

## PV-Systemen

### Introductie

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. Hierbij valt te denken aan:

- verlichting
- koelkasten (bewaren van medicijnen)
- ventilatoren
- communicatie apparatuur
- accu's laden

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

De grootste kostenpost zijn nog steeds de panelen, omdat hiervoor speciale fabrieken met een "clean-room" nodig zijn. Een tweede grote kostenpost zijn de accu's. Een groot voordeel van PV-systemen is dat ze bij het gebruik van de juiste accu's relatief onderhoudsvriendelijk 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 opslag capaciteit, maar hier zijn dan grote kosten aan verbonden.

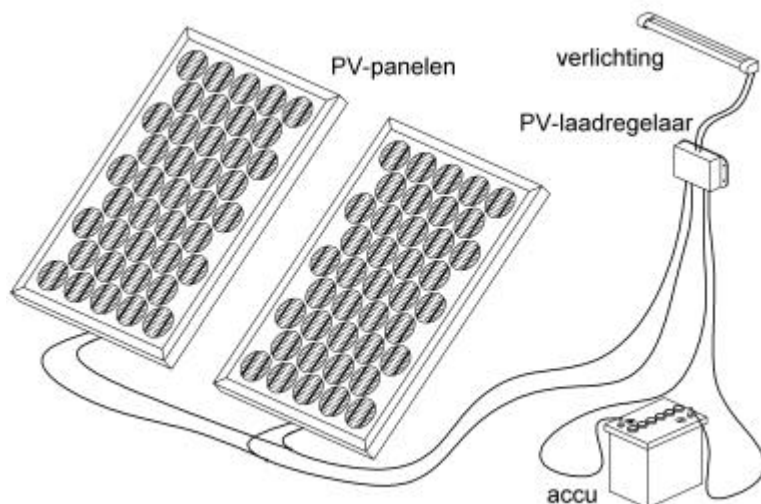


Fig. 4-32 Een eenvoudig PV systeem

### De Installatie

Een PV-installatie bestaat uit 4 componenten. 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.

## Werking

### *Zonnecellen*

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 weers invloeden en vuil. De zonnecellen zijn gemaakt van silicium, een halfgeleider materiaal. Als er licht op de cellen valt, maken ze elektronen vrij en ontstaat er een spanning tussen de twee aansluitingen. 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 zo'n 15 Volt is.

Het rendement van zonnecellen is niet erg hoog en afhankelijk van het type halfgeleidermateriaal. Voor de duurder 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%.

### *Laadregelaar*

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

Aan de hand van figuur 4-33 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.

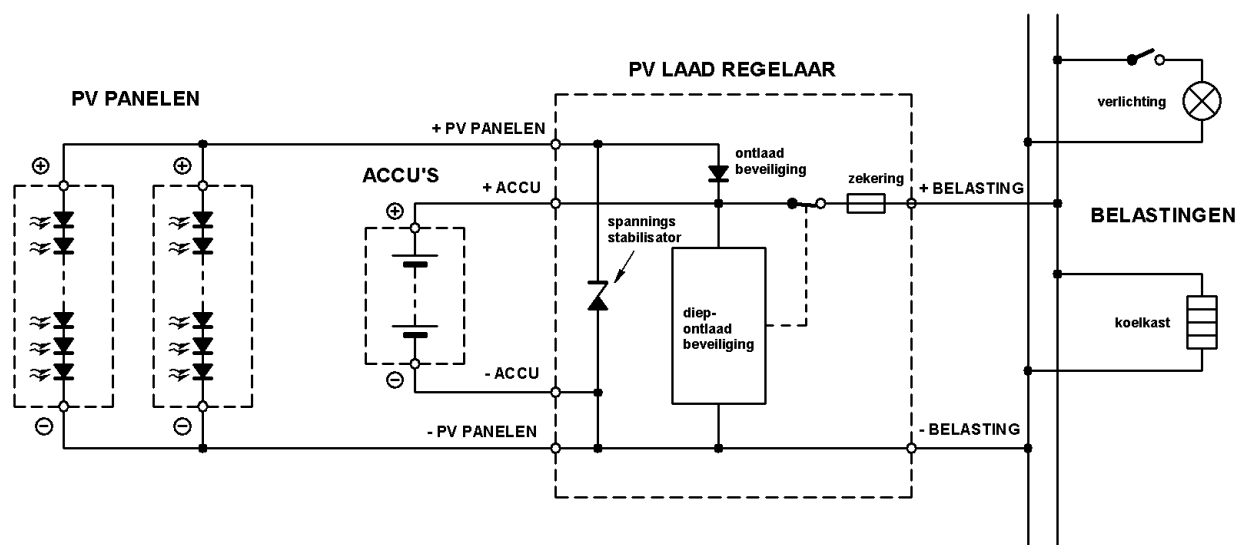


Fig. 4-33 Schematische weergave van een PV-systeem

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 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.

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.

### Aan te sluiten apparatuur

Veel apparaten zoals lampen, koelkasten en koffiezetapparaat 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 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

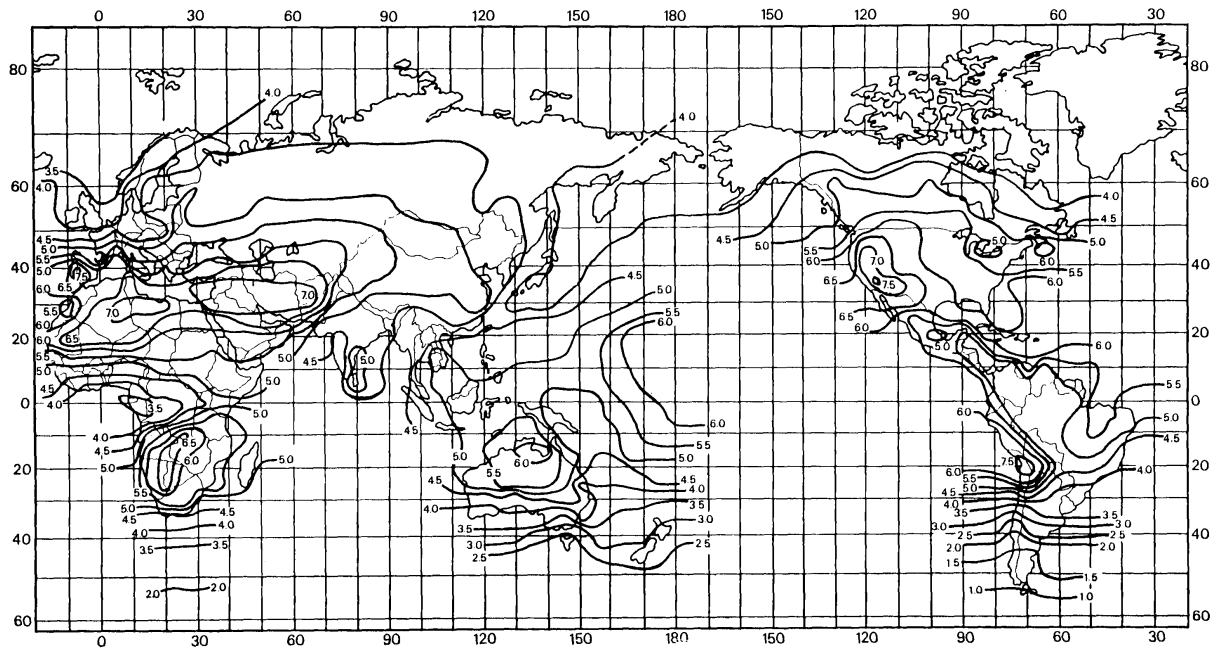


Fig. 4-34a Zonnekaart Zomer (Juni t/m Augustus)

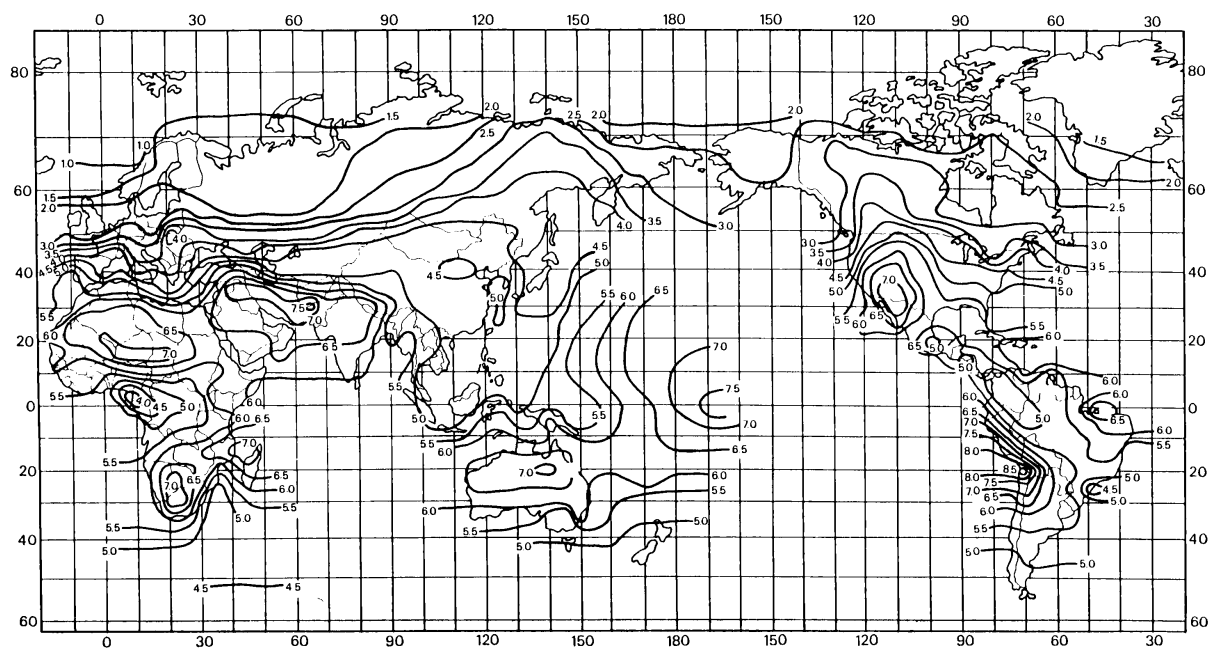


Fig. 4-34b Zonnekaart Herfst (September t/m November)

## Wat levert de zon

In de figuren 4-34 a t/m d 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>/dag.

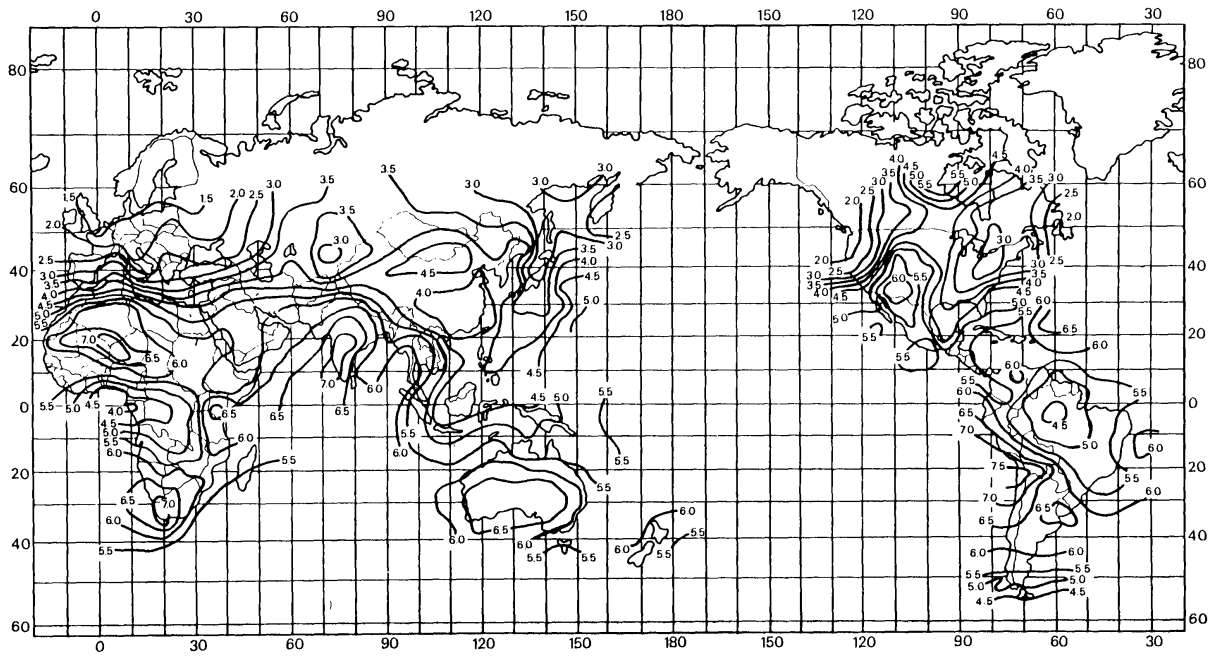


Fig. 4-34c Zonnekaart Winter (December t/m Februari)

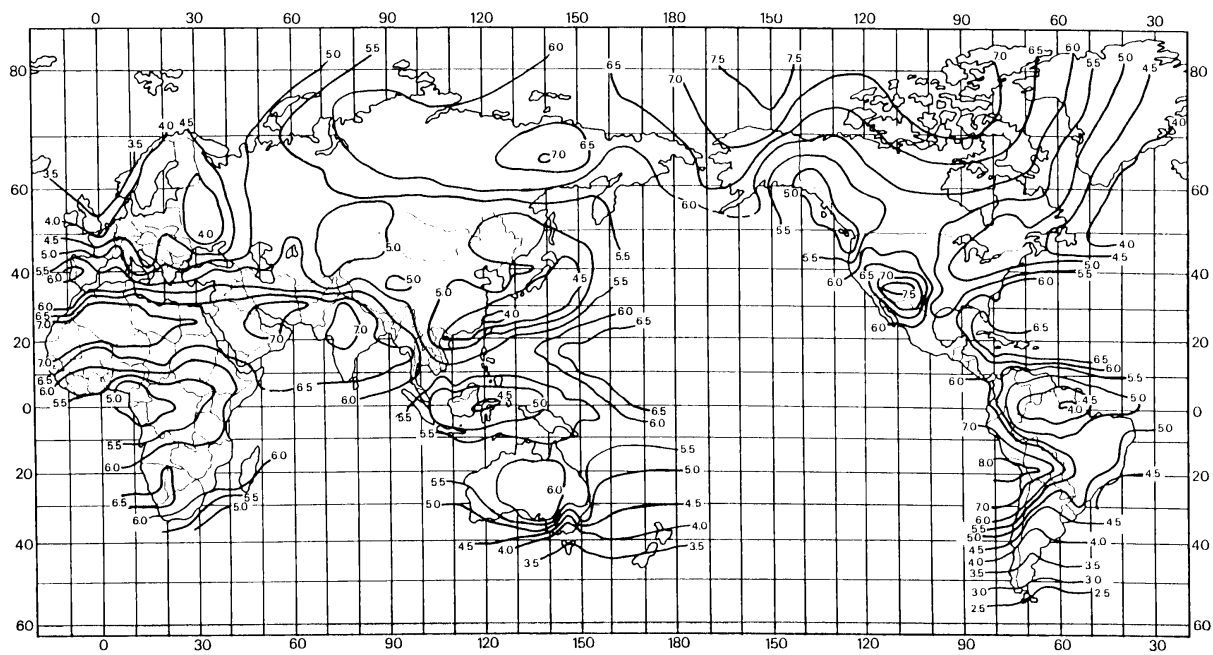


Fig. 4-34d Zonnekaart Lente (Maart t/m Mei)

Het gaat hierbij om gemiddelden.

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

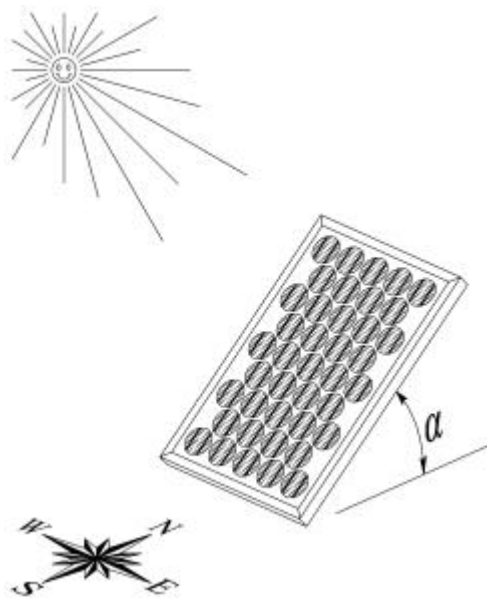


Fig. 4-35 Richten van een paneel

### ***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  $\alpha$  (figuur 4-35) 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 dus op ongeveer 65 graden moeten staan. In beide gevallen wijst het paneel naar het zuiden. 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 blijft er vuil op liggen. Zet de panelen 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 diefstal gevoelig zijn.

## **Installatie Berekening**

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

- De energie behoefte
- De benodigde hoeveelheid panelen
- De benodigde hoeveelheid accu's

Als eerste stap om de installatie grootte te bepalen moet er een inventarisatie worden gemaakt van alle apparatuur die op het systeem wordt aangesloten.

### Energie verbruik van een aantal laagspanningsapparaten

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	500 tot 1500 kWh per dag

Per apparaat moet in de onderstaande tabel het verbruik worden ingevuld en hoeveel uur per dag dit in gebruik is. Deze twee getallen moeten dan met elkaar worden vermenigvuldigd en het aantal wattuur van het apparaat is bekend. Tel van alle apparaten de watturen op en het totaal aantal watturen van de installatie is bekend.

### Voorbeeld berekening installatiegrootte:

#### De aan te sluiten apparatuur:

Apparaat	Verbruik (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
<b>Totaal</b>	80 Watt		895 Wattuur

De zojuist bepaalde energie behoefte per dag is nodig om te bepalen hoeveel PV panelen en accu's er nodig zijn.

### Bepalen 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.

In het eerder genoemde voorbeeld is berekend dat er per dag 895 Wh aan elektriciteit nodig is. Als voorbeeld een PV-systeem opgesteld in het zuidelijkste puntje van Afrika. Op de zonnekaarten is te zien dat de minste zon in Juli en Augustus (locale winter) verwacht kan worden; namelijk 4.5 kWh/m<sup>2</sup>/dag. De benodigde hoeveel Wattpiek om ook in de winter voldoende elektriciteit te hebben is als volgt te berekenen:

$$\text{Benodigde aantal Wp} = \frac{\text{energie behoefte per dag (in Wh)}}{\text{prestatie ratio * zonne instraling (in kWh/m}^2\text{/dag)}}$$

$$\text{Voorbeeld: } \frac{895}{0.55 * 4.5} = 360 \text{ Wp}$$

In ons voorbeeld is 360 Wp aan panelen is 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 in dit voorbeeld ruim 2000 euro aan de panelen kwijt bent. Het maakt voor de prijs en prestatie nauwelijks uit of efficiënte monokristallijne 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 te weinig energie leveren. Het is daarom van belang 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 Ampere-uur (Ah). Dit is het aantal uur dat een accu een stroom van 1 ampere 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 Amper-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 voorbeeld installatie wordt berekend om 3 bewolkte dagen te overbruggen, en 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:

$$\text{Benodigde accu capaciteit} = \frac{\text{energie behoefte per dag (Wh/dag)} * \text{aantal bewolkte dagen}}{\text{nuttig deel van de capaciteit} * \text{voltage van het systeem}}$$

$$\text{Voorbeeld: } \frac{895 * 3}{0.2 * 12} = 1120 \text{ Ah}$$

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 kan verwerken. De maximum laadstroom is:

$$\text{Maximum laadstroom} = \text{Wp vermogen} / \text{bedrijfsspanning}$$

$$\text{Voorbeeld: } 360/12=30\text{A}$$

In het voorbeeld hebben de panelen een piek vermogen van 360 W en de bedrijfsspanning 12 V. De laadregelaar moet dus 30 Ampere aankunnen.

Bij de aanschaf van de laadregelaar moet er op worden gelet dat deze een ontladbeveiliging heeft. De laadregelaar zorgen er dan voor dat de accu's niet te ver ontladen kunnen worden door de belasting af te schakelen als de accu's te leeg zijn geraakt. 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. Dit betekent een risico dat de accu's minder lang mee gaan, maar dat is waarschijnlijk minder erg dan dat de medicijnen bederven.

## Voorbeeld berekening PV installatie

De aan te sluiten apparatuur:

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

$$\text{Benodigde aantal Wp} = \frac{\text{energie behoefte per dag (in Wh)}}{\text{prestatie ratio * hoeveelheid zonlicht (in kWh/m}^2\text{/dag)}}$$

.....

$$\text{.....} = \text{..... Wattpiek}$$

( ..... \* ..... )

$$\text{Benodigde accu capaciteit} = \frac{\text{energie behoefte per dag (Wh/dag) * aantal bewolkte dagen}}{\text{nuttig deel van de capaciteit * voltage van het systeem}}$$

( ..... \* ..... )

$$\text{.....} = \text{..... Ampère uur}$$

( ..... \* ..... )

$$\text{Maximum laadstroom} = \text{aantal Wp} / \text{Voltage van het systeem}$$

..... / ..... = ..... Ampère