

mbo

# NEN 1010

## *PV-panelen*

**kenteq**

# Inhoudsopgave

---

<b>1</b>	<b>NEN 1010:2020 PV-panelen</b>	<b>5</b>
1.1	Zonne-energie	6
1.2	PV-panelen	9
1.3	PV-omvormer	22
1.4	Leidingen	29
1.5	Aansluiten in de schakel- en verdeelinrichting	49
1.6	Montagesystemen	61
1.7	Hulpmiddelen	64
1.8	Inspecteren en opleveren PV-systeem	72
1.9	Veilig werken aan PV-installaties op daken	73
1.10	Samenvatting	76
1.11	Antwoorden	78
1.12	Vragen NEN 1010:2020 PV-panelen	85



# INZEBE

# 1 NEN 1010:2020 PV-panelen

## Inleiding

Zonne-energie is een duurzame manier om elektriciteit op te wekken. In deze lesstof leer je hoe in PV-panelen (zonnepanelen) zonlicht wordt omgezet in elektriciteit, en hoe je PV-installaties monteert. Daarnaast leer je hoe je veilig werkt aan deze installaties, en welke normen van toepassing zijn tijdens de werkzaamheden. Een veilige PV-installatie moet voldoen aan NEN 1010.712.



PV-panelen

## Leerdoelen

### Je kunt:

- uitleggen wat zonne-energie is
- de opbouw van een PV-cel en een PV-paneel beschrijven
- uitleggen hoe in een PV-paneel zonne-energie wordt omgezet in elektrische energie
- de opbouw en werking van een PV-paneel benoemen en uitleggen wat de technische specificaties op het etiket betekenen
- de functie en de werking van een PV-omvormer beschrijven en een passend type bepalen op basis van de technische specificaties
- de juiste overstroom-beveiligingscomponenten in de meterkast bepalen
- beoordelen of, en zo ja welk type aardlekschakelaar nodig is
- de benodigde gereedschappen en meetapparatuur benoemen en de toepassing ervan uitleggen
- beschrijven hoe je op een veilige manier aan een PV-installatie werkt
- uitleggen hoe een inspecteur de installatie inspecteert en oplevert.



## 1.1 Zonne-energie

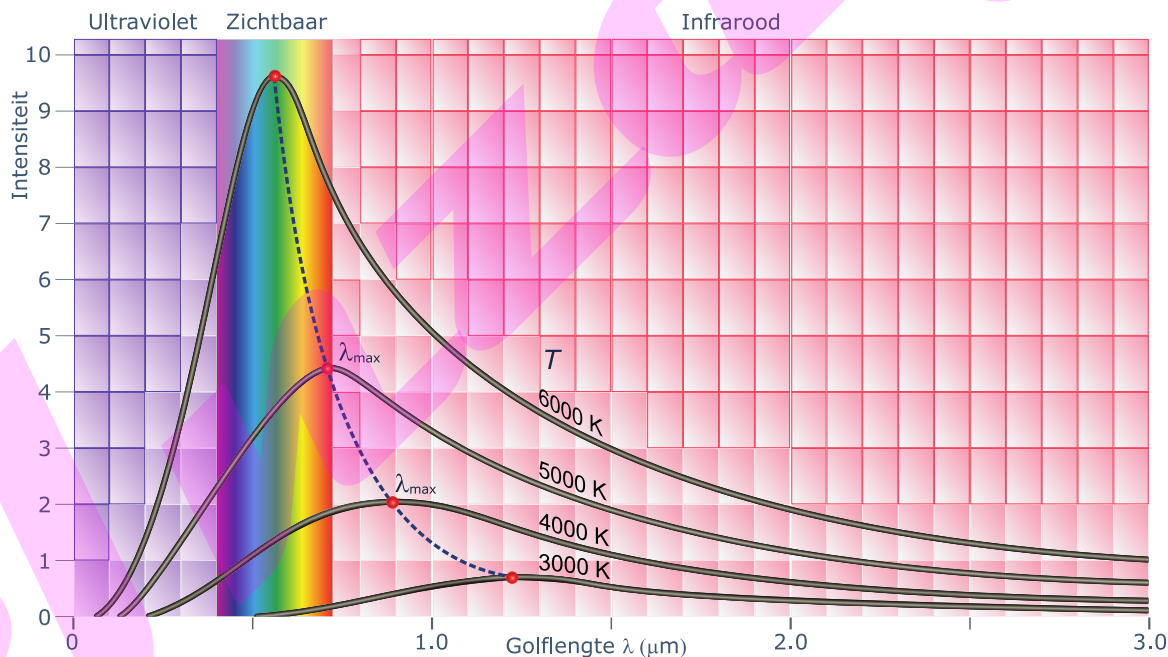
De zon is een ster die zich op 150 miljoen kilometer afstand van de aarde bevindt. Door kernfusie levert de zon energie. Deze energie wordt door de zon in alle richtingen uitgestraald, dus ook naar de aarde. Deze energie noemen we zonne-energie. Zonne-energie kunnen we zien en voelen. Denk aan de warmte op je lichaam en aan het licht dat je overdag kunt zien. Die energie bereikt ons als licht- en als warmtestraling.



Zonlicht bereikt de aarde

### Stralingsenergie

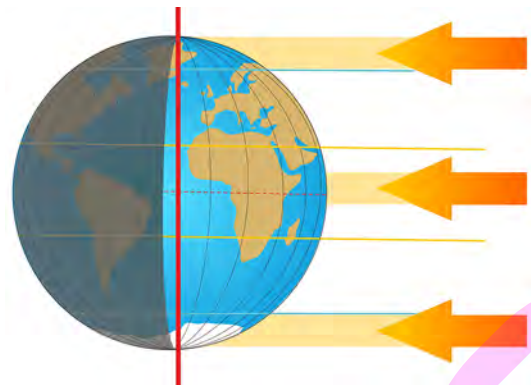
De uitgezonden straling bestaat uit elektromagnetische velden van verschillende frequenties. Dat wordt het 'spectrum' genoemd. Dit spectrum bestaat uit zichtbaar en niet-zichtbaar licht. Het niet-zichtbare deel van de straling is infraroodstraling (IR, ook wel warmtestraling genoemd), en ultraviolette straling (UV). Straling van alle verschillende frequenties bestaat uit energiedragende deeltjes: fotonen. Als fotonen met voldoende energie op een zonnepaneel komen, dan wordt daarbij elektriciteit opgewekt. Dit is het fotovoltaïsch effect. In het Engels heet dit *photovoltaic*, daar komt de afkorting 'PV' vandaan.



Stralingsintensiteit van de zon

### **Stralingsintensiteit op de evenaar**

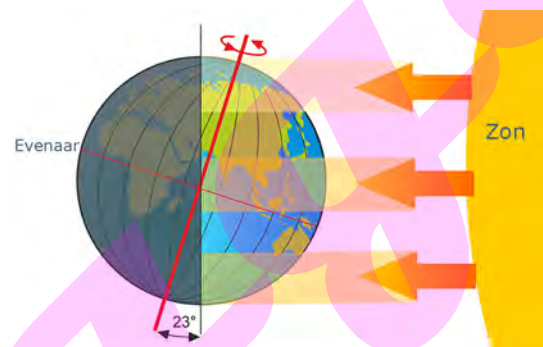
Rond de evenaar is de stralingsintensiteit op het midden van de dag het hoogst. De zonnestralen schijnen daar immers recht boven op de aarde, dus vallen er per vierkante meter de meeste fotonen op een horizontaal geplaatst PV-paneel.



*Stralingsintensiteit op de evenaar*

### **Stralingsintensiteit in het noorden**

Meer naar het noorden op de aardbol, zoals in Nederland, is de stralingsintensiteit lager. Door panelen in een optimale hoek naar de zon te richten kan het beste resultaat worden bereikt. De hoek tussen de aarde en de zon verandert per seizoen. In de zomer staat hij hoog in de lucht, in de winter laag.



*Stralingsintensiteit 's zomers in het noorden*

### **Optimale positie op een plat dak**

De optimale positie verandert gedurende het jaar én gedurende de dag. Als PV-panelen vast worden gemonteerd op een dak, kan de meeste straling worden opgevangen als ze op het zuiden gericht staan, onder een hoek van 34°.



*Optimale positie op een plat dak*

?

1. Hoe heten de met energie geladen deeltjes die de zon op de aarde straalt?

---

?

2. Welke soorten straling vormen het spectrum?

---

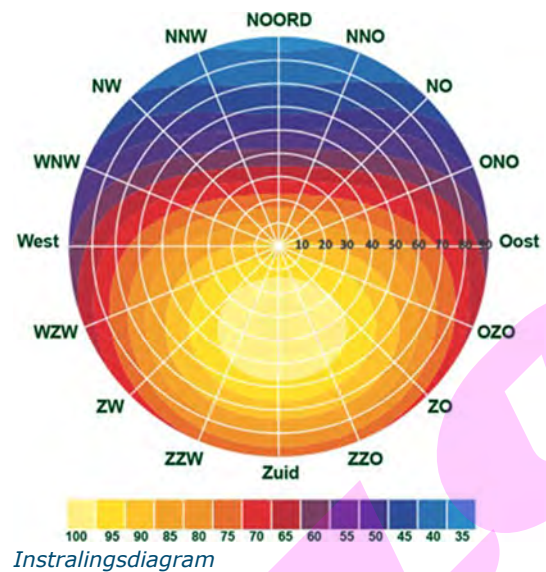


---



### Instralingsdiagram

Niet elk dak staat precies gericht op het zuiden, en niet elk dak heeft een helling van 34° beschikbaar. Met een zogenaamd instralingsdiagram kun je zien wat er gebeurt als PV-panelen onder een andere hoek en oriëntatie geplaatst worden. Zo kun je aflezen dat een paneel gericht naar het oosten en geplaatst onder een hoek van 30° nog steeds een efficiëntie heeft van circa 85 %. De stralingskracht wordt uitgedrukt in watt per vierkante meter ( $W/m^2$ ).



? 3. Wat betekent de afkorting PV?

---

---

? 4. Wat is de ideale hoek en oriëntatie voor de plaatsing van een PV-paneel om een optimaal rendement te behalen in Nederland?

---

---

? 5. Bekijk het instralingsdiagram. Wat is het rendement als een paneel is gericht op het westen onder een hoek van 30°?

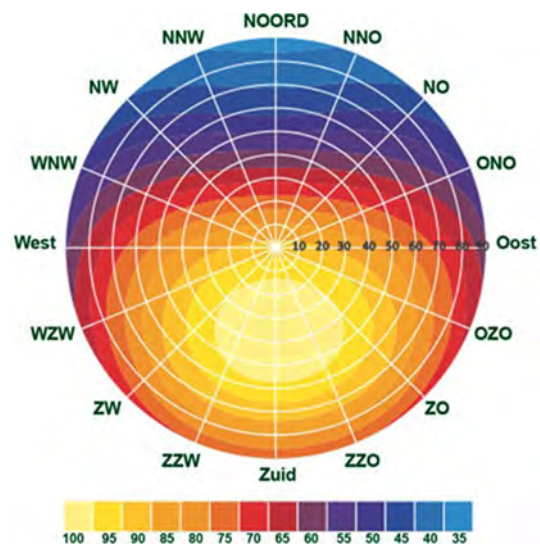
---

---

---

---

---



## 1.2 PV-panelen

PV-panelen zijn platte platen die op het dak worden gemonteerd. Zij zetten zonnestraling om naar elektrische energie. Een PV-paneel is opgebouwd uit een reeks PV-cellen. Elke cel kun je als een afzonderlijke spanningsbron beschouwen.



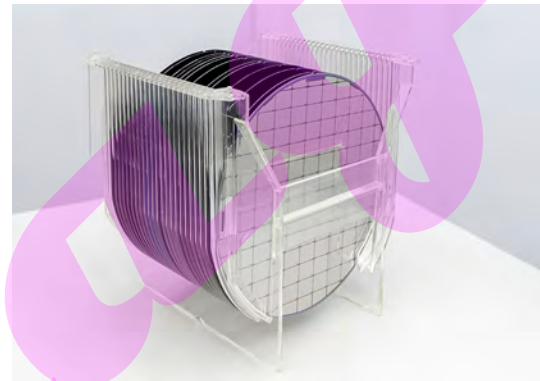
*PV-paneel*

### De werking van een PV-cel

Een PV-cel is gemaakt van een heel dun plaatje silicium. De afmeting is circa  $10 \times 10$  cm. Silicium wordt gemaakt van zand. Zand is siliciumoxide.



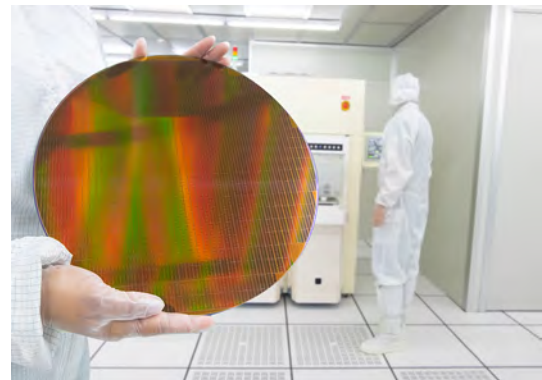
*Van siliciumblokken tot zuivere silicium-wafers*



Om silicium te maken uit siliciumoxyde wordt met een chemisch proces de zuurstof eruit gehaald, waardoor zuivere silicium overblijft. Silicium is van nature een isolator. Siliciumstaven worden doorgezaagd tot hele dunne ronde schijven, zogenaamde *wafers*. Wafers vormen de basis voor de productie van PV-cellen. Ze zijn slechts 0,18 mm dun, en dus uiterst kwetsbaar.

### Borium en fosfor

In de productieomgeving van PV-cellen wordt op elke zijde van de wafer een chemische stof aangebracht. Zo krijgt het silicium speciale eigenschappen. Op één zijde ontstaat er, nadat er borium-atomen op zijn aangebracht, zogenaamd 'p-silicium'. Op de andere zijde van de wafer worden fosfor-atomen aangebracht, en ontstaat zogenaamd 'n-silicium'.



*Wafer in een stofvrije omgeving*





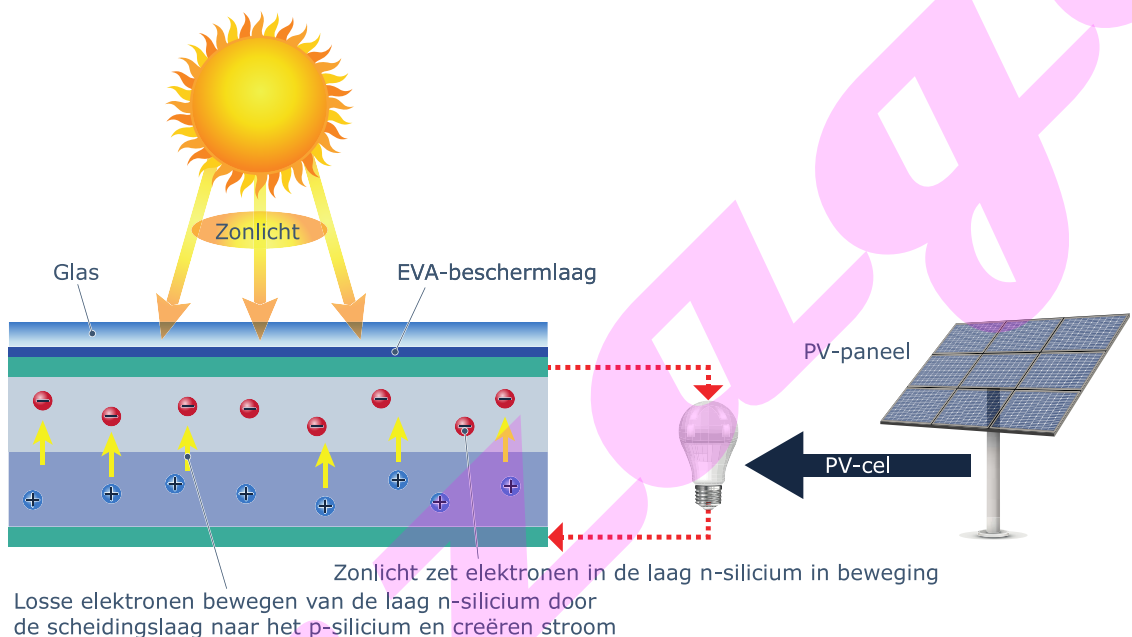
Een wafer is zodoende opgebouwd uit drie lagen:

1. n-silicium: silicium met fosfor-atomen
2. zuiver silicium in het midden, dat een neutrale scheidingslaag vormt
3. p-silicium: silicium met borium-atomen.

N-silicium bevat een overschot aan elektronen, p-silicium een gebrek aan elektronen.

### Zonnestralen (fotonen)

Komen zonnestralen (fotonen) op het n-silicium, dan worden hierin elektronen losgemaakt van hun atoom. Deze losse elektronen gaan dan door de dunne scheidingslaag naar het p-silicium. Het p-silicium heeft namelijk een gebrek aan elektronen, en ontvangt deze elektronen graag. Het p-silicium zorgt ervoor dat de elektronen beter kunnen stromen. Hoe meer fotonen erop schijnen, des te meer elektronen komen er los uit het silicium en gaan door de cel. Hoe meer fotonen, hoe meer stroom een PV-cel levert.



### Werking PV-cel

? 6. Van welk basismateriaal worden PV-cellen gemaakt?

---

---

? 7. Uit welke drie lagen bestaat een PV-cel?

1. 

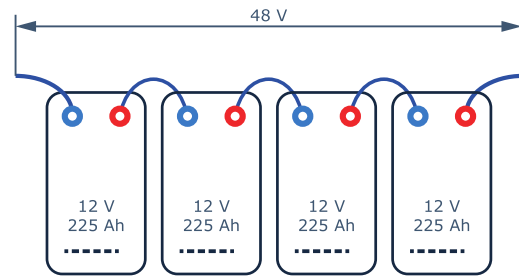
---
2. 

---
3. 

---

## Spanning

Een enkele PV-cel wekt zo gauw de zon ook maar een beetje schijnt ongeveer een gelijkspanning op van 0,6 V. Door meerdere PV-cellen in serie met elkaar te verbinden, kan een bruikbare spanning worden opgewekt. Dit is te vergelijken met batterijen. Vier batterijen van 12 V in serie leveren een totaalspanning op van 48 V.



Batterijen in serie

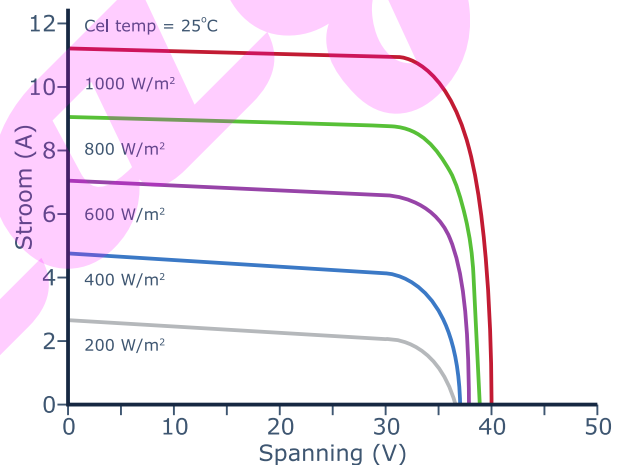
## PV-cellen in serie

Een PV-paneel is een schakeling van meestal 60 of 72 cellen in serie. Dit gebeurt door steeds de achterzijde van elke cel te verbinden met de voorzijde van de volgende cel. In een paneel waarbij 60 cellen in serie zijn geschakeld, is de uitgangsspanning dus ongeveer  $60 \times 0,6 \text{ V}_{\text{DC}} = 36 \text{ V}_{\text{DC}}$ .



## Stroom

Hoe intenser de zonnestraling in  $\text{W}/\text{m}^2$ , hoe groter het aantal fotonen dat op een PV-paneel straalt, en dus hoe meer elektronen er kunnen gaan lopen als het paneel wordt aangesloten. En des te meer stroom het paneel kan opwekken. Uit de grafiek is af te lezen dat bij een temperatuur van  $25^\circ\text{C}$  de stroom evenredig toeneemt met de stralingsintensiteit – het aantal fotonen.



Instraling in relatie met opgewekte stroom

## Vermogen

Een PV-paneel heeft een bepaald vermogen ( $P$ ). Vermogen is de spanning ( $U$ )  $\times$  de stroom ( $I$ ). Als de zonnestraling toeneemt, dan stijgt de stroom evenredig. Het vermogen zal dan ook toenemen. Op een PV-paneel staat het maximaal vermogen vermeld bij een gestandariseerde lichtinstraling.

## STC

Om panelen met elkaar te kunnen vergelijken, worden ze door fabrikanten onder dezelfde condities beproefd. Dit gebeurt bij een temperatuur van  $25^\circ\text{C}$  met een lichtstraling van  $1000 \text{ W}/\text{m}^2$  van hetzelfde spectrum als de zonnestralen. Deze testafspraken is vastgelegd in NEN-EN-IEC 60904. Dit wordt aangeduid met de afkorting STC: *Standard Test Conditions* (standaard testcondities). Zo kunnen technische specificaties van PV-panelen objectief met elkaar worden vergeleken.

➤ **Opmerking**

In Nederland is de lichtstraling op een heldere zonnige dag lager dan de 1000 W/m<sup>2</sup> van de STC. Een paneel zal in Nederland dan ook altijd minder stroom opwekken dan de waarde die op een paneel staat vermeld. Het heeft daardoor in de praktijk altijd een kleiner vermogen dan de waarde die bij de technische specificaties op het label achterop een paneel staat.

? 8. Wat is ongeveer de waarde van de spanning die één PV-cel opwekt als de zon erop schijnt?

---



---

? 9. Een onbelast PV-paneel heeft een uitgangsspanning van 43,2 V. Uit hoeveel PV-cellen is dit paneel opgebouwd?

---



---

? 10. Hoe worden de PV-cellen met elkaar doorverbonden in een gangbaar paneel?

---



---

? 11. Wat betekent de afkorting STC op een paneel?

---



---

**Informatie op label of typeplaatje**

Elk PV-paneel is voorzien van een typeplaatje (label). Op dit label vind je informatie over het type PV-paneel en de fabrikant, maar ook over de belangrijkste technische specificaties. De gegevens over de technische specificaties zijn gebaseerd op standaard testcondities. De belangrijkste aanduidingen op het typeplaatje zijn de volgende:



Voorbeeld typeplaatje PV-paneel

### ***P<sub>max</sub>***

Het maximale vermogen dat het PV-paneel kan leveren (spanning × stroom als het paneel optimaal in werking is).

### ***V<sub>oc</sub>***

Als een PV-paneel niet wordt aangesloten, dan loopt er geen stroom. Wel staat er dan de maximale spanning tussen de plus- en min-uitgangsklemmen: 38,7 V. Deze spanning wordt de open spanning genoemd. In het Engels *Voltage Open Circuit* ( $V_{OC}$ ).

### ***V<sub>mp</sub>***

Naarmate een PV-paneel meer stroom levert, zal de spanning iets dalen. In dit geval 7,04  $V_{DC}$ . Dit komt door de inwendige weerstand  $R_i$  van de cellen en de stroom die er doorheen gaat. Dit zorgt voor een inwendige spanningsverlies  $U_{R_i}$ . ( $U_{R_i} = I \times R_i$ ). Bij een optimale belasting als het paneel het grootste vermogen levert, zal de uitgangsspanning circa 31,13 V bedragen. Deze spanning wordt de *Maximum Power Voltage* ( $V_{mp}$ ) genoemd.

### ***I<sub>sc</sub>***

Als de plus- en min-aansluiting van een paneel per ongeluk met elkaar worden verbonden, dan is er sprake van een kortsluiting. De spanning tussen de plus- en min-aansluiting is dan nihil, maar de (kortsluit)stroom bereikt dan zijn maximale waarde. De kortsluitstroom, in het Engels de *Shortcut Current* ( $I_{sc}$ ), bedraagt dan 9,18 A.

### ***I<sub>mp</sub>***

Als het paneel optimaal wordt belast, geeft deze het maximale vermogen (*Maximum Power*,  $I_{mp}$ ). Dan bedraagt de waarde van de stroom 8,67 A.

### ***CE-markering***

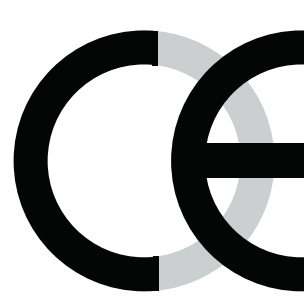
Alleen PV-panelen, omvormers en andere elektrische toestellen die voldoen aan de Europese Richtlijnen mogen binnen Europa worden verhandeld. Materiaal dat hieraan voldoet is herkenbaar aan de CE-markering (Conformité Européenne).



*Symbol Conformité Européenne*

#### **➤ Let op!**

Er zijn ook elektrotechnische producten met daarop het 'China Export'-symbool dat sterk lijkt op de CE-markering.



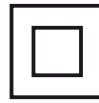
*Symbol China Export*



### Dubbel geïsoleerd

Het metalen frame van een PV-paneel is dubbel geïsoleerd van de actieve delen in het paneel waarop spanning staat.

Dit wordt aangegeven met het symbool bestaande uit twee vierkanten:



Symbool dubbel geïsoleerd

- ? 12. Wat betekenen deze twee afbeeldingen op een paneel?

---

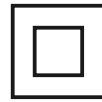
---

---

---



Afbeelding 1



Afbeelding 2

- ? 13. Bereken en controleer met de gegevens van het typeplaatje.

Klopt de formule

$$P_{\max} = V_{\text{mp}} \times I_{\text{mp}}?$$

JA SOLAR 晶澳®	
TYPE	JAP60S01-270/SC
Peak power ( $P_{\max}$ )	270 W
Open circuit voltage ( $V_{\text{oc}}$ )	38.17 V
Max.power voltage ( $V_{\text{mp}}$ )	31.13 V
Short circuit current ( $I_{\text{sc}}$ )	9.18 A
Max.power current ( $I_{\text{mp}}$ )	8.67 A
Power Selection	0~+5 W

---

---

---

- ? 14. Waardoor ontstaat het verschil in spanning tussen  $V_{\text{OC}}$  en  $V_{\text{mp}}$ ?

---

---

---

## Productie en opbouw van zonnepanelen

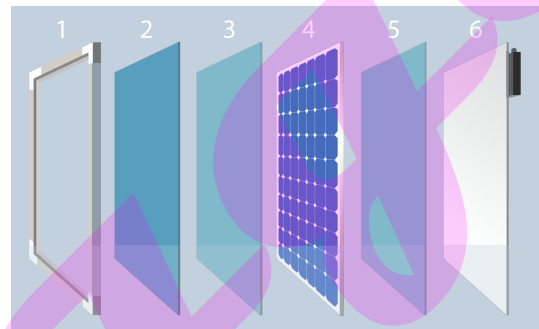
Wafers zijn heel gevoelige platen. In een productieomgeving waar wafers tot PV-panelen worden gemaakt, mogen daarom geen (stof)deeltjes en vocht aanwezig zijn, en moet er in alle fasen van het productieproces uiterst voorzichtig worden gewerkt.



Productieomgeving PV-cellen

Om de wafers ook als ze eenmaal op een dak liggen te beschermen tegen stof, vocht en krachten, worden de PV-cellen gemonteerd in een behuizing.

1. Aluminium frame
2. Glas
3. EVA-beschermlaag
4. PV-cellen
5. EVA-beschermlaag
6. Tedlar achterzijde



Opbouw PV-paneel

### 1. Aluminium frame

Het frame wordt gemaakt van aluminium profielen die in de vorm van een raam worden gemonteerd. Het frame zorgt ervoor dat het paneel niet kan doorbuigen en beschermt de randen van de glasplaat en de onderliggende EVA-beschermlaag. Met het frame kan het paneel worden vastgezet aan het draagsysteem. Een standaardmaat voor panelen op een frame is:

$$L \times B \times D = 1 \text{ m} \times 1,65 \text{ m} \times 30 \text{ mm.}$$

### 2. Glas

Het glas maakt het paneel aan de bovenzijde waterdicht, sterk en stijf, en voorkomt elektrocutiegevaar. Vloeibare siliconen (of siliconentape) om het glas heen zorgen ervoor dat er geen water in het frame kan binnendringen.

### 3. EVA-beschermlaag

EVA-folie (ethyleenvinylacetaat) is een beschermende, lichtdoorlatende folie die de PV-cellen afdekt. Het folie biedt bescherming tegen veroudering, water en warmte.

### 4. PV-cellen

De PV-cellen zijn in een paneel verbonden tot een schakeling.

### 5. EVA-beschermlaag

### 6. Tedlar achterzijde

De kunststof plaat aan de achterzijde van het PV-paneel is gemaakt van Tedlar, de naam voor polyvinylfluoride. Het biedt mechanische bescherming aan de achterzijde van de PV-cellen, beschermt tegen weersinvloeden en zorgt voor elektrische isolatie.

? 15. Beschrijf minimaal twee functies van het aluminium frame van een PV-paneel.

---



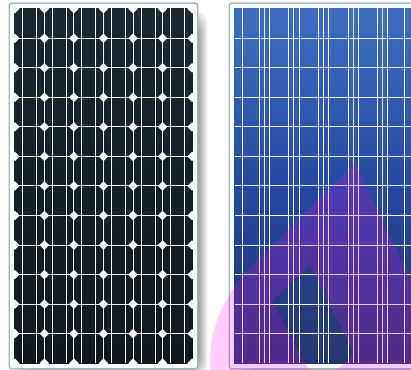
---



---

### Poly- en monokristallijne panelen

Er zijn twee gangbare typen PV-panelen: monokristallijne en polykristallijne panelen. In de tabel staan de eigenschappen van beide soorten.



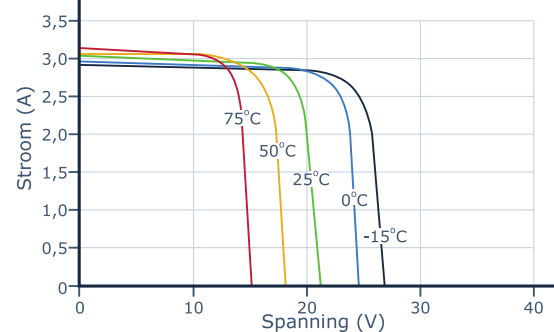
Mono- en polykristallijn

Type	Rendement	W/m <sup>2</sup> max.	Eigenschappen
Monokristallijn	17-19 %	175	<ul style="list-style-type: none"> <li>Iets hoger rendement</li> <li>Zwarte kleur</li> </ul>
Polykristallijn	14-16 %	190	<ul style="list-style-type: none"> <li>Betere prijs-kwaliteit</li> <li>Presteert slechter bij hogere temperaturen</li> <li>Blauwe kleur</li> </ul>

Typen PV-panelen

### Spanning en stroom bij verschillende temperaturen

Een nadeel van beide panelen is de afhankelijkheid van de temperatuur. Stijgt de temperatuur in de cel, dan daalt de spanning die elke cel produceert en daarmee ook de uitgangsspanning van een PV-paneel. Op een koude heldere dag is de efficiëntie van een paneel daarom beter dan op een hete zomerdag. Helaas is de lichtintensiteit, door de hoek waarop de zon aan de hemel staat, in de winter ongunstiger dan in de zomer.

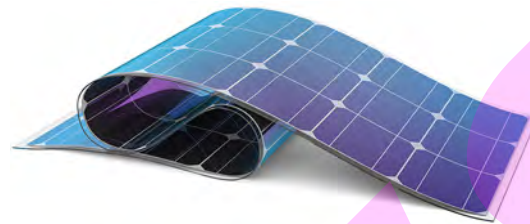


Spanning en stroom bij verschillende temperaturen

Tegenwoordig zijn de productieprocessen voor beide typen zo goed dat de eigenschappen nagenoeg overeenkomen. Er zijn ook andere soorten panelen verkrijgbaar, zoals flexibele panelen en glas-glas-panelen. Deze kunnen bijvoorbeeld worden toegepast als raam in een gevel of een afdak.



*Glas-glas-panelen*



*Flexibel paneel*

? 16. Hoe herken je mono- en polykristallijne PV-panelen qua uiterlijk?

---

---

? 17. Beschrijf behalve de kleur twee verschillen tussen een mono- en een polykristallijn PV-paneel.

---

---

---

? 18. Wat gebeurt er met het rendement van een PV-paneel als de temperatuur stijgt?

---

---



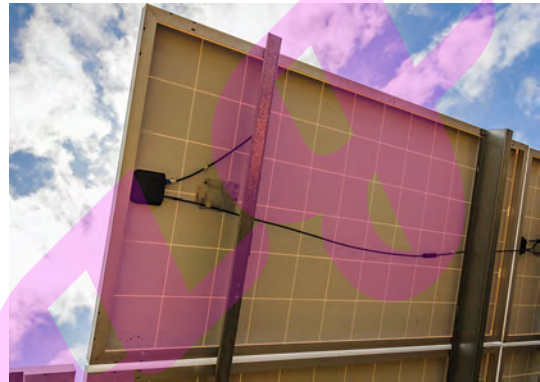
## Schakeling en aansluiting PV-paneel

In een PV-paneel zijn de PV-cellen in serie aangesloten. Elke cel levert, als de zon erop schijnt, ongeveer een spanning van 0,6 V. Bij 60 PV-cellen  $\times$  0,6 V<sub>DC</sub> is de totale spanning op de aansluitklemmen van een PV-paneel 36 V<sub>DC</sub>.

Als er op één afzonderlijke cel in de serieschakeling geen licht valt, dan vallen er geen fotonen op deze cel. Dit kan voorkomen als er schaduw, bladeren of vogelpoep op valt. Deze cel wekt dan geen spanning op en laat geen stroom lopen. Erger nog, het silicium van de cel gaat werken als een hoge weerstand. Deze weerstand vormt een barrière voor de stroom die de andere cellen wél opwekken. Dit kun je vergelijken met het afsluiten van een autobaan. Het beetje stroom dat er kan gaan lopen zorgt ervoor dat de bedekte cel heet wordt. Om deze reden bevat het PV-paneel een *junction box* (Engels voor 'lasdoos'). Die bevat componenten die voorkomen dat cellen oververhit raken.

### Junction box

Op de achterzijde van een PV-paneel is standaard een junction box, een aansluitkastje, gemonteerd. Hierin worden de verbindingen gemaakt tussen de PV-cellen in het paneel en de aansluitleidingen. In de junction box bevinden zich ook drie bypass-dioden. Om oververhitte cellen te voorkomen worden deze drie bypass-dioden in de junction box aangesloten in de schakeling.



*Junction box achterop een PV-paneel*

Een bedekte cel (of cellen) vormt een weerstand. Gebeurt dit, dan loopt de stroom nu door de bypass-diode: een parallelweg voor de stroom. De serieschakeling van de cellen met daarin de bedekte cel wordt dan buiten werking gesteld. Een PV-paneel bevat normaliter zes stroken met PV-cellen. Per twee stroken wordt een bypass-diode toegepast.

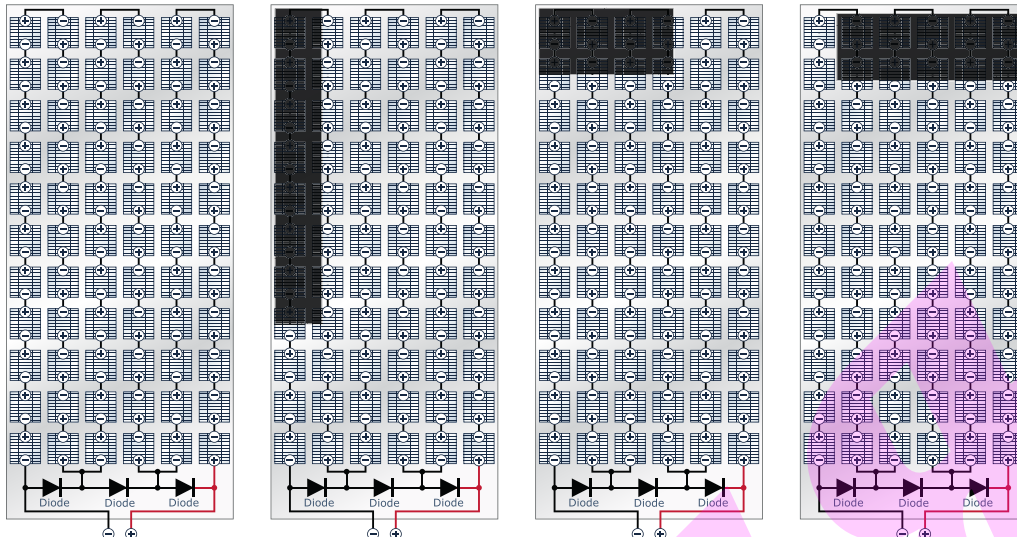
### Opmerking

Een diode is een elektrisch component met twee aansluitingen, anode (A) en kathode (K). Als de spanning op de anode circa 0,7 V of hoger is dan op de kathode, dan geleidt de diode stroom. Als de spanning op de kathode kleiner is of als de spanning op de kathode hoger is dan op de anode, dan geleidt de diode niet. Hij spert dan. Hij werkt zoals een fietsventiel voor lucht of een terugslagklep bij vloeistof.



### Schaduw

Schaduw op slechts één cel veroorzaakt direct een grote daling van het rendement van een PV-paneel. Wordt de volledige onderzijde van één rechtopstaand paneel bedekt, dan werkt het volledige paneel niet. Immers in alle drie de serieschakelingen bevindt zich dan een weerstand. Bij het aanleggen van PV-panele moet je met deze eigenschap rekening houden.



geen schaduw  
 $U = 36 \text{ V}$

1 rij beschaduwd  
 $U = 24 \text{ V}$

2 rijen beschaduwd  
 $U = 12 \text{ V}$

3 rijen beschaduwd  
 $U = \text{nihil}$

Ook al is dus slechts een heel klein gedeelte van een PV-paneel beschaduwd, toch gaat het rendement van het gehele paneel direct sterk achteruit. Het is daarom uitermate belangrijk om PV-panele zodanig te plaatsen dat er geen beschaduwing optreedt. Ook het schoonhouden van een paneel van bijvoorbeeld bladeren en vogelpoep is belangrijk.

#### ➤ Opmerking

Het beschaduwings-effect zou veel kleiner zijn als er meer bypass-dioden zouden worden toegepast, bijvoorbeeld over elke cel. Dit is om economische en praktische redenen alleen niet gebruikelijk.

### *Landscape of portrait*

PV-panelen zoals die op een dak worden geïnstalleerd, hebben een standaardmaat van  $1.65 \times 1$  meter. Ze kunnen zowel in *landscape* als in *portrait* worden geplaatst op een dak. Met *landscape* wordt bedoeld dat de lange zijde horizontaal ligt, met *portrait* ligt de lange zijde verticaal. De keuze hangt samen met de vorm van het dak, eventuele schaduw en hoeveel PV-panelen op een dak(zijde) moeten worden geplaatst. Meestal valt de keuze op *portrait* voor een schuin dak, en op *landscape* voor een plat dak.



*Landscape*



*Portrait*

?

19. Beantwoord de vragen:

a. Hoe heten de twee aansluitingen van een diode?

---

---

b. Beschrijf wanneer een diode geleidt en wanneer een diode spert.

---

---

?

20. Wat is de junction box op een PV-paneel?

---

---

---

?

21. Wat is de functie van de drie bypass-diodes in de junction box?

---

---

---

- ? 22. Wat is de uitgangsspanning van een PV-paneel met een  $U_{oc}$  van 33 V als in twee van de drie strengen één cel is beschaduwd?

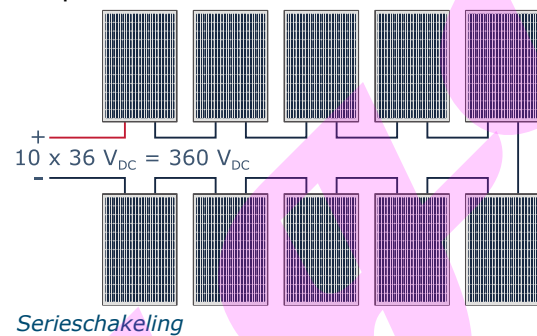
---

---

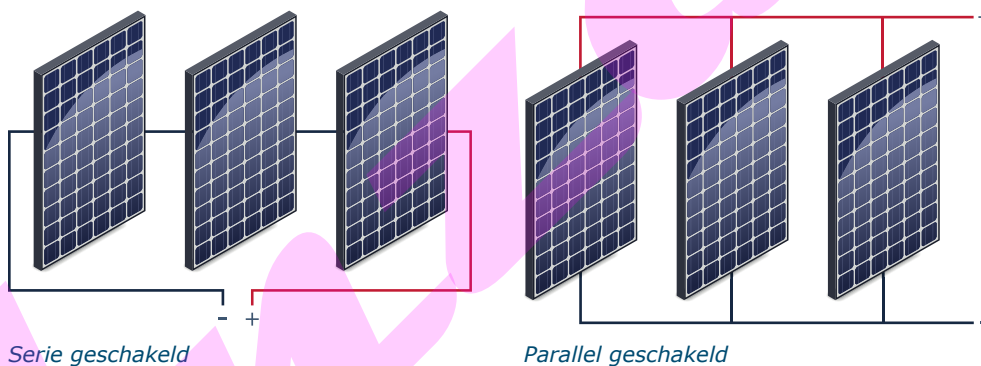
### Schakelingen met PV-panelen

Zonnepanelen leveren een gelijkspanning van ongeveer  $36 V_{DC}$ . Deze waarde is te laag voor de meeste praktische toepassingen. Om die reden worden ook PV-panelen in serie aangesloten, net zoals de PV-cellen in een paneel.

Zo zie je op het dak van een huis meestal een of meerdere rijen van PV-panelen. Door PV-panelen in serie aan te sluiten telt de spanning op. Een dergelijke serieschakeling van PV-panelen wordt in NEN 1010 een 'streng' genoemd, in het Engels een *string*. In een streng met tien PV-panelen telt de spanning op tot  $10 \times 36 V_{DC} = 360 V_{DC}$ .



Op een dak met veel PV-panelen worden niet alle panelen in serie geschakeld. Er wordt steeds een aantal panelen in serie aangesloten. Zo ontstaan er meerdere strengen, die onderling parallel geschakeld worden.



### PV array

Het onderling schakelen van strengen gebeurt vooral bij grotere systemen, denk aan zonneweiden en panelen op veestallen. Een schakeling met meerdere strengen noem je een *PV array*. Door meerdere strengen parallel met elkaar te verbinden telt de stroom op. Zo levert een array met drie strengen van 9 A een totaalstroom op van  $3 \times 9 A = 27 A$ .

- ? 23. Op een dak worden tien panelen aangesloten: twee rijen parallel van vijf panelen in serie. Voor elk paneel geldt:  $V_{mp} = 30 \text{ V}$ ,  $I_{mp} = 8 \text{ A}$ . Wat is de uitgangsspanning van deze schakeling, en de stroom die het levert bij ideale zonneshijn?

---

---

---

- ? 24. Wat is de naam van de schakeling als meerdere PV-panelen in serie worden aangesloten?

---

---

- ? 25. Wat is de naam van de schakeling van veel PV-panelen, waarbij zowel panelen in serie als parallel zijn geschakeld?

---

---

### 1.3 PV-omvormer

Omvormers zijn elektrische toestellen die:

- de gelijkspanning van een PV array omzetten naar wisselspanning
- de wisselspanning in waarde regelen zodat deze energie levert aan het net
- de wisselspanning synchroniseren (zorgen dat de frequentie van de wisselspanning die de omvormer maakt, gelijkloopt met die van het net waaraan de omvormer energie levert) met de aanwezige netspanning.

Een andere naam voor een PV-omvormer is *inverter*. Sommige omvormers zijn geschikt om buiten te monteren, anderen alleen voor binnen. Dit moet blijken uit de technische specificaties.

Materieel dat buiten wordt toegepast, moet een beschermingsgraad hebben van minimaal IP 44.



PV-omvormer



Symbol omvormer volgens NEN 5152