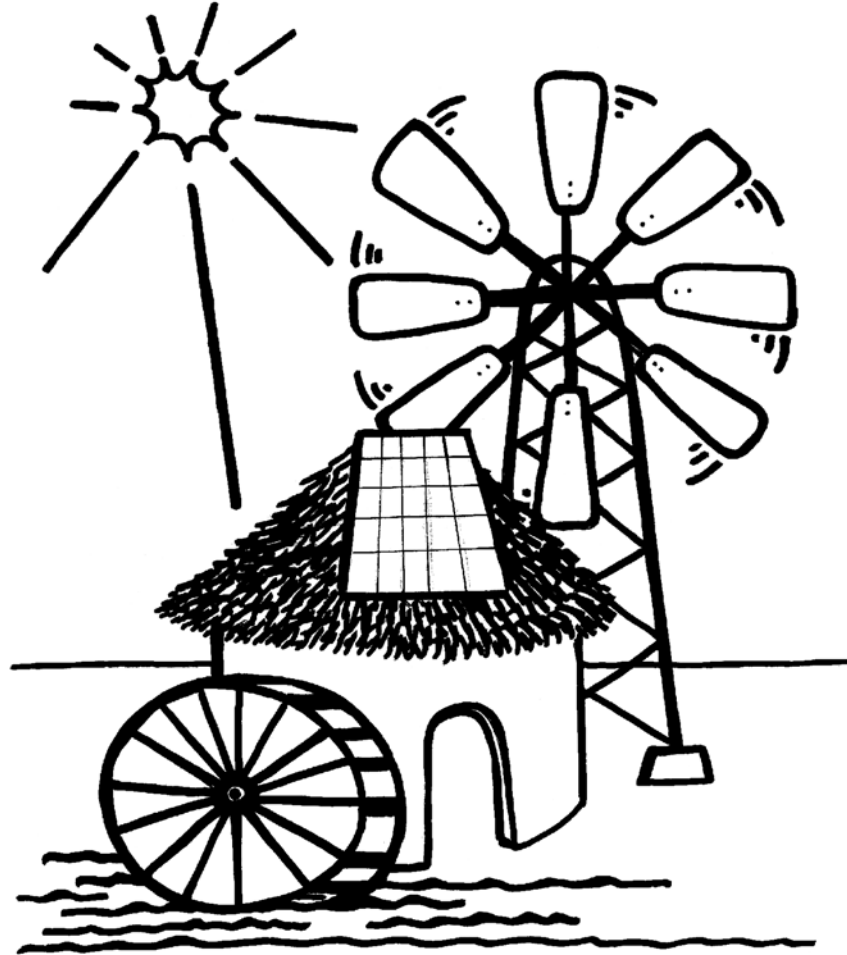


cursus Duurzame Energie in ontwikkelingslanden



Bundel behorende bij de cursus.

Mei 2003

Uitgegeven door: studievereniging MONSOON en de Werkgroep OntwikkelingsTechnieken, Universiteit Twente

Werkgroep OntwikkelingsTechnieken (WOT)

Universiteit Twente

postbus 217

7500 AE ENSCHEDE

Studievereniging MONSOON

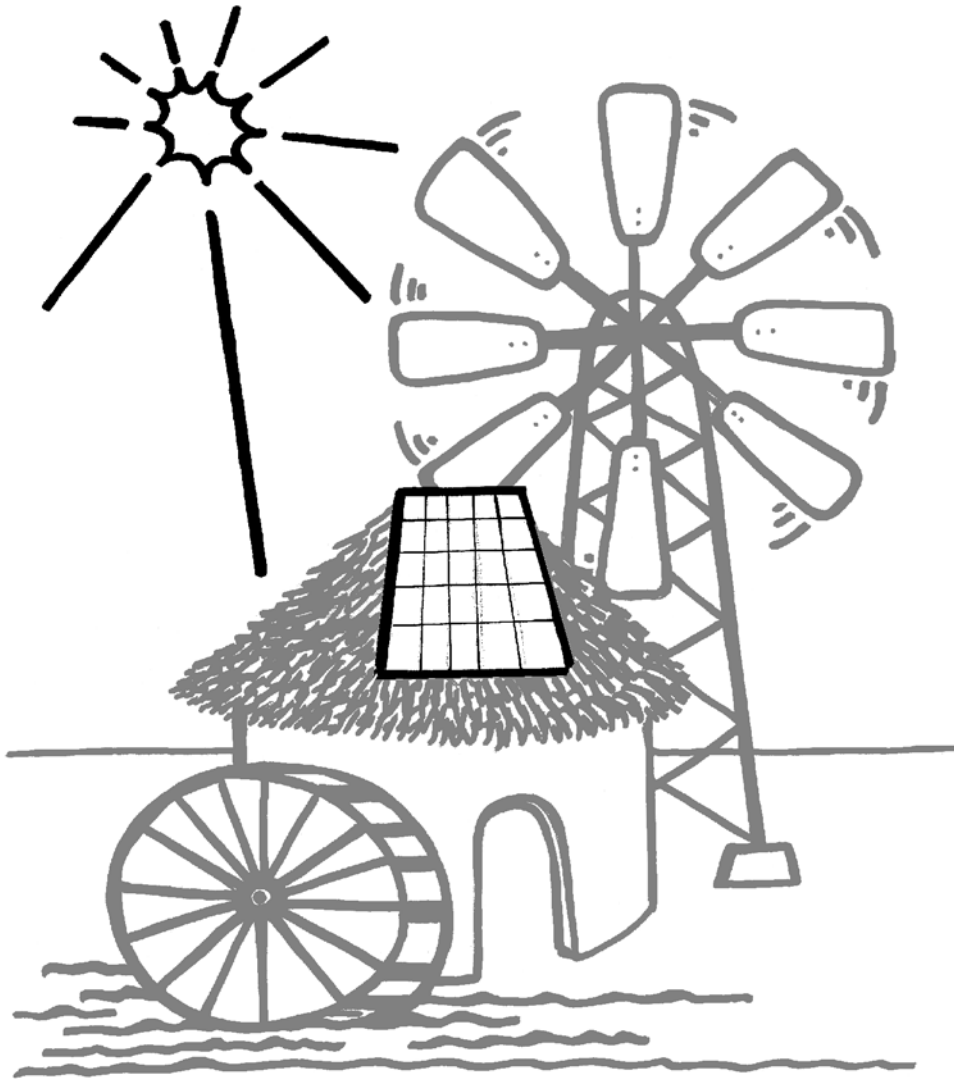
Universiteit Twente

postbus 217

7500 AE ENSCHEDE

Hoofdstuk 5

Zonne-energie



cursus Duurzame Energie in ontwikkelingslanden
samengesteld door Bram Zuur

5. ZONNE-ENERGIE	2
5.1 INLEIDING	2
5.1.1 De zonnestraling.....	2
5.1.2 De intensiteit van de zonnestraling	2
5.2 KOKEN MET DE ZON	4
5.2.1 De kookdoos	4
5.2.2 De paraboolkoker.....	5
5.3 WATER VERWARMEN MET DE ZON	6
5.3.1 De vlakke plaat collector.....	6
Types vlakke plaatcollectoren	7
5.3.2 De concentrerende collectoren.....	8
5.3.3 Circulatie.....	9
5.4 DROGEN MET DE ZON	10
5.5 ELEKTRICITEIT OPWEKKEN MET DE ZON	11
5.5.1 Productie proces.....	11
5.5.2 Werking.....	11
5.5.3 Opbrengst	12
5.5.4 De onderdelen.....	12
De panelen.....	13
Laadregelaar	13
Accu's.....	14
Aan te sluiten apparatuur.....	14
5.6 REFERENTIES	15

5. Zonne-energie

5.1 Inleiding

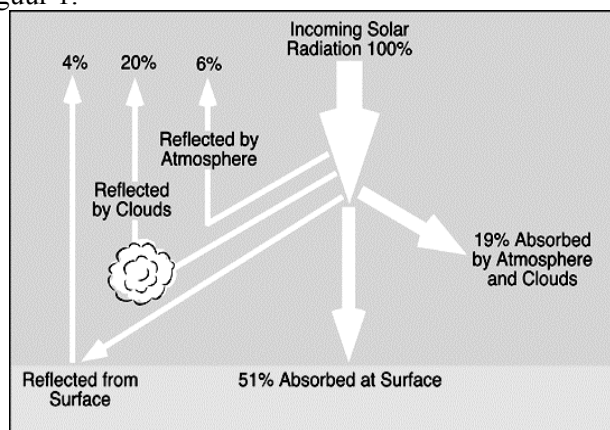
We hebben nu vier avonden over duurzame energie gehad en eigenlijk gaan ze allemaal terug op zonne-energie. Het water verdampt ten gevolge van de zon en komt op hoger gelegen gebieden als neerslag weer op de aarde. De energie die vrijkomt als dit water weer terugstroomt naar de zee kunnen we benutten als duurzame energiebron. Wind-energie ontstaat het door het verschil in druk op verschillende plekken op de aarde als warme lucht op de ene plek op de aarde opstijgt, afkoelt en weer neerdaalt. Bij biomassa wordt de zonne-energie via een chemo-biologisch proces vastgelegd in koolhydraten, vetten en eiwitten. Deze verbindingen kunnen vervolgens, na evt. voorbewerking via verbranding weer worden omgezet in voor ons bruikbare energie

Zonne-energie is een bron van duurzame energie die in grote hoeveelheid op ons aardoppervlak aanwezig is. Jaarlijks wordt op wereldschaal binnen de dampkring een hoeveelheid zonne-energie ingestraald die theoretisch voldoende is om 20.000 keer te voldoen aan het energieverbruik van de gehele wereld. Technieken om deze energie te benutten zijn intussen al gevorderd, maar onder andere wegens hoge investeringskosten en lage rendementen wordt zonne-energie nog maar op kleine schaal toegepast.

5.1.1 De zonnestraling

Niet alle invallende zonnestraling valt direct op het aardoppervlak. In de dampkring wordt de straling door kleine water- en mistdruppeltjes verstrooid, voordat deze op het aardoppervlak terechtkomt. Deze verstrooide straling noemt *diffuse* straling. De straling die niet verstrooid wordt in de atmosfeer, maar rechtstreeks op de aarde valt, noemen we *directe* straling.

Bovendien wordt een deel van het zonlicht gereflecteerd in de atmosfeer, op de wolken en op het aardoppervlak. Als we een plaatje maken van hoe de invallende zonnestraling verdeelt ziet dat er ongeveer zo uit als in Figuur 1.

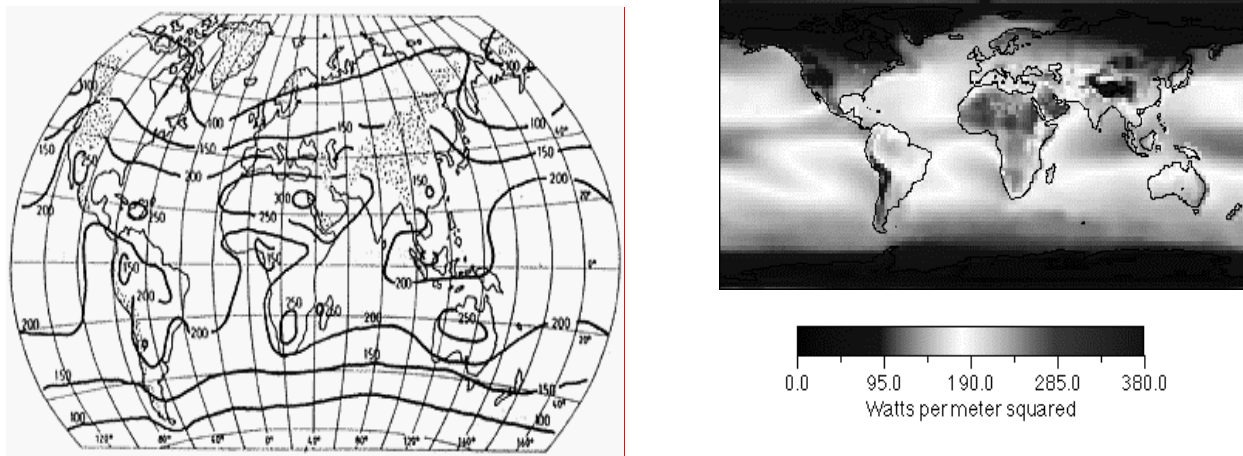


Figuur 1: Absorptie en reflectie van zonne-energie

5.1.2 De intensiteit van de zonnestraling

De intensiteit van de zonnestraling verandert met het uur van de dag, de tijd van het jaar en de weersomstandigheden. Om toch gemakkelijk te kunnen rekenen met gegevens over de instraling, wordt de totale hoeveelheid zonne-energie in een bepaalde periode uitgedrukt in uurequivalenten volle zon. Als maat voor een uurequivalent volle zon wordt 1000 wattuur per vierkante meter aangehouden: 1 uur volle zon is 1 kWh/m². Dit komt ruwweg overeen met de zonne-energie, die op een onbewolkte zomerdag in een uur tijd op een op de zon gericht vlak valt. Kijkt men naar het aanbod van zonne-energie in Nederland, dan blijkt dat in december gemiddeld een half uur volle zon per dag te zijn en in juni ruim vijf uur volle zon.

De hoeveelheid invallende energie (straling) op een vierkante meter is afhankelijk van de geologische positie en de jaargetijde. Zo is de gemiddelde hoeveelheid energie per uur die in juni door de zon in Noord-Afrika binnenkomt ongeveer 250 Watt per m^2 . In Figuur 2 kun je zien dat in Nederland de intensiteit van de invallende straling in de maand juni tussen de 100 en 150 Watt / m^2 ligt.



Figuur 2: Twee representaties van de gemiddelde zonne-intensiteit in juni

5.2 Koken met de zon

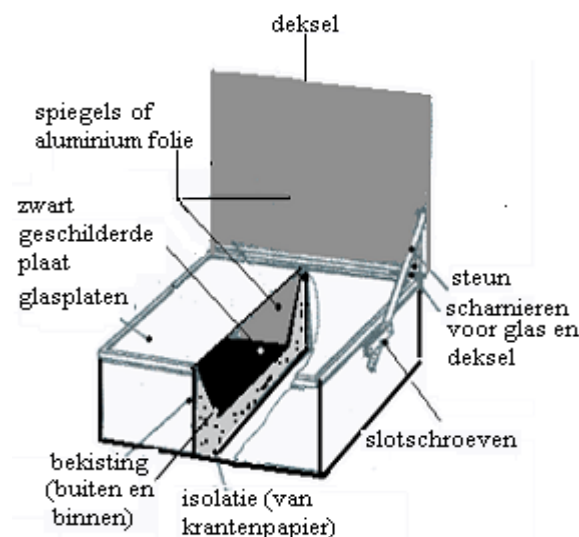
Meer dan de helft van de energie die wordt verbruikt in een huishouden in de sub-Sahara wordt gebruikt voor het koken. Koken met de zon is daarom een fantastisch alternatief voor het kappen van grote stukken bos. We behandelen achtereenvolgens de kookdoos en de paraboolkoker.

5.2.1 De kookdoos

De kookdoos is een goed geïsoleerde doos of kist met een venster van dubbelglas. Door het glas valt het zonlicht in de van binnen zwartgeschilderde doos met daarin een het voedsel. Door de zonnewarmte wordt de binnenkant van de doos met het eten opgewarmd. Men krijgt een hoge temperatuur (soms meer dan 100 °C), als er spiegels die meer zonlicht opvangen, langs de rand gezet worden.

In Figuur 3 zien we een kookdoos met één spiegel terwijl die in Figuur 4 er vier heeft en dus een hogere temperatuur kan bereiken. De temperatuur in deze kookdoos is bij volle zon zo'n 50 - 70 °C boven de omgevingstemperatuur.

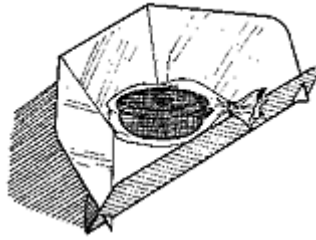
Er zijn ook eenvoudig kartonnen kookdozen met een dun laagje aluminium dozen in de handel. Het voedsel wordt dan in een speciaal isolerende, doorzichtig plastic zak gelegd. De dozen kunnen eenvoudig tot zeer handzame pakketjes worden opgevouwen en de kostprijs is nog geen 2 euro per stuk. Een schetsje van zo een kookdoos staat in Figuur 5



Figuur 3: Kookdoos met 1 spiegel



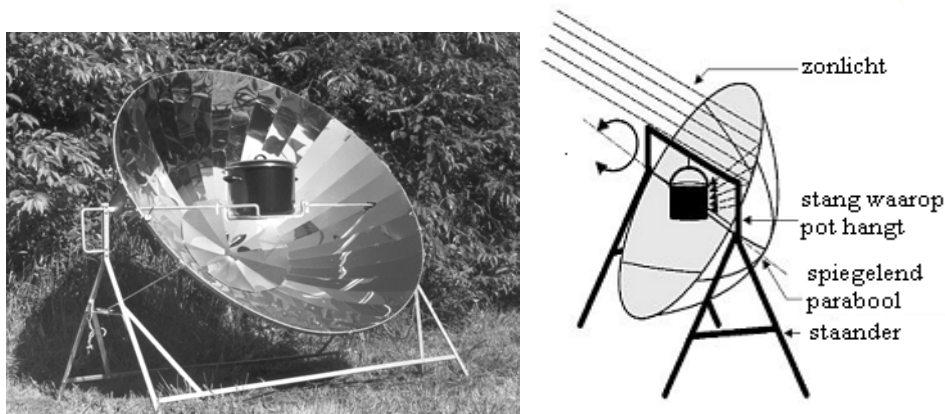
Figuur 4: Kookdoos met 4 spiegels



Figuur 5: *Kartonnen kookdoos*

5.2.2 De paraboolkoker

De paraboolkoker is een zogenaamde reflectorkoker. Reflectorkokers concentreren het zonlicht direct op de pan die daardoor verhit wordt. In Figuur 6 zien we een foto en een schematische weergave van zo'n paraboolkoker.



Figuur 6: *Foto en schematische weergave van een paraboolkoker*

De paraboolkoker die in de foto wordt afgebeeld is de zgn. SK-14 reflectorkoker, ontwikkeld door dr.ing. D.Seifert. De SK-14 bestaat uit een parabolische spiegel (reflector) die het zonlicht op een mat zwarte pan/pot concentreert. De pan absorbeert het zonlicht en brengt de inhoud aan de kook. Met de paraboolkoker kan men koken, bakken, braden en zelfs frituren. Door de brandpuntsafstand klein te kiezen, is er vrijwel geen gevaar voor verbranding en verblinding. Overigens is er geen sprake van een absoluut brandpunt, maar wordt het licht geconcentreerd met een spreiding rondom een bepaald punt. Dit is belangrijk voor de veiligheid. Een absoluut brandpunt is ook niet nodig want ook de pan heeft niet alle energie op precies één punt nodig, maar over het hele oppervlak van de pan.

De koker zelf is robuust en eenvoudig. Het frame kan uit verschillende materialen gemaakt worden, zodat het ontwerp eenvoudig kan worden aangepast aan lokaal beschikbare materialen en technieken. De reflector bestaat uit speciaal bewerkt, zeer duurzaam (minstens 15 jaar) hoogglans aluminium stroken. Deze stroken zijn het duurste onderdeel van de koker en worden nu ook nog vaak in ontwikkelde landen geproduceerd.

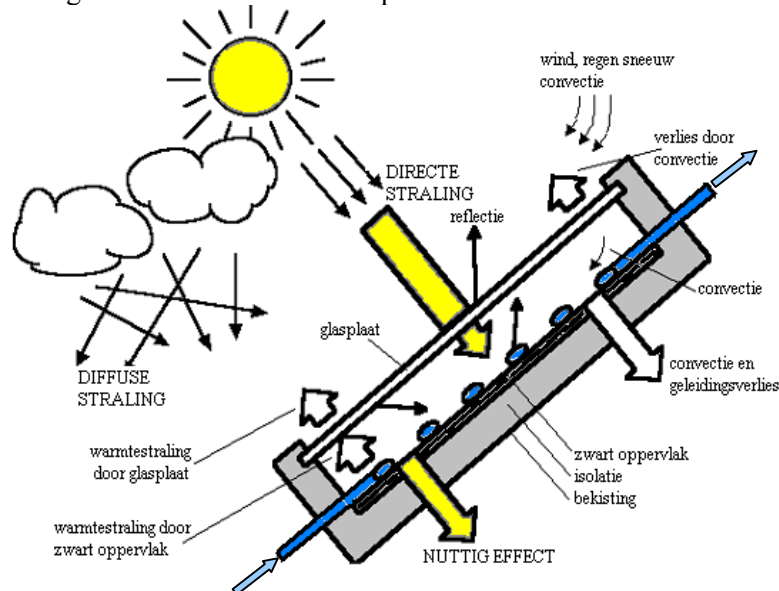
Met een SK-14 kan, eventueel in combinatie met een zgn. hooikist om het eten warm te houden, voor zo'n 15 mensen eten bereid worden. De koker kan vanaf een uur na zonsopgang tot een uur voor zonsopgang worden gebruikt. De SK-14 is, door het werk van ontwikkelingsgroepen, reeds in zo'n 50 landen verspreid.

5.3 Water verwarmen met de zon

Ook voor het verwarmen van water kunnen we de zon gebruiken. Opnieuw hebben we dan grofweg 2 types collectoren. De vlakke plaat collector en de concentrerende collector.

5.3.1 De vlakke plaat collector

In Figuur 7 zien we een vlakke plaat collector voor het verwarmen van water



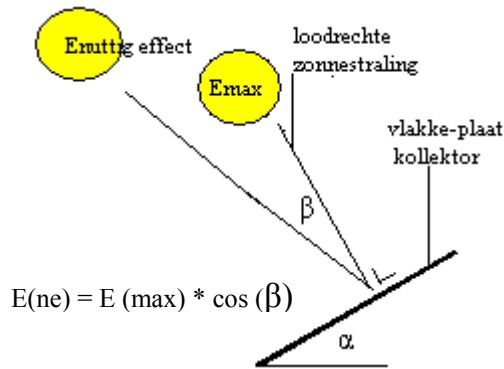
Figuur 7: Vlakke plaat collector

De werking is als volgt: De zonnestralen gaan door de glasplaten en worden geabsorbeerd (opgevangen) door de zwarte plaat/oppervlak.

Het licht valt via de glasplaat op het oppervlak onder de glasplaat. Deze plaat wordt daardoor verwarmd en raakt zijn warmte gedeeltelijk weer kwijt door reflectie, straling en convectie. Door de plaat zwart te maken kan de *reflectie* behoorlijk beperkt worden. Ook van het verlies van warmte via straling heeft de collector weinig last. De golflengte van het licht wat wordt opgevangen ligt tussen de 0.3 en 3 μm . De straling die het vaak zwarte oppervlak weer afgeeft heeft een veel grotere golflengte. Dit heeft ten eerste een veel lagere energie en bovendien reflecteert de glazen plaat deze grotere golflengtes. Een ander deel verliest de plaat doordat het via de isolatie naar de omgeving toe lekt. De energie die overblijft wordt gebruikt om de vloeistof die in de buis loopt te verwarmen.

Meestal gebruikt men hiervoor water, omdat de bereikte temperaturen onder het kookpunt van water (100 °C) liggen. Deze collectoren worden opgesteld met de glasplaat naar de zon gericht en vaak geïntegreerd in een dak in een hoek die geoptimaliseerd is voor de locatie.

Een maximaal rendement van de zonne-energie op de vlakke-plaat collector wordt verkregen als de invalshoek van de directe straling loodrecht valt op glazen plaat van de collector. Als dit niet het geval is, dan zal het nuttig effect worden vermindert met de cosinus van de hoek β zoals afgebeeld in Figuur 8. Verder is de hoek α afhankelijk van de geologische positie (breedte graad) van de vlakke-plaat collector op de aarde.



Figuur 8: Een niet volledig op gerichte collector werkt niet op volledig rendement

Types vlakke plaatcollectoren

Er zijn verschillende manieren, waarop de collectoren gemaakt kunnen worden.

	<p>plaat collector Deze bestaat uit twee staalplaten die met een kleine ruimte ertussen aan elkaar verbonden, zo dat het water tussen de platen door kan stromen. Deze methode is in theorie het meest efficiënt, maar in de praktijk blijkt dat het waterdicht maken van de platen veel inspanning vereist en na verloop van tijd gaat lekken.</p>
	<p>Een collector, bestaande uit meerdere parallelle pijpen die op een zwarte plaat gemonteerd zijn, wordt de Arusha- of pijpcollector genoemd.</p>
	<p>De zogenaamde zig zag-collector bestaat uit een metalen plaat, waarop de gegalvaniseerde pijp zigzag is aangebracht.</p>

In Tabel 1 zijn de voor en nadelen van de verschillende typen collectoren weergegeven.

	Plaat collector	Arusha collector	Zig zag collector
Voordelen:	- grote efficiëntie - geen buizen nodig	- beter te bouwen dan vlakke-plaat collector.	- gemakkelijk te bouwen; - het goedkoopst.
Nadelen:	- Moeilijk waterdicht te maken - niet bestand tegen hoge waterdruk.	- dure constructie	- minder efficiënt dan andere collectoren.

Tabel 1: Voor en nadelen van de verschillende typen collectoren

Het aanbrengen van de buis op de metalen plaat kan op verschillende manieren geschieden. Als er geen soldeermogelijkheden zijn, kan de metalen onderplaat in repen gesneden worden en om en om door de buis gevlochten worden. De gevlochten versie is iets minder efficiënt dan de gesoldeerde. Als derde mogelijkheid kan de buis door middel van gebogen metalen plaatjes vastgemaakt worden.

5.3.2 De concentrerende collectoren

Deze worden gebruikt als men hogere temperaturen nodig heeft (hoger dan 100 a 150 °C). De invallende zonnestraling wordt nu niet geabsorbeerd, zoals bij de vlakke-plaat collector, maar geconcentreerd op een klein puntje.

Dit concentreren kan in principe gebeuren met een lens, maar bij grote oppervlakken is dit in de praktijk te moeilijk of te duur. Men maakt daarom meestal gebruik van parabolische of cirkelvormige reflectoren.

's Werelds grootste zonne-thermische complex maakt gebruik van dit soort parabolische reflectoren. In de Mojavo woestijn in California heeft Luz International 1,5 miljoen parabolische spiegels neergezet waarmee olie wordt verhit. Deze hete olie wordt vervolgens gebruikt om water te koken. Met de stoom daarvan wordt een turbine aangedreven die elektriciteit opwekt.



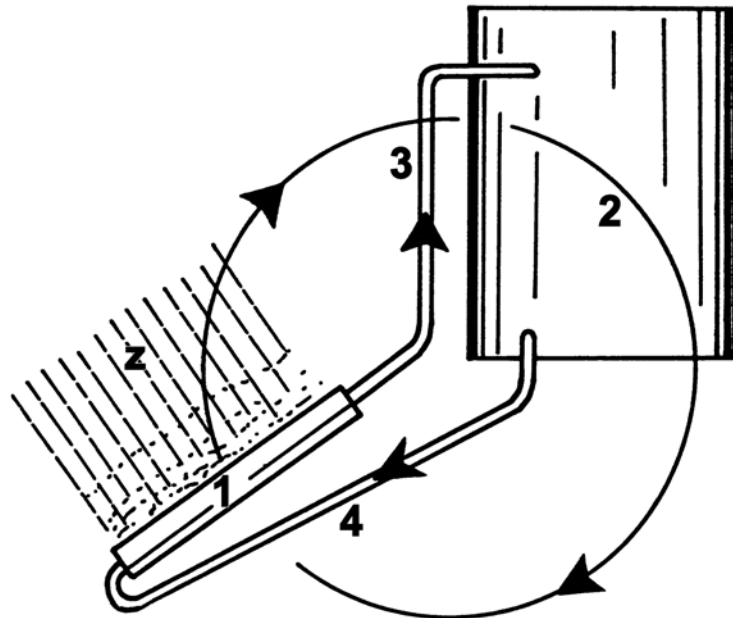
Figuur 9: Concentrerende collectoren in de Mojavo woestijn

	Constructie	Kosten	Zonnestraling	Positie	Temp. in °C
Vlakke-plaat collector	Eenvoudig	Laag	direct / diffuus	dezelfde	35 - 65
Concentrerende collector	Ingewikkeld	hoog	direct	volgen van zonnebaan	boven 100

Tabel 2: Vergelijking van een vlakke plaat en een concentrerende collector

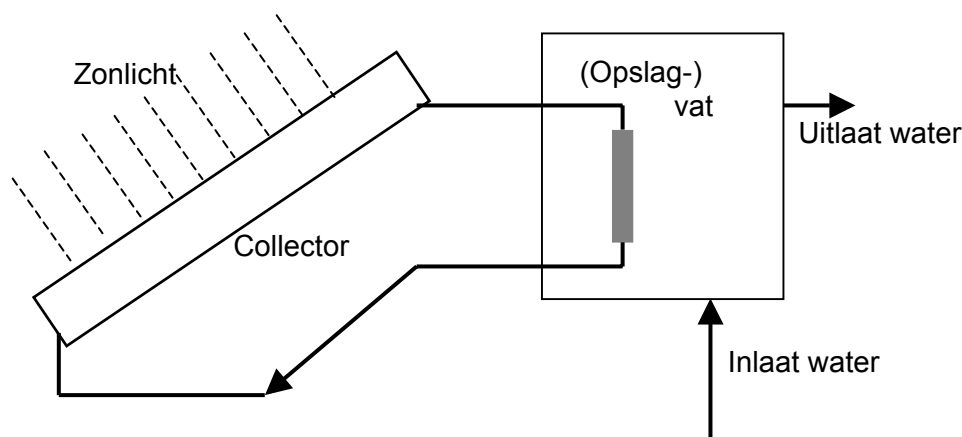
5.3.3 Circulatie

Zonnestraling (z) verhit de collector (1) en het zich daarin bevindende water. Het warme water begint naar boven te stromen door een pijp (3) naar de opslagtank (2), omdat warm water altijd naar het hoogste punt stroomt. Het warme water wordt vervangen door koud water onder uit de tank (4). Op deze wijze komt een circulatie op gang die ervoor zorgt dat al het water verwarmd wordt. Deze circulatie heet "*natuurlijke circulatie*", omdat er slechts zonnestraling voor nodig is om haar op gang te helpen.



"*Geforceerde circulatie*" ontstaat wanneer een aandrijving van buitenaf gebruikt wordt (een pomp) om de watercirculatie op gang te brengen en te houden. Dit komt voor bij systemen die een opslagtank hebben dat lager geplaatst is dan de collector.

Er zijn ook systemen waarbij de vloeistof die in de buizen verwarmd wordt niet in direct contact staat met het water wat verwarmd moet worden. We krijgen dan een systeem zoals afgebeeld in Figuur 10. Het voordeel van dit systeem is dat je bijvoorbeeld antivries aan het water in de collector toe kunt voegen zodat er bij vorst geen schade ontstaat.

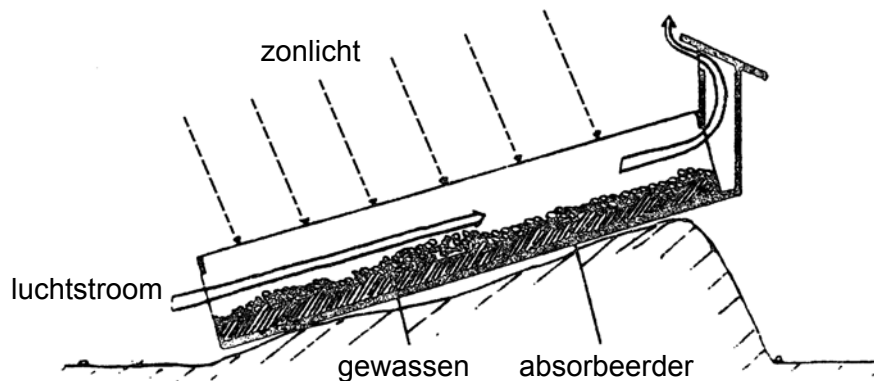


Figuur 10: Collector met antivries-loop

5.4 Drogen met de zon

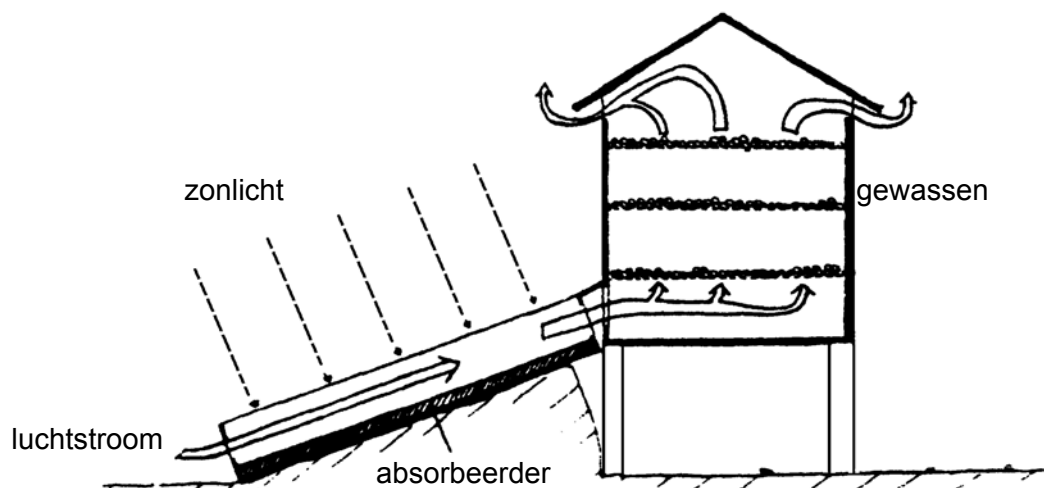
Het gebruik van zonne-energie om gewassen te drogen is niets nieuws in de tropen. Veel eetbare, maar ook handelsgewassen zoals cacao en koffiebonen, worden reeds decennia lang op droogrekken in de zon geplaatst. De zon verwarmt de gewassen en de lucht eromheen zodat het water eruit kan verdampen. Traditioneel worden de vruchten of gewassen gedroogd op een laken of gewoon op de grond. Een van de nadelen daarvan is dat er eigenlijk altijd iemand bij moet zitten om te voorkomen dat beesten de gewassen opeten, bovendien veroorzaakt het UV-licht uit de zon een verkleuring van de gewassen, wat de marktwaarde natuurlijk niet ten goede komt. Hetzelfde UV-licht zorgt er ook voor dat vitamines worden afgebroken.

Om het proces van het drogen te versnellen en beter te kunnen controleren kunnen zgn. zonnedrogers worden ingezet. In Figuur 11 zien we een afbeelding van een directe zonnedroger. Direct betekent dat het zonlicht direct op het product valt en daarmee het product en de lucht eromheen verwarmt. De bovenkant van de bak is afgesloten met een glazen kap waardoor de warmte blijft hangen. Onder in de bak zit een opening waardoor relatief koude en droge lucht naar binnen kan. De relatief warme en vochtige lucht stijgt op en verlaat via de opening in de bovenkant de bak. Door de opening onder in de bak van grootte te veranderen kan de luchtstroom worden gewijzigd en daarmee de temperatuur in de bak.



Figuur 11: *Directe zonnedroger*

Bij een indirecte zonnedroger valt het licht op een absorberend oppervlak wat daardoor warm wordt. De lucht boven dit oppervlak wordt verwarmd en wordt dan via de gewassen gevoerd. Het licht valt dus niet direct op de gewassen wat zoals genoemd een belangrijk voordeel is m.b.t. het behoud van kleur en vitamines. Bovendien is een betere controle over de temperatuur mogelijk. De constructie van indirecte drogers is echter iets ingewikkelder t.o.v. directe drogers.



Figuur 12: *Indirecte zonnedroger*

5.5 Elektriciteit opwekken met de zon

Nog niet zo lang geleden werd elektriciteit uit zonlicht alleen maar in de ruimtevaart toegepast. Zonlicht wordt daar al jaren gebruikt om satellieten met behulp van zonnecellen van stroom te voorzien.

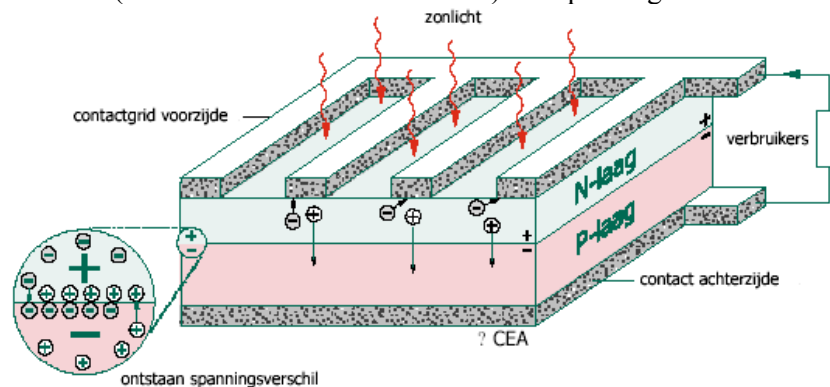
Tegenwoordig worden zonnecellen ook op aarde toegepast: op woonhuizen en kantoorgebouwen, maar ook in rekenmachines, praatpalen, lichtboeien, waterpompen, zomerhuisjes en caravans. De zon is een onuitputtelijke bron van energie en is schoon. Zonlicht is er in overvloed. Zelfs in Nederland is er genoeg zonlicht om met zonnecellen alle elektriciteit op te wekken die nodig is. Een groot voordeel van zonne-energie ten opzichte van *grid*-elektriciteit is dat het ook in afgelegen gebieden kan worden gebracht, als er maar zon is.

5.5.1 Productie proces

Het productieproces is hoogtechnologisch en gebeurt vooral in ontwikkelde landen. De meeste zonnecellen zijn gemaakt van silicium, een element dat gewonnen wordt uit zand en dus ruim voorradig is. Nadat alle van nature aanwezige verontreinigingen uit het silicium zijn verwijderd wordt er geconditioneerd een boor-verontreiniging aangebracht. In een proces onder hoge temperaturen wordt met fosforgas de fotonvoltatische capaciteit van het silicium gecreëerd. Schijfjes van dit materiaal genereren elektriciteit als het oppervlakte met zonlicht beschenen wordt.

5.5.2 Werking (Speciaal voor de elektrotechnici onder ons)

Door het productieproces is een gelaagde structuur ontstaan die bestaat uit een positief gedoteerde P-laag en een negatief gedoteerde N-laag. In de P-laag is een overschot aan 'gaten' (ontbrekende elektronen), in de N-laag is juist een overschot aan elektronen. Door dit concentratie verschil zullen in de N-laag de elektronen naar de P-laag stromen en "gaten" van de P-laag naar de N-laag. Hierdoor ontstaat een intern spanningsverschil dat zodanig is gericht de verdere stroom van gaten en elektronen wordt tegenhouden. Op de overgang is echter wel een overvloed aan vrije ladingdragers. Als nu in deze P/N-lagen voldoende elektronen en gaten worden vrijgemaakt, hetgeen gebeurt als er fotonen (kleine energie pakketjes) op de cel invallen, wordt het evenwicht verstoord. Er ontstaan vrije gaten in de N-laag en vrije elektronen in de P-laag. Hierdoor wordt het spanningsverschil dat de stroom tegenhield verlaagd. Om het evenwicht weer te herstellen zal er een stroom gaan lopen en ontstaat er aan de externe contacten (onder- en bovenkant van de cel) een spanningsverschil.

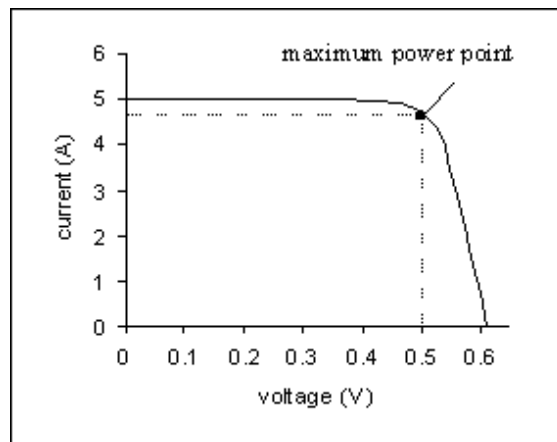


Figuur 13: PN-overgang in een zonnepaneel

5.5.3 Opbrengst

In Figuur 14 is een typische karakteristiek van een zonnecel weergegeven. We zien dat het maximum vermogen P in de knik ligt waar zowel de stroom I als de spanning U hoog zijn. Het vermogen van deze specifieke cel is $P = U \cdot I = 0,5 \cdot 4,6 = 2,3 \text{ W}$. Dit soort grafieken zijn gemaakt bij standaard testcondities bij 25°C en een lichtintensiteit van 1000W/m^2 .

We zien dat de opgewekte spanning per cel vrij laag is: ongeveer 0,5 Volt. Om een bruikbare spanning te krijgen worden meerdere zonnecellen in serie geschakeld zodat de door het paneel geleverde spanning ongeveer 15 Volt is. Het rendement van zonnecellen afhankelijk van het type halfgeleidermateriaal. Voor de duurdere monokristallijn silicium is dit ongeveer 13%. Polykristallijn kan goedkoper geproduceerd worden en het rendement is ongeveer 11%. Een ander veel gebruikt materiaal is Amorf silicium met een rendement van 9%.

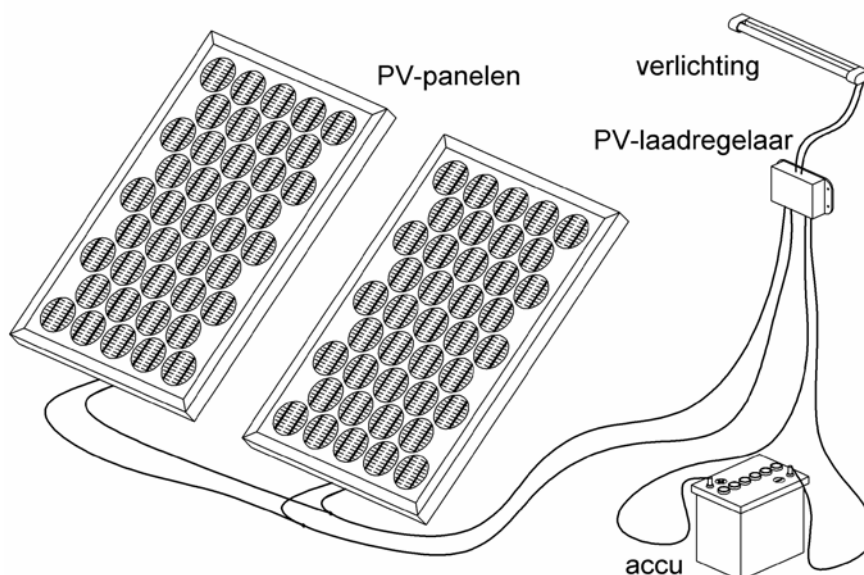


Figuur 14: Karakteristiek van een zonnepaneel

Ook van een compleet zonnepaneel bestaande uit in serie geschakelde cellen kunnen we een soortgelijke grafiek maken en het maximumvermogen uitrekenen. Dit maximumvermogen van een zonnepaneel drukken we uit in *Watt-peak*.

5.5.4 De onderdelen

Een PV-installatie bestaat uit 4 componenten zoals afgebeeld in Figuur 15. De panelen, die elektriciteit opwekken, de accu's om de opgewekte elektriciteit op te slaan, de PV-regelaar en de belasting. Een PV-installatie is een zogeheten laagspannings systeem. De geleverde spanning is meestal 12 Volt, maar ook 24 Volt of een andere spanning komen voor bij grotere systemen.



Figuur 15: Een standaard PV-installatie voor thuisgebruik.

De panelen

Een standaard PV-paneel bestaat uit een aantal zonnecellen, die elektrisch aan elkaar gekoppeld zijn. Deze losse cellen zijn tussen glasplaten in een frame gemonteerd zodat ze goed beschermd zijn tegen corrosie door weersinvloeden en vuil.

Laadregelaar

De laadregelaar heeft een aantal taken n.l.:

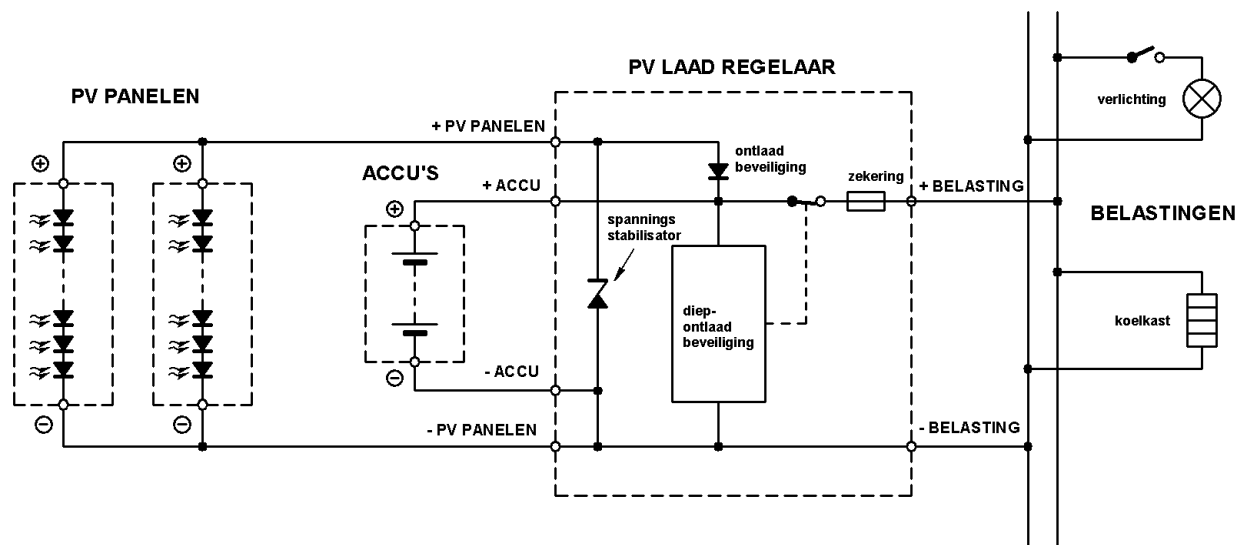
- Het terugbrengen van de aangeboden PV- paneel spanning tot een geschikte accu laadspanning
- Beveiligen tegen kortsluitingen en het te diep ontladen van de accu's
- Evt. programma's om de accu in een goede conditie te houden
- Controle van de werking van het systeem

Aan de hand van Figuur 16 wordt de werking van een PV-systeem beschreven.

De spanning die door het PV-paneel wordt opgewekt, wordt via de aansluitingen "+/- PV panelen" aan de laadregelaar aangeboden. De spanningsstabilisator in het inwendige van de laadregelaar zorgt ervoor dat de panelen dusdanig belast zijn, dat de accu's de juiste laadspanning krijgen aangeboden. Zou dit niet gebeuren dan zouden de accu's een te hoge spanning aangeboden krijgen met het gevaar dat deze overladen zouden worden. Met overladen wordt bedoeld, dat accu's een laadstroom blijven krijgen terwijl deze al volledig geladen zijn. Dit is schadelijk voor de accu's.

De accu's krijgen de laadspanning niet rechtstreeks aangeboden, maar via een ontlad beveiligings diode. Dit voorkomt dat de accu's zich dan bij te weinig licht via de panelen zouden ontladen en zo alle opgeslagen energie zou wegvloeien.

Verder bevindt zich in de PV-laadregelaar nog een diepontlaad beveiliging. Deze houdt de accuspanning in de gaten. Wordt de accuspanning te laag dan worden alle apparaten, die zijn aangesloten, uitgeschakeld. Dit voorkomt, dat de accu's zouden kunnen beschadigen door te ver ontladen. Als de accu's weer voldoende zijn opgeladen, worden de aangesloten apparaten automatisch weer ingeschakeld.



Figuur 16: Een schematische weergave van een PV-systeem

Vaak bevinden zich in de laadregelaar ook nog zekeringen, die voorkomen dat de laadregelaar of de aangesloten apparaten kunnen beschadigen bij overbelasting of kortsluiting. Bij kleine systemen zijn ook de schakelaars voor het in- en uitschakelen van de belasting op de laadregelaar aangebracht.

Accu's

Voor zonne-energie toepassingen kunnen het beste zogeheten gel-accu's gebruikt worden. Het voordeel ten opzichte van gewone loodaccu's (auto-accu) is dat deze een langere levensduur hebben, geen onderhoud nodig hebben en een kleine zelfontlading. Het nadeel is dat gel-accu's duurder zijn dan loodaccu's. Als voorbeeld een 12V/140Ah gel-accu; deze kost ongeveer 300 US dollar. Als niet anders te krijgen is, zijn loodaccu's ook bruikbaar, maar er moet goed op de laadtoestand gelet worden en ook dient er regelmatig gekeken te worden of het vloeistofpeil in orde is.

Aan te sluiten apparatuur

Veel apparaten zoals lampen, een kleine koelkast of een Z/W-TV zijn ook verkrijgbaar in uitvoeringen, die geschikt zijn voor laagspanning zoals die voorkomt bij PV-systemen. Mocht het voorkomen dat toch een 220V apparaat gebruikt moet worden, dan zijn hiervoor speciale omvormers (invertors) in de handel. Deze maken van de 12 of 24 Volt laagspanning van het PV-systeem 220V wisselspanning. Voor de verlichting kan het best gebruik worden gemaakt van TL-buizen. Deze hebben een hoger rendement dan de normale gloeilampen

5.6 Referenties

- <http://www.tenet.edu/teks/math/clarifying/gifs/parabmir.gif>
- Informatiecentrum Duurzame Energie, Brochure Zonnestroom
- Wim Klunne, 1996, Cursusbundel Duurzame Energie, WOT
- Pieter Schevenels, 2001, Zonne-energie, een optie voor de toekomst