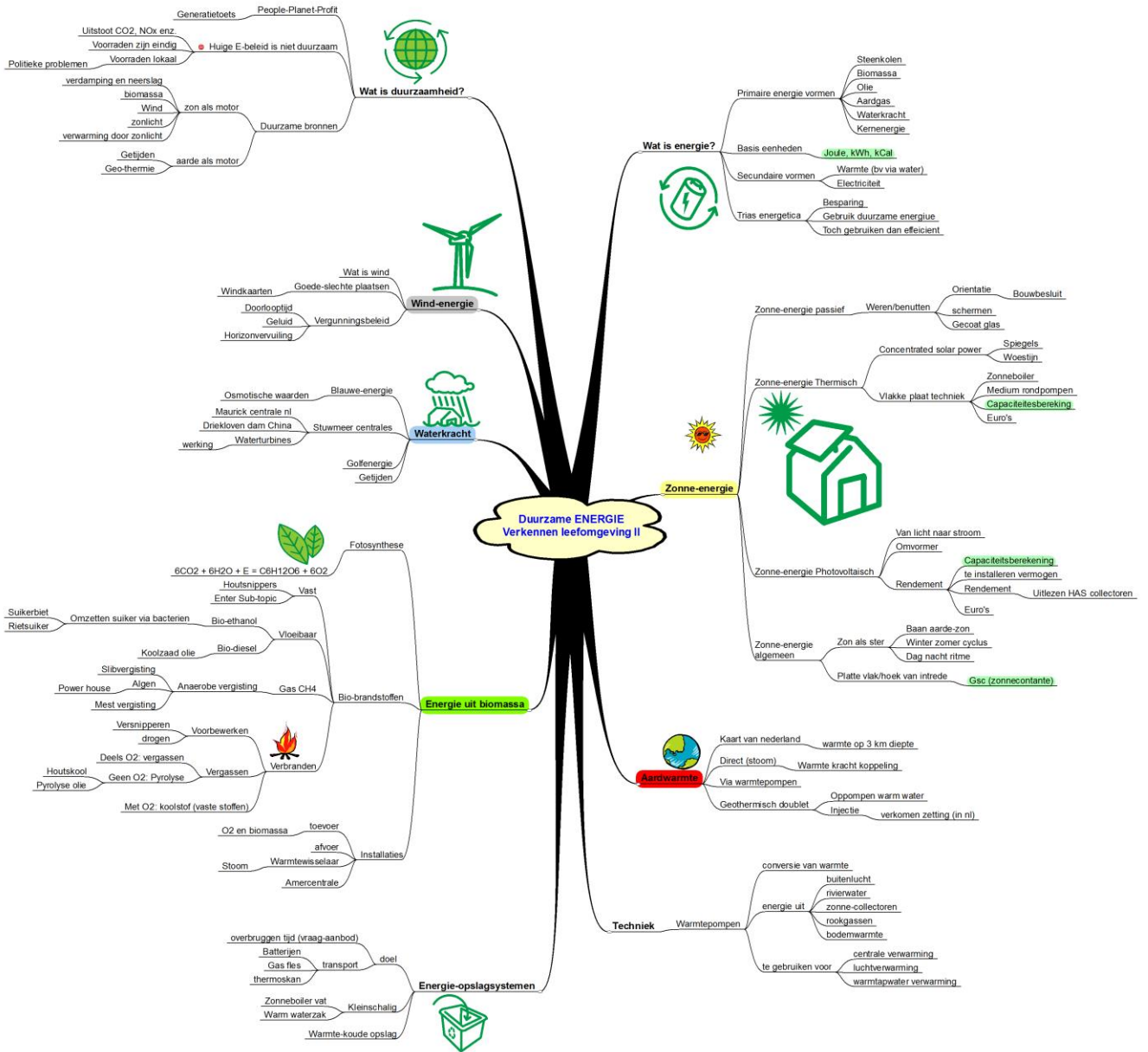
1	Voorwoord.....	2
2	Inhoud .....	3
3	Totaal overzicht van de onderwerpen .....	5
4	Wat is energie? .....	6
4.1	Hoe zat het ook al weer?.....	6
4.2	Energieverbruik van enkele huishoudelijke apparaten.....	8
4.3	Primaire energievormen .....	12
5	Wat is duurzaamheid? .....	13
5.1	Trias energetica .....	14
5.2	Huidige energiebeleid is niet duurzaam.....	14
5.3	Duurzame bronnen .....	16
5.4	Indeling duurzame bronnen .....	16
6	Zonne- energie .....	17
6.1	De zon als ster .....	17
6.2	Ontstaan van dag en nacht, zomer en winter.....	17
6.3	Invloed van de seizoenen op de instraling .....	19
6.4	Wat is zonlicht? .....	20
6.5	Direct en diffuus licht en de zonneconstante.....	22
6.6	Instraling.....	24
6.7	Tilt en oriëntatie.....	24
6.8	Globale instraling en het aantal zonuren in Nederland.....	26
6.9	Tracking systeem .....	27
7	Soorten panelen: PV panelen.....	30
7.1	Temperatuurinvloed op de prestaties van het zonnepaneel.....	30
7.2	Materiaal en Productie.....	31
7.3	Werking PV-paneel .....	34
7.4	Foto-elektrisch effect: Ontdekking van het effect en zijn fysieke verklaring.....	34
7.5	Zonnecellen gebruiken het foto-elektrische effect voor de opwekking van stroom.....	34
7.6	Belangrijke componenten van het PV systeem.....	35
8	Soorten panelen: Thermische zonne-energie .....	39
8.1	Vlakke plaat collector .....	39

---

8.2	Vacuümbuiscollector .....	40
8.3	Concentrerende collectoren.....	41
8.4	Warmtewisselaar .....	41
8.5	Concentrated Solar Power centrale (CSP) .....	42
9	Bronnenlijst .....	44

3

Totaal overzicht van de onderwerpen



Figuur 1 Overzicht van de verschillende onderwerpen die aan orde komen binnen deze cursus



## 4 Wat is energie?

Zonder energie staat alles stil. Al het leven op aarde is afhankelijk van een energie-bron. Iedereen heeft ook wel een beeld bij wat energie ongeveer is. Afhankelijk van het persoon die je het vraagt kun je verschillende antwoorden krijgen. Bijvoorbeeld:

- Kosmische energie;
- Stroom;
- Positieve energie;
- Spirituele energie;
- Lichtenergie.
- Energie in eten enz.

Er is natuurlijk niet echt een goed of slecht antwoord. In deze cursus richten we ons op de energie en de verschillende vormen die wij gebruiken in onze maatschappij. Hierbij gaan we uit van het principe dat energie een natuurkundige grootte (afgekort als E), meestal uitgedrukt in de eenheid Joule (afgekort als J) en vaak gedefinieerd als:

**'het vermogen om arbeid te verrichten'**

### 4.1 Hoe zat het ook al weer?

**Bewegingsenergie:** Een voorwerp of lichaam dat beweegt, heeft bewegingsenergie. Dit noem je ook wel kinetische energie. De hoeveelheid kinetische energie hangt af van de massa en van de snelheid van het voorwerp. De formule om de kinetische energie te berekenen is:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$E_k$  = energie [J]

$m$  = massa [kg]

$v$  = snelheid [m/s]

De snelheid waarmee een object beweegt, is afhankelijk van de kracht waarmee eraan getrokken wordt. Op aarde heet dit de aantrekkingskracht  $g$  (gravity).

Een andere belangrijke grootte is **potentiele energie**:

Potentiële energie is de energie die in een voorwerp aanwezig dan wel opgeslagen is ten gevolge van de plaats van dit voorwerp in een krachtenveld. Dit "krachtenveld" is op aarde normaal gesproken de aantrekkingskracht ( $g$ ).

Deze energie wordt aangeduid met  $E_{pot}$  en heeft als eenheid conform het SI-stelsel joule (J).

De potentiële energie kun je berekenen met onderstaande formule

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

Potentiële energie

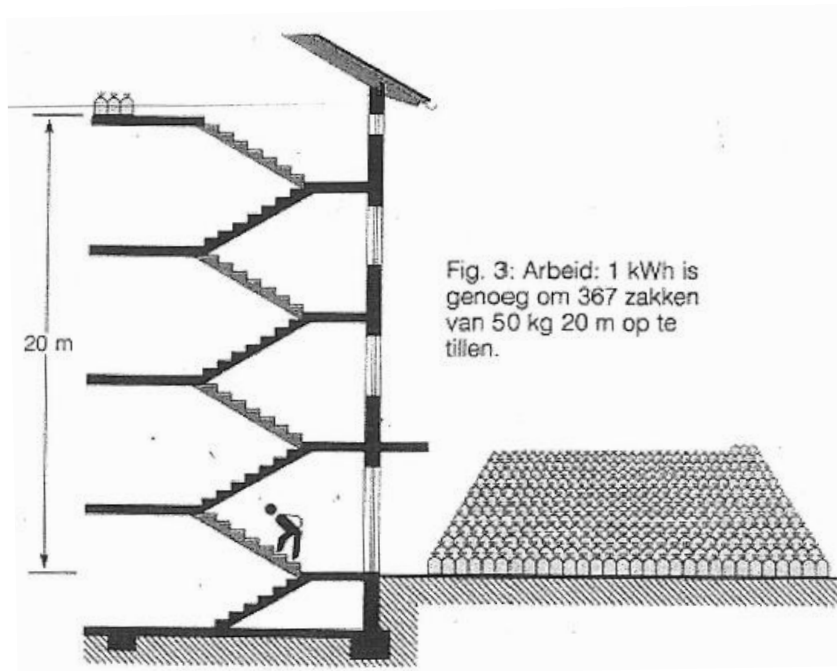
$E_{pot}$ : joule (J)

Massa  $m$ : kilogram (kg)

Hoogte  $h$ : meter (m)

Valversnelling  $g$ :  $m/s^2$  (ongeveer  $9,81 m/s^2$ )

Figuur 2: Hoeveel energie is 1 kWh?



## 4.2 Energieverbruik van enkele huishoudelijke apparaten.

Tabel 14 Energieverbruik van enkele huishoudelijke apparaten

Apparaat	vermogen	gebruik per dag	energie per dag
LED-lamp	5 watt	10 uur	50 wattuur
Spaarlamp	15 watt	10 uur	150 wattuur
Koffiezetter	750 watt	12 minuten	150 wattuur
waterketel	2000 watt	6 minuten	200 wattuur
elektrisch deken	25 watt	8 uur	200 wattuur
Stofzuiger	1500 watt	10 minuten	250 wattuur
ADSL-router	12 watt	24 uur	288 wattuur
elektrische fiets	100 watt	3 uur	300 wattuur
flatscreen TV	100 watt	3 uur	300 wattuur
Computer	100 watt	4 uur	400 wattuur
Stoomstrijkijzer	1000 watt	30 minuten	500 wattuur
Sluipverbruik	25 watt	24 uur	600 wattuur
Gloeilamp	75 watt	10 uur	750 wattuur



Koelkast	180 watt	5 uur	900 wattuur
Wasmachine	1000 watt	1 uur	1000 wattuur
Waterbed	50 watt	24 uur	1200 wattuur
Wasdroger	2000 watt	90 minuten	3000 wattuur
120 liter boiler	3000 watt	90 minuten	4500 wattuur
Airco	1000 watt	12 uur	12000 wattuur
elektrische auto	14000 watt	1 uur	14000 wattuur

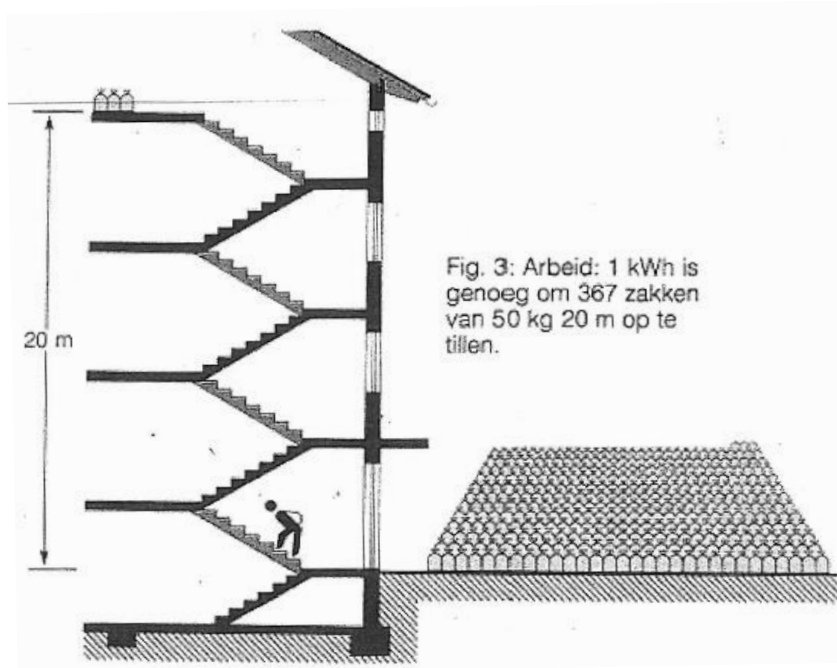
- Een ADSL-router verbruikt per etmaal bijna evenveel energie als het volledig opladen van een elektrische fiets, of 3 uur naar de TV kijken.
- De koelkast wordt door de thermostaat zo nu en dan even ingeschakeld. De "aan"-tijd is ongeveer 5 uur per etmaal.
- Het vermogen van 1000 watt voor een wasmachine is een gemiddelde waarde. Het was-proces kan worden opgedeeld in 3 fasen met een verschillend energieverbruik:
  1. het opwarmen van het water, dit verbruikt de meeste energie
  2. het wassen, hierbij verbruikt de motor die de wastrommel ronddraait weinig energie
  3. het centrifugeren, hierbij verbruikt de motor veel energie
- Een wasdroger verbruikt per wasbeurt 3 keer zoveel energie als een wasmachine.
- De boiler is meestal 's nachts ingeschakeld. Met 4500 wattuur wordt dan 50 liter water verhit van 10 naar 85°C.
- Voor de elektrische auto is de Tesla model S gekozen.
- Een sluipverbruik van 600 wattuur per etmaal is voor de meeste huishoudens wel een minimumwaarde. Dat is ongeveer 6% van het totale elektriciteitsverbruik.

In Nederland is het elektriciteitsverbruik van een huishouden ongeveer **10 kilowattuur per dag**. Bij een kilowattuurprijs van 20 eurocent, kost dat dus € 2 per dag = € 730 per jaar.

Het energieverbruik (en ook het "sluipverbruik") van huishoudelijke apparaten kan men gemakkelijk meten met een energiemeter. Die kan worden geplaatst tussen de wandcontactdoos en het apparaat waarvan men het verbruik wil meten. [Plugwise](#) is zo'n energiemeetsysteem.

## 1. Opdracht

Bekijk "Figuur 2: Hoeveel energie is 1 kWh?"



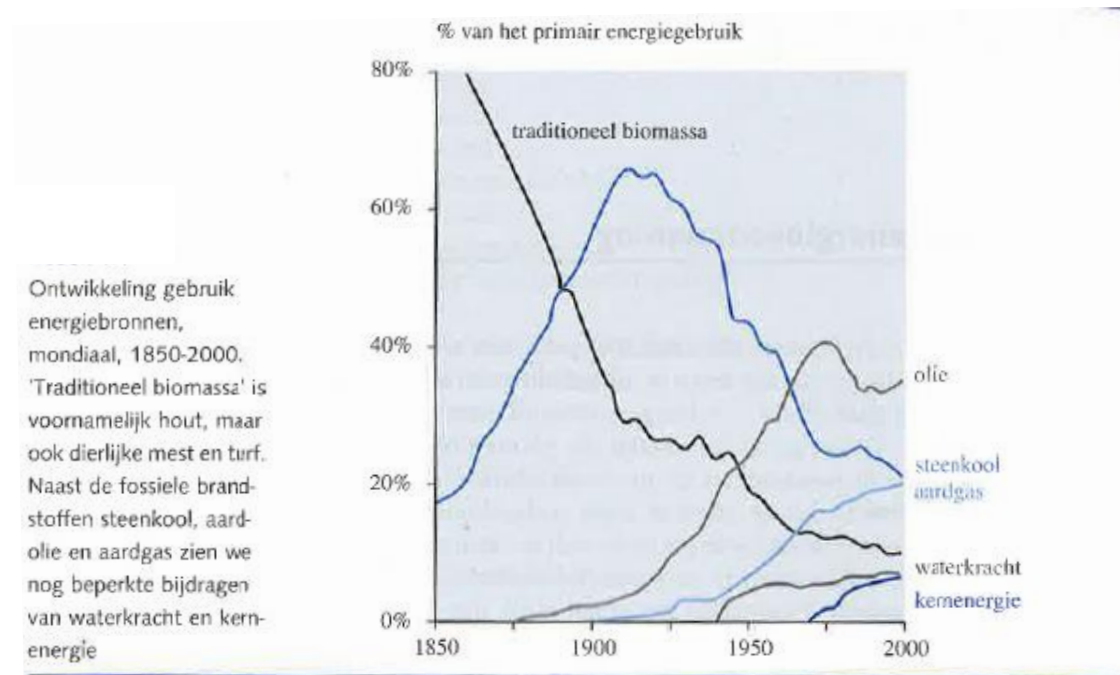
“ nog eens.

Hoe lang denk je dat jij bezig bent om deze klus te klaren?

Als je uit gaat van een het verbruik van een gemiddeld gezin van 3500 kWh per jaar. Hoeveel dagen moet jij dan werken om deze energie te verzetten? Laat de berekening zien.

### 4.3 Primaire energievormen

De energie die wij gebruiken ligt vast in zogenaamde **primaire energiebronnen**. We kunnen de energie die herin vast ligt pas gebruiken nadat het gelukt is om de energie om te zetten in, voor ons bruikbare vormen. Hierbij valt te denken aan warmte of elektriciteit. Deze laatste groep noemen we **secundaire energiebronnen**. Deze zijn “klaar” voor gebruik.



Figuur 3 Gebruik van energiebronnen door de jaren heen.

Uit Figuur 3 blijkt dat we erg afhankelijk zijn van olie. Ongeveer 40% van onze energiebehoefte wordt door olie vervuld.

#### 2. Opdracht

De traditionele brandstoffen zijn sinds 1850 sterk teruggelopen (zie grafiek). Wat wordt hiermee bedoeld en hoe komt dit?



## 5 Wat is duurzaamheid?

Duurzaamheid is vandaag de dag een container begrip geworden. Bedrijven die graag willen laten zien dat ze aan het milieu denken gebruiken de term “duurzaam” op allerlei manieren waardoor soms niet meer helemaal duidelijk is wat er nu precies onder wordt verstaan.

De beschrijving die wij hanteren is:

***“Duurzaamheid is een ontwikkeling die voorziet in de behoeften van de huidige generatie zonder daarbij de behoeften van de toekomstige generaties in gevaar te brengen” (bron: Brundtland, 1987).***

Of simpel gezegd: “Genoeg voor iedereen en voor altijd”

Een belangrijke toets of iets duurzaam is, is de zogenaamde generatie-toets. Hierbij stel je jezelf de vraag of het handelen op dit moment negatieve consequenties heeft voor de nog komende



generaties. Hierbij kijk je niet alleen naar de impact op het milieu, maar ook naar de toekomstige gevolgen ten aanzien van honger, achterstanden, armoede en dergelijk. Op al deze aspecten dient te worden getoetst. Dit wordt verwoord in het “People-Profit-Planet” model: de 3 P’s.

Hierin wordt de brede opvatting van duurzaamheid weergegeven.

## 5.1 Trias energetica

Voordat we verder gaan met duurzame energie, is het goed om even stil te staan bij de filosofie die vaak wordt weergegeven binnen de “trias energetica”. De filosofie bestaat uit een drietal stappen en heeft als achterliggend doel om mensen bewust om te laten springen om het gebruik van energie. Als het dan echt niet anders kan: gebruik dan duurzame energie! .

### Stap 1: beperk de energievraag

De eerste stap is besparen op energiegebruik. Dat kan door de energievraag te reduceren. Doordat een passiefhuis perfect is geïsoleerd en gebruik maakt van luchtverwarming wordt de energievraag enorm beperkt.

### Stap 2: gebruik duurzame energie

De tweede stap is het gebruik van duurzame energie zoals zonnepanelen, windmolens en warmte die in de bodem zit.

### Stap 3: gebruik van fossiele brandstoffen zo efficiënt en schoon mogelijk

De derde stap is energie van ‘eindige’ bronnen zo slim mogelijk gebruiken. Eindige energiebronnen zijn grondstoffen die op kunnen raken zoals aardgas of kolen. Deze eindige energie wordt door een passiefhuis zo verstandig mogelijk gebruikt.



## 5.2 Huidige energiebeleid is niet duurzaam

Er zijn een aantal belangrijke nadelen van de manieren waarop wij heden ten dagen aan onze energie komen. Op een klein percentage aan waterkracht en kernenergie na, bestaat het leeuwendeel van de energieopwekking uit de verbranding van olie, gas en steenkolen . Dit is niet duurzaam om de volgende drie belangrijke redenen:

### 1. Ontstaan van afvalproducten:

Bij de verbranding van fossiele brandstoffen ontstaan afvalproducten die in de atmosfeer komen. De belangrijkste nadelen zijn:

#### a. CO<sub>2</sub>: Koolstofdioxide.

Dit gas is een broeikasgas. De opwarming van de aarde is in verband gebracht met het stijgen van het CO<sub>2</sub> gehalte in de atmosfeer. Deze stof zorgt ervoor dat de warmte die via het zonlicht de aarde heeft bereikt, wordt vastgehouden en moeilijker wordt afgegeven aan de ruimte.

**b. SO<sub>2</sub>: Zwaveldioxide.**

Na reactie met o.a. water in de lucht ontstaat er zwavelzuur. Hierdoor is SO<sub>2</sub> verantwoordelijk voor het ontstaan van zure-regen. Overigens is het zo dat de term zure-depositie beter is.

**c. NO<sub>x</sub>: (Verzamelnaam van NO, NO<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub>)**

Net als SO<sub>2</sub> draagt deze stof bij aan de vorming van zure depositie. De belangrijkste bijdrage ontstaat doordat er uit NO<sub>2</sub> via water (en eventueel een aantal tussenstappen) salpeterzuur wordt gemaakt.

Stikstofoxiden dragen ook bij aan het ontstaan van smog. Smog (de samenvoeging van SMOke en fOG) Belangrijke componenten van smog zijn stikstofoxiden, fijn stof en koolwaterstoffen, die afkomstig zijn uit de industrie en het verkeer. Onder invloed van veel zonlicht reageren stikstofoxiden en koolwaterstoffen met elkaar. Hieruit ontstaat ozon (O<sub>3</sub>). Ozon is een erg reactieve stof die Er zijn afspraken gemaakt over de reductie van broeikasgassen. Dit is vastgelegd in het zogenaamde Kyoto-protocol.

**3. Opdracht**

Smog heeft soms lastige gevolgen.

Bekijk het verslag van CNN:

<http://www.youtube.com/watch?v=aIRkax6WUwQ>

Is deze situatie denkbaar in Nederland? Waarom wel of niet?

**2. De voorraden zijn eindig.**

Voor aardolie en aardgas wordt de economische winbare reserves op 50 jaar vanaf nu geschat. De voorraden zijn dan uitgeput en moeten we tegen die tijd over op andere (economisch-) haalbare oplossingen.

**3. De voorraden zijn regionaal geconcentreerd.**

De EU heeft in 2006 ongeveer de helft van de benodigde energie geïmporteerd. De afhankelijkheid van landen onderling zorgt voor spanningen op mondiaal niveau. De oorlogen in het Midden-Oosten vinden vaak zijn oorsprong in een machtsstrijd om olie en gasvelden. Op het moment dat iedereen zelf in staat is om op een duurzame manier zelf in zijn of haar energie te voorzien zal dit naar verwachting ten goede komen aan de stabiliteit in de wereld.



Figuur 4 Wij zijn voor een erg groot deel afhankelijk van het gas van Poetin.

### 5.3 Duurzame bronnen

Bronnen waarvan er dus “genoeg voor iedereen, voor altijd is”, noemen we duurzaam. De zon is veruit de belangrijkste motor achter verschillende duurzame bronnen. Zo is de zon bijvoorbeeld verantwoordelijk voor het verdampen van water. Dit water komt als regen terug en zal vaak via beekjes en rivieren weer terugstromen naar het laagste punt. De krachten die vrijkomen door het stromende water kunnen wij bijvoorbeeld weer gebruiken voor een waterkrachtcentrale.

#### 4. Opdracht

Welke andere energiebronnen kun jij bedenken waarbij de zon de “motor” is? Noem er tenminste 5.

#### 5. Opdracht

Kernenergie maakt gebruik van het splijten van grotere atoom kernen zoals bijvoorbeeld plutonium en uranium. Hierbij komt erg veel energie vrij. 95% van het materiaal kan weer hergebruikt worden. Het nadeel is dat het “kleine beetje” (kern-)afval sterk radioactief is.

Vind jij dat kernenergie onder de duurzame energiebronnen mag worden gerekend? Licht je antwoord toe.

### 5.4 Indeling duurzame bronnen

In de hiernavolgende hoofdstukken worden de verschillende duurzame energiebronnen toegelicht. De bronnen kunnen worden onderverdeelt naar de achterliggende motor. We onderscheiden 3 aanjagers.

Tabel 2: Overzicht van de oorsprong van duurzame energiebronnen

Oorsprong	Via proces	Benutting via	Productie van
<b>Aarde</b>	Geothermie	Elektriciteitscentrale Warmtecentrale	Elektriciteit Warmte
<b>Maan (-aarde)</b>	Getijden	Getijdencentrale	Elektriciteit
<b>Zon</b>	Verdamping en neerslag	Waterkrachtscentrale	Elektriciteit
	Biomassa	Elektriciteitscentrale Brandstofconversie	Elektriciteit Warmte
	Wind	Windturbine	Elektriciteit
	Zonlicht	Elektriciteitscentrale Zonnecollector	Elektriciteit Warmte
	Verwarming aardoppervlak en atmosfeer	Warmtepomp	Warmte

#### 6. Opdracht

Hoe zorgt de maan voor het ontstaan van de getijden? Licht in je eigen woorden toe.





## 6 Zonne- energie

In de hierna volgende hoofdstuk worden de verschillende vormen van duurzame zone-energie verder besproken.

### 6.1 De zon als ster

De zon is een zogenaamde gele-dwergster die qua diameter 109 keer zo groot is als de aarde. De zon bestaat grotendeels uit waterstof en een kleiner deel uit helium.

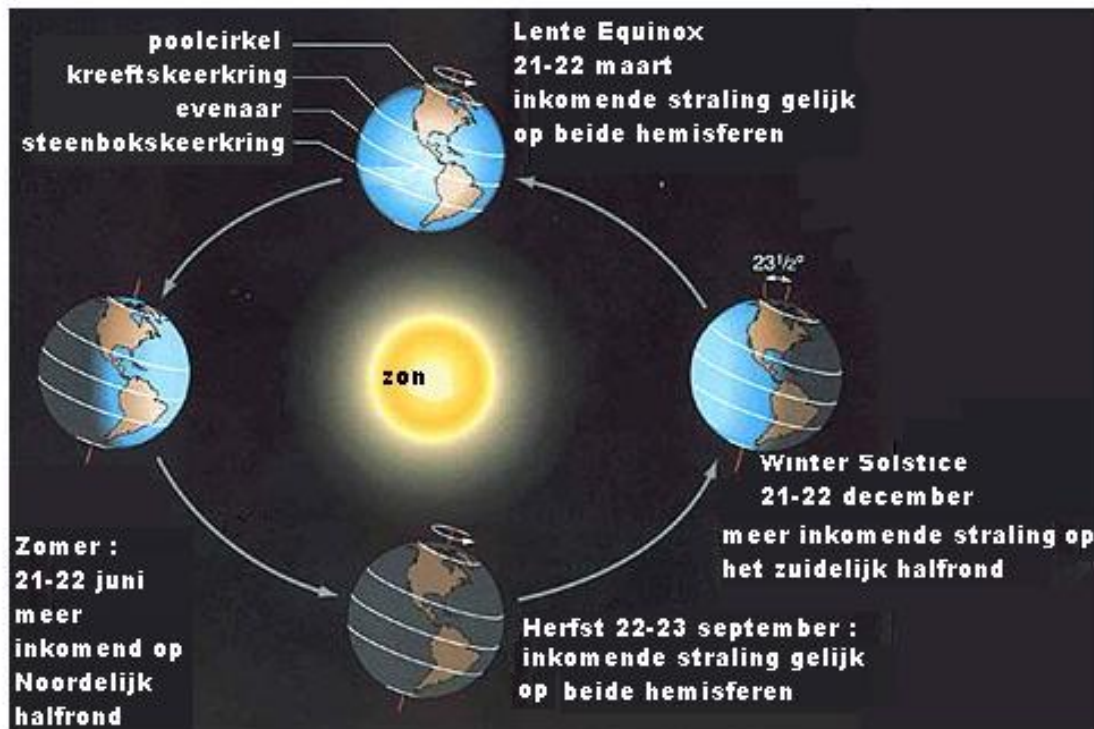
Onder enorme druk en temperatuur die in het centrum van de zon aanwezig zijn vind kernfusie plaats. Dit is een proces waarbij de kernen van 2 atomen samensmelten onder de vorming van een nieuw atoom. De zon zet waterstof (1 neutron en proton in de kern) om in het zwaardere helium (2 protonen en 2 neutronen). Hierbij komt erg veel straling vrij, waarvan een deel als lichtstraling.

De huidige zon is ongeveer 4,5 miljard jaar oud. Op basis van berekeningen weten we dat de zon ongeveer voor 10 miljard jaar brandstof heeft. Tegen die tijd is de waterstofvoorraad op en zal de zon veranderen in een zogenaamde "rode reus". In de weg naar dit punt toe zal de lichtkracht van de zon toenemen. Hierdoor zal over ongeveer 3 miljard jaar de lichtsterkte al dermate hoog zijn dat al het water op aarde zal zijn verdampt en de aarde onherkenbaar verandert zal zijn. Het leven zoals wij dat nu kennen is dan niet meer mogelijk.

De aarde draait in 24 uur om haar as. Dat is de reden dat wij elke dag de zon op zien komen en onder zien gaan. In ongeveer 365 dagen draait de aarde in een baan om de zon. Omdat de aarde ten opzichten van zon, ongeveer 365 dagen

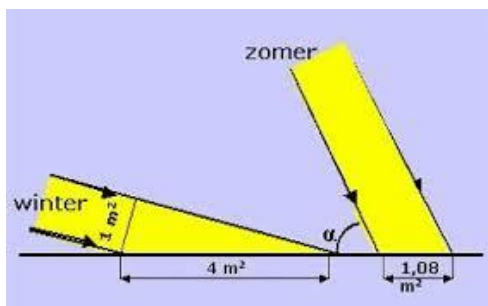
### 6.2 Ontstaan van dag en nacht, zomer en winter.

De aarde draait in 24 uur om haar as. Dat is de reden dat wij elke dag de zon op zien komen en onder zien gaan. In ongeveer 365 dagen draait de aarde om de zon. Omdat de aarde ten opzichten van zon, niet recht staan maar een beetje gekanteld ontstaan de seizoenen, zoals toegelicht in Figuur 5.



Figuur 5 De aarde in een baan om de zon: dag-nacht en seizoenenritme

De lichte kanteling van de aarde, zorgt er dus voor dat je in de zomer dichterbij de evenaar, een hogere zonne-intensiteit zult meten. De zon valt onder een andere hoek de atmosfeer binnen. Ook de intensiteit tussen de “zomerzon” en “winterzon” wordt veroorzaakt door het verschil in de hoek waarmee het zonlicht binnenvalt. Bij het plaatsen van zonnepanelen praten we dan over “tilt”. Dit is de hoek waaronder een paneel het beste geplaatst kan worden om zo veel mogelijk licht op te vangen.



Figuur 6 De winterzon valt onder een hoek  $\alpha$  van 30 graden binnen. De zomerzon ongeveer 70 graden.

## 7. Opdracht

Als je een zonnecollector in Nederland plaats, of in Marokko: heeft dit dan gevolgen voor de hoek waaronder je de collector op een dak plaatst? Wat voor gevolgen?

### 6.3 Invloed van de seizoenen op de instraling

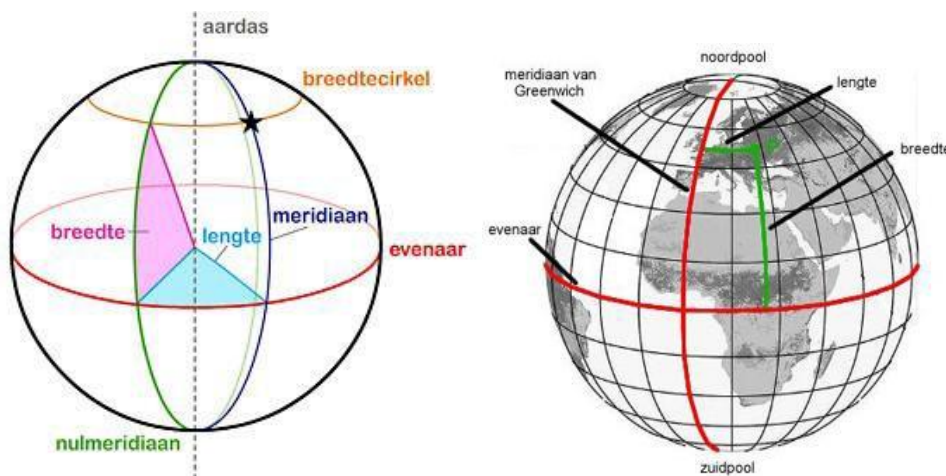
Nederland ligt op ongeveer  $52^\circ$  noorderbreedte. Zoals is te zien in de afbeelding is voor het noordelijk halfrond, de zonnestraling het grootst in de zomer. In de herfst en de winter is de as van de aarde dusdanig gekanteld dat er minder instraling is voor noordelijk halfrond. Hierdoor zijn de dagen korter, en de zon minder krachtig.

Winter	December, januari, februari
Lente	Maart, april, mei
Zomer	Juni, juli, augustus
Herfst	September, oktober, november

Lengte- en breedtegraden

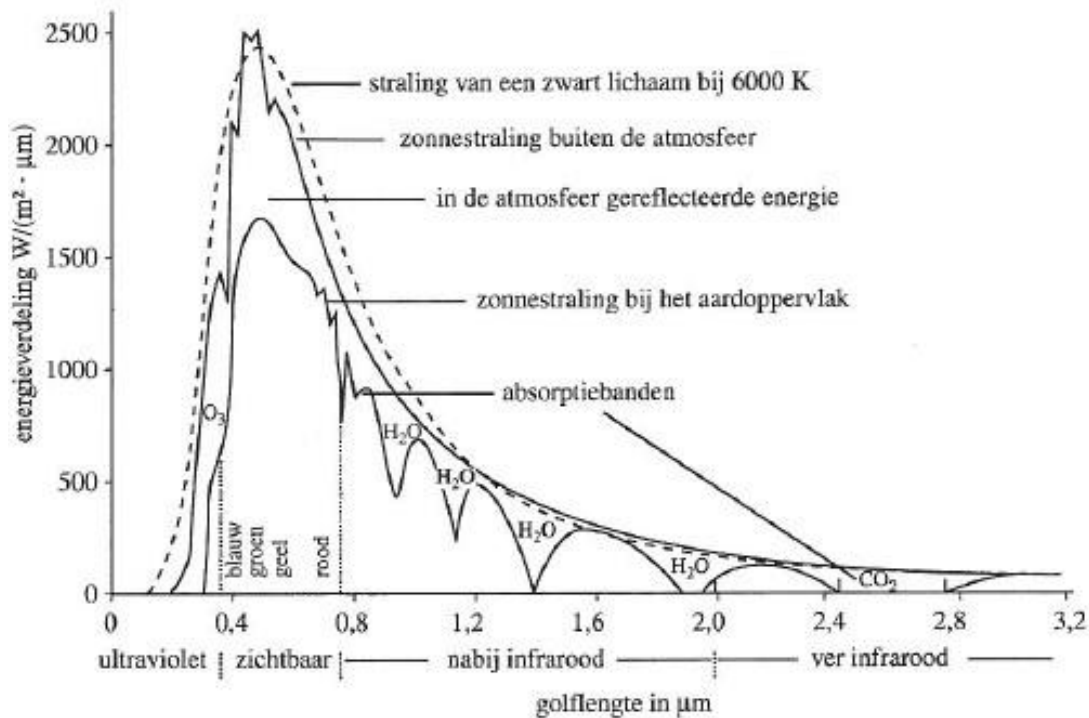
Met de lengtegraad en de breedtegraad coördinaten wordt een locatie aangeduid op onze aardbol. Op de evenaar ligt op  $0^\circ$  breedtegraad. De noordpool ligt op  $90^\circ$  Noorderbreedte of  $+90^\circ$ . De zuidpool ligt op  $90^\circ$  Zuiderbreedte of  $-90^\circ$ .

Het plaatsje Greenwich in England ligt op  $0^\circ$  lengtegraad. De lengtegraden lopen van  $0^\circ$  tot  $180^\circ$  naar het oosten en van  $0^\circ$  tot  $-180^\circ$  naar het westen. Nederland ligt op circa  $+5^\circ$  lengtegraad.



Figuur 7 Lengtegraden en breedtegraden

## 6.4 Wat is zonlicht?



Figuur 8 De energie van zonnestrallen (ir. J. Ouwehand, 2009)

Zonlicht is opgebouwd uit verschillende delen. Naast het deel wat de mens kan zien (het zichtbare licht) straalt de zon ook ultraviolet en infrarood licht uit.

Tabel 3: Golflengte en energie in zonlicht

Soort Licht	Ultraviolet	Zichtbaar	Infrarood	
Golflengtedomein	0-0,38	0,38-0,78	0,78-∞	μm
Energie inhoud	87	656	623	(W/m <sup>2</sup> )
Fractie van het totaal	6,4	48,0	45,6	%

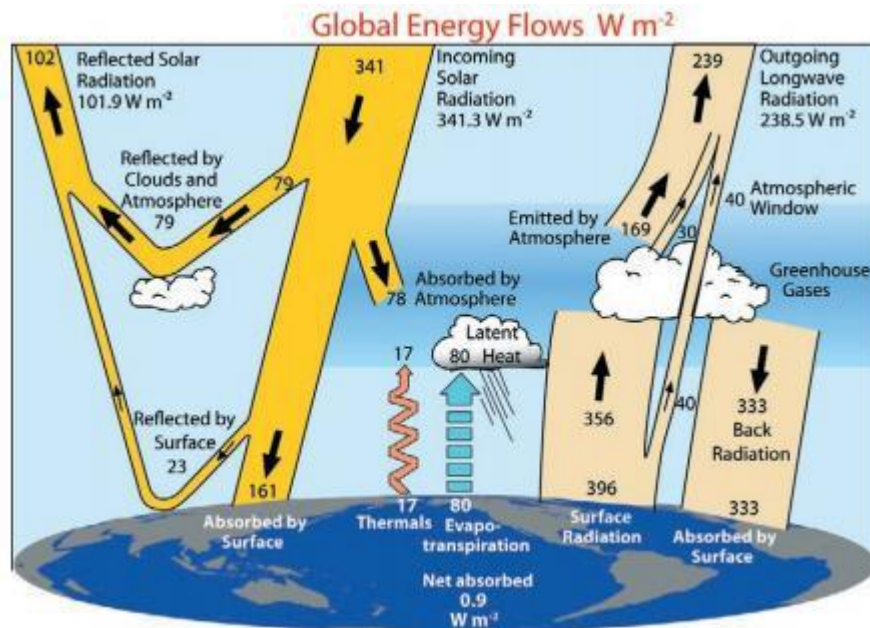
De energie van zonlicht zal niet helemaal de aarde bereiken. Een deel van de straling verdwijnt door verstrooiing, reflectie en absorptie. Dit wordt verder op behandeld.

Tabel 4 Het omzetten van zonlicht in energie (ir. J. Ouwehand, 2009)

Golflengte	Toepassingsgebied	Energiedrager
0,2 - 2,5	Zonnecollectoren	Thermische energie
0,2 - 1,2	PV-cellen	Elektrische energie
0,45- 0,7	Fotosynthese	Chemische energie

Als we kijken naar het omzetten van de energie in zonnestraling, zijn er verschillende mogelijkheden. Zo kun je met zonnecollectoren de energie in de zonnestraling omzetten in bijvoorbeeld warmte, meestal vlakke plaat collector genoemd. Met Photovoltaïsche cellen (afgekort als PV-cellen) kunnen we de energie in de zonnestraling omzetten in elektriciteit.

Planten zijn ook in staat om energie in zonlicht om te zetten in energie. Dit doen zij door middel van fotosynthese.



Figuur 9 de flow van zonlicht (K.E. Trenberth, maart 2009)

Zoals gezegd bereikt niet al het zonlicht het aardoppervlak. In Figuur 2 is de gele stroom (links) het zonlicht. Hier is te zien dat een deel van het zonlicht gereflecteerd wordt (weerkaatst) door de wolken. Ook kunnen de wolken de energie in de zon absorberen (opnemen). Verstrooiing is het verschijnsel waarbij een deel van de zonnestraling wordt geabsorbeerd door grote gasmoleculen, stof en ijskristallen, en een ander deel wordt weerkaatst door die zelfde deeltjes.

Absorberen betekent opnemen. Wanneer we kijken naar de eigenschappen van bijvoorbeeld de absorberplaat van een vlakke plaat collector, die gebruikt worden voor het opwarmen van water, zien we dat de absorberplaat de warmte van de zon moet opnemen en vasthouden. De absorberplaat wordt dan opgewarmd door de zon. De absorberplaat draagt zijn warmte over op het gas of vloeistof die door de collector stroomt die weer gebruikt kan worden om bijvoorbeeld een huis te verwarmen.

Wanneer we een vaste stof hebben waarlangs een gas of vloeistof stroomt met een andere temperatuur, zal er warmte worden overgedragen. Dit wordt convectie genoemd.

Uiteindelijk is van belang hoeveel energie er per vierkante meter aardoppervlak beschikbaar is voor de energieomzetting. De verdeling van de hoeveelheid zonne-energie over de aarde hangt

van de geografische breedte (andere woorden de plek op de aarde) en de weersomstandigheden en zoals je al eerder hebt kunnen lezen, of het winter of zomer is.

## 8. Opdracht

In 10 valt af te lezen dat er  $341 \text{ W/m}^2$  aan zonne-energie de atmosfeer binnenvalt. Via welke 2 delen verlaat de energie uiteindelijk weer de aarde? Hoe groot zijn deze delen (uitgedrukt in  $\text{W/m}^2$ )

$333 \text{ W/m}^2$  wordt toegeschreven aan “back-radiation”. Op het moment dat er meer broeikasgassen ontstaan; wat zal er gebeuren met dit getal? Licht je antwoord toe.

### Zonneconstante

De zonneconstante is het vermogen van de zonnestraling per seconde dat op een vierkante meter aardoppervlak valt, als de zon hier loodrecht op schijnt. Ondanks dat de term spreekt over een “constante”, fluctueert de waarde door kleine schommelingen in de straling van de de zon.

Het echte vermogen ligt in de praktijk ook nog lager dan de zonneconstante omdat een deel van de zonnestraling wordt gereflecteerd en geabsorbeerd in de dampkring en omdat de zon in de praktijk vrijwel nooit loodrecht op de aarde schijnt.

## 6.5 Direct en diffuus licht en de zonneconstante

De energie die het aardoppervlak bereikt bestaat uit twee delen, de directe straling en de diffuse straling. Deze diffuse straling is straling die het oppervlak op een indirecte manier bereikt. De totale straling is een optelsom van de directe en de diffuse straling.

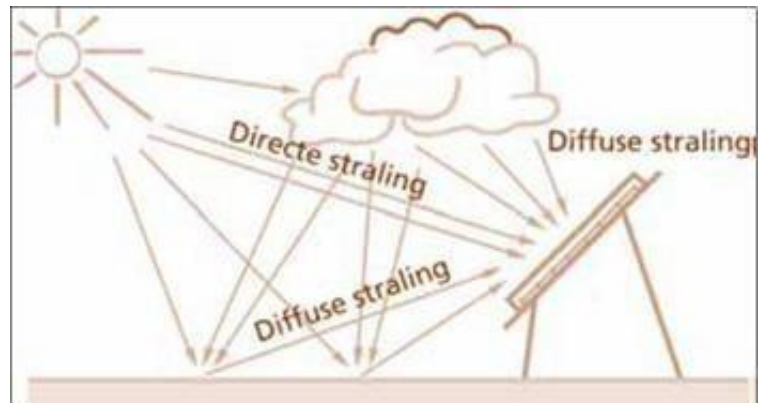
De diffuse straling wordt veroorzaakt door wolken en het weerkaatsen van zonlicht op de aarde, bomen, huizen enzovoorts. De som van directe en diffuse straling wordt globale straling genoemd. Globale straling wordt gemeten met een pyranometer en uitgedrukt in Joules of Watt per vierkante meter.



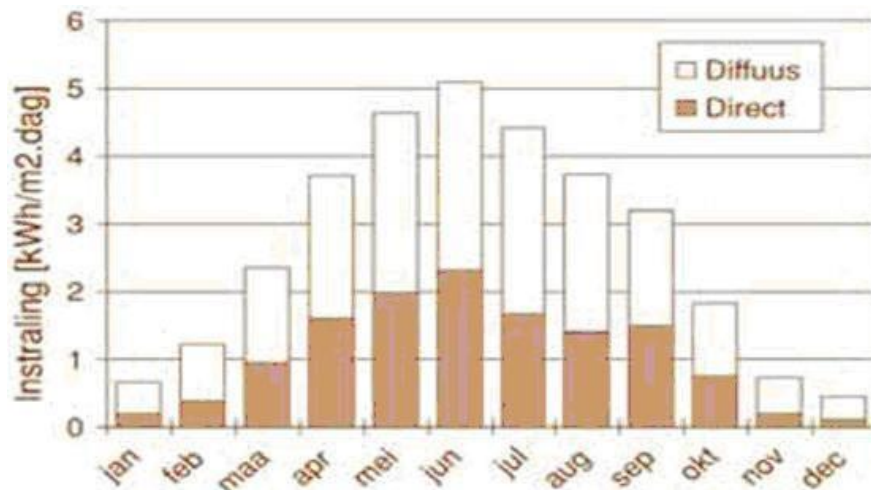
De **Pyranometer** bevat van binnen een zwart, absorberend materiaal van bekende grootte. Dit materiaal wordt warmer naar gelang er meer of minder zonlicht op valt. De temperatuurstijging of daling wordt gemeten en vertaald naar de hoeveelheid globale straling per  $\text{m}^2$ .

Figuur 10 Voorbeeld van een Pyranometer.

Hieruit wordt de duur van de zonneschijn berekend.



Figuur 11 Directe en indirecte straling



Figuur 12 De bijdrage van directe en indirecte instraling op het totaal, in Nederland per maand

Figuur 12 laat zien dat de instraling in Nederland voor een groot deel uit instraling bestaat van diffuus daglicht. Dat is dus daglicht dat via de bewolking of via de bodem gereflecteerd wordt.

## 9. Opdracht

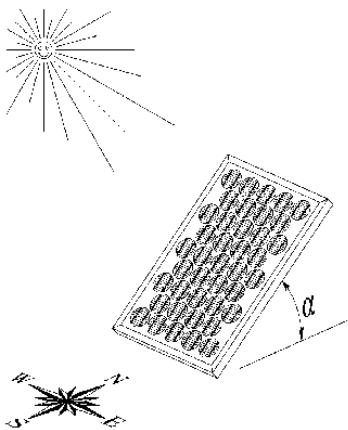
In principe kunnen PV-cellen op basis van diffuus zonlicht nog flink wat elektriciteit opwekken. Hoeveel energie is er op een bewolkte dag in mei maximaal beschikbaar om om te zetten?

## 6.6 Instraling

Het vermogen van een zonnepaneel is afhankelijk van de hoeveelheid zon die op het paneel schijnt. De hoeveelheid zon op het paneel wordt de instraling genoemd. De instraling (irradiation) is voor ieder land verschillend, zoals je al eerder hebt kunnen lezen hebben de landen rond de evenaar een hogere instraling dan de landen die daar verder van af liggen.

## 6.7 Tilt en oriëntatie.

Belangrijk om mee te nemen in de berekening van de instraling, is de hellingshoek (tilt) en de oriëntatie van het paneel. De hellingshoek van een paneel is de hoek die het paneel maakt met de horizon. Horizontaal is de hellingshoek nul graden, verticaal is de hellingshoek negentig graden. Oriëntatie is de richting gerelateerd aan de windrichtingen. Met deze twee instellingen van tilt en oriëntatie kan het paneel optimaal worden gericht naar de zon voor een zo groot mogelijke opbrengst van het paneel.

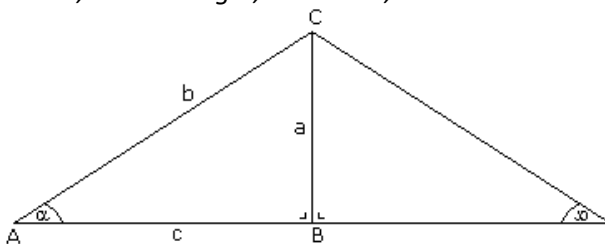


Figuur 13 Oriëntatie (windrichting) en hellingshoek  $\alpha$ .

## 10. Opdracht

Bereken de hellingshoek  $\alpha$  van het dak van een huis. Bereken de lengte van het dak ( $b$ ).

Maat  $a$ , de nokhoogte, is 4 meter, maat  $c$  is 6 meter.

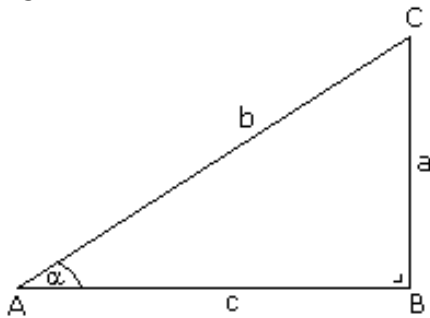




## 11. Opdracht

Een PV-paneel heeft een lengte van 1,5 m.

Hoeveel meter moet het paneel aan een zijde omhoog geplaatst worden om een hellingshoek van 30 graden te hebben?



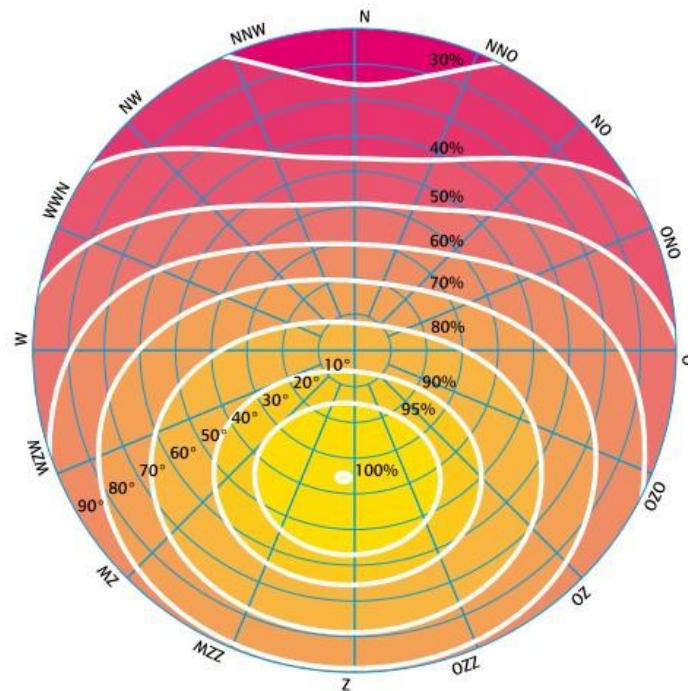
De instraling wordt weergegeven als de straling op een horizontaal vlak. Om zo optimaal mogelijk vermogen uit het paneel te halen wordt het paneel onder een hoek geplaatst. De hellingshoek van het paneel is afhankelijk van de plaats waar het paneel geplaatst wordt.

In de instralingschijf is te zien welke oriëntatie en hellingshoek van het zonnepaneel het meeste energie opbrengt. Zo is te zien in Figuur 15 dat bij een hellingshoek van 36 graden en een oriëntatie (windrichting) van 5 graden west ten opzichte van het zuiden de instraling in Nederland optimaal is.

Omdat in Nederland de bijdrage van diffuus zonlicht groot is kloppen deze waarden niet geheel maar geeft de instralingschijf wel een idee van de invloed van de hellingshoek en oriëntatie op de opbrengst van een paneel.



Figuur 14 Procentuele opbrengst afhankelijk van de ligging van het PV-paneel.



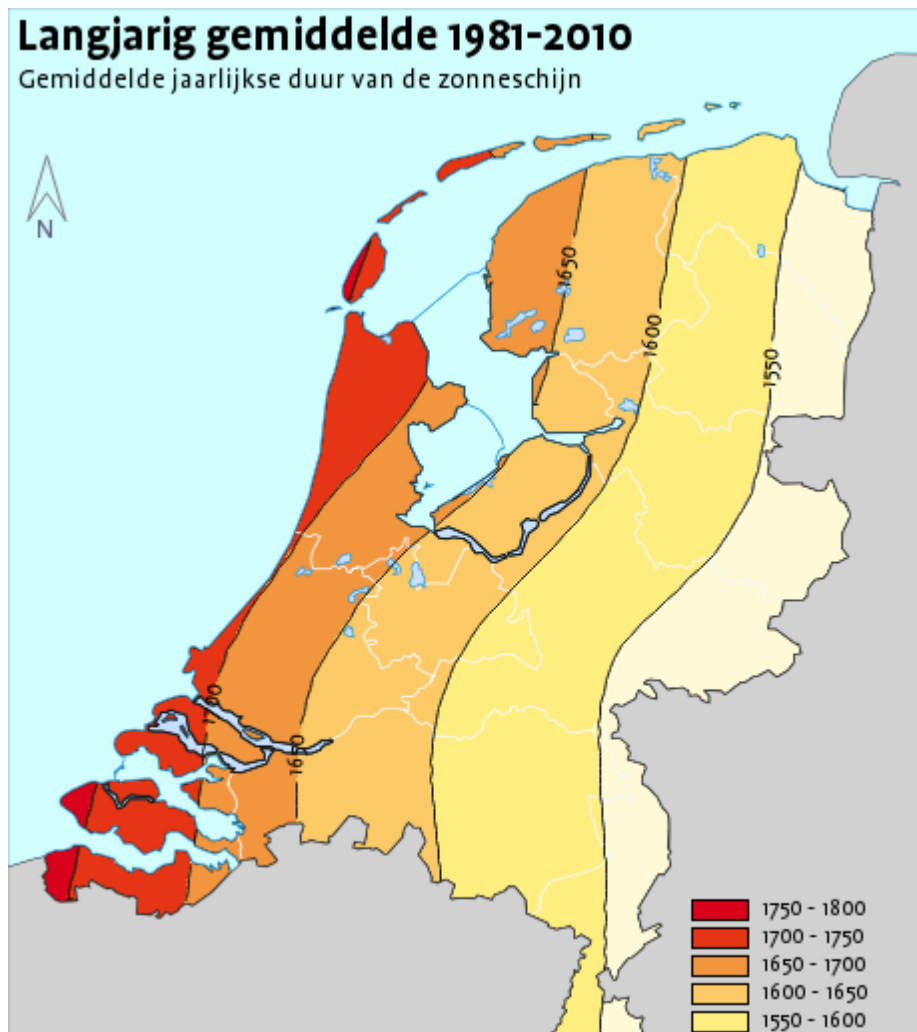
Figuur 15 instralingschijf voor Nederland

## 6.8 Globale instraling en het aantal zonuren in Nederland

Naast direct en diffuus licht heeft ook de locatie invloed op het aantal zonuren in Nederland. Als het aantal zonuren van het oosten met het westen wordt vergeleken, kan dit tot wel 10% schelen in het jaarlijks aantal zonuren. Daarbij geldt dat het aantal zonuren dicht bij de zee groter is dan verder van de zee af. Dit heeft veel invloed op de opbrengst van een PV-systeem.

Het aantal zonuren is niet elk jaar gelijk en kan tot 15% boven of onder het langjaarlijkse gemiddelde uitkomen. Per maand zijn hier ook grote verschillen in. Zo kan logischerwijs gezegd worden dat december een laag aantal zonuren heeft en dat juni een hoog aantal zonuren heeft. Over de opbrengst van zonnepanelen kan door de analyse van verschillende testsystemen in Nederland geconcludeerd worden dat november, december en januari bij elkaar maar 8,2 procent opwekken van het jaarlijkse totaal. Juni, juli en augustus kunnen gemiddeld voor 39% van de opbrengst zorgen.

Informatie over de actuele zoninstraling vind je op de site van het KNMI: [KNMI actuele zoninstraling \[W/m2\]](#)



Figuur 16 Aantal zonne- uren per jaar in Nederland

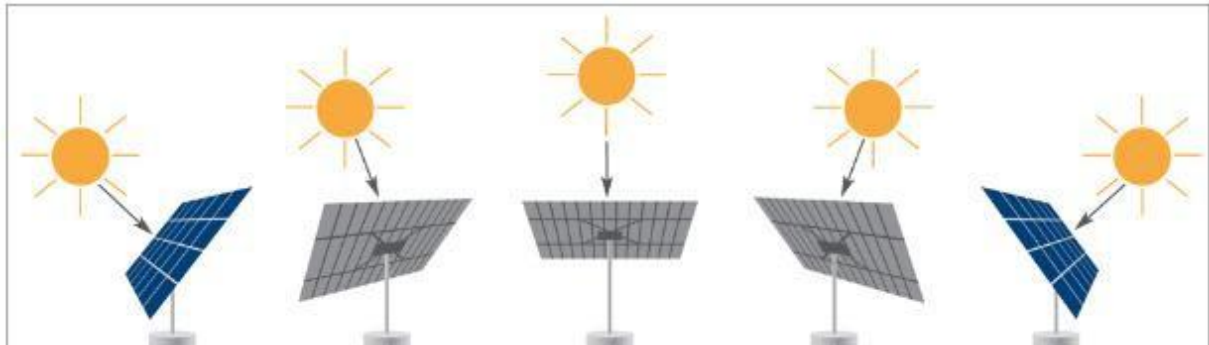
## 6.9 Tracking systeem

Om een zo hoog mogelijke opbrengst te verkrijgen van het zonnepaneel is het belangrijk dat het zonnepaneel goed naar de zon is gericht. Voor vastliggende zonnepanelen wordt dit gedaan door de tilt en de oriëntatie zo optimaal mogelijk te kiezen.

Er zijn nog andere manieren om het zonnepaneel optimaal naar de zon te richten. Een van die systemen is het zogenaamde trackingsysteem.

Het trackingsysteem is een actief systeem dat automatisch de stand van de zon volgt. Eenvoudige, enkel-assige systemen passen automatisch hun oriëntatie aan en volgen de zon van oost naar west. Complexere, dubbel-assige systemen houden ook rekening met de verandering van de hoogte van de zon tijdens de seizoenen. Zij passen hun oriëntatie en hellingshoek aan.

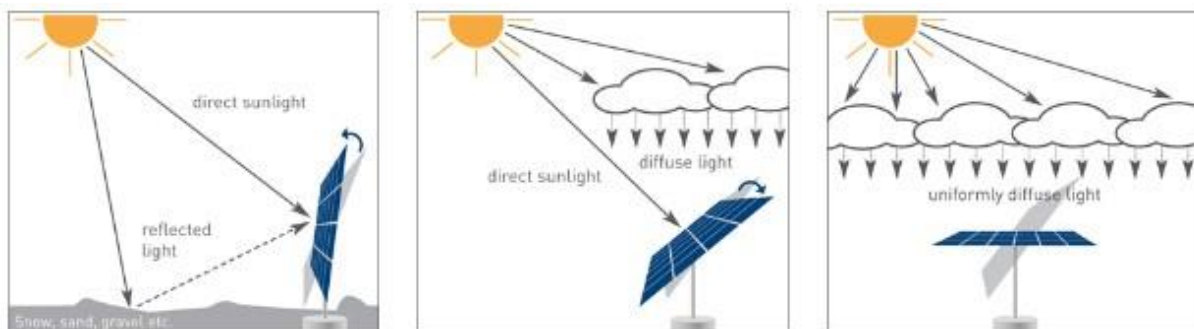
Er zijn systemen die precies de positie van de zon volgen. Figuur 10 laat een voorbeeld zien van de werking van zo'n systeem.



Figuur 17 Tracking systeem volgt de zon (astrologisch trackingsysteem)

#### Tracking met MLD

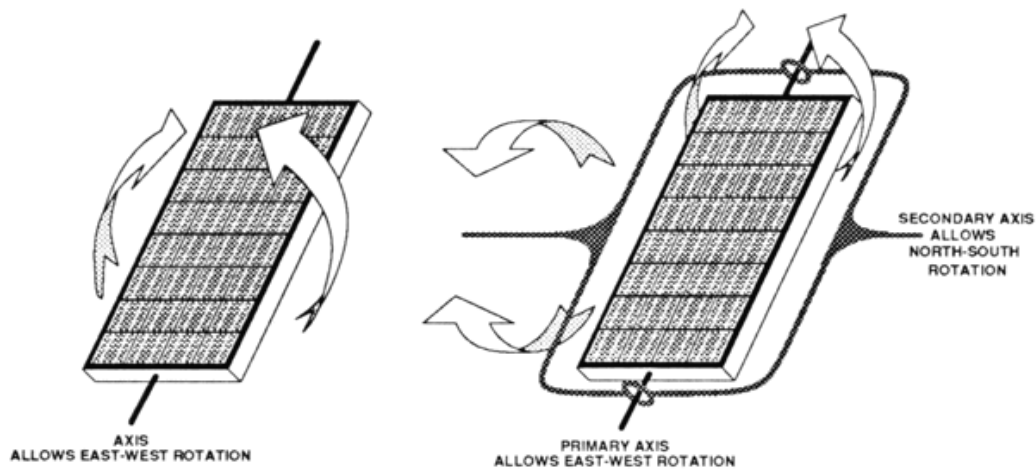
Ook zijn er systemen die kunnen bepalen waar het meeste licht vandaan komt en daar de panelen naar richten. Deze systemen werken met het zogenaamde Maximum Light Detection (MLD) systeem. Het bedrijf DEGERenergie ([SOLAR TRACKING - DEGER](#)) levert zo'n systeem. Deze systemen houden rekening met diffuus zonlicht. Als het een zwaar bewolkte dag is kan het zijn dat zo'n systeem de panelen horizontaal positioneert omdat daar op dat moment het meeste licht vandaan komt.



Figuur 18 Trackingsysteem met MLD sturing

Met een trackingsysteem is de gemiddelde opbrengst van de panelen altijd hoger dan zonder zo'n systeem. Waarom dan niet altijd een trackingsysteem toepassen?

De redenen hiervoor zijn de kosten en vooral ook de toepasbaarheid van een dergelijk systeem. Voor de toepassing van een trackingsysteem (zeker dubbel-assig) heb je beduidend meer ruimte nodig.



Figuur 19 Tracksysteem enkel- en dubbel-assig

Een voorbeeld van een enkelassig trackingsysteem op een schuin dak: [Solar Tracker System Tracking Sun - YouTube](#)

Een voorbeeld van een dubbelassig trackingsysteem, DEGERenergie - Solar Tracking Systems. [http://www.youtube.com/watch?v=Yn0NF\\_cK3J0](http://www.youtube.com/watch?v=Yn0NF_cK3J0)

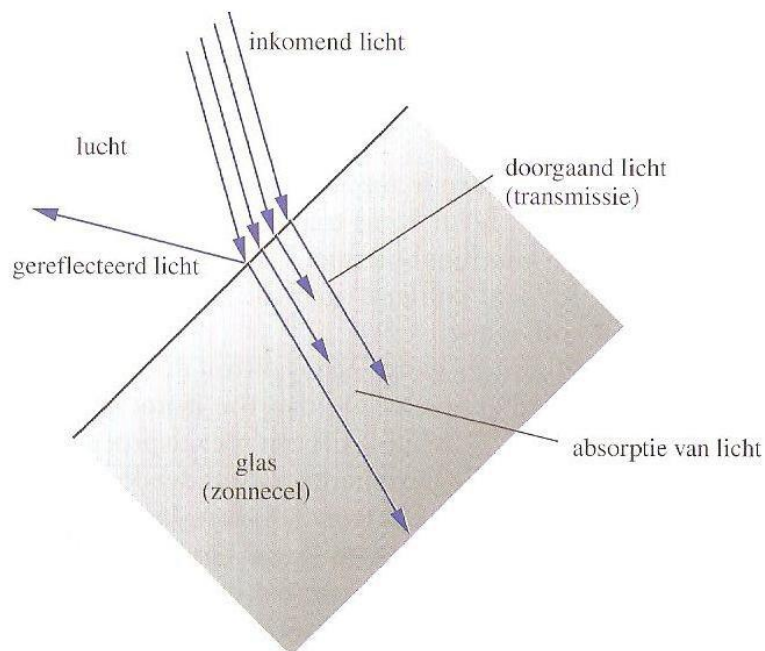
Panelen die continu de beweging van de zon volgen gedurende de dag kunnen 10% (in de winter) tot 40% (in de zomer) meer energie ontvangen dan vaste panelen.

## 7 Soorten panelen: PV panelen

Er zijn veel verschillende soorten zonnepanelen, met verschillende toepassingen. Zo zijn er zonnepanelen die gebruikt kunnen worden voor het maken van elektriciteit en andere panelen zijn voor het opwekken van warmte.

PV panelen kunnen gebruikt worden voor de opwekking van elektriciteit. PV komt uit het Engels en is een afkorting van *photovoltaic*.

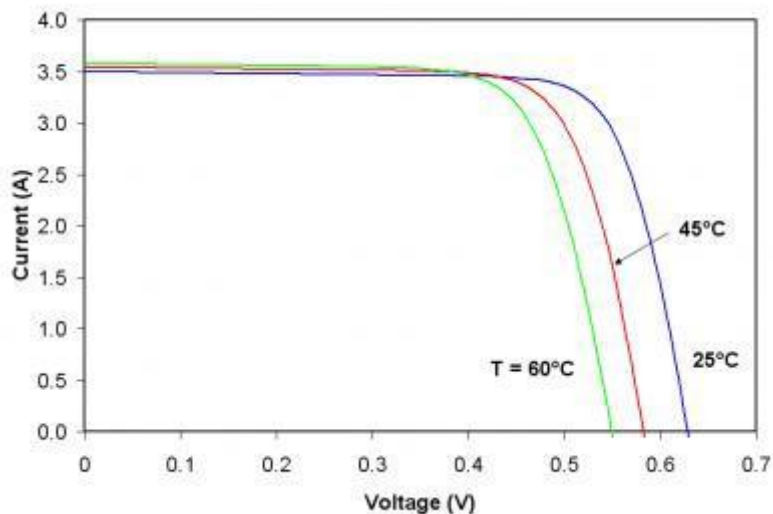
Zoals in het eerste hoofdstuk is te lezen bereikt niet al het licht het aardoppervlak. Wanneer het licht het zonnepaneel bereikt, wordt niet al het licht opgenomen. Net zoals het licht wat geabsorbeerd of gereflecteerd wordt door de aarde, gebeurt dit ook in een zonnepaneel.



Figuur 20 Reflectie, transmissie en absorptie van licht in een transparante stof (bijvoorbeeld zonnecel) (ir. J. Ouwehand, 2009)

### 7.1 Temperatuurinvloed op de prestaties van het zonnepaneel.

De temperatuur van het zonnepaneel heeft invloed op de prestaties. Hoe hoger de temperatuur hoe lager de prestaties. Daarom is belangrijk bij de montage van zonnepaneel altijd een zekere afstand te houden tussen de achterkant van het paneel en het dak, om te zorgen dat er nog lucht langs kan stromen om het paneel af te koelen. Wanneer een paneel zijn warmte niet kwijt kan, zal de opbrengst snel dalen!



Figuur 21 invloed van temperatuur op de prestaties van PV panelen

In de datasheet van het zonnepaneel staan de specificaties van de temperatuurinvloed. Dit noemen we de temperatuurcoëfficiënt. Dit is een belangrijke specificatie van het zonnepaneel, immers hoe kleiner de temperatuurcoëfficiënt, hoe minder de afname van het geleverde vermogen van het paneel bij een stijgende temperatuur.

Een voorbeeld hiervan staat hieronder.

Tabel 5 Temperatuur karakteristieken van een PV paneel

Temperatuur Coëfficiënt (TC)	$P_{max}$	-0,43 %/°C
	$V_{oc}$	-0,34 %/°C
	$I_{sc}$	0,065 %/°C
Normal Operating Cell Temperature (NOCT)		45±2 °C

Uit de bovenstaande grafiek blijkt dat het maximale vermogen  $P_{max}$  van dit zonnepaneel met -0,43 %/°C afneemt. De temperatuur is ook van invloed op de openklemspanning  $V_{oc}$  en op de kortsluitstroom  $I_{sc}$ . Het minteken betekent dat de waarde afneemt als de temperatuur toeneemt.

## 7.2 Materiaal en Productie

De meeste zonnepanelen worden gemaakt van kristallijn silicium. Silicium wordt gemaakt van siliciumdioxide, dat wordt gewonnen in de vorm van kwartszand. Net als ijzer uit ijzererts wordt silicium uit siliciumdioxide gewonnen door reductie met behulp van koolstof en wordt daarna gezuiverd.

Zoals gezegd is de meest gebruikte bron voor silicium voor zonnepanelen kwartszand. De chemische formule van kwarts is  $SiO_2$ . Door de kwarts te verhitten tot een temperatuur van rond de 3000°C en het toevoegen van koolstof (chemische formule C), verloopt de volgende reactie waaruit

silicium ontstaat (chemische formule silicium Si):

Het silicium heeft na deze reactie een zuiverheid van 99,99%. Het meeste silicium wordt gebruikt in de elektronica-industrie, voor zonnepanelen worden meestal de restjes gebruikt. Dit restmateriaal wordt dan opnieuw gezuiverd en vervolgens met een speciale techniek (de directionele stollingstechniek van Czochralski) omgezet in monokristallijn silicium.



Figuur 22 Kwarts (SiO<sub>2</sub>)

Van dit monokristallijne silicium worden dunne plakjes afgezaagd. Het oppervlak van de plakjes worden ruw gemaakt zodat ze minder zonlicht reflecteren. Na het ruwer maken van de zonnecel ondergaat de zonnecel nog een chemische reactie, en worden er speciale onzuiverheden aangebracht (doormiddel van een ionenbombardement). Door alle behandelingen is monokristallijn duur. Het rendement van monokristallijne silicium zonnecellen is ongeveer 16%.

Niet alle zonnepanelen zijn van monokristallijn silicium. Een andere techniek, waarbij het silicium wordt gegoten in blokken. Van deze blokken worden weer plakjes afgezaagd. Door het gieten heeft silicium ontstaat er een kristalstructuur. Deze cellen worden polykristallijne zonnecellen genoemd. Polykristallijne zonnecellen zijn goedkoper dan monokristallijne zonnecellen, en hebben een lager rendement van ongeveer 13%.


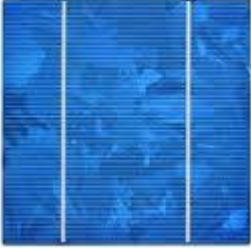
Dan is er ook nog amorf silicium. Amorf silicium bestaat uit silicium atomen zonder regelmatige ordening (amorf betekent zonder geordende structuur). Amorfe zonnecellen zijn een stuk goedkoper dan kristallijne zonnecellen. Het rendement van amorfe zonnecellen is ongeveer 10%. Amorfe zonnecellen worden vaak toegepast in bijvoorbeeld rekenmachines en horloges.

Het is ook mogelijk om zonnepanelen uit andere grondstoffen te maken. Een voorbeeld hiervan zijn cadmiumtelluride en koper-indium-diselenide. Dit zijn stoffen waar momenteel veel onderzoek naar wordt gedaan.

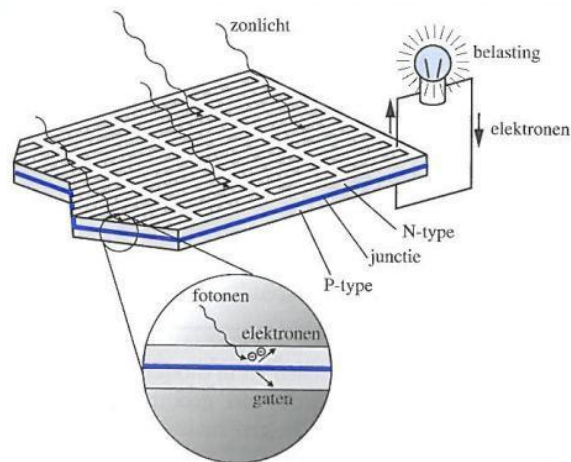
Een andere ontwikkeling is de toepassing van siliciumlinten. Deze worden rechtstreeks uit vloeibaar silicium getrokken in plaats van ze te gieten. Het voordeel van siliciumlinten is dat het op allerlei dragermaterialen kan worden aangebracht, bijvoorbeeld flexibel plastic. Dit heeft als voordeel dat we geen grote panelen meer nodig hebben!



Tabel 6 De verschillende soorten panelen en het rendement

Uitvoering	Materiaalsoort		Maximum rendement laboratorium	Rendement commerciële modules
Plakken	Monokristallijn Silicium		25%	13-16%
Plakken	Polykristallijn silicium		20%	12-14%
Plakken	Amorf silicium en silicium-germanium		14%	6-8%
Dunne film	Koper-indium-Diselenide		19%	9-11%
Dunne film	Cadmiumtelluride		16%	7-9%

### 7.3 Werking PV-paneel



Figuur 23 Werking van een zonnepaneel

### 7.4 Foto-elektrisch effect: Ontdekking van het effect en zijn fysieke verklaring

Het foto-elektrische effect werd ontdekt in 1839 door Alexander Edmond Becquerel. Tijdens een experiment ontdekte hij dat tussen twee elektrolytische cellen een licht-afhankelijke stroom ontstond. Dit foto-elektrische effect werd in de volgende decennia onder andere door Heinrich Hertz en W. Hallwachs (1887), verder beschreven. Onder andere onderzochten zij de manier waarop geladen deeltjes (elektronen) een materiaal verlaten (Hallwachs effect of foto-emissie effect). Later betrok Albert Einstein het foto-elektrische effect in zijn licht-kwantumtheorie.

Dankzij zijn onderzoek aan het licht-kwantumeffect in 1905, waarvoor hij in 1921 de Nobelprijs ontving, kon het foto-elektrische effect fysisch worden verklaard. In zijn theorie is licht niet alleen een golf, maar heeft het ook deeltjeskenmerken („het dualisme van het golfdeeltje“). De zogenaamde „fotonen“ hebben een bepaalde energielading. Een foton kan zijn energie aan andere deeltjes overdragen. Deze energie kan voor verschillende processen, onder andere voor de opwekking van stroom door zonnepanelen worden gebruikt. De eerste aangewezen zonnepanelen werden gebruikt in de ruimte om satellieten van stroom te voorzien.

### 7.5 Zonnecellen gebruiken het foto-elektrische effect voor de opwekking van stroom

In zonnepanelen wordt elektriciteit opgewekt. De zonnecellen in zonnepanelen bestaan meestal uit silicium, een halfgeleidermateriaal. De halfgeleider wordt elektrisch geleidend, als hij aan licht of warmte wordt blootgesteld. Een zonnecel bestaat uit twee halfgeleiderlagen, die enerzijds overschot aan positieve ladingdragers en anderzijds een overschot aan negatieve lastendrager hebben. Dit wordt dotering genoemd.

Bij de overgang tussen beide lagen ontstaat een elektrisch veld, dat onder invloed van lichtinval de door het foto-elektrische effect vrijkomende deeltjes van de lading scheidt. Metaalcontacten geleiden de daardoor ontstane elektrische spanning.

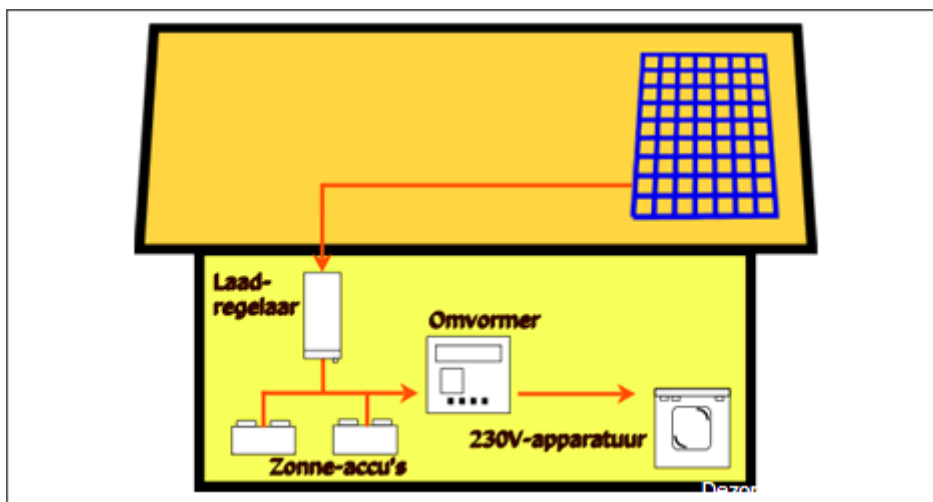
Als er een elektrisch apparaat aangesloten is, is de buitenste kring gesloten en stroomt er gelijkstroom. Voor toepassing in huishoudens wordt een omvormer toegepast die de gelijkstroom omzet in wisselstroom. De meeste huishoudelijke apparaten werken immers op wisselstroom.

In onderstaand filmpje wordt laten zien hoe een zonnepaneel gemaakt wordt. <http://www.youtube.com/watch?v=cWL6QQuRuxE&feature=related>

Introductie tot PV-paneel energie:  
<http://www.youtube.com/watch?v=ZSviOnud7uY>

Nog een filmpje over de precieze werking van het PV-paneel:  
<http://www.youtube.com/watch?v=Y0InAuhAre4>

## 7.6 Belangrijke componenten van het PV systeem



Figuur 24 Overzicht van de PV componenten

### Laadregelaar

De belangrijkste functie van een laadregelaar is het beschermen van de accu tegen overlading van het zonnepaneel.

### De (zonne-) accu's

Er wordt meestal gesproken over accu's en af en toe wordt ook de term cel gebruikt. Een cel is het basis element. Een accu is opgebouwd uit meerdere cellen. Eén cel van een loodaccu geeft een spanning af van 2 Volt. Een 12 Volt accu is samengesteld uit 6 cellen (6 cellen x 2V = 12V).



Figuur 25 Een loodaccu

### De inverter (omvormer)

Zoals bekend kunnen zonnepanelen niet zonder inverter. De inverter zorgt ervoor dat gelijkstroom die uit de panelen komt wordt omgezet in wisselstroom. Wanneer er een keuze is gemaakt in het aantal panelen en het vermogen kan de inverter worden gekozen. Bij de het kiezen van een inverter moet gekeken worden naar het ingangsvermogen. In de praktijk blijkt dat de zonnepanelen vrijwel nooit hun piekvermogen behalen (het vermogen wat behaald wordt onder standaard test condities). Daarom mag het ingangsvermogen iets lager zijn dan het piekvermogen van de panelen. Belangrijk is wel dat de inverter de panelen ten alle tijden aan kan, dus onder dimensionering kan gevaarlijk zijn. Het maakt overigens niet uit of er één grotere of twee kleinere inverters geplaatst worden (mits deze het aantal strings en het vermogen aankunnen). Wel kan het zo zijn dat twee inverters meer bedrijfszekerheid kunnen hebben. Bekende merken voor omvormers in Nederland zijn Mastervolt en SMA.

### Elektriciteitsmeter:

Niet elke elektriciteitsmeter is geschikt voor het terug leveren van elektriciteit aan het net. De oude ferarriemeter is een analoge meter met een draaischijf. Wanneer er zonnepanelen zijn aangesloten die elektriciteit produceren, en de productie groter is dan het verbruik, zal de meter achteruit lopen. Dit type meter is in de wat oudere huizen te vinden en wordt niet nieuw meer geïnstalleerd.



Figuur 26 Analoog zonder draaischijf (Zon en Co, 2011)



Figuur 27 : Ferrismeter (analoog met draaischijf) (Zon en Co, 2011)

Analoge meters zonder draaischijf zijn niet geschikt om energie mee terug te leveren aan het net. Wanneer deze is geïnstalleerd, moet via de netbeheerder of stroom leverancier een nieuwe meter worden aangevraagd.



Figuur 28 digitale meter met teruglever registratie



Figuur 29 Slimme meter zonder teruglever registratie

Ook bestaan er digitale meters met teruglever registratie. Dit type wordt veel geïnstalleerd in nieuwbouw of gerenoveerde huizen. Deze digitale meter heeft een apart telwerk voor terug geleverde energie. Wanneer er een digitale meter met teruglever registratie is geïnstalleerd in combinatie met zonnepanelen moet dat wel gemeld worden bij de stroomleverancier.

Er bestaan helaas ook digitale meters die geen teruglever registratie hebben, dit zijn vaak slimme meters die op afstand uit te lezen zijn.

## 12. Opdracht

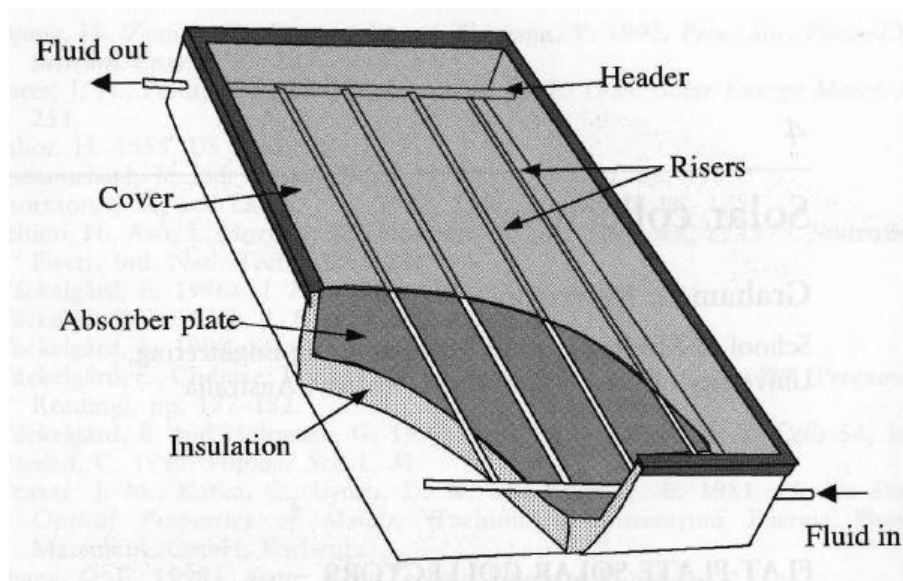
Beschrijf in eigen woorden de werking van een PV systeem. Gebruik de woorden: accu, omvormer, paneel, zonlicht, accu, wisselspanning, gelijkspanning, laadregelaar.

## 8 Soorten panelen: Thermische zonne-energie

Thermische zonne-energie is de warmte-energie die uit de zon gehaald kan worden. Om deze warmte-energie uit de zon te halen zijn verschillende technieken mogelijk. Deze zullen in de komende paragrafen worden toegelicht. Voor alle technieken geldt dat om de warmte van de zon te kunnen vervoeren of vast te houden er een vloeistof of gas nodig is. Deze vloeistof of gas noemen we een energiedrager.

### 8.1 Vlakke plaat collector

De vlakke plaat collector is een zonnecollector waarbij de zon de energiedrager opwarmt. In het geval van de vlakke plaat collector is het een vloeistof die door de collector heen stroomt. Aan de onder zijde komt de koude vloeistof in de collector. Deze vloeistof wordt verwarmd door de geabsorbeerde warmte. Vervolgens stroomt de vloeistof aan de bovenkant uit de collector.



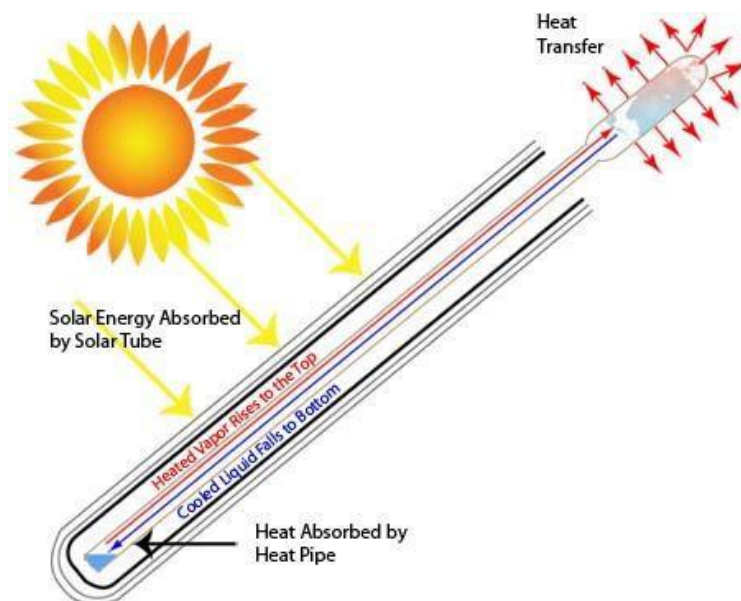
Figuur 30 vlakke plaat collector (ir. J. Ouwehand, 2009)

Deze warme vloeistof kan gebruikt worden voor verschillende dingen, zoals het verwarmen van een ruimte of het opwarmen van tapwater. Om te berekenen hoeveel energie de collector opbrengt gebruiken we de volgende formule:

## 8.2 Vacuümbuiscollector

Een ander veel gebruikt type collector is de vacuümbuiscollector. Vacuümbuiscollector bestaan uit een ronde lange, vacuüm getrokken glazen buizen die met een edelgas argon of krypton worden gevuld. De absorber en koelbuizen liggen in de met edelgas gevulde buis en door afwezigheid van de interne convectiestromingen in de buis zijn de thermische verliezen lager.

In de afbeelding hiernaast is de werking te zien van de vacuümbuiscollector. De zon warmt de collector op, hierdoor warmt ook de absorber op. Door het vacuüm is wordt het medium al bij een temperatuur van 30°C zo warm dat het stoomt. De stoom geeft vervolgens zijn warmte af en condenseert weer. Waarna het weer wordt opgewarmd.



Figuur 31 Vacuümbuiscollector



### 8.3 Concentrerende collectoren

Concentrerende collectoren richten doormiddel van een spiegel het zonlicht en de warmte naar een centraal punt. In dit centrale punt wordt de absorber geplaatst. Voor deze absorber wordt ook vaak een vacuümbuiscollector gebruikt. Met concentrerende collectoren is het mogelijk hogere temperaturen te behalen dan met bijvoorbeeld de vlakke plaat collector, en worden doorgaans niet gebruikt voor het opwarmen van tap water. Een voordeel van de concentrerende collectoren is dat ook wanneer het licht niet recht op de spiegel staan, het licht toch naar de absorber wordt weerkaatst.

### 8.4 Warmtewisselaar

In de meeste gevallen is het water of een ander medium niet geschikt om mee te douchen. Daarom draagt het opgewarmde medium wat door de collectoren stroomt zijn warmte over op het drink water. Dit gebeurt in een warmtewisselaar. Een warmtewisselaar is een onderdeel waar de twee stromen zo dicht langs elkaar stromen dat de warmte van het medium kan worden overgedragen op het drinkwater, zonder dat de twee met elkaar in aanraking komen.

De meest gebruikte warmtewisselaar is de tegenstroom warmtewisselaar, hierin stromen meerdere stromen van het medium tegen de richting van het drinkwater in. Hierdoor vindt de overdracht van warmte nog sneller plaats.

#### Ontwerpen systemen

Er zijn verschillende opstellingen mogelijk bij de bouw van een thermisch systeem voor bijvoorbeeld huizen. In deze paragraaf zullen verschillende configuraties aanbod komen.

*Systemen gebaseerd op natuurlijke watercirculatie, de zogeheten thermosifonsystemen, en de systemen met pompcirculatie.* Bij thermosifonsystemen staat de collector onder het laagste punt van de warmtewisselaar of het voorraadvat. De meest voorkomende systemen zijn voorzien van een circulatiepomp voor de watercirculatie tussen de collector en het voorraadvat. Bij het gebruik van een circulatiepomp hoeft het paneel niet onder het voorraadvat of warmtewisselaar geplaatst te worden.

*Systemen met open expansie en met drukexpansie.* Bij open, drukloze systemen –dat wil zeggen bij atmosferische druk- zet het warm wordende water uit in een open expansievat, en bij gesloten, onder druk staande systemen zet het uit in een drukexpansievat.

*Terugloop- of leegloopsystemen en systemen met antivries.* In het laatste geval wordt het systeem met een speciale, niet giftige koelvloeistof gevuld te bescherming tegen bevriezing, terwijl de te hoge druk door oververhitting in het expansiesysteem wordt opgevangen. In Nederland past men bij kleine systemen bijna altijd een zogeheten terugloopsysteem toe, ook wel drainbacksysteem genoemd. Dit werkt uitsluitend bij systemen, waarbij de onderkant van de collector ruimschoots boven het terugloopvat staat en de leidingen op afschot liggen. Bij stilstand van de pomp stroomt het water uit de collector en de door vorst bedreigde leidingen terug het vat in. De pomp moet daarvoor onder het vat zitten, omdat deze altijd met water is gevuld. Verder is bij dit soort systemen in woonhuizen geen expansievat nodig. Leegloopsystemen moeten worden toegepast als de collector direct wordt gevuld is met tapwater. Bij vorstgevaar dient het water uit de collector en de

leidingen weg te stromen. Omdat die niet in het voorraadvat past, loopt het leeg in het riool. (ir. J. Ouwehand, 2009)

## 8.5 Concentrated Solar Power centrale (CSP)

Een nieuwe ontwikkeling in de zonne-energie is het gebruik van concentrated solar power centrales. Een CSP centrale werkt als volgt: De spiegels weerkaatsen het zonlicht naar één centraal punt. Op dit punt wordt de temperatuur zo hoog dat de vloeistof die door het centrale punt (receiver) stroomt wordt omgezet in stoom. De stoom drijft vervolgens door de stoomturbines waarmee elektriciteit wordt opgewekt.

Om dit alles te verduidelijken kijk naar het volgende filmpje:

<http://www.youtube.com/watch?v=rO5rUqeCFY4>

De concentrated solar power centrale heeft minimaal 2000 kWh/m<sup>2</sup> aan directe instraling nodig om effectief te zijn. Hierdoor zijn CSP centrales niet overal op de wereld geschikt om te plaatsen. Wanneer we kijken naar de gebieden die geschikt zijn in Europa is dat alleen zuid Spanje. Andere gebieden in de wereld die geschikt zijn voor CSP zijn noord Afrika, Mojave Desert (VS), Chili, zuidelijk Afrika en Australië.

De meest toegepaste vorm van CSP is de parabolische trog, maar in de toekomst verwacht men dat de zonnetoren aan terrein zal winnen. Het voordeel bij de zonnetoren is namelijk dat er één receiver nodig is, waar de parabolische trog voor elke spiegel een receiver heeft. Hierdoor is het mogelijk een hoger thermisch rendement te behalen. In de zonnetoren kan de temperatuur oplopen tot wel 1000°C. in de parabolische trog is dit maar 400°C

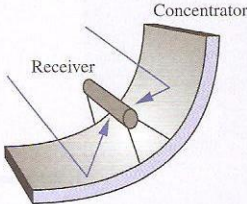
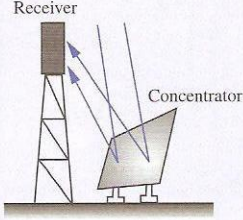
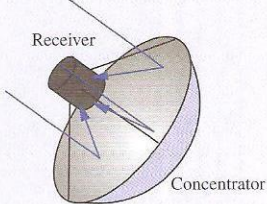
In de praktijk is het zo dat de centrale zo'n 8 tot 10 uur per dag effectief elektriciteit kan opwekken. Het nadeel is dus dat er op momenten dat er weinig zonlicht is, zoals in de avond en bij bewolking, er weinig energie wordt geproduceerd. Om te voorkomen dat mensen zonder elektriciteit komen te zitten is het dus nodig om de energie die overdag wordt opgewekt 's avonds te benutten. Dit kan op verschillende manieren.

Het Hybride systeem. Bij het hybride systeem is het mogelijk om bij een grote elektriciteitsvraag tijdelijk over te schakelen op fossiele brandstoffen zoals aardgas.

De andere optie is om de energie die overdag wordt opgewekt op te slaan. Dit wordt gedaan doormiddel van gesmolten zout. Het mengsel van zout met een andere vloeistof stroomt door

de receivers, en wordt opgeslagen in grote tanks.

Tabel 7 Vormen van concentrated solar power

	Parabolische trog	Zonnetoren	Dish-Stirling Parabolische schotel
Technologie			
Toepassing	Netgekoppeld 10-200 MW <sub>e</sub> (toekomst: 100-400 MW <sub>e</sub> )	Netgekoppeld 10-150 MW <sub>e</sub> (toekomst: 200 MW <sub>e</sub> )	Stand-alone, decentrale toepassing of netgekoppeld 0,01-0,4 MW <sub>e</sub>
Concentratiefactor	70-80	300-1000	1000-3000
Commerciële status	354 MW <sub>e</sub> (14-80 MW <sub>e</sub> per installatie) 2x50 MW <sub>e</sub> , ANDASOL	Geen commerciële ervaring Demonstratieprojecten: SolarOne, SolarTwo, SolarTres, 10 MW <sub>e</sub> Eerste commerciële project gepland: PS10 (Spanje)	Geen commerciële ervaring, wel gedemonstreerd
Jaarlijks elektrisch rendement	Gedemonstreerd: 10-15% Verwacht: 17-18%	Gedemonstreerd: 8-10% Verwacht: 15-25%	Gedemonstreerd: 16-18% Verwacht: 18-23%
Investeringskosten	Lager dan 3000 €/kW	Lager dan 3000 €/kW	5000 €/kW voor nieuw prototype
Voordelen	Commerciële ervaring	Rendement is hoger dan trog Hoge-temperatuuropslag	Modulaire toepassing Hoog rendement
Nadelen	Relatief lage vloeistoftemperatuur; laag rendement	Niet geschikt voor kleinschaalprojecten	
R&D	Gesmolten zout als transportmedium Lineaire Fresnelreflectoren Directe stoomverhitting Ondersteuningsconstructie spiegels Thermische opslag	Absorbertechnologie (Central Air receiver en Pressurized Air receiver)	Hybride systemen Thermische opslag

## 9 Bronnenlijst

- J. Ouwehand 2009. Toegepaste energietechniek deel 2: Duurzame energie, Sdu uitgevers Den Haag, 2<sup>de</sup> druk 2012
- M Stassen, M Smidt 2012. Green engineering Thema: Zonne-energie. Helicon opleidingen Den Bosch
- M Stassen 2012, Green engineering Thema: Wind-energie. Helicon opleidingen Den Bosch
- Agentschap NL. (2010). *Leidraad Zonnestroomprojecten*. NL Energie en Klimaat. Utrecht: Agentschap
- CentroSolar. (2011). *Installatie-handleiding PV-pakketten*. CentroSolar.
- Sideria FAQ zonnepanelen. (2010). Opgeroepen op Augustus 15, 2012, van website Sideria: <http://www.siderea.nl/zonne-energie/faq/faq.html>
- K.E. Trenberth, J. F. (maart 2009). *Earth's Global Energy Budget*. American Meteorological Society.
- Ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. (2010, Augustus). *Zonnecollectoren en zonnepanelen Wanneer vergunningvrij, wanneer een omgevingsvergunning nodig?* Ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
- Stichting Wijwillenzon. (2012). *Wij Willen Zon*. Opgeroepen op augustus 23, 2012, van wijwillenzon.nl: [http://www.wijwillenzon.nl/faq/3/technische-vragen/8/heb-ik-een-nieuwe-\(groep-in-mijn\)-stoppenkast-nodig.html](http://www.wijwillenzon.nl/faq/3/technische-vragen/8/heb-ik-een-nieuwe-(groep-in-mijn)-stoppenkast-nodig.html)
- Zon en Co. (2011). *Zon en Co*. Opgeroepen op augustus 22, 2012, van zonenco.nl: <http://www.zonenco.nl/elektriciteitsmeter-zonnepanelen-welke-meter-is-geschikt/>
- Zonnekoning. (2012). *Controleer uw hoofdaansluiting (zonnekoning)*. Opgeroepen op Augustus 22, 2012, van Zonnekoning.com: <http://www.zonnekoning.com/informatie/hoofdaansluiting/>

---einde---