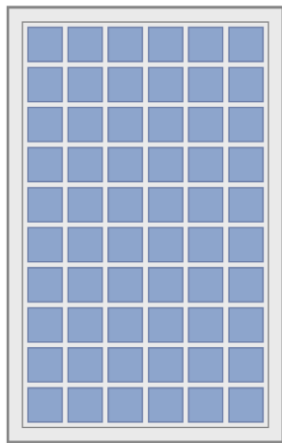


# Technische notitie: optimalisatie van PV-systemen met dunnefilm panelen

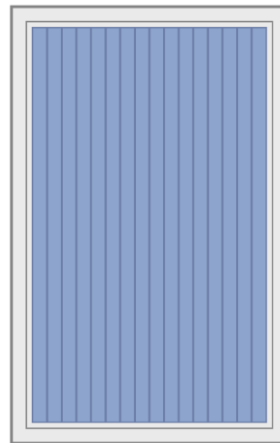
## Inleiding

Kristallijne en dunnefilm panelen verschillen in structuur: kristallijne panelen bestaan normaal gesproken uit afzonderlijke vierkante cellen (figuur 1) terwijl dunnefilm panelen meestal uit celstroken (figuur 2) bestaan die het typische krijtstreep-effect geven. Dit zorgt voor verschillen in paneelspanning en -stroom en ook in gedrag bij beschaduwing.

Het doel van dit document is om het gedrag van dunnefilm panelen in verschillende omstandigheden te beschrijven en het voordeel van power optimizers in beide gevallen.



Figuur 1: Typische structuur van een kristallijn paneel

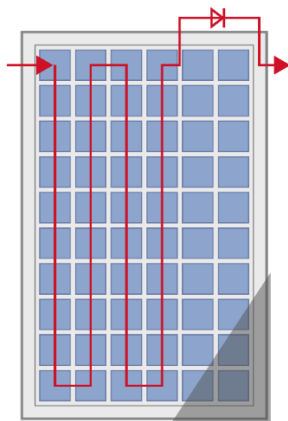


Figuur 2: Typische structuur van een dunnefilm paneel

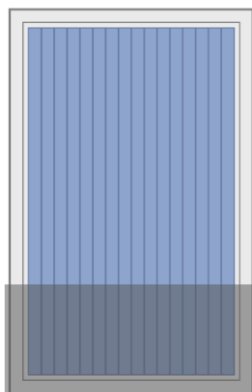
## Inachtnemingen m.b.t. beschaduwing

Veel dunnefilm panelen worden geacht minder gevoelig te zijn voor de gevolgen van beschaduwing omdat bypass diodes vaak on-nodig zijn vanwege het grote celoppervlak en de lage celstroom, in vergelijking met kristallijne panelen. Het zijn alleen de cellen getroffen door beschaduwing die niet bijdragen aan energieopwekking. Bij kristallijne panelen, daarentegen, valt de hele substring die door een bypass diode beschermd wordt uit wanneer een deel ervan beschaduwd is (figuur 3).

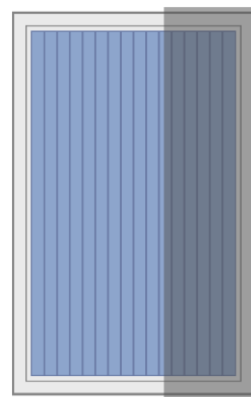
Daarnaast vermindert de krijtstreep celstructuur gewoonlijk het effect van beschaduwing. In geval van gelijkmatige beschaduwing, bijvoorbeeld rij op rij beschaduwing (figuur 6), is de beschaduwing over het paneel gelijkmatig verdeeld waardoor mismatch-verliezen minimaal zijn. Afhankelijk van de paneelopstelling neemt ofwel de stringstroom (figuur 4) ofwel de paneelspanning (figuur 5) af.



Figuur 3: Impact van een bypass diode

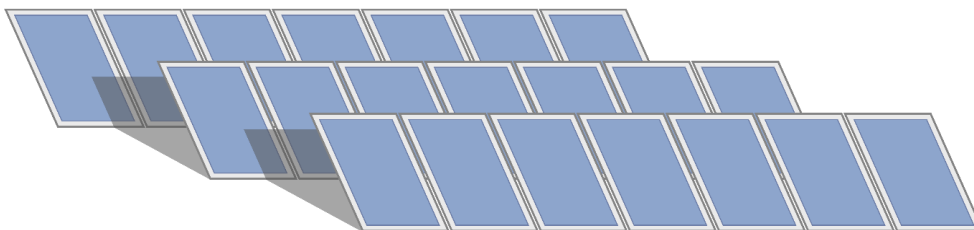


Figuur 4: Horizontale beschaduwing



Figuur 5: Verticale beschaduwing

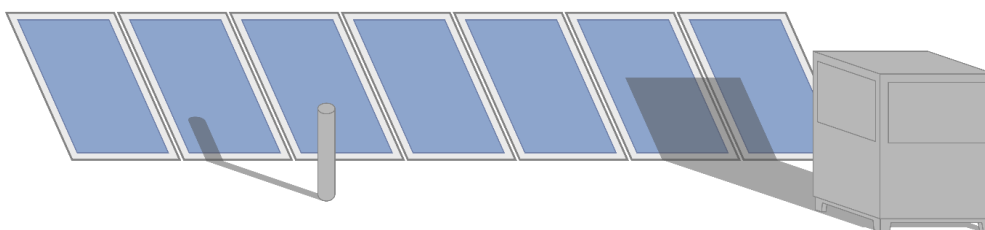
Wanneer alle panelen gelijk beschaduwd zijn, is het effect van horizontale beschaduwing op string-mismatch beperkt. In het geval van rij op rij beschaduwing echter, is de eerste rij panelen schaduwloos terwijl de andere rijen beschaduwd zijn. Er zullen dan ook mismatch-verliezen optreden in strings die zich uitstrekken over de eerste en tweede (of meer) rijen (figuur 6). Power optimizers voorkomen deze mismatch-verliezen.



**Figuur 6: Rij op rij beschaduwing**

Bij verticale beschaduwing die de celstroken volledig bedekt, treden er geen mismatch-verliezen op aangezien de stroom in de string constant blijft. Dit is zelfs het geval wanneer de string zowel schaduwloze als beschaduwde panelen bevat. In dat geval, echter, kan het gebrek aan spanning in de beschaduwde celstroken leiden tot spanningsmismatch tussen parallelle strings en daardoor tot verliezen. In sommige gevallen kan de spanning onder de minimum MPP spanning vallen. Dat betekent dat als het MPP spanningsbereik van de omvormer bijvoorbeeld 570-800V is en de schaduwloze MPP spanning 700V is, de spanning onder de minimum MPP spanning valt wanneer slechts 20% van de cellen beschaduwde zijn ( $80\% \times 700V = 560V$ ). Als dit gebeurt, ontstaan er verliezen aangezien de string niet meer op het optimale werkpunt draait. In het slechtste geval zou de omvormer uitgeschakeld kunnen worden. In zulke gevallen houden power optimizers met een vaste DC stringspanning de spanning op het optimale werkpunt van de omvormer en voorkomen de bijbehorende verliezen. De afzonderlijke panelen in de string blijven op het optimale werkpunt functioneren.

Mismatch-verliezen komen ook voor in dunnefilm systemen bij ongelijke beschaduwing (bijvoorbeeld commerciële dakgemonteerde systemen zoals in figuur 7). Ook al zijn deze verliezen lager dan in systemen met kristallijne panelen, aangezien de bypass diode schaduwloze cellen niet passeert, ze zijn toch aanzienlijk. Afhankelijk van de mate van deze ongelijke beschaduwing en van bijkomende gelijkmatige beschaduwing veroorzaakt door rij op rij beschaduwing, kunnen de mismatch-verliezen veel groter zijn dan werd verwacht voor "schaduw-resistente" dunnefilm systemen.



**Figuur 7: Ongelijke beschaduwing**

Dit betekent dat ontwerpers van PV-systemen bij alle beschaduwingsscenario's rekening moeten houden met mismatch-verliezen. Ook al is het effect op dunnefilm systemen kleiner dan op systemen met kristallijne panelen, het mag niet genegeerd worden. Power optimizers voorkomen deze mismatch-verliezen en bieden ontwerpers grotere flexibiliteit.

## Paneeltoleranties

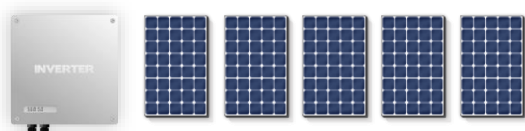
Dunnefilm panelen hebben vaak hogere stroom- en spanningstoleranties. Dit kan tot grotere mismatch-verliezen leiden binnen een string. De lagere vulfactor neutraliseert dit nadeel meestal, hetgeen het effect van afwijkingen van het MPP vermindert. Het mismatch-verlies hangt in het algemeen af van de mate waarin het afzonderlijke paneel feitelijk afwijkt binnen de toegestane bandbreedte. Hoe groter de afwijking van het afzonderlijke paneel, hoe groter het energieverdeel dat ontstaat met het gebruik van power optimizers.

De monitoring functies die power optimizers bieden, onthullen de werkelijke afwijkingen van afzonderlijke panelen. Deze verschillen worden in traditionele systemen meestal niet gedetecteerd.

## Aansluiting in een string

Het grote aantal afzonderlijke cellen, de lagere cel- en paneelstroom en hogere paneelspanning zijn typerend voor dunnefilm panelen. Dat betekent dat er relatief weinig panelen in serie geschakeld kunnen worden. Sommige dunnefilm panelen hebben tijdens hun inbedrijfstelling een hogere spanning waardoor de mogelijke stringlengte verder beperkt wordt. Power optimizers verlagen de uitgangsspanning en verhogen de uitgangsstroom waardoor er veel meer panelen in serie geschakeld kunnen worden. Met 1-fase SolarEdge omvormers kan er tot 5.250 Wp in serie geschakeld worden en tot 11.250 Wp met 3-fase SolarEdge omvormers. Dit vermindert de complexiteit van aansluiting en bedrading en verlaagt bijgevolg de kosten van installatie aanzienlijk (figuur 8).

Traditionele 1-fase stringomvormer => 4-7 x 170W dunnefilm panelen



SolarEdge 1-fase omvormer => tot 30 x 170W dunnefilm panelen



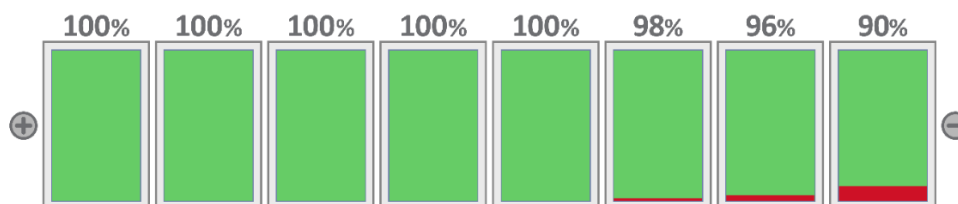
**Figuur 8: Voorbeeld van stringlengtevergelijking van een stringomvormer vs. SolarEdge omvormer**

Door de typisch hoge paneelspanningen, die 100V kunnen overschrijden, wordt het omvormer ontwerp behoorlijk beperkt. Hierdoor zijn er over het algemeen maar een of twee opties t.a.v. stringlengte (d.w.z. het aantal in serie geschakelde panelen): bijvoorbeeld 5 of 6 x 170W panelen per string. Dat betekent dat het systeem niet altijd ruimte heeft voor het precieze aantal op het dak benodigde panelen. Voorbeeld bij het ontwerpen van een 4kW systeem gebruik makend van bovenstaande panelen (d.w.z. panelen die slechts per 5 of 6 in een string kunnen worden geschakeld) zal het systeem ofwel niet de volledige dakruimte benutten – bij aansluiting van 24 of 25 panelen (5x5 of 4x6 panelen) – of de beschikbare ruimte of toegestane systeemomvang overschrijden – bij aansluiting van 30 panelen (6x5 of 5x6 panelen).

Met power optimizers kunt u het exacte aantal vereiste panelen gebruiken. Enerzijds kan hiermee de omvormer gedimensioneerd worden voor maximale besparing, terwijl anderzijds het flexibele aantal panelen betekent dat het dakvlak optimaal bedekt kan worden.

## Verlies van paneelvermogen

Dunnefilm panelen kunnen (evenals kristallijne panelen) storingsmechanismen vertonen die na verloop van tijd vermogensverlies veroorzaken. Terwijl kristallijne panelen last kunnen hebben van PID (Potential Induced Degradation), hebben dunnefilm panelen last van onomkeerbare mechanismen zoals TCO corrosie. Dit betekent dat de schade aan het paneel en de bijbehorende vermogensverliezen niet hersteld kunnen worden. Hierdoor is het belangrijk om het ontstaan van schade zo vroeg mogelijk op te sporen. Aangezien de oorzaken van de storingsmechanismen vaak gerelateerd zijn aan de spanning van het betreffende paneel naar aarde of naar de omgeving, begint het energieverlies gewoonlijk aan een uiteinde van een string (figuur 9).



**Figuur 9: Vermogensverlies binnen een string**

In het getoonde voorbeeld bedraagt de prestatie van de string 98% van de potentiële prestatie. Zelfs met een externe sensor bevindt de afwijking zich binnen de meettoleranties en kan daardoor makkelijk onopgemerkt blijven. Vanwege de typisch lage cel- en paneelstroom moeten dunnefilm panelen parallel geschakeld worden; d.w.z. dat informatie over afzonderlijke string- en paneelstroom verloren gaat. Het probleem kan niet opgespoord worden totdat het storende paneel een dermate negatief effect op de stringstroom heeft dat door mismatch-verliezen de hele string minder presteert. Het is een feit dat problemen met afzonderlijke panelen vaak niet opgemerkt worden totdat het te laat is.

Power optimizers, die ook voor monitoring op paneelniveau zorgen, sporen dit soort problemen vroegtijdig op zelfs als het maar om een paneel gaat. Vroegtijdige probleemdetectie verlaagt de risico's voor de gebruiker en schade aan het systeem.

## BIPV

Dunnefilm panelen zijn vooral populair in BIPV: Building Integrated PV. Ze krijgen vaak de voorkeur vanwege hun uniforme uitstraling. Bovendien worden deze installaties veel vaker getroffen door beschaduwning. Met name verticale vlakken worden meestal in grotere mate beïnvloed door beschaduwning, bijvoorbeeld door naburige gebouwen en luifels.

In zulke situaties verminderen power optimizers mismatch-verliezen door beschaduwning. Bovendien geeft monitoring van de paneelprestaties aan of de verliezen het gevolg zijn van beschaduwning of van storingen in het systeem. De extra veiligheidsfuncties, zoals paneelafschakeling, zijn vooral en met name belangrijk voor geïntegreerde systemen.

## Samenvatting

Hoewel veel dunnefilm panelen met opzet een lager beschaduwingsverlies kennen, moeten systeemontwerpers het maximaal aanvaardbare niveau van beschaduwning beoordelen. Vooral de overige systeemkosten, zoals hogere kosten van bedrading en spanning buiten het MPP-bereik, worden vaak buiten beschouwing gelaten. Het gebruik van power optimizers voorkomt deze effecten, verlaagt de kosten en voegt waarde toe met extra functies zoals monitoring op paneelniveau en automatische afschakeling.