

## PV-Systemen

*Freddy Alferink, 2003*

In afgelegen gebieden waar geen elektriciteit ter beschikking staat kunnen PV-installaties worden toegepast. PV is een afkorting van Photo Voltage. Door middel van zonnecellen, die zijn samengevoegd tot panelen wordt zonlicht direct omgezet in elektriciteit. Deze elektriciteit is voor diverse toepassingen te gebruiken. Voorbeelden hiervan zijn:

- Verlichting
- Koelkasten (bewaren van medicijnen)
- ventilatoren
- communicatie apparatuur
- accu's laden

### Wanneer toe te passen

Een PV-systeem is geen krachtcentrale. Een klein PV-systeem, waarop een paar TL-lampen kunnen branden, kost al snel 500 Euro. De relatieve kosten bij grotere systemen zullen wel kleiner worden, maar voor algemene toepassingen blijft het vaak beperkt tot het meest noodzakelijke.

De grootste kostenposten van een PV-systeem zijn nog altijd de panelen en de accu's, panelen zijn duur omdat hiervoor speciale fabrieken met een "clean-room" nodig zijn. Een groot voordeel van PV-systemen is dat ze bij het gebruik van de juiste accu's relatief onderhoudsarm zijn.

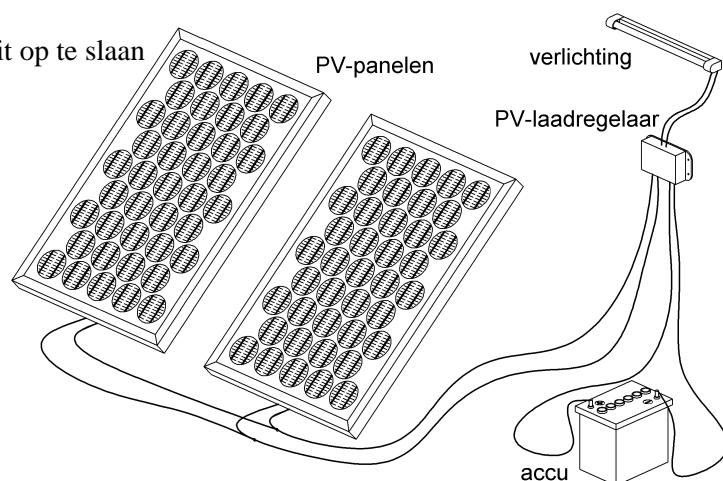
PV-systemen zijn compleet te koop. Het is aan te raden dit te doen bij een gespecialiseerde zaak. Als extra service berekenen zij vaak met een speciaal computerprogramma hoe groot de installatie moet zijn die nodig is.

Het is ook raadzaam, voordat tot de aanschaf van een PV-systeem wordt overgegaan, te kijken of het rendabel is. Hierbij moet dan vooral op de klimatologische omstandigheden worden gelet. Houd er rekening mee dat in bepaalde gebieden langdurige periodes van bewolking kunnen voorkomen. In die tijd is er weinig of geen energie ter beschikking. Het is mogelijk om zo'n periode te overbruggen door extra opslagcapaciteit, maar hier zijn dan grote kosten aan verbonden.

### De benodigde onderdelen en beschrijving

Een PV-installatie bestaat uit 4 componenten (zie Figuur 1).

1. De panelen die elektriciteit opwekken
2. De PV-laadregelaar
3. De accu's om de opgewekte elektriciteit op te slaan
4. De belasting



Figuur 1: een eenvoudig PV systeem

### **PV-paneel**

Een 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. De zonnecellen zijn gemaakt van silicium, een halfgeleidermateriaal. Als er licht op de cellen valt, maken ze elektronen vrij en ontstaat er een spanning tussen de twee aansluitingen. Het rendement van zonnecellen is niet erg hoog en afhankelijk van het type halfgeleidermateriaal. Voor de duurere Monokristallijn silicium is dit ongeveer 13%. Polykristallijn kan goedkoper geproduceerd worden en het rendement is zo'n 11%. Een ander veel gebruikt materiaal is Amorf silicium met een rendement van 9%.

### **Accu**

Voor zonne-energie toepassingen kunnen het beste zogeheten gel-accu's gebruikt worden. Het voordeel ten opzichte van gewone loodaccu's is dat deze een langere levensduur hebben, geen onderhoud behoeven en een kleine zelfontlading hebben. 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.

### **Werking**

Een PV-installatie is een zogeheten laagspanningssysteem. De geleverde spanning is meestal 12 Volt, maar ook 24 Volt of andere spanningen komen voor bij grotere systemen. Aan de hand van Figuur 2 wordt de werking van een PV-systeem beschreven.

### **PV-panelen**

De spanning die door het PV-paneel wordt opgewekt, wordt via de aansluitingen "+/- PV panelen" aan de laadregelaar aangeboden. De opgewekte spanning is vrij laag, ongeveer 0,5 Volt. Om een bruikbare spanning te krijgen worden meerdere zonnecellen in serie geschakeld zodat de door het paneel geleverde spanning in totaal zo'n 15 Volt is.

### **Laadregelaar**

De laadregelaar heeft een aantal taken n.l.: het stabiliseren van de aangeboden PV-paneelspanning tot een geschikte acculaadspanning, het controleren van de laadtoestand van de accu's en vaak is de uitgang afgezekerd ter beveiliging van de regelaar en de aangesloten apparatuur.

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.

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

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 uit-schakelen van de belasting op de laadregelaar aangebracht.

### **Accu's**

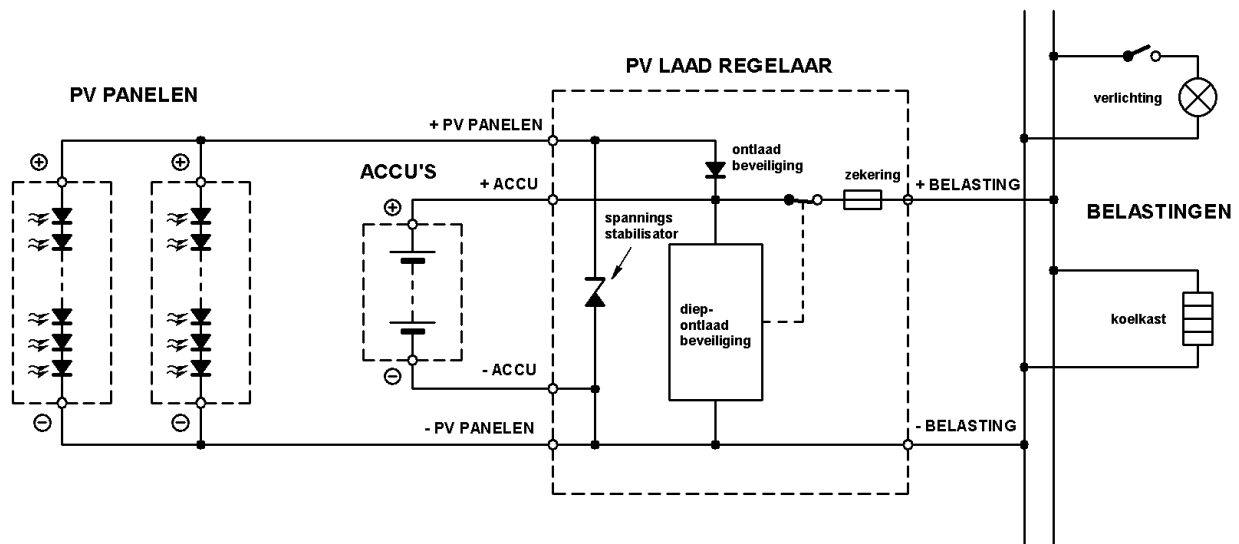
De accu's krijgen de laadspanning niet rechtstreeks aangeboden, maar via een ontlaad-beveiligingsdiode. Dit voorkomt dat de accu's zich dan bij te weinig licht via de panelen zouden ontladen en zo alle

opgeslagen energie zou wegvloeien. Voor zonne-energie toepassingen kunnen het beste zogeheten gel-accu's gebruikt worden. 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. Sla de accu's zodanig op dat deze niet aan extreme temperaturen worden blootgesteld. Zowel hoge als zeer lage temperaturen zijn schadelijk voor de accu's.

### Belasting

Als belasting kunnen veel apparaten gebruikt worden. Lampen, koelkasten en koffiezetapparatuur zijn namelijk ook verkrijgbaar in uitvoeringen die geschikt zijn voor laagspanning zoals die voorkomt bij PV-systemen. Mocht het voorkomen dat toch een 230V apparaat gebruikt moet worden, dan zijn hiervoor speciale omvormers in de handel. Deze maken van de 12 of 24 Volt laagspanning van het PV-systeem 230V wisselspanning.

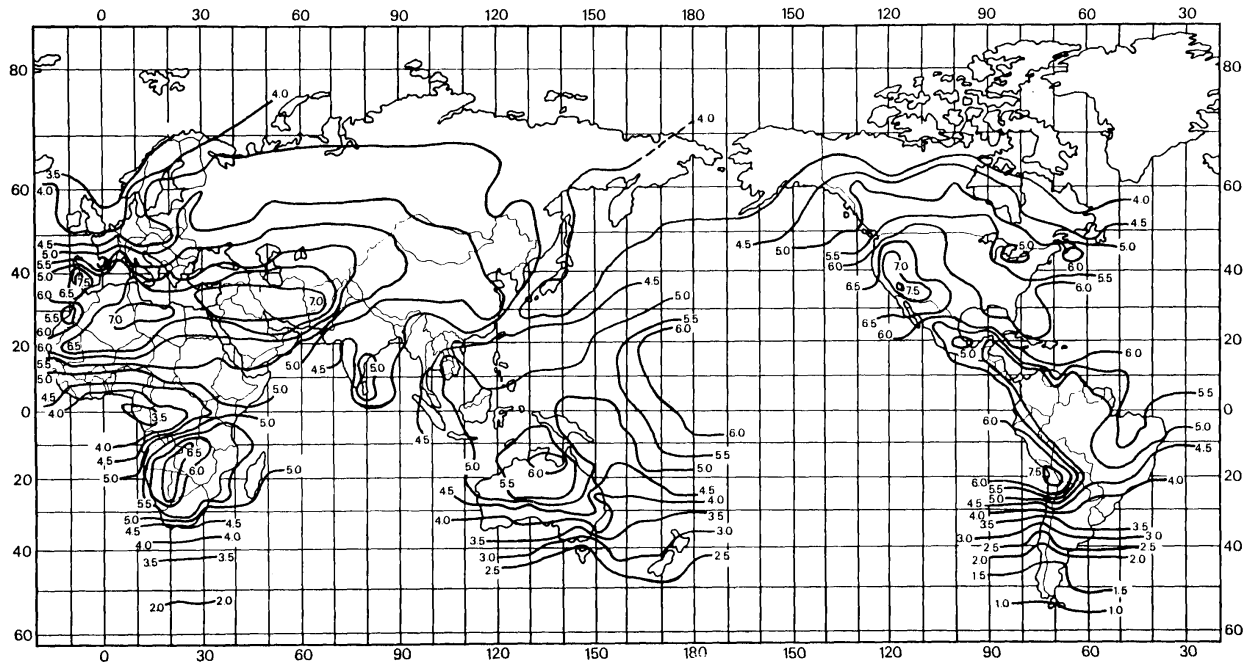
Voor de verlichting kan het best gebruik worden gemaakt van TL-buizen. Deze hebben een hoger rendement dan de normale gloeilampen.



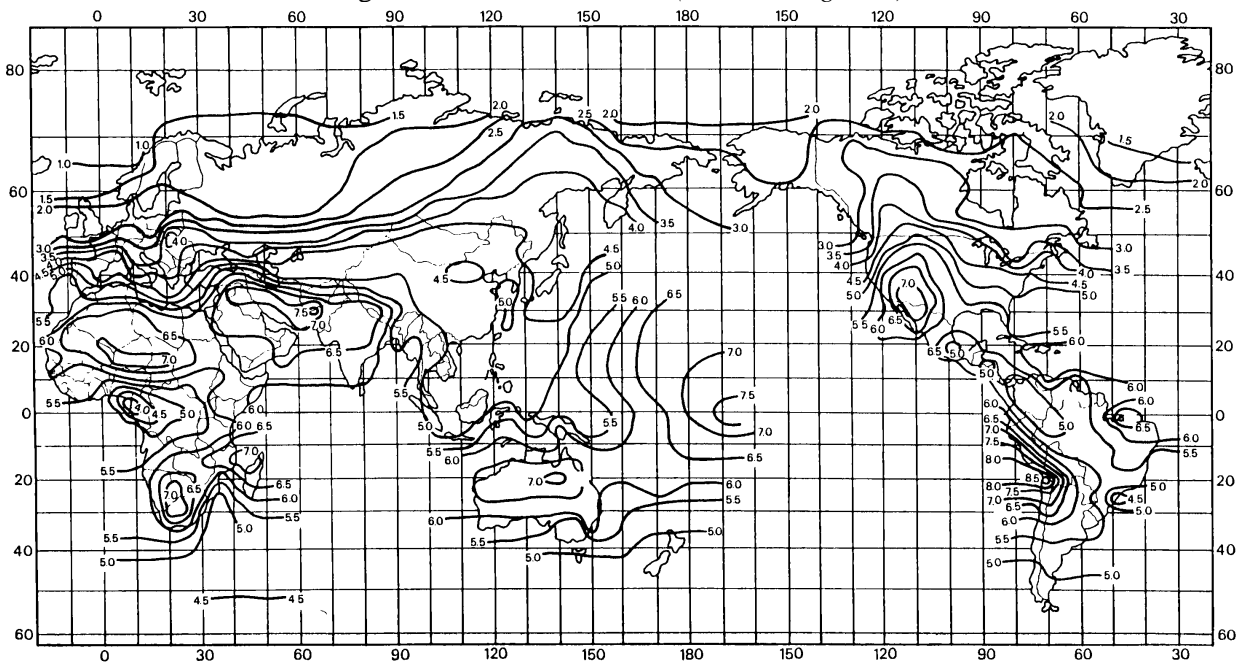
Figuur 2: schema van een PV-installatie

### Vermogen geleverd door de zon

In de Figuren 3 t/m 6 zijn de zonnekaarten weergegeven. Per seizoen wordt op elke kaart aangegeven wat de dagelijks door de zon ingestraalde energie is. Dit geldt voor een vlak van een vierkante meter die een hoek maakt die gelijk is aan de lokale breedtegraad. De opgegeven waarden zijn in kWh/m<sup>2</sup> per dag, het gaat om gemiddelden.

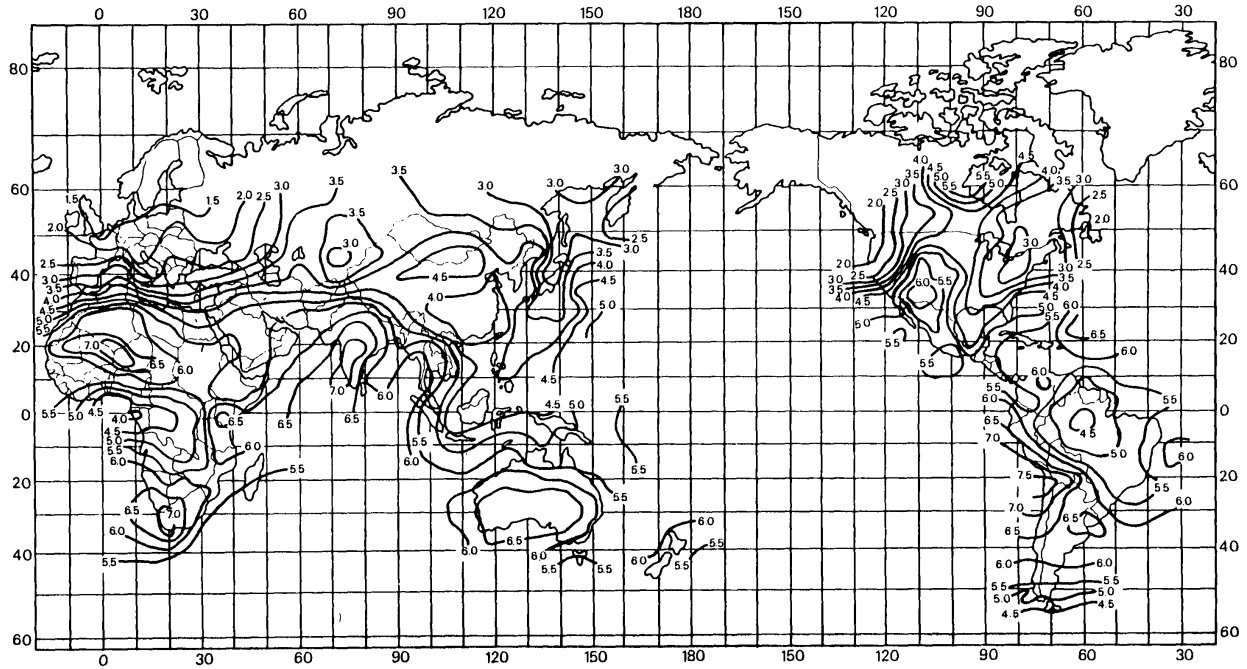


Figuur 3: Zonnekaart Zomer (Juni t/m Augustus)

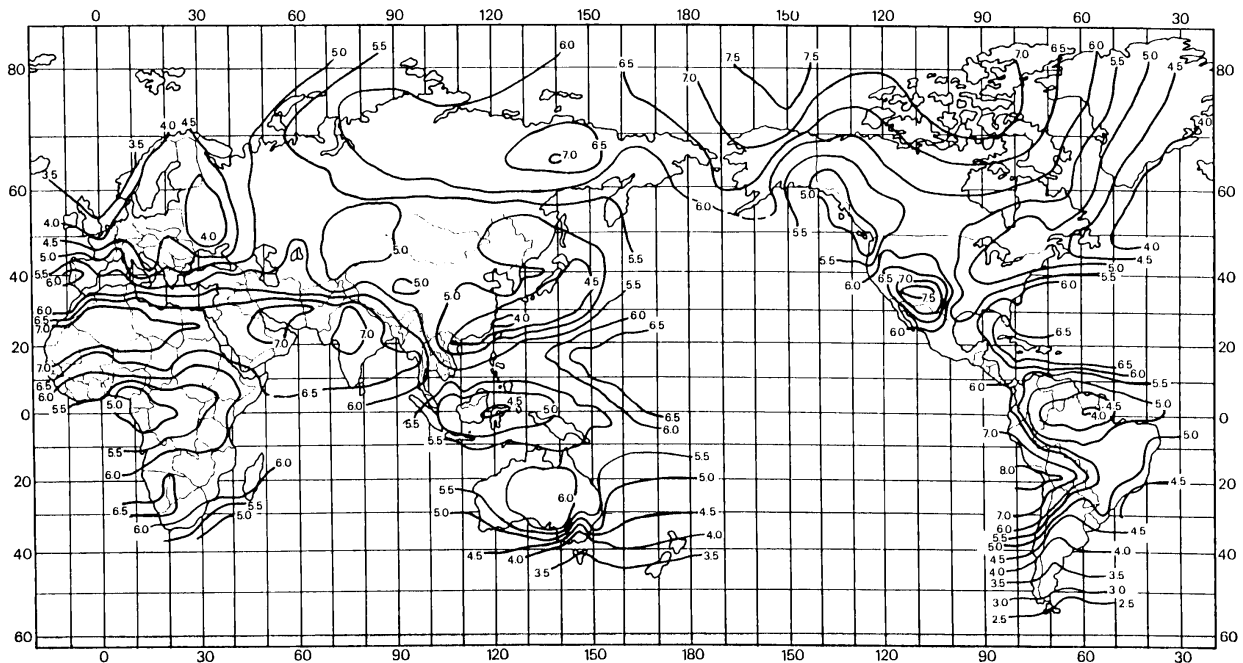


Figuur 4: Zonnekaart herfst(september t/m november)

Zoals al eerder gezegd moet er rekening worden gehouden met locale en tijdelijke afwijkingen naar boven maar vooral naar beneden. Het is daarom verstandig om de locale klimatologische omstandigheden te kennen.



Figuur 5: Zonnekaart Winter (December t/m Februari)



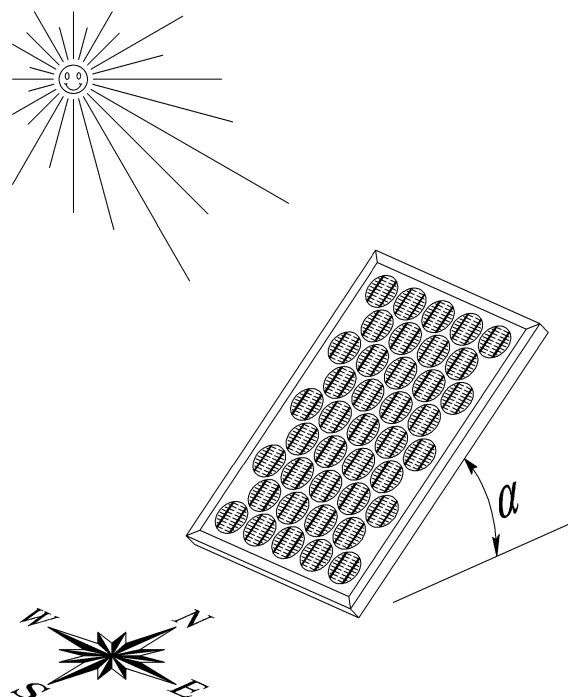
Figuur 6: Zonnekaart Lente (Maart t/m Mei)

## Richten van de panelen

Om zo veel mogelijk energie uit het zonlicht te halen moeten de panelen goed op de zon worden gericht. Voor het noordelijk halfrond worden de panelen op het zuiden gericht. Voor het zuidelijk halfrond geldt uiteraard dat de panelen op het noorden zijn gericht.

Verder moeten de panelen nog de goede hoek maken in de verticale richting. Indien de panelen de enige bron van elektriciteit zijn is het vooral belangrijk dat de hoek optimaal is in de winter als de minste zon beschikbaar is. In dat geval moet de hoek  $\alpha$  een beetje groter zijn dan die van de lokale breedte graad. Een voorbeeld: Nederland ligt op 52 graden noorderbreedte. Voor een zelfstandig systeem zouden de panelen op ongeveer 65 graden moeten staan. Het paneel is naar het zuiden gericht. Het is overigens raadzaam om de panelen onder een hoek van minstens 15 graden te zetten, zelfs in de tropen waar de zon 's middags lood recht op de grond schijnt. Als de panelen helemaal horizontaal zouden zijn opgesteld zou er vuil op blijven liggen. Zet de panelen dus altijd onder een zekere hoek zodat het vuil weggespoeld wordt door de regen.

Er moet bij het opstellen van de panelen goed op worden gelet dat er gedurende de hele dag geen schaduw op de panelen valt van bomen of huizen in de omgeving. Dit beïnvloedt de opbrengst in grote mate. De panelen kunnen het best ter bescherming hoog geplaatst worden, bv. op een dak. Het wil nog wel eens voorkomen dat de panelen het slachtoffer worden van stenen. Plaats de panelen ook niet op een afgelegen plek, omdat ze diefstalgevoelig zijn.



Figuur 7: richten van de zonnepanelen

## Installatie berekening

Om te bepalen wat nodig is voor een installatie moeten de volgende zaken worden bepaald:

1. Installatie grootte (deze wordt bepaald uit de energiebehoefte)
2. De benodigde hoeveelheid panelen bij deze energiebehoefte
3. De benodigde hoeveelheid accu's

## Symbolen lijst

Om de hierna volgende vergelijkingen overzichtelijk te houden worden de volgende symbolen gebruikt:

Omschrijving	Symbool	Eenheid	
Vermogen	P	W	Watt
Gebruiks duur per dag	t	h	uur
Prestatie ratio	pr	-	
Piek vermogen	Pmax	Wp	Wattpiek
Energiebehoefte per dag	Edag	Wh	Wattuur
Zonne-instraling	Mzon	W/m <sup>2</sup>	Watt per vierkante meter
Aantal bewolkte dagen	nwol	-	
Nuttig deel accu capaciteit	daccu	-	
Benodigde accu capaciteit	Qaccu	Ah	Ampereuur
Systeem spanning	Uaccu	V	Volt
Maximum laadstroom	Imax	A	Ampere

## Berekenen van de installatie grootte

Als eerste stap om de installatie grootte te bepalen moet er een inventarisatie worden gemaakt van alle apparatuur die op het systeem wordt aangesloten. In Tabel 1 is een overzicht gegeven van het energieverbruik van een aantal apparaten (op laagspanning).

Tabel 1: *energieverbruik van apparaten*

Apparaat	gemiddeld energie verbruik (Watt)
Spaar lamp of TL-buis	4-30
Kleine ventilator	100-150
Radio	2
Kleine zwart-wit TV	15
Kleine kleuren TV	60
Cassette speler	15
Laptop computer	10
Kleine koelkast	0,5 tot 1,5 kWh per dag

Om de installatie grootte te bepalen moet het verbruik van elk apparaat vermenigvuldigd worden met aantal uren dat deze gebruikt wordt per dag. De uitkomst van deze berekening is het aantal wattuur per dag.

In formulevorm:

$$E_{dag} = P \cdot t$$

Tel van alle apparaten de watturen op en het totaal aantal watturen van de installatie is bekend.

### Voorbeeld:

Een voorbeeld berekening is gemaakt in Tabel 2. De berekening is gemaakt voor 2 lampen, een kleine koelkast en een radio/cassette speler.

Tabel 2: voorbeeld berekening

Apparaat	Vermogen (Watt)	Gebruik per dag (uur)	Totaal (Wattuur)
Verlichting 1	30	4	120
Verlichting 2	20	1,5	30
Kleine koelkast			700
Radio/cassete speler	15	3	45
.1.1 Totaal	80		895

De totale energiebehoefte is in dit geval 895 Wattuur

### Bepalen van de hoeveelheid panelen

Het vermogen van de PV-panelen wordt opgegeven in "Wattpiek" of Wp. Dit getal heeft de volgende betekenis. Stel een paneel is 50 Wp, dan zal dat paneel in volle zon (1000 watt per vierkante meter) 50 watt produceren. Als er minder zon is, bijvoorbeeld half zoveel energie, dan zou een ideaal paneel ook de helft van de energie produceren. In praktijk is dat niet helemaal zo, bovendien gaat er ook nog energie verloren in de accu. Om rekening te houden met deze verliezen wordt de zogenaamde "prestatie ratio" geïntroduceerd. Voor een ideaal systeem zou deze 1 zijn, in de praktijk is deze ongeveer 0.55 voor een zelfstandig systeem.

De benodigde hoeveelheid Wattpiek om ook in de winter voldoende elektriciteit te hebben is als volgt te berekenen:

$$P_{max} = \frac{E_{dag}}{pr \cdot M_{zon}}$$

voorbeeld:

In het eerder genoemde voorbeeld is berekend dat er per dag 895 Wh aan elektriciteit nodig is. Als dit PV-systeem wordt opgesteld in het zuidelijkste puntje van Afrika, dan is op de zonnekaarten (Figuur 3) is te zien dan de minste zon in Juli en Augustus (locale winter) verwacht kan worden; namelijk 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/dag.



Als de prestatie ratio 55% is dan volgt uit de formule:

$$P_{max} = \frac{Edag}{pr \cdot M_{zon}} = \frac{895}{0.55 \cdot 4.5} = 360 [\text{W}]$$

We hebben dan dus 360 Wp aan panelen nodig. Dit kunnen bijvoorbeeld drie grote panelen van 120 Watt of 12 panelen van 30 watt piek zijn. Op een gemiddelde winterdag is dan genoeg elektriciteit beschikbaar. Om een bewolkte periode waarin nagenoeg geen energie door de panelen wordt opgewekt te overbruggen, moet energie opgeslagen worden in accu's. Dit kan van belang zijn als er altijd elektriciteit beschikbaar moet zijn (bijvoorbeeld omdat de koelkast medicijnen bevat die niet mogen bederven). Bij zo'n systeem dat erg betrouwbaar moet functioneren is het raadzaam om 50% extra panelen te installeren.

De prijs voor een PV-paneel is op het moment (november 2002) zo'n 6 dollar of euro per Wp (dit geldt voor kleine aantallen). Dat betekent dus dat er in dit voorbeeld ruim 2000 euro aan de panelen besteed moet worden. Het maakt voor de prijs en prestatie nauwelijks uit of efficiënte mono-kristallijne cellen of minder efficiënte amorfe cellen gebruikt worden, er is altijd dezelfde hoeveelheid Wp nodig. Met efficiëntere cellen is echter minder ruimte nodig per Wp.

### Benodigde opslag

Op bewolkte dagen zal de installatie geen of weinig energie leveren. Het is daarom van belang om te weten hoe betrouwbaar de installatie moet zijn. Hiermee wordt bedoeld hoeveel zonloze dagen de installatie moet kunnen overbruggen. Sommige installaties mogen absoluut niet uitvallen zoals het hiervoor genoemde voorbeeld, de koelkast met medicijnen. Deze systemen hebben voldoende opslag nodig om het maximaal aantal aaneengesloten bewolkte dagen te overbruggen. Voor huishoudelijk gebruik is het minder erg als er tijdelijk geen elektriciteit is en is opslag voor drie bewolkte dagen meestal voldoende.

De energie voor de bewolkte dagen moet opgeslagen worden in accu's. De capaciteit van de accu's wordt gegeven in Ampère uur (Ah). Dit is het aantal uur dat een accu een stroom van 1 ampère kan leveren voordat hij helemaal leeg is. De energie die daarmee geleverd (in Wh) wordt is gelijk aan het voltage van de accu (meestal 12 V, soms 24 V) vermenigvuldigd met de capaciteit in Ampère uur.

Het is echter niet verstandig om een accu helemaal leeg te maken, de accu slijt hierdoor erg snel of kan zelfs kapot gaan. Als een standaard auto accu gebruikt wordt mag slechts ongeveer 20 % van de capaciteit gebruikt worden, wil men de levensduur van de accu niet onnodig verslechteren. Een speciale accu voor PV-systemen kan meestal voor 50 % gebruikt worden.

De benodigde capaciteit in formulevorm:

$$Q_{accu} = \frac{Edag \cdot n_{wolk}}{d_{accu} \cdot U_{accu}}$$

*voorbeeld:*

Onze voorbeeld installatie wordt nu weer gebruikt. We willen graag berekenen wat de capaciteit moet zijn om 3 bewolkte dagen te overbruggen.

De systeem spanning is 12V. Er moeten dan ook 12V accu's en panelen gebruikt worden. Als er geen speciale PV-accu's beschikbaar zijn, kunnen ook auto accu's gebruikt worden.

De benodigde capaciteit in het voorbeeld wordt dan:

$$Q_{accu} = \frac{E_{dag} \cdot n_{wolk}}{d_{accu} \cdot U_{accu}} = \frac{895 \cdot 3}{0.2 \cdot 12} = 1120 [\text{Ah}]$$

Een gemiddelde auto accu heeft een capaciteit van 45 Ah, dus voor dit systeem zouden 25 accu's nodig zijn. (Als er PV accu's gebruikt werden die tot 80% geleegd worden, dan is maar 280 Ah accu capaciteit nodig, oftewel 6 accu's van dezelfde grootte.)

### De laadregelaar

De laadregelaar zorgt er o.a. voor dat de accu's niet overladen worden. Het is belangrijk dat er een regelaar gebruikt wordt die de maximum laadstroom aankan.

De maximum laadstroom is:

$$I_{max} = \frac{P_{max}}{U_{accu}}$$

*Voorbeeld:*

In ons voorbeeld hebben de panelen een piekvermogen van 360 W en het systeemvoltage is 12V.

De maximale laadstroom wordt in dit voorbeeld dus:

$$I_{max} = \frac{P_{max}}{U_{accu}} = \frac{360}{12} = 30 [\text{A}]$$

De laadregelaar moet dus 30 Ampère aankunnen.

Bij de aanschaf van de laadregelaar moet er op worden gelet dat deze een ontlaadbeveiliging heeft. De laadregelaar zorgen er dan voor dat de accu's niet te ver ontladen kunnen worden door het afkoppelen van de belasting als de accu's te leeg aan het raken zijn. Eventueel kan er voor gekozen worden om alleen de stroom naar niet noodzakelijke apparatuur af te sluiten en bijvoorbeeld de koelkast met medicijnen nog wel te blijven voeden. Hiermee wordt het risico gelopen dat de accu's minder lang mee gaan, maar dat is waarschijnlijk minder erg dan dat de medicijnen bederven.

## Bijlage: Voorbeeld van berekeningen PV installatie

Berekenen van de installatie grootte:

Tabel 3: aan te sluiten apparatuur

Apparaat	Verbruik (Watt)	Gebruik per dag (uur)	Totaal (Wattuur)
Totale energie behoefte			Wattuur

Bepalen hoeveelheid panelen:

$$P_{max} [Wp] = \frac{E_{dag} [Wh]}{pr \cdot M_{zon} [kWh/m^2/dag]} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots \cdot \dots\dots} = \dots\dots\dots [Wp]$$

Benodigde opslag:

$$Q_{accu} [Ah] = \frac{E_{dag} [Wh/dag] \cdot n_{wolk} [-]}{d_{accu} \cdot U_{accu} [V]} = \frac{\dots\dots\dots \cdot \dots\dots\dots}{\dots\dots\dots \cdot \dots\dots\dots} = \dots\dots\dots [Ah]$$

De laadregelaar:

$$I_{max} [A] = \frac{P_{max} [W]}{U_{accu} [V]} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots [A]$$