

# Werking van zonnepanelen

## Waarom zonnestroom?

De wereld heeft een energietransitie nodig: energievoorziening geschikt op geheel andere leest, milieuvriendelijk, en zonder toekomstige generaties op te zadelen met vrijwel onoplosbare problemen als klimaatverandering en uitputting van grondstoffen. Zo'n nieuwe energievoorziening moet gebaseerd zijn op duurzame bronnen, en zonnestroom (officieel: fotovoltaïsche zonne-energie) vormt er een vanzelfsprekend en essentieel onderdeel van. Dat is de boodschap van Holland Solar, de vereniging van bedrijven en onderzoeksinstituten op het gebied van zonnestroom in Nederland. Maar er moet nog veel gebeuren voordat we zo ver zijn! Over de noodzaak van een energietransitie bestaat in brede kring overeenstemming. Onze huidige energievoorziening is gebaseerd op omzetting van fossiele brandstoffen en daar komt een aantal problemen uit voort. Het eerste probleem is klimaatverandering. Deze wordt grotendeels veroorzaakt door broeikasgassen die vrijkomen bij de omzetting van fossiele brandstoffen: vooral kooldioxide en in mindere mate methaan. Het gebruik van fossiele brandstoffen moet daarom naar beneden. En dat afgezet tegen een juist stijgend energiegebruik! Een tweede probleem wordt gevormd door de uitputting van vooral aardolie en aardgas. Er is bij het huidige tempo van winning op de wereld nog een voorraad voor respectievelijk veertig en zestig jaar. Maar het winningstempo gaat omhoog door de groeiende energiebehoefte van opkomende economieën, vooral van China. Door deze ontwikkelingen zullen de kosten van olie en gas gaan stijgen: er zullen moeilijker te exploiteren velden worden aangeboord. Een derde probleem van fossiele brandstoffen is de afhankelijkheid van buitenlandse leveranciers. Veel van die leveranciers liggen in instabiele delen van de wereld. Met duurzame energiebronnen kan Europa op langere termijn volledig in zijn eigen behoefte voorzien. Alle reden dus voor een energietransitie! Wereldwijd is zonnestroom de duurzame energiebron met het grootste potentieel. Ook in Nederland is het potentieel zeer groot – ongeveer gelijk aan het hele Nederlandse elektriciteitsverbruik, zelfs bij de verwachte doorgaande groei.

## Zon-instraling

### Inleiding

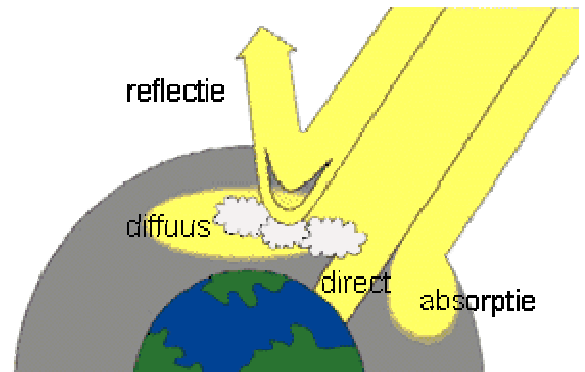
De opbrengst, de hoeveelheid geproduceerde elektriciteit, van een PV-paneel hangt af van de instraling die het zonnepaneel op kan vangen. Die wordt niet alleen bepaald door de intensiteit van het invallend licht, maar ook van de hellingshoek, temperatuur en oriëntatie van een zonnepaneel.

## Zonnestraling

De straling die van de zon komt voorziet de aarde van een enorme hoeveelheid energie. Gemiddeld wordt op aarde jaarlijks 1700 kWh per vierkante meter ingestraald. In Nederland is de instraling ongeveer 1015 kWh/m<sup>2</sup> op jaarbasis. Deze straling kan met behulp van zonnepanelen rechtstreeks omgezet worden in elektriciteit.

Daglicht bestaat uit direct zonlicht en indirect, diffuus licht. Direct zonlicht heeft meer energie dan indirect licht. Een zonnepaneel geeft dus meer elektriciteit als het optimaal op de zon is gericht.

Van belang hierbij zijn de hellingshoek en de oriëntatie. Aangezien de zon en de aarde draaien, verschilt de optimale situering per locatie. In Nederland wordt de maximale opbrengst op jaarbasis gehaald met een paneel dat recht op het zuiden is gericht onder een hoek van 36°.



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, kan de totale hoeveelheid zonne-energie worden uitgedrukt in uren volle zon per m<sup>2</sup>. Als standaard wordt aangenomen dat bij 'volle zon' een vermogen van 1000 W per m<sup>2</sup> op het aardoppervlak wordt ingestraald. Eén uur volle zon levert dan dus als maat 1000 Wh per m<sup>2</sup> = 1 kWh/m<sup>2</sup>. Een zonaanbod van één uur volle zon (dus 1 kWh/m<sup>2</sup>) komt ruwweg overeen met de zonne-energie die op een wolkenloze zomerdag op een op de zon gericht vlak valt. Het **totale jaarlijkse zonaanbod** in Nederland komt overeen met ongeveer 1000 uur volle zon. Met andere woorden: de gemiddelde jaarlijkse zoninstraling in ons land is circa 1000 kWh/m<sup>2</sup>. Voor ontwerp van PV-systemen wordt in Nederland 1000 kWh/m<sup>2</sup>/jaar als kengetal gehanteerd. In Nederland is het **daggemiddelde** 2,7 uur volle zon (2,7 kWh/m<sup>2</sup>). Dit is een gemiddelde over december (0,5 uur) tot juni (5 uur). Het verschil tussen zonne-energie-instraling in zomer en winter is dus een factor 10. Ook binnen Nederland zelf kan de zoninstraling iets variëren. De kustgebieden blijken iets meer zon te ontvangen dan de meer landinwaarts gelegen gebieden. Zie hieronder de instralingskaart.

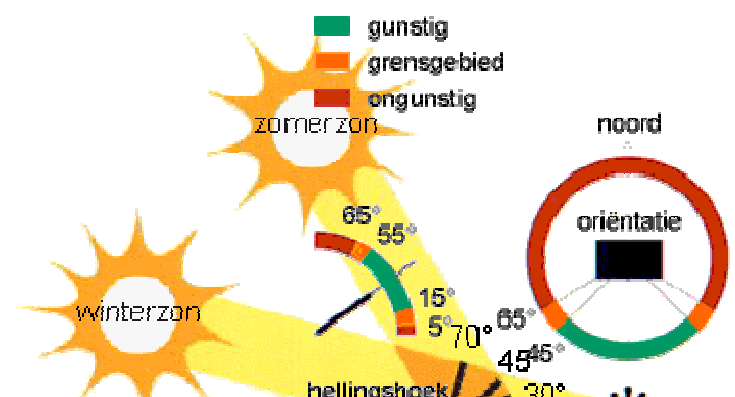
## Hellingshoek

Teneinde de straling effectief op te kunnen vangen, moeten zonnepanelen naar de zon gericht staan. De opbrengst van een PV systeem hangt af van de oriëntatie en de hellingshoek.

Welke hellingshoek optimaal is voor een PV-systeem hangt af van de toepassing en de plek. Het paneel van een systeem dat de grootste energievraag in de winter heeft kan het best onder een hoek van 70° op het zuiden staan. Bij een systeem dat alleen in de zomer wordt gebruikt, is een wat platter opgesteld paneel (bijvoorbeeld 30°) gunstiger, omdat de zon in de zomer een hogere baan langs de hemelkoepel beschrijft.

## Oriëntatie

De optimale oriëntatie van een vrijstaand PV-systeem is meestal goed te realiseren. Bij een zonnestroomsysteem voor een gebouw is het niet altijd mogelijk de panelen op het zuiden te plaatsen. Waar het dan op aankomt is een zo goed mogelijke hellingshoek te zoeken bij de beste oriëntatie. Is de oriëntatie oost of west, dan is met een dakhelling van 20°

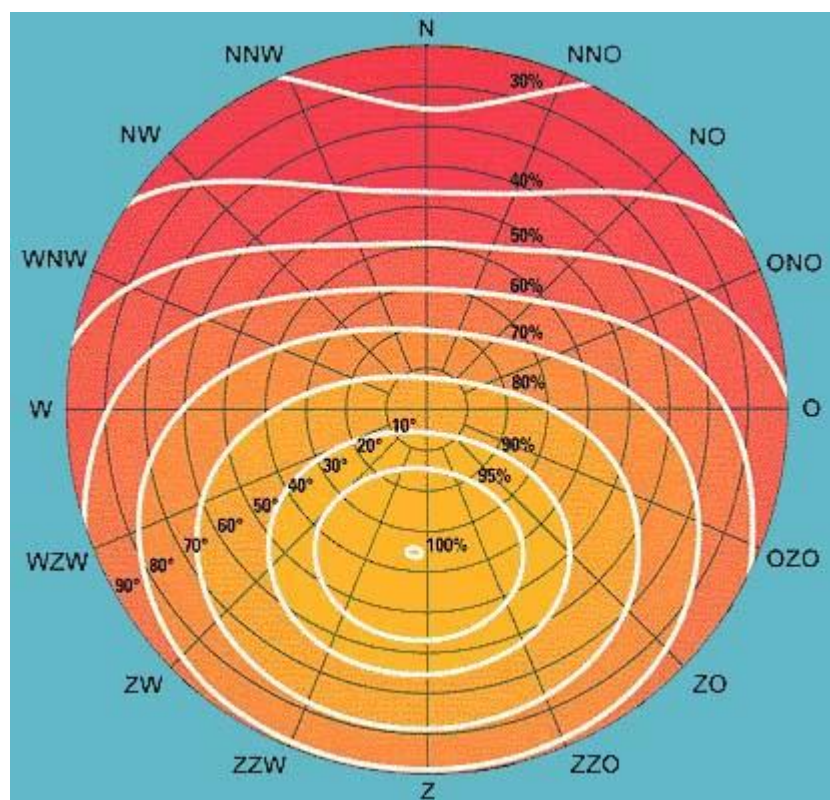


nog altijd 80 á 85% van het maximum haalbaar.

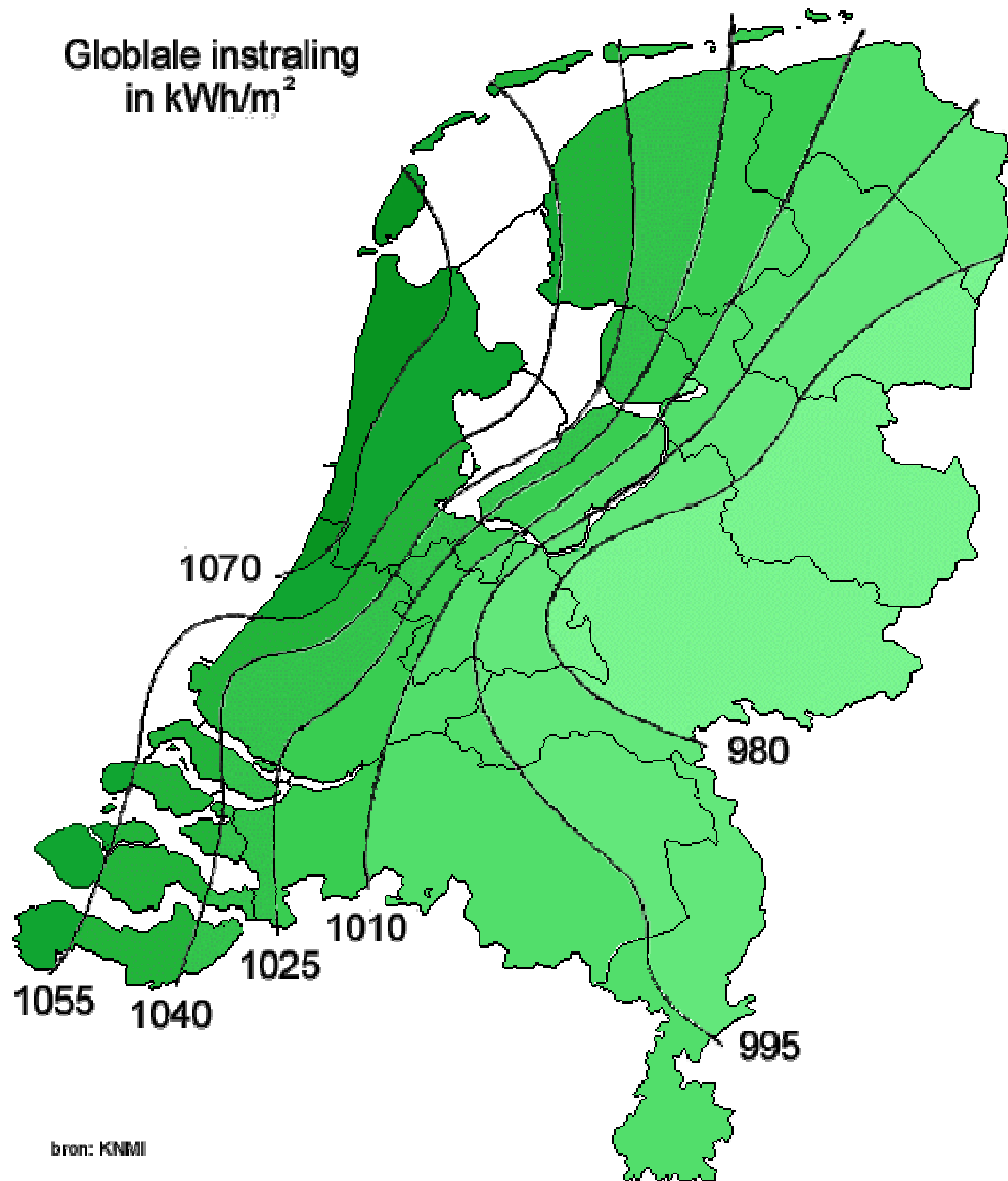
Om zoveel mogelijk van de zon te profiteren in de gebouwde omgeving, is het bij nieuwbouwprojecten dus van belang om rekening te houden met oriëntatie en mogelijke hellingshoeken. Het succes van zonnestroom in de gebouwde omgeving staat of valt met de zonvriendelijke verkaveling van de bouwgrond.

De figuren hiernaast geven aan dat ook bij strenge eisen, >90% resp. >95% zoninval, de marges ten aanzien van oriëntatie en hellingshoek nog veel vrijheid laten zien ten aanzien van het ontwerp.

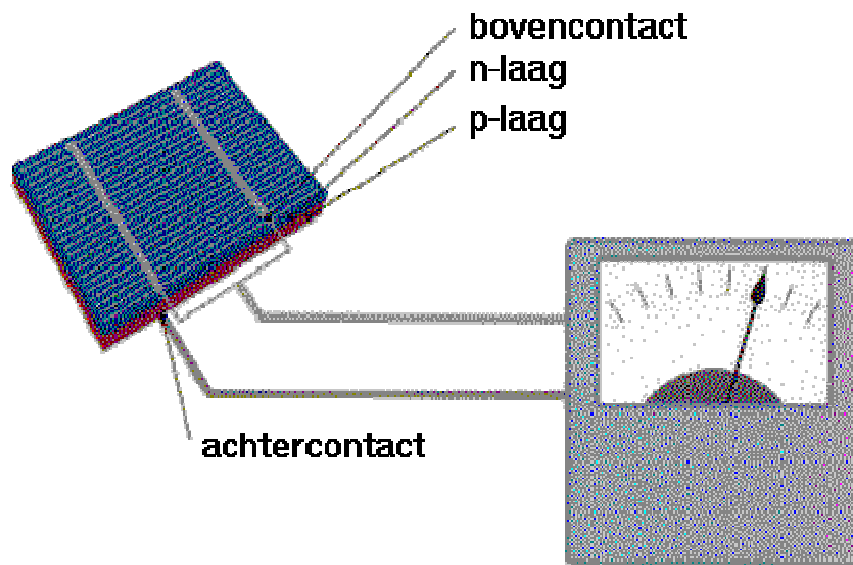
Op de instralingsschijf kan worden afgelezen wat de instraling is bij een bepaalde oriëntatie en hellingshoek van de zonnepanelen. Deze wordt uitgedrukt in procenten van de maximaal haalbare instraling, die wordt bereikt wanneer het systeem op het zuiden staat gericht onder een hoek van 36 graden met de horizontaal.



Globale instraling  
in kWh/m<sup>2</sup>



bron: KNMI



## Zo werkt een zonnecel

### Inleiding

Een zonnepaneel bestaat uit meerdere in serie geschakelde zonnecellen. Hieronder wordt het proces in één zonnecel beschreven. Het proces dat zich in een zonnecel afspeelt heet fotovoltaïsche omzetting (PV = photovoltaic conversion). Hierbij wordt zonlicht in elektriciteit omgezet. Op de scheidingsgrens van de p- en n-laag ontstaat een intern elektrisch veld (spanningsverschil). Als er licht op de zonnecel valt dan wordt een (negatief geladen) elektron in de zonnecel losgemaakt en blijft een (positief) gat over. Ontstaat zo'n elektron/gat-paar in de buurt van het intern elektrisch veld dan worden deze twee gescheiden, omdat zij een verschillende lading hebben. Hierdoor krijgt de p-laag een positieve lading en de n-laag een negatieve lading. Door een verbinding tussen beide lagen te maken, gaan elektronen stromen en heeft men dus elektriciteit. Naarmate meer licht op de zonnecel valt, worden meer elektronen vrijgemaakt en is er meer stroom. Het fotovoltaïsch proces gaat door zolang er licht op de cel valt. In dit proces worden geen materialen gebruikt en zijn geen bewegende delen aanwezig. Zonnecellen zijn daardoor duurzaam.

Niet al het licht kan worden omgezet in elektriciteit. Zonnecellen gebruiken voornamelijk zichtbaar licht. Een groot deel van de energie van de zon bereikt de aarde als infrarood (IR)- of warmtestraling en ultraviolette (UV) straling. Het theoretisch haalbare omzettingsrendement is daarom niet hoger dan 20-30%. De zonnecellen die momenteel geproduceerd worden hebben een rendement van ongeveer 16%. Het is te verwachten dat door technologische ontwikkelingen dit rendement de komende jaren met een factor anderhalf zal oplopen.

### Vermogen

Het elektrisch vermogen dat aan een zonnecel onttrokken kan worden, is min of meer evenredig met het oppervlak en met de intensiteit van het zonlicht dat op het oppervlak valt, en wordt gemeten in Watt-piek (Wp).

Een Watt-piek is gedefinieerd als het elektrisch vermogen dat een zonnecel levert bij standaard test condities (STC): een instraling van  $1000 \text{ W/m}^2$  (een stralend blauwe hemel in juni) en een cel temperatuur van 25 graden Celsius. Onder deze omstandigheden levert een zonnecel van 1 Wp een vermogen van 1 Watt. Bij een lagere instraling of een hogere temperatuur levert de zonnecel minder vermogen.

### Zonneceltypen

Het basismateriaal van de meeste zonnecellen is silicium. Silicium is een van de meest voorkomende elementen op aarde. Silicium komt in de natuur echter voornamelijk in gebonden toestand voor (siliciumoxide). Voor zonnecellen is zuiver silicium nodig. Naast silicium worden andere materialen voor zonnecellen gebruikt zoals andere halfgeleiders (gallium, germanium) en organische kleurstoffen. Typen zonnecellen zijn onder andere:

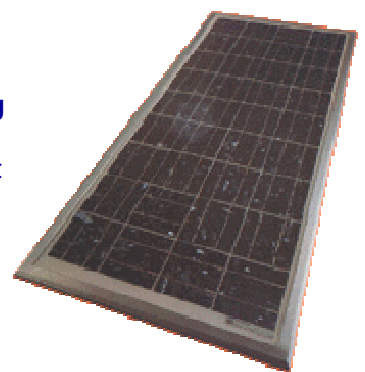
- **Monokristallijn silicium zonnecellen** zijn gemaakt van siliciumplakken, die uit één groot 'monokristal' zijn gezaagd, waarin de siliciumatomen netjes gerangschikt zijn. Het monokristal wordt gemaakt met behulp van het zogenaamde 'Czochralski-groeitechniek'. Hierbij wordt een ronde (silicium) staaf met een snelheid van enkele centimeters per uur uit een smelt van zuiver silicium getrokken.
- **Multikristallijn silicium zonnecellen.** Multikristallijn silicium wordt gegoten en is goedkoper en eenvoudiger te maken dan monokristallijn silicium. Tijdens het stollen ontstaan de verschillende kristalgebieden die het materiaal zijn karakteristieke uiterlijk geven. Het rendement van multikristallijne cellen ligt in het algemeen iets lager dan dat van monokristallijne cellen.
- **Dunne-film-zonnecellen** worden gemaakt met behulp van een opdamp techniek, zoals plasmadepositie. Zo zijn er *amorf silicium zonnecellen*, die relatief goedkoop zijn, maar waarvan het rendement nog niet zo hoog is. De term 'amorf' slaat op het ontbreken van een kristalstructuur. *III/V zonnecellen* zijn cellen die wel een hoog rendement hebben, maar gemaakt zijn andere dure (halfgeleider) materialen. Verder zijn er nog diverse typen *dunne film polykristallijne cellen* en goedkope *organische cellen*. Deze laatste worden gemaakt op basis van organische kleurstoffen en halfgeleiders.

## Zonnepanelen, de bouwelementen waarin zonnecellen zijn verwerkt

### Inleiding

Zonnepanelen of modules zijn de bouwelementen waarin zonnecellen zijn verwerkt. De zonnecellen zijn in serie geschakeld om het voltage te verhogen. Ze zijn ter bescherming ingekapseld tussen glazen of kunststof panelen, die aan de voorkant transparant zijn. De afdeklaag aan de achterkant kan doorzichtig of ondoorzichtig zijn. van de diverse fabrikanten hebben verschillende afmetingen. Het gewicht ligt tussen de

**Vermogen zonnepaneel**  
Het vermogen van het zonnepaneel is afhankelijk van het aantal cellen dat gelamineerd is. Het geleverde vermogen van een zonnepaneel is recht evenredig met de instraling, maar neemt af met een toenemende celtemperatuur. Hoe meer zon-instraling, hoe meer stroom erop gewekt kan worden. Echter hoe warmer de temperatuur van het zonnepaneel, hoe lager de omzetting. Een paneel moet dus goed geventileerd worden opgesteld en zo optimaal mogelijk naar de zon gericht zijn. De door de zonnecellen opgewekte stroom is gelijkstroom.



Is de zoninstraling minder dan zal de stroomsterkte minder zijn en daarmee ook de opgewekte energie. Een geringere instraling gaat nauwelijks ten koste van de spanning..

### De zonnepaneeltypen

Standaard zonnepanelen zijn verkrijgbaar met of zonder frame. Frameloze zonnepanelen,

of laminaten, kunnen behandeld worden als normale glazen ruiten. Wel moet aandacht besteed worden aan de elektrische bekabeling van de zonnepanelen, het voorkomen van het indringen van vocht tussen verschillende materiaallagen in het laminaat en het beperken van hoge temperatuur van de zonnecellen. Ook moet worden voorkomen dat de panelen worden beschaduwd. Het meest geschikte materiaal voor de huidige toepassingen zijn vermeld in onderstaande tabel.

Type	Kleur	Rendement
Monokristallijn Si	egaal antraciet, donkerblauw	15-18%
polykristallijn Si	donkerblauw	12-16%
amorf Si	bruin tot goudkleurig	6-8-12%

Het is mogelijk om zonnepanelen slechts gedeeltelijk met zonnecellen te vullen. Op deze manier kan een mate van transparantie worden bereikt. Zoals te zien op de foto hiernaast. (De foto is genomen op De Kleine Aarde te Boxtel)



## Zonnestroomsystemen voor autonome en netgekoppelde toepassingen

### Inleiding

Een PV-systeem bestaat uit verschillende componenten, afhankelijk van de toepassing. Een autonoom systeem, dat niet gekoppeld is aan het centrale elektriciteitsnet bestaat uit PV-panelen, accu en laadregelaar, bekabeling en systeemophanging. Een netgekoppeld zonnestroomsysteem heeft geen accu en laadregelaar nodig, maar wel een omvormer om de door de zonnepanelen opgewekte, gelijkspanning om te zetten naar wisselspanning van 230 Volt.

### Autonome systemen

Autonome systemen zijn niet aan het net gekoppeld, maar functioneren volledig zelfstandig. Voorbeelden van autonome systemen zijn o.a.: een irrigatiepomp (zonder opslag), die alleen overdag pompt zolang de zonnepanelen elektrische energie kunnen leveren; boeien op zonnecellen, hierbij wordt overdag de elektrische energie opgeslagen in een accu en 's avonds wordt de elektrische energie gebruikt voor de verlichting; PV zomerhuissysteem die genoeg elektriciteit kan leveren voor het toepassen van enkele lampen, een radio en eventueel een TV.

- **Dimensioneren**

Wil een autonoom PV-systeem goed werken, dan moet de productie van elektrische energie overdag afgestemd zijn op het verbruik 's nachts (de zogenaamde dimensionering van het systeem). Daarnaast moet de regeling in orde zijn. Zo voorkomt een

terugstroom beveiliging dat de accustroom 's nachts terug vloeit naar de panelen. En als de accu overdag dreigt te worden overladen, dan stopt de laadregelaar de energie toevoer van de zonnepanelen; dreigt er te veel energie aan de accu te worden onttrokken, dan stopt de regelaar de stroomregeling tot de accu weer voldoende is bijgeladen.

- **PV in ontwikkelingslanden**

Vandaag de dag wonen twee miljard mensen in een gebied waar geen aansluiting is op het elektriciteitsnet. Toch is elektriciteit onmisbaar voor de verdere ontwikkeling van Derde-Wereld landen. Voor de ontsluiting van die gebieden zijn goede telecommunicatievoorzieningen nodig. Om over voldoende



schoondrinkwater te beschikken moet water veelal uit diepe bronnen worden opgepompt. Schooltelevisie is een wezenlijke hulpmiddel voor de verbetering van het onderwijs. Verlichting en koelsystemen voor ziekenhuizen dragen bij tot de verbetering van de kwaliteit van het bestaan. In de bovengenoemde voorbeelden kunnen autonome PV-systemen een sleutelrol vervullen.

De voordelen PV-systemen in afgelegen gebieden van ontwikkelingslanden zijn: het systeem is autonoom, nagenoeg onderhoudsvrij en onafhankelijk van een regelmatige aanvoer van brandstof. De meeste gebieden in de Derde Wereld liggen bovendien dicht bij de evenaar, waar er het hele jaar door voldoende zonaanbod is.

- **Solar Home Systems**

Solar home systems zijn kleine PV-systemen met bijvoorbeeld een vermogen van 80 Wp en een opslagcapaciteit (accu) van 100 Ah, voldoende voor de meeste elementaire toepassingen in huis: verlichting, radio en eventueel een TV. In veel landen worden zulke systemen reeds toegepast in afgelegen gebieden.

- **Nederlandse situatie**

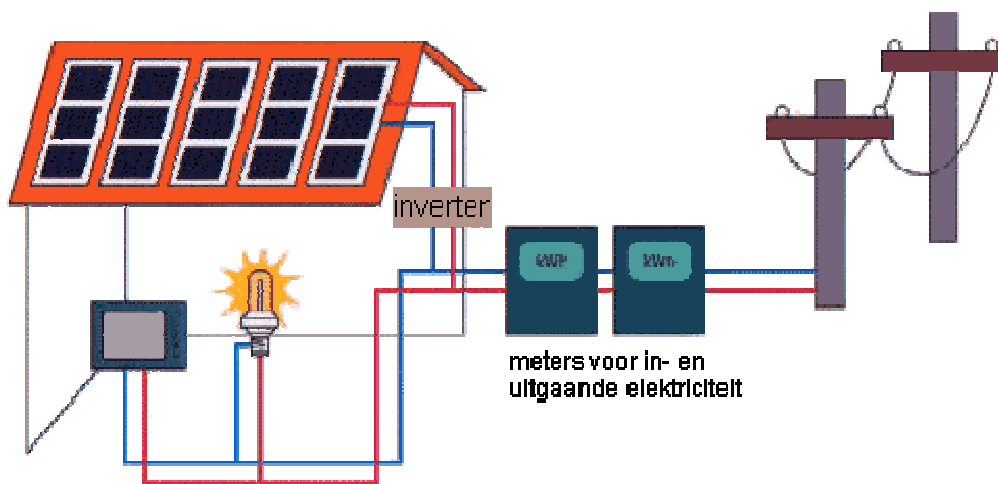
Ook in Nederland zijn autonome PV-systemen zijn in gebruik. Ofschoon in Nederland een uitgebreid elektriciteitsnet ligt, kan een autonoom systeem uitkomst bieden. Als de energievraag gering is (ongeveer tot 1 kWh per dag) kan een PV-systeem in ons land concurreren met andere elektriciteitsopwekkers zoals dieselgeneratoren, batterijen, gasflessen etc. In een aantal gevallen is PV-energie zelf voordeliger zoals bij bakens en boeien. Deze zijn

vaak op moeilijk bereikbare plaatsen gelegen of ver van het elektriciteitsnet.

### Netgekoppelde systemen

De zonnestroomsystemen die in Nederland worden geplaatst, zijn over het algemeen aan het net gekoppeld. Dit betekent dat de zonnestroom die wordt opgewekt wordt teruggeleverd aan het centrale elektriciteitsnet, of direct lokaal gebruikt wordt. Op deze manier is geen "opslagmedium" (zoals een accu) nodig, en wordt de opgewekte energie optimaal gebruikt, omdat er niets "verloren" gaat.

De zonnestroomsystemen worden vooral gerealiseerd op daken in de gebouwde omgeving, enerzijds omdat in Nederland weinig grond beschikbaar is voor PV-energieproductie en anderzijds omdat de waarde van PV-energie hoger is wanneer deze wordt geproduceerd op de plaats waar het tevens wordt gebruikt (aan de vraagzijde vindt productie plaats).



- **Elektrische Aspecten**

Een zonnestroomstelsel wekt dus gelijkspanning (DC, direct current) op. De DC-spanning wordt omgezet naar AC (wisselspanning, alternating current) en gekoppeld aan het openbare distributienet: dit maakt de opgewekte elektriciteit beschikbaar voor alle op het net aangesloten gebruikers zonder dat eisen worden gesteld aan tijdstip van gebruik of het soort apparatuur.

De omzetting van DC naar AC gebeurt via een zogenoemde omvormer. Zonnepanelen kunnen op verschillende manieren aan omvormers worden gekoppeld. De eerste mogelijkheid is om de opgewekte elektriciteit van alle panelen te verzamelen en om te zetten naar AC met één centrale omvormer. Bij een 100 kWp systeem heeft zo'n centrale omvormer veel ruimte nodig. Voordelen zijn het onderhoudsgemak en de relatief lage kosten. Om elektrische verliezen in de bekabeling zoveel mogelijk te beperken is het gewenst om de zonnepanelen zodanig te verbinden dat een hoog systeemvoltage (ongeveer 400 Volt) wordt bereikt. Om dezelfde

reden dienen de omvormers zo dicht mogelijk bij de zonnepanelen te worden opgesteld.

Dit type wordt momenteel echter nauwelijks meer toegepast.

Uiteraard zijn er tal van tussenvormen mogelijk, waarbij een bepaalde delen van de PV installatie op verschillende omvormers worden geplaatst. Dit is met name zinvol indien specifieke delen van de installatie een verschillende oriëntatie of hellingshoek hebben, of van afwijkend materiaal zijn.

- **Voorkomen van beschaduwing**

Een belangrijk aspect waarmee rekening gehouden moet worden bij het ontwerpen van een zonnestroomsysteem, is het effect van beschaduwing. Gedeeltelijke beschaduwing van een module kan leiden tot een meer dan evenredig verminderde opbrengst. De oorzaak hiervan is dat een zonnecel die beschaduwd wordt minder stroom kan geleiden.

In het algemeen kan worden gesteld dat bij belemmeringshoeken kleiner dan  $17^\circ$  het instralingsverlies van direct licht verwaarloosd kan worden. Een lage plaatsing van PV-panelen is niet aan te bevelen in verband met gevaar voor diefstal en vandalisme.

Een ander aspect waarmee rekening gehouden moet worden is de blokkering van diffuus licht.

- **Bouwkundige voorzieningen**

Extra voorzieningen die zijn vereist door plaatsing van een zonnestroomsysteem zijn voorzieningen die betrekking hebben op omvormers en bekabeling:

- **Omvormerruimtes:** Zowel voor centraal als decentraal geplaatste omvormers moet ruimte worden gepland. Belangrijk is dat deze ruimte op natuurlijke wijze kan worden geventileerd, omdat veel omvormers minder presteren als de omvormertemperatuur te hoog wordt. Er zijn voor de plaatsing van de omvormers in principe drie oplossingen: plaatsing in de woning, in een centrale omvormerruimte, en in een decentrale omvormerruimte.
- **Bekabeling:** De bekabeling van alle PV-array's worden verzameld en loopt vanaf de daken rechtstreeks naar de omvormerruimte. Als de omvormerruimte zich in de woning bevindt, dan zijn er geen grondkabels of tussenschakelkasten nodig. Deze optie is met name zinvol voor rijtjes woningen, waarbij de omvormerruimte aan de kop of in het midden van de rij kan worden ondergebracht. Door het gebruik van decentrale omvormers kunnen kabelverliezen beperkt worden.

- **De kabels**

Het is belangrijk de kabellengte zo kort mogelijk te houden. Elke meter kabel introduceert extra kosten én extra verliezen. Bovendien is het belangrijk dat alle strings die op een decentrale

omvormer worden aangesloten, of alle arrays die op een centrale omvormer worden aangesloten, zoveel mogelijk dezelfde kabellengte hebben.

De PV modules moeten zo eenvoudig mogelijk kunnen worden bekabeld. Het is gebruikelijk dat daartoe gebruik wordt gemaakt van connectoren (stekkers). Deze worden eerst aan de kabels aangebracht. Vervolgens wordt de gehele bekabeling, vanaf de omvormerruimte tot op het dak, neergelegd. Daarna kunnen dan de modules één voor één aan de bekabeling aangesloten worden. Dit moet redelijk zorgvuldig gebeuren, aangezien de zonnepanelen direct stroom leveren als ze worden ingeplugd.

In de omvormerruimte is de bekabeling al in een gesloten kast afgemonteerd vóórdat de modules aangesloten worden. Verder moeten strikte veiligheidsvoorwaarden in acht genomen worden.

- **Aansluitvoorwaarden**

Indien een particulier een PV systeem aan het elektriciteitsnet wil koppelen, moet deze voldoen aan de aansluitvoorwaarden voor zelfopwekkers op laagspanningsniveau. Dit zijn richtlijnen die door EnergieNed zijn opgesteld. Het energiebedrijf kan aanvullende eisen stellen.

De aansluitvoorwaarden betreffen met name voorwaarden omtrent de veiligstelling van de bedrijfsvoering door het energiebedrijf, zowel onder normale als niet-normale bedrijfscondities.

Aansluitvoorwaarden stellen eisen ten aanzien van het gedrag van de PV installatie onder zowel normale als niet-normale bedrijfscondities. Normale bedrijfscondities betreffen met name de kwaliteit van de geleverde PV-stroom (spanningsniveau, harmonischen, blindvermogen) en de beveiliging van het net tegen verstoringen vanuit het PV-systeem (bijvoorbeeld blikseminslag). Niet-normale bedrijfscondities betreffende met name de reactie van het PV-systeem op netuitval.

In het algemeen voldoen de huidige PV-installaties aan de gestelde eisen. Het is derhalve meestal afdoende om de PV-leverancier voor te schrijven dat de te leveren installatie voldoet aan de aansluitvoorwaarden.

- **Veiligheidsvoorzieningen**

Een PV systeem is een stroombron die gevoed wordt door de zon. Deze 'voeding' is bij het optreden van storingen niet uit te schakelen. Als dus bijvoorbeeld de omvormer uitvalt, dan blijven de zonnepanelen onder spanning staan.

Storingen in de installatie mogen in geen geval tot onveilige situaties leiden. Daartoe moeten er in het ontwerp van de installatie een aantal voorzieningen opgenomen zijn. Op dit moment zijn er internationale richtlijnen in voorbereiding die deze voorzieningen beschrijven. Onderzoeken hiervoor worden onder andere bij KEMA uitgevoerd. Totdat deze IEC-normen van kracht zijn wordt in het algemeen gebruik gemaakt van een uitgebreid programma van eisen.

