NIPV Nederlands Instituut Publieke Veiligheid

Veiligheidsregio Utrecht

# Kennisdocument Zonnepanelen

Nederlands Instituut Publieke Veiligheid
Postbus 7010
6801 HA  Arnhem
Kemperbergerweg 783, Arnhem
www.nipv.nl
info@nipv.nl
026 355 24 00

**Colofon**


| | |
|---|---|
| Opdrachtgever: | Veiligheidsregio Utrecht |
| Directie: | Risicobeheersing |
| Verantwoordelijke afdeling: | Risicobeeld, Analyse en Beleid |
| Titel: | Kennisdocument Zonnepanelen |
| Datum: | 1 mei 2025 |
| Status: | Definitief |
| Versie: | 1.1 |
| Auteurs: | D. van der Meij (Solar-engineering), X. Rekkers (VRU) en J. Keyser (VRU) |
| Review en redactie: | Ten behoeve van openbare publicatie is dit *Kennisdocument Zonnepanelen* gereviewed en geredigeerd door het NIPV (2025) |

Het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid is bij wet vastgelegd onder de naam Instituut Fysieke Veiligheid.

# Inhoud


| | | |
|---|---|---|
| **Inleiding** | | **5** |
| **1** | **Zonnepanelen** | **6** |
| 1.1 | Zonnepanelen en zonnecollectoren | 6 |
| 1.2 | Het zonnepaneel | 7 |
| 1.3 | Risico's van zonnepanelen | 8 |
| **2** | **Montagewijze** | **11** |
| 2.1 | Op-dak-constructies | 11 |
| 2.2 | In-dak-constructies | 12 |
| 2.3 | Plat-dak-constructies | 13 |
| 2.4 | Zonnegevels | 16 |
| 2.5 | Vrije-veld-opstellingen | 17 |
| 2.6 | Overig gebruik | 18 |
| 2.7 | Herkenbaarheid vergroten: PV-sticker | 19 |
| **3** | **Bekabeling** | **21** |
| 3.1 | Kabelgoten | 21 |
| 3.2 | Dakdoorvoeren | 22 |
| 3.3 | Risico's bij kabels | 23 |
| 3.4 | Connectoren | 24 |
| 3.5 | Junction box | 26 |
| 3.6 | Vlambogen | 27 |
| **4** | **Omvormer** | **29** |
| 4.1 | Locatie van de omvormer | 29 |
| 4.2 | Stringomvormers | 31 |
| 4.3 | Micro-omvormers | 32 |
| 4.4 | Optimizers | 33 |
| 4.5 | Omvormers voor vrije-veld-opstellingen | 34 |
| 4.6 | DC-schakelaar | 34 |
| **5** | **Meterkast** | **36** |
| 5.1 | Afschakelen via de meterkast | 37 |
| **6** | **Gevaren voor de omgeving** | **38** |
| 6.1 | Afglijdende of vallende delen | 38 |
| 6.2 | Elektrocutie of schrikreactie | 38 |
| 6.3 | Depositie | 39 |
| **7** | **Voorbeelden van installatiefouten** | **41** |
| 7.1 | Installateurs | 41 |
| 7.2 | Installatie en werkzaamheden | 42 |
| 7.3 | Dakdoorvoeren | 46 |

7.4 Bekabeling en connectoren 49
7.5 Aansluitingen en meterkast 53

**8 Tips voor het aanschaffen en installeren van zonnepanelen 55**
8.1 Installatie-eisen 55
8.2 De installateur 55

**9 Bronnen 57**

**Bijlage 1 Veilig Huis Vinkie: Vinklijst Zonnepanelen plaatsen 58**

**Bijlage 2 Afkortingen 60**

# Inleiding

Het gebruik van zonne-energie is belangrijk en waardevol voor het behalen van de Nederlandse doelen voor duurzame energie. In de afgelopen jaren is het gebruik van zonne-energie voor het opwekken van elektriciteit exponentieel gegroeid. Niet alleen zien we tegenwoordig bijna overal zonnepanelen op de daken van huizen en bedrijfspanden, maar het succes van zonnepanelen leidt ook tot snelle ontwikkelingen en innovaties. Zo worden zonnepanelen nu gebruikt als geluidswal, als carport en zelfs als gevelbekleding van gebouwen. De snelle opkomst van het gebruik van zonnepanelen heeft er ook toe geleid dat er steeds meer installateurs op de markt zijn gekomen. Duidelijk is dat niet alleen de eindgebruikers maar ook de installateurs niet altijd beschikken over de juiste kennis over zonnepanelen. Dit kan tot gevaarlijke situaties leiden.

Het doel van dit kennisdocument is om verschillende doelgroepen inzicht te geven in een zonnepaneleninstallatie, van de panelen op zich tot de installatie in de meterkast. Denk aan:

> adviseurs Risicobeheersing (advies en toezicht)
> medewerkers (Brand) Veilig Leven (publieksvoorlichting)
> onderzoekers van TBO
> medewerkers Vakbekwaamheid
> medewerkers Operationele Voorbereiding
> repressieve brandweercollega's.

Bij het opstellen van dit kennisdocument is gebruik gemaakt van de kennis en expertise van Dennis van der Meij van Solar-engineering. Grote dank gaat uit naar zijn bijdrage. Het is belangrijk dat specialisten uit het werkveld en de veiligheidsregio's onderling kennis en ervaringen met elkaar blijven delen om zo van elkaar te leren. Op zo'n manier dragen wij gezamenlijk bij aan een veilige zonnepaneleninstallatie.

Zoals wellicht bekend, worden voor zonnepanelen en zonnepaneleninstallaties verschillende termen gebruikt, zoals: PV-systeem, PV-paneel, zonnepaneel, zonnestroomsysteem, zonnepaneelsysteem, zonnepaneleninstallatie. Een PV-systeem (van het Engelse 'photo voltaic') is het geheel van zonnepanelen, omvormer, connectoren en kabels. In dit document worden de termen PV-systeem (voor de gehele installatie) en zonnepaneel (voor alleen het zonnepaneel) gehanteerd.

## Leeswijzer

Hoofdstuk 1 behandelt de zonnepanelen. In hoofdstuk 2 komen de verschillende montagewijzen van zonnepanelen aan bod. Vervolgens worden de bekabeling (hoofdstuk 3), de omvormer (hoofdstuk 4) en de meterkast (hoofdstuk 5) behandeld. In hoofdstuk 6 worden de gevaren voor de omgeving behandeld. Daarna worden er in hoofdstuk 7 verschillende voorbeelden gegeven van installatiefouten bij PV-systemen. Ten slotte worden in hoofdstuk 8 tips gegeven voor eindgebruikers, bij het kiezen voor een PV-systeem en installateur. Bijlage 1 omvat een 'vinklijst' van Brandweer Nederland voor het installeren van zonnepanelen. In dit document worden daarnaast diverse links gegeven van websites of filmpjes met meer informatie.

# 1 Zonnepanelen

Het meest zichtbare onderdeel van een PV-systeem zijn de zonnepanelen, die vaak op daken van huizen en bedrijfspanden te zien zijn. Dit hoofdstuk gaat dieper in op deze panelen. De samenstelling van de panelen komt aan bod, maar ook een aantal risico's met betrekking tot de zonnepanelen.

## 1.1 Zonnepanelen en zonnecollectoren

Zonne-energie wordt bij zonnepanelen gebruikt voor het opwekken van elektriciteit. Met zonnecollectoren wordt zonne-energie gebruikt voor het opwarmen van water als onderdeel van een zonneboilersysteem. Het opgewarmde water wordt gebruikt voor warm leiding- en CV-water. Zonnecollectoren (in figuur 1.1 de bovenste twee panelen) bestaan uit buisjes waardoor een (koel)vloeistof loopt (water met propyleenglycol). Door de warmte van de zon wordt de vloeistof opgewarmd. De verwarmde vloeistof wordt naar de boiler gepompt, waar ze haar warmte afgeeft aan het leidingwater. Het warme leidingwater kan vervolgens worden gebruikt om bijvoorbeeld te douchen of voor het verwarmen van de woning. De belangrijkste aandachtspunten met betrekking tot zonnecollectoren zijn:

> In huis staat een boiler met zeer hete vloeistof (water met propyleenglycol) die bij een incident vrij kan komen, net als de vloeistof die door de zonnecollectoren zelf loopt. Propyleenglycol is niet giftig, maar ontvet en droogt de huid zeer sterk uit bij contact.
> Zonnecollectoren zijn groot en zwaar; dit betekent dat ze van het dak kunnen vallen tijdens, bijvoorbeeld, een brand in de dakconstructie van het huis.

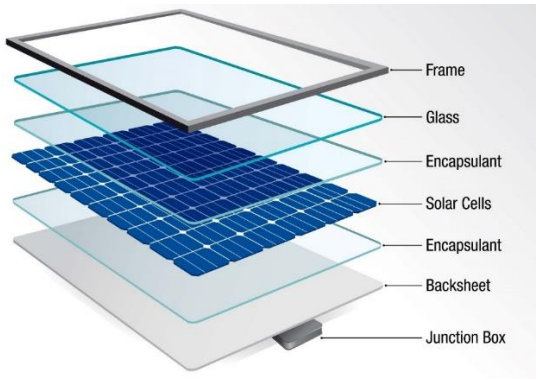
Een PVT-systeem is een combinatie van een zonnepaneel en zonnecollector in één systeem (PVT: 'photovoltaic thermal'), waarbij zonne-energie dus zowel voor opwekken van elektriciteit als voor verwarmen van vloeistof wordt gebruikt.

Dit kennisdocument gaat over zonnepanelen. Dit houdt in dat zonnecollectoren en PVT-systemen verder niet aan bod komen.

**Figuur 1.1 Een dak met zonneboilers (boven) en zonnepanelen (onder) (bron: Brandweer Nederland 2021a)**

## 1.2 Het zonnepaneel

Een zonnepaneel bestaat uit een verzameling zonnecellen (of: PV-cellen) die aan elkaar bevestigd zijn. In de meeste gevallen zitten in een zonnepaneel circa 60 tot 72 zonnecellen in serie aan elkaar gesoldeerd. Deze zonnecellen zelf zijn erg kwetsbaar. Hierover wordt meer verteld in paragraaf 1.3, waar 'microcracks' behandeld worden. Vanwege die kwetsbaarheid zitten de zonnecellen stevig verpakt tussen een laag glas en folie of tussen twee lagen glas. Dat zijn de twee soorten zonnepanelen die het meest voorkomen, namelijk de **glas-folie** en **glas-glas** panelen.




**Figuur 1.2 Samenstelling van een zonnepaneel (bron: Shutterstock)**

Deze panelen verschillen maar op één punt: de achterkant. Deze is van folie of van glas. Over het algemeen zijn glas-glas panelen veiliger, omdat deze steviger zijn en microcracks minder snel optreden. Bij glas-folie panelen kan de enkele laag glas wat buigen, waardoor beschadigingen kunnen ontstaan. Bij glas-glas panelen is dit minder het geval. Ook zijn glas-folie panelen gevoeliger voor hogere temperaturen en 'hotspots' (zie paragraaf 1.3) omdat het folie sneller ontbrandt. Glas-glas panelen bieden hiertegen meer weerstand, omdat er minder brandbaar materiaal is.

Het principe van zonnepanelen is simpel: elektriciteit opwekken zodra er licht op schijnt. Doordat de zon op de panelen schijnt, worden de lichtdeeltjes (fotonen) geabsorbeerd in de zonnecellen. De energie van de fotonen maakt de elektronen in de zonnecel vrij, zodat ze vrij kunnen bewegen in de zonnecel waardoor er een elektrische stroom gaat lopen. Een typische monokristallijne silicium PV-cel van 100 $cm^2$ zal ongeveer 1,5 watt aan vermogen produceren bij 0,5 Volt DC en 3 ampère onder vol zomerzonlicht (1.000 $Wm^{-2}$).[1] Zoals gezegd zitten in een zonnepaneel circa 60 zonnecellen in serie (bij nieuwe typen panelen kunnen dit er meer zijn), waardoor het voltage voor het hele paneel rond de 30 tot 40 Volt bedraagt. Het voltage is al aanwezig als er een klein beetje licht is, maar de stroom die wordt opgewekt wordt bepaald door de lichtsterkte: meer zon betekent meer stroom. Niet alleen zonlicht, maar ook kunstlicht van lampen kan zorgen voor opgewerkte stroom. Het is belangrijk om er bij repressief optreden rekening mee te houden dat stroom opgewekt kan worden in een zonnepaneel wanneer dit wordt beschenen met kunstlicht afkomstig van de lichtmast van de tankautospuit of werkverlichting van het redvoertuig. Alleen als het écht donker is, is het voltage 0. Dit houdt ook in dat het bedekken van een zonnepaneel met een

[1] Bron: Solar cells (corrosion-doctors.org)

zeil of doek niet altijd werkt. Door een zeil of doek kan wat licht komen, waardoor er nog steeds stroom wordt opgewekt. De enige manier om ervoor te zorgen dat een zonnepaneel stopt met het opwekken van stroom, is door bijvoorbeeld gebruik te maken van een absoluut niet licht-doorlatend materiaal.

## 1.3 Risico's van zonnepanelen

Zonnepanelen brengen een aantal risico's met zich mee. Deze worden hieronder uiteengezet.

### Warmteontwikkeling door schaduw of vuil

Een risico bij zonnepanelen is warmteontwikkeling, wat bijvoorbeeld kan gebeuren door schaduw op de panelen. Wanneer een conventioneel zonnepaneel zelfs maar gedeeltelijk in de schaduw van bomen ligt of te maken heeft met vuilophoping (bijvoorbeeld vogelpoep), dan ondervindt de stroom die door de zonnecellen loopt weerstand. Er ontstaan dan lokale weerstandsverschillen. Deze lokale plekken zijn dan warmer dan de plekken eromheen. Ook kunnen er punten ontstaan waar lokaal zeer veel stroom gaat lopen. Bij conventionele zonnecellen kan dat leiden tot **hotspots** waar de temperatuur van de cellen in minder dan twee minuten kan oplopen tot meer dan 150 °C. Het plastic rondom de hotspot kan dan verkleuren (bruin worden) en uiteindelijk ontbranden. Om de cel en het paneel tegen beschadiging te beschermen, zijn conventionele zonnepanelen voorzien van een 'shortcut' of '**bypass-diode**'. Daarmee wordt de stroom rond de zonnecelgebieden in de schaduw omgeleid. Deze shortcut zorgt er echter ook voor dat een deel van het zonnepaneel wordt omzeild en geen energie meer opwekt. Het paneel levert dan nog maar 20 Volt in plaats van 30 Volt.

**Figuur 1.3 Links een weggesmolten junction box en rechts de locatie van de diodes in de junction box (bron: D. van der Meij)**

De diodes zitten in 'junction boxen', achter op het zonnepaneel. Een junction box is een kastje dat de verbinding tussen het zonnepaneel en de omvormer vormt. Nagenoeg alle zonnepanelen hebben drie diodes, die het paneel zodoende in drieën delen. Een diode krijgt veel vermogen te verwerken als er schaduw op de panelen valt, waardoor ze warm worden. Door toepassing van slechte producten en/of door slechte installatie kan de diode extreem heet worden, wat zelfs kan leiden tot brand. Zie figuur 1.3.

Schaduw geeft dus een verhoogde temperatuur in de cellen als de diode niet ingrijpt. Daarnaast zijn vervuiling of een defecte cel ook oorzaken van verhoogde weerstand en dus van een verhoogde temperatuur. Met infraroodcamera's zijn temperatuursverhogingen goed

te zien. Over het algemeen is regen of het schoonhouden van de zonnepanelen voldoende om deze hotspots door vuil te voorkomen.

Vogelnesten achter de zonnepanelen kunnen zorgen voor warmteopbouw achter het paneel.

**Figuur 1.4 Een gebroken zonnecel (bron: D. van der Meij)**

## Microcracks

De warmteontwikkeling door schaduw en vuil zoals hierboven behandeld is, hoeft niet altijd gevaarlijk te zijn. Het is waarneembaar dat er schaduw en/of vuil op de zonnepanelen zit, en hier kan rekening mee gehouden worden door bijvoorbeeld de panelen schoon te houden. Er kan echter ook warmteontwikkeling optreden zonder dat dit zichtbaar is.

Dit gebeurt wanneer de zonnecellen, die zeer kwetsbaar zijn, beschadigd raken (zie figuur 1.4). Dit kan gebeuren tijdens de installatie als de installateur op de panelen leunt en/of knielt (zie figuur 1.5), maar ook door een flinke hagelbui of stenen die op de panelen terechtkomen. Hierdoor kunnen de zonnecellen kapot gaan en/of kunnen microcracks ontstaan. Doordat de zonnecellen goed verpakt zitten tussen de verschillende lagen van het zonnepaneel, is dit van de buitenkant echter niet zichtbaar. Alleen met een speciale camera is het mogelijk die beschadigingen te zien.

Zoals eerder vermeld, zijn glas-glas panelen minder gevoelig voor het ontstaan van microcracks. De zonnecellen van glas-glas panelen zullen minder snel breken, omdat het systeem stijver is aangezien het uit twee glaspanelen bestaat in plaats van folie en één glasplaat. In de loop van de tijd, door bijvoorbeeld warmte-koude variaties, worden de microcracks steeds groter en worden ze echte ‘cracks’.

De diodes zullen de beschadiging en de verhoogde weerstand niet altijd opmerken en dus niet altijd ingrijpen. Hoe langer de weerstand aanhoudt, des te meer risico er is dat de diodes erg heet worden. De warmte kan ervoor zorgen dat het zonnepaneel doorbrandt en/of smelt.

Om microcracks te voorkomen is het dus vooral belangrijk dat er voorzichtig met de panelen wordt omgegaan. Dat is de beste manier om te voorkomen dat beschadigingen ontstaan. Het is echter natuurlijk niet altijd mogelijk te weten hoe de panelen behandeld zijn voordat ze geïnstalleerd zijn.

**Figuur 1.5 Een installateur die op een zonnepaneel leunt. Hierdoor kunnen microcracks ontstaan; bovendien wordt hier niet veilig gewerkt (bron: D. van der Meij)**

# 2 Montagewijze

Zonnepanelen kunnen op verschillende manieren toegepast en gemonteerd worden. Deze montagewijzen brengen ook verschillende soorten risico's met zich mee. De meeste huizen in Nederland zijn voorzien van een schuin dak. Hier vindt men vooral de in-dak en op-dak constructies (zie figuur 2.1). Er zijn echter ook constructies die gebruikt kunnen worden op platte daken, die vaak voorkomen bij bedrijven- en/of industrieterreinen. Bij deze constructies wordt gebruik gemaakt van ballast om de panelen stevig op het dak te bevestigen. Naast de bevestiging van zonnepanelen op daken, groeit ook het gebruik van zonnepanelen als gevelbekleding. Daarnaast worden zonnepanelen op nog veel meer verschillende manieren toegepast.

Voor het plaatsen van zonnepanelen is meestal geen vergunning nodig. Er zijn echter uitzonderingen, bijvoorbeeld in het geval van zonneparken. Om na te gaan of het nodig is om een vergunning aan te vragen of dat een melding voldoende is, kan gebruik gemaakt worden van de vergunningscheck.

**Figuur 2.1 Een op-dak-constructie (links) en een in-dak-constructie (rechts) (bron: Brandweer Nederland 2020b)**

## 2.1 Op-dak-constructies

De meeste huizen hebben een in-dak- of op-dak-constructie. Bij een **op-dak-constructie** worden de panelen op het dak geplaatst, dus op de bestaande dakbedekking (bijvoorbeeld dakpannen, EPDM, bitumen, PVC). Hiervoor zijn verschillende systemen beschikbaar. Vaak worden de panelen bevestigd op een aluminium frame of rails, die op de panlatten van het dak geklikt of geschroefd kan worden. Bij een kliksysteem wordt de beugel met klemmen op de dakpannen bevestigd. Deze methode scheelt veel tijd en zorgt ervoor dat de installatiekosten relatief laag blijven. Het vastschroeven van het frame is steviger, maar vaak ook duurder omdat het installeren meer tijd kost.

Dakpannen zijn onbrandbaar en vormen een brandwerende laag tegen branddoorslag mochten de zonnepanelen, connectoren, bekabeling of junction boxen ontbranden. Er is

meestal een ruime ventilatieruimte tussen de dakbedekking en de zonnepanelen waardoor warmte van het zonnepaneel kan worden afgevoerd.

### Risico's van op-dak-constructies

Bij op-dak-systemen worden de panelen vaak op dakpannen, bitumen, golfplaat of damwanden gemonteerd. Vooral bij dakpannen dient er extra aandacht te zijn voor mogelijke beschadigingen. Het kan voorkomen dat de dakpanelen of panlatten beschadigd raken bij de installatie van dakhaken. In dat geval is de installatie minder stevig. Als er iemand op de rail of de dakhaken gaat staan kan de onderliggende dakpan breken en kan de ophanging beschadigd raken. Bij bijvoorbeeld een storm kan het dan voorkomen dat de constructie naar beneden valt of dat de zonnepanelen losraken.

## 2.2 In-dak-constructies

Bij **in-dak-constructies** worden de dakpannen weggelaten en verzinken de zonnepanelen in het dakvlak. Deze constructies worden vaak toegepast bij nieuwbouwhuizen als onderdeel van energieneutrale bouw. Ook is het goedkoper de panelen meteen te plaatsen dan een al bestaand dak te moeten aanpassen. Hierbij kan het echter wel voorkomen dat, als gevolg van de plaatsing van de zonnepanelen, de brandscheiding tussen daken van verschillende huizen verdwijnt. Bij een in-daksysteem zijn er geen onbrandbare dakpannen onder de zonnepanelen. Afhankelijk van het type in-daksysteem kunnen er brandbare of onbrandbare materialen onder de zonnepanelen gebruikt worden.

### Risico's van in-dak-constructies

**Onvoldoende afstand tussen de zonnepanelen en het dak**

Vooral bij in-dak-systemen zijn er meer risico's met betrekking tot brand. Om het dakpakket niet te dik te laten worden is er vaak een (zeer) beperkte ventilatieruimte tussen de zonnepanelen en de overige dakmaterialen. Als bijvoorbeeld wordt gekozen voor een traditioneel paneel dat zonder verdere bescherming in het dakvlak verzinkt en direct op de panlatten wordt bevestigd, dan kan een fout in zonnepaneelfolie, junction box, bekabeling, connectoren of optimizers een verhoogd brandrisico geven.

**De aanwezigheid van brandbaar (isolatie)materiaal in de nabijheid van zonnepanelen**

Bij in-dakconstructies zijn er geen dakpannen die een onbrandbare laag vormen tussen de zonnepanelen en de andere dakmaterialen. Als er geen onbrandbare materialen worden toegevoegd maar brandbare materialen, dan is er een verhoogd risico op brand en branddoorslag.

Zoals eerder gesteld is er vaak ook een beperkte ventilatieruimte. In-dak-panelen liggen dan zeer dicht op het isolatiemateriaal van het dak. Hierdoor kan de warmte die achter de panelen ontstaat niet goed weg, wat de kans op brand vergroot. De hitte die bijvoorbeeld ontstaat bij een hotspot, kan makkelijker leiden tot een brand als de zonnepanelen dicht op het isolatiemateriaal liggen. Veel fabrikanten schrijven een folie van brandklasse A of B voor in hun montagevoorschriften. Deze folie is echter alleen geschikt om de hogere omgevingstemperatuur van de in-dak-geplaatste panelen te weerstaan. In-dak-systemen worden immers minder geventileerd waardoor de omgevingstemperatuur in de zomer (tot wel 85 °C) de maximale temperatuur van veel standaard gebruikte folies zal overstijgen.

**Onvoldoende afstand tussen zonnepanelen**
Daarnaast worden vooral in in-dak-constructies de zonnepanelen vaak zo geplaatst dat de brandscheiding met het dak van andere huizen weggehaald wordt. Hierdoor kan, als er brand ontstaat, de brand zich achter de panelen langs veel makkelijker verspreiden naar andere huizen.

Het is aan de buitenkant lastig te zien of er brand is achter de zonnepanelen (zie ook deze video). Als er brand ontstaat kan het dus lang duren voor deze opgemerkt wordt, en is het erg lastig vast te stellen óf en waarheen de brand zich achter de panelen heeft uitgebreid. Het is daarom belangrijk rekening te houden met brandscheidingen bij in-dak-systemen.

In-dak-systemen kunnen met extra veiligheidsaspecten gemonteerd worden. De ondergrond waarop de panelen geplaatst worden dient onbrandbaar te zijn of in ieder geval aan een bepaalde brandklasse te voldoen. Zo zijn er fabrikanten van in-dak-systemen die eerst een aluminium damwand-plaat als onderlaag voorschrijven, zodat de panelen verder verwijderd liggen van de dakconstructie. Daarnaast kan er gebruik gemaakt worden van glas-glas panelen. Deze brengen minder risico's met zich mee met betrekking tot warmteontwikkeling en schade door bijvoorbeeld hagel. Ook zijn er speciale montageoplossingen om de connectoren te beschermen in het montage profiel. De connectoren blijven op een aluminium rails liggen, zodat ze bij een defect minder schade geven. Als dit wordt toegepast gebeurt dat vaak bij de eerste en de laatste connector; deze connectoren worden door de installateur zelf aangebracht, om de verbinding met de omvormer te maken.

Al met al is het dus erg belangrijk dat er tijdens de installatie goed wordt omgegaan met de verhoogde risico's die een in-dak-systeem met zich meebrengt. Kabelmanagement, de juiste panelen, de gebruikte kabelclips, bundelbanden en de gekozen afstand van de connector tot het dakvlak spelen hierin een belangrijke rol. Het uitgangspunt daarnaast is dat een PV-systeem een eigen brandcompartiment krijgt. Op deze manier moet het aantal minuten weerstand tegen branddoorslag en -overslag conform het Bouwbesluit zijn gerealiseerd. Ook de scheiding tussen de brandcompartimenten moet worden gehandhaafd.

## 2.3 Plat-dak-constructies

Zonnepanelen worden ook toegepast op platte daken. Dit is vaak te zien bij bedrijven en op industrieterreinen. Bij deze systemen wordt gebruikgemaakt van ballast om ervoor te zorgen dat de panelen genoeg verzwaard zijn en op het dak blijven liggen. Zo moet voorkomen worden dat de wind grip kan krijgen op de panelen en een stormvaste installatie gegarandeerd is.

Op een plat dak zijn de twee meeste gebruikte installatiemethodes een zuid- of een oost-west-systeem. Beide systemen hebben nagenoeg dezelfde materialen en opbouw.

**Figuur 2.2 Een zuid-opstelling**
**(bron: https://www.flickr.com/photos/marshalltownpubliclibrary/5454255258)**

Bij een oost-west-systeem liggen de panelen als ‘dakjes’ tegen elkaar aan, met minimale tussenruimte in twee tegengestelde oriëntaties. Door de lage hellingshoek, tussen de 10 en 13 graden, worden deze panelen vrijwel altijd in ‘landscape’ opstelling geplaatst. Een oost-west-systeem zorgt voor een hoge dakbedekking en een relatief lage ballast per vierkante meter, omdat de wind in deze opstelling minder grip heeft op de panelen.

Bij een zuid-installatie liggen de panelen in één richting georiënteerd, is er meer tussenruimte om schaduw van rij op rij te minimaliseren en worden er meestal windkappen achter de panelen geplaatst (zie figuur 2.3). De windkappen zijn nodig om de wind minder grip te geven op de panelen, waardoor een lager gewicht aan ballast kan worden gebruikt. Deze windkappen worden met speciale schroeven aan de frames waarop de zonnepanelen liggen bevestigd. De panelen zelf worden met klemmen op de frames vastgeschroefd.

**Figuur 2.3 Windkappen bij een zuid-opstelling (bron: D. van der Meij)**

Bij plat-dak-installaties wordt bijna altijd gebruik gemaakt van ballasttegels. De hoeveelheid ballast die nodig is per paneel wordt berekend door een calculator van de fabrikant van het systeem op basis van de locatie, hoogte, omgeving en het formaat van het gebouw. Ballast kan bestaan uit tegels, stenen of grind. Er zijn echter ook steeds meer lichtgewicht PV-systemen op de markt, zodat deze zonnepanelen ook op zwakkere constructies toegepast kunnen worden. Hier is het belangrijk rekening te houden met toegankelijkheid en bereikbaarheid, omdat het dak dan mogelijk niet meer geschikt is om over te lopen. Dit heeft gevolgen voor het uitvoeren van onderhoudswerkzaamheden en voor brandbestrijdingsmogelijkheden. Dit moet dan ook aangegeven worden in de meterkast.

## Risico's van plat-dak-constructies

**Brandbaarheid van dakbedekking**
Door de aanwezigheid van zonnepanelen op een plat dak worden vlammen omgebogen en waardoor het dak aan meer warmtestraling wordt blootgesteld dan zonder zonnepanelen. Onderzoek van de Universiteit van Edinburgh laat zien dat de branduitbreidingssnelheid dan met wel een factor tien kan toenemen (Kristensen et al., 2021). Daar waar de zonnepanelen branden en er geen ballast (in de vorm van grind of tegels) op het dak aanwezig is, zal de dakbedekking aan de verbranding deelnemen en zal (ongeacht het type dakbedekking en isolatie) de isolatie beschadigd raken of aan de verbranding deelnemen. Buiten het gebied waar de zonnepanelen liggen, is de brandontwikkeling over het dak gelijk aan een normale brandontwikkeling op een plat dak en afhankelijk van de toegepaste materialen (Efectis, 2021).

**Te veel ballast**
Zoals vermeld is het belangrijk dat er ballast wordt geplaatst bij constructies met zonnepanelen op een plat dak. Door echter té veel ballast aan de constructie toe te voegen, kan het zo zijn dat dit het dak verzwakt. De draagkracht van het dak wordt dan overschreden. Wanneer er vervolgens extra gewicht op het dak komt te rusten, bijvoorbeeld door een regenbui of een groot pak sneeuw, kan de dakconstructie het begeven. De isolatie onder de dakhuid kan immers maar een bepaalde druk per vierkante meter aan. Ligt er teveel gewicht, dan drukken de voeten van het dakdraagsysteem de isolatie in.

**Te weinig ballast**
Net als te veel ballast, kan het natuurlijk ook voorkomen dat er juist te weinig ballast wordt gebruikt. Dit kan er vooral tijdens een storm voor zorgen dat de constructie van het dak geblazen wordt. Zie ook deze video.

**Weghalen en niet terugplaatsen van windkappen**
De windkappen die worden gebruikt bij een zuid-opstelling kunnen soms weggehaald moeten worden voor bijvoorbeeld een inspectie. Het is belangrijk dat deze weer terug worden geplaatst. Wordt dit niet gedaan, dan bestaat er een kans dat de wind onder de panelen komt en de constructie van het dak loskomt. Het is belangrijk dat het terugplaatsen van panelen, ballast en/of windplaten op een juiste wijze gebeurt. Ook als er wat klemmen zijn losgedraaid om onder het paneel te kijken, moet er aandacht worden besteed aan het herbevestigen van de panelen. Aangezien de hoeveelheid ballast en locatie onder ieder paneel zijn bepaald in een calculator is 'even' weghalen of verplaatsen van ballast een risico, zeker als deze niet direct weer op de juiste plaats wordt teruggelegd.

## 2.4 Zonnegevels

Behalve zonnepanelen op daken worden zonnepanelen ook steeds meer toegepast op gevels: zonnegevels (zie figuur 2.4). Dit zijn zonnepanelen die als gevelbekleding worden gebruikt voor gebouwen. Door innovaties lukt het steeds beter om zonnepanelen een andere kleur te geven dan gebruikelijke blauw of zwart. Tegenwoordig kunnen zonnepanelen elke denkbare kleur krijgen, waardoor ze beter bij de gevel passen; hierdoor kan het echter lastig zijn om te zien of er zonnepanelen aanwezig zijn.

**Figuur 2.4 Zonnegevel (bron: By Hanjin - Own work, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30893069)**

### Risico's van zonnegevels

Zonnegevels kennen grotendeels dezelfde risico's als in-dak-systemen. Er is echter nog een aantal andere risico's met betrekking tot zonnegevels; deze worden hieronder besproken.

**Inductielussen**

Doordat bij zonnegevels de bekabeling achter de gevel hangt, kunnen de inductielussen groter zijn. Dit geeft een vergroot risico bij indirecte blikseminslag (door grotere inductiespanning) en vergroot het risico op storing van C2000.

**Inductielus**

Zonnepanelen worden vaak in serie aan elkaar geschakeld; dat wordt een 'string' genoemd (zie ook paragraaf 5.2). De stroomkabels die de zonnepanelen met elkaar verbinden, vormen een stroomkring. Het is belangrijk dat er bij het aanleggen van het PV-systeem voor wordt gezorgd dat de oppervlakte binnen die stroomkring zo klein mogelijk is: met andere woorden, dat de inductielus zo klein mogelijk is. Dit houdt in dat de + en - kabels (rood en zwart) die vanaf elk zonnepaneel komen, zo dicht mogelijk naast elkaar worden gelegd en niet in een grote lus.

De reden om dit te doen heeft te maken met de schade die een blikseminslag aan het PV-systeem kan veroorzaken. Bij een blikseminslag ontstaat namelijk gedurende korte tijd een sterk magnetisch veld rondom de bliksemstraal. Dat magnetische veld veroorzaakt een elektrische stroom en spanning in stroomkringen in de buurt van de blikseminslag: ook wel 'inductiespanning' genoemd. En hoe groter de oppervlakte binnen de stroomkring is, des te groter de veroorzaakte inductiespanning is. Die inductiespanning kan zeer hoog zijn: veel hoger dan de spanning waarvoor de stroomkabels van het PV-systeem ontworpen zijn. Daardoor kan het PV-systeem beschadigd worden en kan brand ontstaan.

**Herkenbaarheid**
Zoals vermeld is het door bepaalde innovaties steeds moeilijker om een zonnepaneel te herkennen. Dit is vooral lastig bij een incident. Aangezien zonnepanelen stroom opwekken is het belangrijk om te weten dat panelen aanwezig zijn, bijvoorbeeld in geval van een brand. De brandweer moet hier namelijk rekening mee houden bij het repressief optreden. Ook hebben zonnegevels vaak gevolgen voor de bereikbaarheid en is het de vraag of de brandweer er bij kan komen met een redvoertuig.

**Branduitbreiding**
Behalve dat het lastig te zien is of er zonnegevels aanwezig zijn, is het ook lastig om een brand te lokaliseren. Het duurt bij zonnepanelen vaak een flinke tijd voordat aan de buitenkant te zien is *dat* er brand is (zie ook de video genoemd in paragraaf 2.2), maar het is nog een stuk lastiger te zien *waar* de brand zich bevindt. Vanwege het glas is de warmtebeeldcamera ook geen hulpmiddel bij het lokaliseren van de brand. Als de gehele gevel van een gebouw uit zonnepanelen bestaat, is het dus erg lastig om de brand te ontdekken, te lokaliseren en te zien waar de brand zich naar uitbreidt. Ook is het voor de brandweer erg lastig om de brand te bestrijden, omdat de panelen waterbestendig zijn en de brandweer achter de panelen moet zien te komen.

## 2.5 Vrije-veld-opstellingen

Bij vrije-veld-opstellingen liggen de zonnepanelen op verhoogde frames (zie figuur 2.5). Vaak wordt dit toegepast in weilanden. De opstellingen kunnen uit een groot aantal zonnepanelen bestaan. Bij deze grote installaties worden de omvormers meestal onder, of op de kop van de ‘tafels’ (zo heet een rij met zonnepanelen) gemonteerd. Deze opstellingen zijn zo groot, dat ze een eigen aansluiting op het hoogspanningsnet hebben via een eigen trafostation, dat ook op het veld staat.

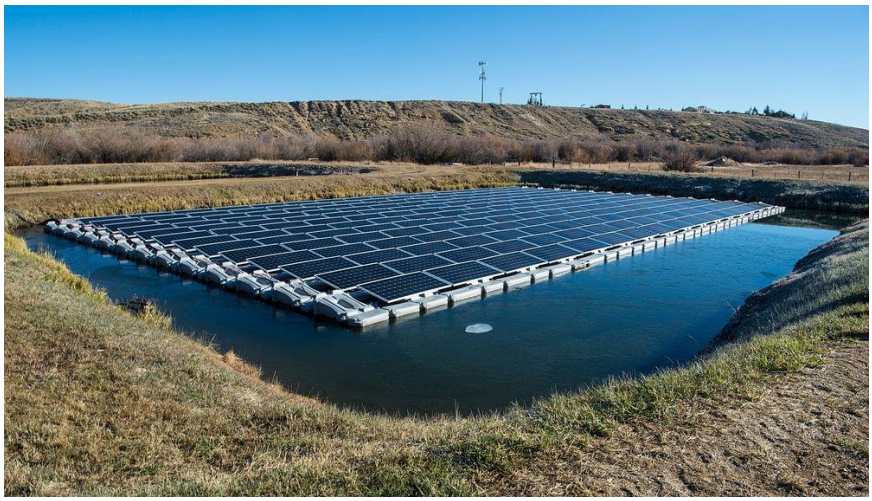
**Figuur 2.5 Een vrije-veld-opstelling**

### Risico's bij vrije-veld-opstellingen

Aangezien vrije-veld-opstellingen uit een groot aantal zonnepanelen bestaan, wordt er veel stroom opgewekt. De vele omvormers worden verbonden door middel van ondergrondse kabels, met paneelspanningen oplopend tot wel 1.500 Volt DC. Daarnaast hebben vrije-veld-opstellingen een of meer eigen trafostations waarbij aan één kant diverse voedingen van de omvormers binnenkomen en aan de andere kant de hoogspanning van 10.000 Volt weggaat. Bij een vrije-veld-opstelling zijn dus niet alle kabels zichtbaar en liggen er onder de grond zowel wisselspannings- als gelijkspanningskabels, van diverse voltages.

## 2.6 Overig gebruik

Naast de bovenstaande beschreven wijzen van gebruik, worden zonnepanelen op vele andere manieren toegepast: bijvoorbeeld boven op water (zie figuur 2.6), op vrachtwagens, boven parkeerplaatsen (zie figuur 2.7) et cetera. Er is steeds meer vraag naar en de kans om een object met zonnepanelen tegen te komen is dan ook steeds groter. Bij sommige toepassingen is het niet altijd direct duidelijk of er zonnepanelen aanwezig zijn; dit zal in de toekomst steeds lastiger worden door de snelle innovaties met betrekking tot de kleur van zonnepanelen.

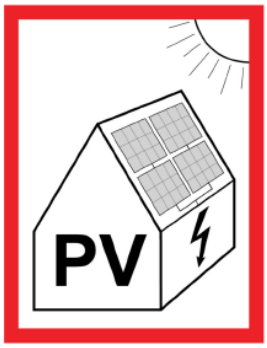


**Figuur 2.6 Zonnepark op water (bron: rawpixel.com / U.S. Department of Energy)**

**Figuur 2.7 Zonnecarport (bron: J. Keyser)**

## 2.7 Herkenbaarheid vergroten: PV-sticker

Zoals duidelijk is geworden in dit hoofdstuk, is het niet altijd makkelijk om een PV-systeem te herkennen. Volgens NEN 1010 is het daarom verplicht om een sticker in de meterkast of hoofdverdeelinrichting aan te brengen waaruit blijkt dat er een PV-systeem aanwezig is in het gebouw; zie figuur 2.8. Dit maakt bij een incident duidelijk dat er sprake is van een PV-systeem, zodat de benodigde maatregelen getroffen kunnen worden. Toch komt het vaak voor dat deze sticker bij de installatie van zonnepanelen niet wordt geplaatst. Een PV-installatie die zonder zo'n sticker wordt opgeleverd, moet niet worden geaccepteerd.




**Figuur 2.8 PV-sticker voor meterkast of hoofdverdeelinrichting, om de aanwezigheid van een PV-systeem kenbaar te maken**

Naast het plaatsen van een PV-sticker is het ook belangrijk dat in geval van brand of een ander incident, gemakkelijk te achterhalen is waar het PV-systeem zich bevindt, wat het totale vermogen is, wat de locatie van de omvormer en DC-schakelaar is et cetera.

In geval van repressief optreden is het gebruikelijk dat de stroomvoorziening van het gebouw wordt uitgeschakeld. Meestal wordt in dat geval in de meterkast de hoofdschakelaar omgezet. Bij bedrijven of instellingen is het mogelijk dat door het omzetten van de hoofdschakelaar kritische bedrijfsprocessen in de problemen komen. Door in de meterkast duidelijk herkenbaar aan te geven op welke groep of groepen het PV-systeem is aangesloten, kunnen deze groepen gericht worden uitgeschakeld bij een calamiteit met het PV-systeem.

**Figuur 2.9 Voorbeeld van PV-sticker die is toegepast om de groepsschakelaar in de meterkast aan te duiden waarop het PV-systeem is aangesloten. Ook is direct te zien dat er een 5 kWh LFP (lithium-ijzer-fosfaat) accu is toegepast (bron: J.P. Duhen)**

**Figuur 2.10 Voorbeeld waarin naast de bestaande groepenkast een aparte groepenkast voor het PV-systeem is geplaatst; voor snelle herkenbaarheid is deze voorzien van een grote PV-sticker (bron: J. Keyser)**

# 3 Bekabeling

Bekabeling loopt vanaf de zonnepanelen naar de omvormer. Het principe is: hoe dikker de kabel is, hoe hoger de stroom is die erdoor loopt, en hoe groter de vlamboog is die kan ontstaan. Dit hoofdstuk gaat in op de bekabeling van een PV-systeem en waar rekening mee gehouden dient te worden.

## 3.1 Kabelgoten

Bekabeling hoort, zeker op een plat dak, in kabelgoten of buizen te liggen, zodat de kabels geen langere periodes in water komen te liggen. Vaak wordt gebruikgemaakt van een draadgoot waarin de bekabeling over het dak wordt getransporteerd. Zoals in figuur 3.1 is te zien, liggen de plus (rood) en de min (zwart) kabels gescheiden van elkaar in de dakgoten. De geel-groene draad is de vereffeningsleiding, die dient om het mogelijke potentiaalverschil tussen de verschillende geleidende delen op het heffen. Zo loopt de bekabeling van de panelen naar de omvormer.

**Figuur 3.1 Draadgoten (bron: D. van der Meij)**

Het is belangrijk om niet op de bekabeling of kabelgoten te gaan staan. Dit kan zorgen voor beschadigingen en/of afknelling.

Grote dakoppervlaktes (bijvoorbeeld van bedrijfspanden) kunnen verdeeld zijn in meerdere brandcompartimenten. Bij het aanbrengen van de bekabeling van de zonnepanelen kan het voorkomen dat deze over de brandscheidingen (brandwerende muren) heen getrokken moeten worden. Dit mag echter niet te koste gaan van de aanwezige brandwerende compartimentering, omdat er dan als gevolg van de aangebrachte bekabeling branduitbreiding of -verspreiding kan plaatsvinden. Er moet in dat geval een voorziening worden getroffen waardoor de bekabeling de brandwerendheid van de brandwerende muur

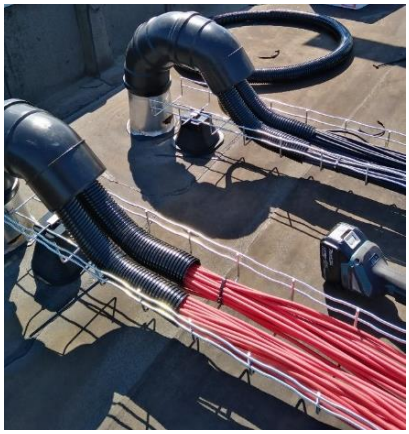
niet negatief beïnvloedt en dezelfde brandwerendheid wordt gewaarborgd. Het is niet toegestaan de bekabeling via de brandwerende muur door te voeren.

**Figuur 3.2 Een voorbeeld van beschadigde bekabeling (bron: D. van der Meij)**

Dit betekent dat de bekabeling worden via kabelgoten over de brandwerende muur moet worden geleid en daarnaast moet worden voorzien van een UV-bestendige bepakking die dezelfde brandwerendheid heeft als de brandwerende muur. Daarnaast moet aangetoond zijn dat hiermee de brandwerendheid van de brandwerende compartimentering kan worden gewaarborgd.

## 3.2 Dakdoorvoeren

In veel gevallen bevinden de omvormers zich niet op het dak zelf, maar in het pand. De bekabeling dient dan via een overgang of dakdoorvoer te worden doorgevoerd. Zoals hierboven al vermeld, is het belangrijk om de plus- en minkabel gescheiden te houden. Dit verkleint de kans op het ontstaan van een parallelle vlamboog (zie paragraaf 3.6). In de NPR5310 (geen harde norm) wordt aangeraden om de bekabeling met ongeveer 10 centimeter tussenruimte gescheiden door te voeren. Er dient ook rekening gehouden te worden met eventuele scherpe delen die bij het inzagen van het dak in de doorvoerbuizen kunnen ontstaan. Dit alles is noodzakelijk om vlambogen te voorkomen.



**Figuur 3.3 Een voorbeeld van dakdoorvoeren (bron: D. van der Meij)**

**Figuur 3.4 Een voorbeeld van een onveilige kabeldoorvoer (bron: D. van der Meij)**

Kabeldoorvoeren kunnen ook op onverwachte plaatsen voorkomen, die niet tot nauwelijks opvallen. Figuur 3.4 toont een doorvoer van een woning waarbij de PV-kabels tussen twee dakpannen door lopen. Bij werkzaamheden is het risico aanwezig dat men op de dakpan leunt. De kans op beschadiging, met daardoor een storing of vlamboog, is dan aanwezig. Door de bekabeling op de juiste manier door te voeren worden de risico's op beschadiging en eventuele vervolgschade beperkt.

Er zijn verschillende oplossingen op de markt om de bekabeling op een juiste en veilige wijze door het dak door te voeren. Een aandachtspunt bij dakdoorvoeren is dat ze niet alleen veilig zijn, maar ook dat voorkomen wordt dat een koudebrug ontstaat waardoor niet voldaan wordt aan de energieprestatie-eisen.

## 3.3 Risico's bij kabels

Bij de bekabeling van zonnepanelen is het vooral belangrijk dat de kabels op een veilige manier toegepast worden. De kabels van zonnepanelen blijven onder spanning staan als er licht op de panelen valt. De spanning en stromen die door de kabels lopen zijn zeer gevaarlijk bij directe aanraking, wat kan voorkomen bij een defect systeem. Het risico op vlambogen is bij een defect systeem ook vergroot.

**Wat is veiliger, wisselspanning of gelijkspanning?**
Wisselspanning is gevaarlijker dan gelijkspanning. Daarom geldt een wisselspanning tot en met 50 Volt als veilig, terwijl bij gelijkspanning de grens tot en met 120 Volt is. Dat geldt voor droge situaties. Bij natte huid is de veilige spanning lager: tot en met 25 Volt wisselspanning en tot en met 36 Volt gelijkspanning.[2]

Gelijkspanning is alleen maar gevaarlijk als de stroom van de min naar de plus kan lopen. Als een van beide polen veilig geïsoleerd is, kan de andere pool dus zonder problemen aangeraakt worden (bijvoorbeeld om er een stekker aan te zetten). Maar de installateur kan ook fouten in de string-bekabeling hebben gemaakt, of er kan door een fout, defect of brand een parallelle verbinding ontstaan tussen een of meerdere strings. Voor volledige zekerheid wordt aangeraden te meten met een stroomtang.

[2] Brandweer Nederland (2020) '[Kennisdocument Brandweeroptreden nabij elektriciteit]'

## 3.4 Connectoren

De bekabeling loopt van de zonnepanelen naar de omvormer, maar daartussen zitten nog connectoren die de verbinding maken tussen de panelen en de kabels die naar de omvormer lopen. Uit onderzoek van TNO is gebleken dat de grootste veroorzaker van brand in zonnepanelen de connectoren zijn (Bende & Dekker, 2019). Er zijn veel verschillende soorten connectoren op de markt. Hierdoor komt het voor dat een stekker van het ene merk op een contrastekker van het andere merk op elkaar aangesloten worden (‘crossmating’). Dit kan echter kan leiden tot speling in de connector, met mogelijke vlambogen en brand als gevolg. Zoals in figuur 3.5 te zien is, lijken alle soorten connectoren op elkaar. Maar zoals ook op deze foto te zien is, verschillen de pennetjes van de connectoren in lengte en dikte. Daarom is het belangrijk dat connectoren van hetzelfde merk op elkaar worden aangesloten, of connectoren waarvan bekend is dat ze op elkaar passen. Daarnaast is het belangrijk dat de connectoren met juiste tang geknepen worden. Als dit niet wordt gedaan, dan kan dit leiden tot speling in de aansluiting waardoor een overgangsweerstand kan ontstaan met extreme hitte tot gevolg. Zie figuur 3.6.

**Figuur 3.5 Verschillende soorten connectoren met verschillende formaten (bron: Tom van den Oetelaar op LinkedIn)**

**Figuur 3.6 Links zijn connectoren geknepen met de goede tang, rechts niet (bron: D. van der Meij)**

**Figuur 3.7 Voorbeeld van ‘crossmating’ (verbinding van stekker en contrastekker van verschillende merken) (bron: D. van der Meij)**

In NEN 1010 staat duidelijk omschreven dat het combineren van verschillende merken en/of types PV-connectoren alleen toegestaan is, indien beide fabrikanten de compatibiliteit van de verbinding onderschrijven. In praktijk gebeurt dit niet altijd. Doordat alle connectoren iets anders (kunnen) zijn wat betreft maatvoering en/of materiaal is het combineren van verschillende connectoren een risico.

Het monteren van de connector conform de handleiding van de fabrikant moet nauwgezet gevolgd worden. Afwijkingen in de montage kunnen leiden tot storing bij omvormers, door het binnendringen van vocht. In het ergste geval zal een ondeugdelijke verbinding uitbranden, waarbij vervolgschade kan optreden als er brandbare materialen in de buurt zijn, zoals bij een in-dak-systeem vaak het geval is. Als een connector op de dakbedekking ligt met daaronder een brandbare isolatielaag, is het risico op vervolgschade als gevolg van brand een stuk hoger. Zolang de connectoren op dakpannen liggen of op de juiste manier aan de frames zijn verbonden, met bundelbanden of speciale kabelclips, is de kans op vervolgschade (brand) en uitval van de zonnepanelen kleiner.

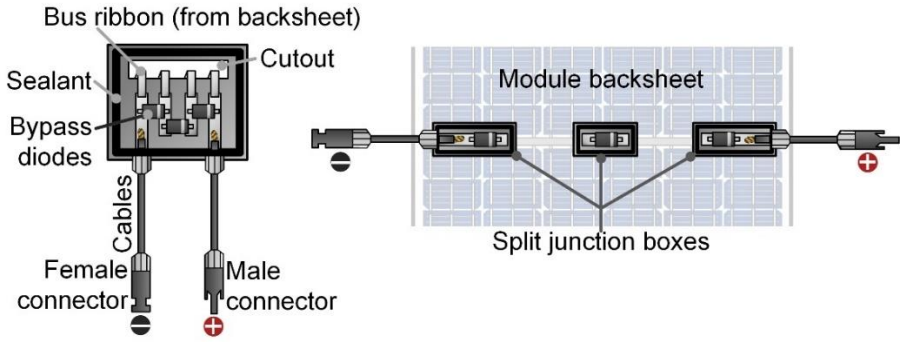
**Figuur 3.8 Brandschade als gevolg van crossmating op een bitumendak (bron: D. van der Meij)**

Als connectoren met vakmanschap worden aangebracht, zijn er geen problemen te verwachten. Er blijft altijd een risico op fabrieksfouten, maar zolang de juiste voorzorgsmaatregelen zijn getroffen is de kans op vervolgschade (brand) heel klein. Hoogstens zal een storing of uitval van productie optreden. Als de juiste gereedschappen, tangen en sleutels worden gebruikt om de connectoren conform de handleiding van de fabrikant, op de juiste manier, te monteren wordt het risico op calamiteiten verkleind. Als de connectoren daarna op de juiste manier met kabelclips of bundelbanden aan de frames worden vastgemaakt, is het risico in nagenoeg alle situaties vrijwel nihil geworden.

**Figuur 3.9 Voorbeeld van het gebruik van kabelclips aan het frame van het zonnepaneel (bron: D. van der Meij)**

## 3.5 Junction box

De junction box is het kastje dat aan het zonnepaneel vastzit en waaruit de bekabeling loopt die naar de omvormer gaat. Hier zitten ook de diodes in.




**Figuur 3.10 Schematische weergave van een junction box en locatie op een zonnepaneel (bron: C. Domínguez, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2d/Centralized_and_split_PV_junction_boxes.jpg)**

Ook hier is er kans op vlambogen en uiteindelijk brand, net zoals bij de connectoren. Het aandeel branden dat ontstaat in de junction box is echter aanzienlijk kleiner dan dat veroorzaakt door de connectoren.

## 3.6 Vlambogen

Zoals hierboven aangegeven, kan door problemen met de junction box en de connectoren een vlamboog ontstaan. Vooral bij niet aansluitende connectoren is dit een probleem (zoals in dit filmpje, waar goed te zien is hoe een vlamboog ontstaat als er speling is in de connectoren). Een vlamboog kan ook ontstaan als er schade is aan de bekabeling, of als de bekabeling wordt doorgeknipt. De vlamboog die ontstaat bij de kabels is op dit filmpje goed te zien.

Maar wat is nou eigenlijk een vlamboog?

Een vlamboog wordt ook wel elektrische boog of lichtboog genoemd (zie deze video). Het is het verschijnsel dat ontstaat als tussen twee elektroden een elektrische lading wordt geleid. Doordat er een plasma wordt gevormd, licht het gas tussen de elektroden op. Een vlamboog kan het beste bij een gelijkspanning tussen de elektroden in stand worden gehouden.

In het volgende hoofdstuk wordt dieper ingegaan op wisselspanning en gelijkspanning, omdat dit samenhangt met het type omvormer dat wordt toegepast.

In een vlamboog kan de temperatuur oplopen tot 7.000 K (6.727,85 °C), maar de hoogte is afhankelijk van de spanning, de stroomsterkte en de afstand tussen het materiaal en de elektrode(s). Als een kabel of connector beschadigd is en er ruimte tussen de geleider komt terwijl er energie door de kabels loopt, zal deze energie nog steeds de ruimte die ontstaat proberen te blijven overbruggen. Hoe hoger de spanning, hoe groter de overbrugging tijdelijk kan worden. Deze overbrugging van de energie is de vlamboog.

Als er in één kabel of connector een probleem is, zal er sprake zijn van een seriële vlamboog. Er kan ook een vlamboog ontstaan door kortsluiting tussen de plus en de min, dan is er sprake van een parallelle vlamboog. Daarom is het ook belangrijk dat de plus en de min gescheiden lopen, want hoe meer afstand er is tussen de plus en de min, des te minder kans op het ontstaan van een vlamboog en des te sneller de vlamboog weer dooft. Het eerder genoemde filmpje laat dit goed zien.

Als de vlamboog bij zonnepanelen optreedt, zal deze meestal na een bepaalde tijd doven, omdat het geleidermateriaal smelt door de hoge temperaturen waardoor de afstand groter wordt en de vlamboog dooft. Dit kan langer duren als de geleiders naast elkaar liggen in een goot, of bijvoorbeeld bij een grondkabel. Door de temperatuur van de vlamboog, afhankelijk van de spanning en stroom op dat moment, zal de connector of bekabeling steeds verder wegsmelten. Als er eenmaal een afstand is ontstaan die groot genoeg is en de vlamboog is vrijwel gedoofd, dan zal de vlamboog moeilijk weer kunnen opbouwen tot een grote vlamboog. Er kunnen dan nog wel kleine vlamboogjes blijven ontstaan, met lagere temperatuur en minder energie. Het steeds verder wegsmelten van de bekabeling maakt het dus ook steeds moeilijker om weer een vlamboog te krijgen.

Als de bekabeling of connector op een geleidend staal of aluminium frame is gemonteerd, kan het voorkomen dat spanning via het frame alsnog kan opbouwen tot een vlamboog. Op de figuur 3.11 is een weggebrande connector op een geleidend frame te zien. Hierbij is de overbrugging te groot is om de vlamboog opnieuw op te bouwen. Ook is de afstand van de spanning voerende delen tot het frame te groot. De vlamboog zal dan zeer waarschijnlijk niet meer optreden.

Een vlamboog kan ook optreden in de junction box bij de overgang van de kabels naar de diodes of bij de overgang tussen de diodes.

Vlambogen door niet goed aansluitende connectoren, in de junction box of door beschadigde bekabeling kunnen leiden tot brand. Vooral bij in-dak-systemen kan dit ervoor zorgen dat de brand overslaat naar het isolatiemateriaal, dat vaak dichtbij deze onderdelen ligt.

**Figuur 3.11 Connectoren waarin een vlamboog is ontstaan (bron: D. van der Meij)**

## Oplossingen om vlambogen tegen te gaan

Om vlambogen te voorkomen is het natuurlijk belangrijk dat er gebruik gemaakt wordt van goed materiaal en professionele montage. Dat wil zeggen: bekabeling die goed gescheiden loopt en niet bekneld kan raken, maar ook connectoren die goed aansluiten op elkaar. Daarnaast zijn er nog een aantal extra maatregelen die getroffen kunnen worden om het risico op een vlamboog te verkleinen.

### Vlamboogdetectie

Sommige omvormers zijn uitgerust met een vlamboogdetectie. Daarnaast kan dit ook separaat aan een PV-systeem worden toegevoegd. Hierbij is het wel belangrijk dat de vlamboogdetectie niet alleen aanwezig is, maar ook aangezet wordt. Het advies is om vlamboogdetectie toe te passen, omdat dit kan helpen brand te voorkomen. Het is echter slechts een hulpmiddel, wat dus nooit volledige garantie geeft.

### Vlamboogbescherming

Naast vlamboogdetectie zijn er ook oplossingen op de markt die helpen om ernstige gevolgen van een vlamboog te voorkomen (bijvoorbeeld een geïsoleerd omhulsel om de connectoren dat voorkomt dat een eventuele vlamboog zich verder kan verspreiden).

# 4 Omvormer

De omvormer is de kast die vaak op zolder wordt geplaatst, zo dicht mogelijk bij het dak en de zonnepanelen zelf. Dit is vaak het enige onderdeel van het PV-systeem dat in huis zichtbaar is. De omvormer zorgt ervoor dat de stroom die door de zonnepanelen wordt opgewekt in huis gebruikt kan worden. Zonnepanelen leveren namelijk gelijkstroom (DC), terwijl in huis wisselstroom (AC) gebruikt wordt. De gelijkstroom van de zonnepanelen loopt naar de omvormer en wordt daar omgezet in wisselstroom. In Nederland zijn omvormers in bijna alle gevallen 'grid connected', wat wil zeggen dat de omvormers aan het stroomnet gekoppeld zijn en pas inschakelen als er netspanning aanwezig is.
Is de netspanning aanwezig dan doet de omvormer een aantal metingen op basis van de Nederlandse Netcode Elektriciteit waarin onder andere de frequentie en de minimale en maximale netspanning omschreven zijn. Als aan de voorwaarden is voldaan, gaat er intern een elektronisch schakelelement dicht aan zowel de AC- als DC-kant. Als de elektronische schakelelementen dicht zijn, kan er stroom vloeien van de plus naar de min (DC-kant) waarna de omvormer de energie omzet naar wisselspanning (AC-kant).

Inmiddels zijn er veel verschillende soorten omvormers op de markt, die gegroepeerd kunnen worden als string-omvormers en micro-omvormer; daarnaast zijn er optimizers. In dit hoofdstuk worden deze soorten omvormers en hun verschillen behandeld. Ook wordt er per soort omvormer dieper ingegaan op vlambogen.

Naast het omzetten van de stroom, kan de omvormer er ook voor zorgen dat het PV-systeem veiliggesteld kan worden. Afhankelijk van de soort omvormer kan dit gedaan worden via de werkschakelaar bij de omvormer, of via de meterkast. Dit kan bijvoorbeeld nodig zijn in geval van brand. Ook dit wordt in dit hoofdstuk behandeld.

## 4.1 Locatie van de omvormer

De locatie van de omvormer is van belang om mogelijke risico's te beperken. Veel fabrikanten schrijven voor dat de omvormer op een geventileerde plaatst moet hangen, op een onbrandbare ondergrond. Aangezien een omvormer vooral in de zomer langdurig warm kan worden, moet de warmte goed weg kunnen; dit gebeurt vaak via de koelribben aan de achterkant van de omvormer.

Als de omvormer op een brandbare ondergrond is geplaatst, is er een risico dat deze ondergrond uitdroogt door de warmteafgifte van de omvormer. Dat verhoogt het risico op brand. Daarom moet een omvormer dus vooral niet in een berghok of zolder vol opgeslagen spullen worden geplaatst. Dat is niet alleen ongunstig met het oog op de warmteontwikkeling, maar ook met het oog op de bereikbaarheid. Ook is het beter om de omvormer niet in een slaapkamer te plaatsen. Als de omvormer op de overloop wordt geplaatst, moet daarbij rekening gehouden worden met de vluchtroute. Daarnaast wordt geadviseerd om te voorzien in branddetectie in de buurt van de omvormer.

Een technische ruimte of garage met voldoende ventilatiemogelijkheid is dan ook een goede plek om de omvormer te plaatsen. Montage op een houten ondergrond wordt niet in elke fabriekshandleiding verboden, maar is niet aan te bevelen. Als de omvormer toch op hout bevestigd moet worden, is aan te raden een stukje gips of brandwerende beplating tussen hout en omvormer te plaatsen, zodat de ondergrond brandvertragend is. Het monteren op een gemetselde, stenen of betonnen wand is de beste keuze, want zo'n wand neemt de warmte die de omvormer afgeeft het beste op.

De handleiding van de fabrikant schrijft ook voor hoe meerdere omvormers samen gemonteerd moeten worden. Soms is dit boven elkaar met voldoende ruimte tussen de omvormers, maar het kan ook zijn dat omvormers versprongen ten opzichte van elkaar worden geplaatst. Het plaatsen van omvormers boven elkaar wordt soms dus toegestaan, maar brengt ook veiligheidsrisico's met zich mee. Service verlenen, een storing verhelpen, onderhoud of updates verrichten aan omvormers die boven elkaar hangen kan lastig zijn: de bereikbaarheid van de bovenste omvormers is een stuk minder dan die van de onderste. Maar ook is het een uitdaging om de DC-schakelaar naast een omvormer die op vijf meter hoogte hangt, handmatig uit te schakelen. Daarnaast warmen de onderste omvormers elkaar op, wat tot opbrengstvermindering kan leiden.

Daar komt bij dat, als een van de omvormers een (fabrieks)fout heeft en er brand ontstaat, branduitbreiding kan plaatsvinden tot 1 meter rondom de omvormer. Dit betekent dat de andere omvormers naar alle waarschijnlijkheid ook vlam zullen vatten en de (brandende) bovenste omvormer mogelijk het dak kan aantasten.

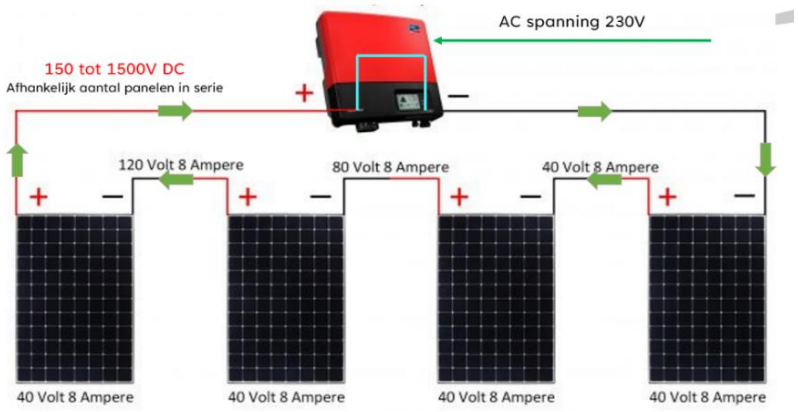
De belangrijkste adviezen voor het plaatsen van de omvormer zijn als volgt:
> De locatie moet goed bereikbaar zijn voor de brandweer
> Omvormers moeten op een brandwerende ondergrond worden geplaatst
> Omvormers moeten worden vrijgehouden van objecten
> Plaats omvormers niet in een vluchtroute of verblijfsruimte
> De locatie moet goed geventileerd zijn en schoon worden gehouden
> Rookdetectie is aanwezig op de locatie van de omvormer
> Plaats omvormers op minimaal 1 meter van andere systemen om branduitbreiding te voorkomen.

Daarnaast kan ook gebruik gemaakt worden van, bijvoorbeeld, een warmtesticker (zoals in figuur 4.1) om de temperatuur van de omvormer in de gaten te kunnen houden.

**Figuur 4.1 Warmtesticker op een omvormer (bron: D. van der Meij)**

## 4.2 Stringomvormers

Bij een stringomvormer staan er meerdere zonnepanelen in serie, dus met de plus aan de min, waardoor het voltage oploopt bij ieder extra aangesloten paneel. De stroom blijft bij in serie aangesloten panelen gelijk. Als er AC-spanning (netspanning) aanwezig is, sluiten de elektronische schakelelementen in de omvormer en is de DC-kring compleet zodat er stroom kan gaan vloeien. Hoe meer panelen er in de string zitten, hoe hoger het voltage. Bij woningen komt het voltage vaak niet boven de 600 Volt DC. Bij grote PV-systemen op daken van bedrijven en bij vrije-veld-opstellingen kan het voltage oplopen tot wel 1.500 Volt DC.



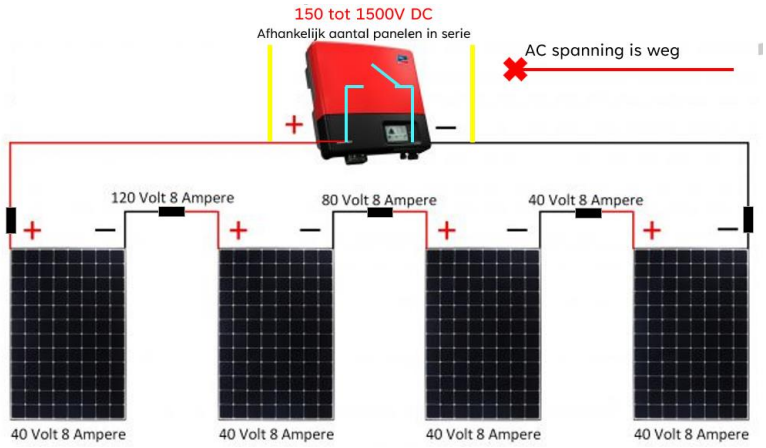

**Figuur 4.2 PV-systeem met een stringomvormer (bron: D. van der Meij)**

### Handelingsperspectief bij een vlamboog of veiligstellen van de installatie

Wanneer er bijvoorbeeld kortsluiting ontstaat tussen de plus en de min kan er een parallelle vlamboog ontstaan. Er kan ook een vlamboog ontstaan wanneer twee connectoren uit elkaar getrokken worden terwijl er stroom aanwezig is. Om een vlamboog te stoppen of de installatie veilig te stellen (zodat bijvoorbeeld connectoren veilig uit elkaar kunnen worden gehaald zonder een vlamboog te creëren) moet de netspanning (AC) van de omvormers worden uitgeschakeld. Dit gebeurt door middel van de werkschakelaars nabij de omvormers (indien aanwezig) of door in de meterkast direct de hoofdschakelaar uit te zetten. Bij het betreden van een pand met zonnepanelen zal de meterkast de snelste uitschakeling geven.

**Let op:** bij het uitschakelen van een stringomvormer duurt het tussen de 10 seconden en 3 minuten voordat deze de stroom heeft verlaagd.

Als er geen netspanning op de stringomvormer aanwezig is, zal het AC- en DC-elektronisch schakelelement open gaan en kan er **in principe** geen stroom meer vloeien van plus naar min (zie figuur 4.3 ). Er is dan nog wel een stringspanning op de bekabeling aanwezig afhankelijk van het aantal panelen in serie, maar geen stroom meer (stroomkring is open). **Voor absolute zekerheid moet gemeten worden met een stroomtang!**




**Figuur 4.3 Een PV-systeem met stringomvormer is veilig te stellen door de netspanning van de omvormer af te halen (bron: D. van der Meij)**

**Veiligheidswaarschuwing**

**Let op:** absolute zekerheid van een stroomloze installatie is er **nooit** bij een stringomvormer, omdat de installateur fouten in de stringbekabeling kan hebben gemaakt, of omdat er door een fout, defect of brand een parallelle verbinding kan ontstaan tussen een of meerdere strings. Er dient daarom altijd gebruikgemaakt te worden van 1.000 Volt AC / 1.500 Volt DC handschoenen bij demontage-werkzaamheden aan PV-systemen (zoals het uit elkaar halen van de connectoren).

## 4.3 Micro-omvormers

Bij micro-omvormers heeft elk zonnepaneel een eigen micro-omvormer. Heel soms kan het voorkomen dat er per twee of vier panelen een micro-omvormer is. Deze micro-omvormers worden op het dak onder elk paneel gemonteerd en leveren direct 230 Volt. Er loopt een AC-kabel van de meterkast naar het dak, waar alle micro-omvormers parallel op worden aangesloten. Er komt dus gelijk al bruikbare wisselspanning vanaf de zonnepanelen het huis in. Er is in huis dan ook geen omvormer aanwezig.

### Handelingsperspectief bij een vlamboog of veiligstellen van de installatie

Doordat er relatief weinig panelen op de micro-omvormer zitten blijft de DC-spanning laag, waardoor een vlamboog minder energie en dus warmte en lengte kan opbouwen. Toch kan een vlamboog wel voorkomen.

Als de netspanning wegvalt, zal het interne elektronische schakelelement geen energie van de panelen meer doorlaten en schakelt de micro-omvormer zichzelf uit. Er komt dan geen 230 Volt meer van het dak af, waardoor het direct een veilige 0 Volt is. Ook bij dit systeem is het uitschakelen van de spanning in de meterkast noodzakelijk omdat de micro-omvormers zelf geen AC-werkschakelaar hebben: de micro-omvormers bevinden zich immers onder de panelen. Ook als het systeem veilig is gesteld, wordt aanbevolen om altijd gebruik te maken van 1.000 Volt AC- / 1.500 Volt DC-handschoenen bij demontagewerkzaamheden aan het PV-systeem.

## 4.4 Optimizers

Optimizers zijn een soort samenvoeging van een stringomvormer en een micro-omvormer. Er is namelijk nog wel een centrale omvormer, die lijkt op een stringomvormer en die de spanning omzet van DC naar AC. Daarnaast is er (achter) op elk zonnepaneel een optimizer aangesloten. Deze optimizer neemt een deel van het regelwerk en het uitvoeren van veiligheidsmetingen van de omvormer over: dit wordt dus op zonnepaneel-/stekkerniveau uitgevoerd waardoor de centrale omvormer ook eenvoudiger is. De omvormer werkt in dit geval wel met een vaste DC-ingangsspanning van 350 of 750 Volt (afhankelijk of het een 1- of 3-fase omvormer betreft). De optimizers regelen naar deze vaste spanning toe. Bij bijvoorbeeld een 1-fase omvormer met 10 optimizers, zorgt elke optimizer ervoor dat, bijvoorbeeld, 35 Volt spanning wordt geleverd (tot een totaal van 350 Volt).

Als er netspanning op de omvormer aanwezig is, communiceert de omvormer aan de optimizer vrijgave om de elektronische schakelelementen te sluiten (de stroomkring wordt gesloten). Hierna zullen de optimizers het vermogen doorgeven en zich richting de vaste ingangsspanning regelen. De stringspanning van optimizer naar omvormer is bij werking dus altijd 350 of 750 Volt DC, zoals eerder aangegeven.

*Handelingsperspectief bij een vlamboog of veiligstellen van de installatie*

Valt de netspanning weg of detecteert de omvormer of optimizer een probleem, dan zullen de optimizers de elektronische schakelelementen openen en geeft elke optimizer nog maar 1 Volt. Als er 25 optimizers in een string zitten, dan zal er dus nog maar 25 Volt aanwezig zijn. Op de optimizers zijn dan nog steeds de zonnepanelen aangesloten. Zelfs al gaat het dan maar om één paneel, dan is er nog steeds kans op een (kleine) vlamboog.
Ook hier blijft het van belang dat de netspanning (AC) wordt afgeschakeld waarna de omvormer zichzelf van het net afkoppelt.

**Veiligheidswaarschuwing**

**Let op:** absolute zekerheid van een stroomloze installatie is er **nooit**. Er dient daarom altijd gebruikgemaakt te worden van 1.000 Volt AC- / 1.500 Volt DC-handschoenen bij demontagewerkzaamheden aan het PV-systeem (zoals het uit elkaar halen van de connectoren).

## 4.5 Omvormers voor vrije-veld-opstellingen

Vrije veld opstellingen zijn grote installaties. Hierbij worden de omvormers vaak onder of op de kop van de tafels (rij met zonnepanelen) geplaatst. Aangezien het hier om hele grote installaties gaat, hebben deze een eigen aansluiting op de hoogspanningsaansluiting via een eigen trafostation dat ook op het veld staat. Vanuit het trafostation worden deze omvormers via ingegraven grondkabels met elkaar verbonden.

In sommige gevallen wordt er gebruikgemaakt van combiner- of junction boxen waarbij alle rode en zwarte DC-kabels samen komen in een grote kast en op klemmenstroken zijn aangesloten. Er gaat dan één dikke DC-plus en DC-min kabel naar de omvormer.

Het komt ook voor dat de combinerbox en de omvormers niet zo dicht bij elkaar hangen. De dikke DC-kabels worden dan door de grond van combinerbox naar omvormer verplaatst.

Veel vrije-veld opstellingen hebben een of meer eigen trafostations, waarbij aan één kant diverse voedingen van de omvormers binnenkomen en aan de andere kant de hoogspanning van 50.000 Volt (50 kV) weggaat.

Bij een vrije-veld-opstelling zijn dus niet alle kabels per se zichtbaar en liggen er dus door de grond zowel wisselspannings- als gelijkspanningskabels van diverse voltages.

## 4.6 DC-schakelaar

Zoals eerder aangegeven is het voor het veiligstellen van een PV-systeem belangrijk dat de (micro)-omvormer losgekoppeld wordt van de netspanning. Hierdoor zal de stroomkring onderbroken worden waardoor er geen stroom meer aanwezig is. Dit kan gedaan worden door de groep van de zonnepanelen dan wel de hoofschakelaar in de meterkast uit te schakelen, of door de zogeheten DC-schakelaar van de omvormer uit te schakelen. Daarnaast is vaak ook een werkschakelaar aanwezig naast de omvormer om die stroomloos te maken. De werkschakelaar wordt ook wel een ‘brandweerschakelaar’ genoemd. Als de AC- of DC-werkschakelaar van een omvormer wordt uit gezet kunnen de connectoren in 99% van de gevallen na tussen de 10 seconden en 3 minuten, vlamboog-vrij losgekoppeld worden: controleer dit met de stroomtang! De DC-spanning op de bekabeling is niet gevaarlijk zolang er geen stroom van de min naar de plus kan lopen: er kan dan dus zonder problemen één van de twee polen aangeraakt worden. In figuren 4.4 en 4.5 is een voorbeeld van een DC-schakelaar van een omvormer en een werkschakelaar te zien.

**Figuur 4.4 Voorbeeld van een DC-schakelaar op de omvormer (bron: J. Ebus)**

**Figuur 4.5 Voorbeeld van een werkschakelaar (bron: J. Keyser)**

# 5 Meterkast

In de verdeler (ook wel meterkast genoemd) wordt alle elektriciteit verdeeld. Er is een hoofdaansluiting vanuit de netbeheerder, die energie levert aan een woning of gebouw. Met de plaatsing van zonnepanelen komt er nu ook elektriciteit vanuit een woning of gebouw die terug wordt geleverd naar het net. Een verdeler heeft dus niet alleen een hoofdaansluiting die vermogen kan leveren, maar ook een aansluiting van zonnepanelen (en soms zelfs accupakketten en/of een aansluiting voor het opladen van elektrische auto's). Hierdoor consumeren gebouwen en woningen niet alleen meer, maar leveren ze ook energie: het zijn nu 'prosumers' (een combinatie van producent en consument). Door het elektrificeren wordt de installatie ook zwaarder belast met consumerende groepen, zoals warmtepompen, airco's, kookplaten en elektrische auto's, waardoor er steeds meer energie door de verdeelkasten heen moet.

**Figuur 5.1 Een meterkast waarin duidelijk is aangegeven op welke groep het PV-systeem zit, zowel geschreven als met een sticker (bron: D. van der Meij)**

Deze verdelers zijn bijna nooit gebouwd voor meer energie dan de hoofdzekering kan leveren. Maar er kan nu theoretisch dus wel meer energie worden gevraagd, als de zonnepanelen (en accu's) ook tegelijkertijd energie gaan leveren. Dit wordt de 'opgetelde stroom' genoemd: de maximaal te leveren stroom van alle energieleverende kanten bij elkaar (zoals netaansluiting, PV-systeem en accu). Zo is bekend hoeveel stroom er theoretisch gevraagd kan worden zonder dat de hoofdzekering zal springen.

Door de grotere vraag naar elektriciteit in woningen en gebouwen in combinatie met extra levering van het PV-systeem, de accu en de elektrische auto, zijn alle componenten en verbindingen in de verdeler nog belangrijker geworden. Er gaan immers steeds meer en

langer flinke hoeveelheden stroom doorheen. Dit zal veel warmte opleveren, wat tot gevaarlijke situaties kan leiden wat in verdelers die hier niet voor ontworpen zijn.

## 5.1 Afschakelen via de meterkast

In het vorige hoofdstuk zijn de omvormers behandeld en is aangegeven dat, om een PV-systeem veilig te stellen, het belangrijk is dat de omvormer van het net gekoppeld wordt. Dit kan gedaan worden via de DC-schakelaar van de omvormer zelf of met behulp van de werkschakelaar dan wel het stroomloos maken van de groep in de meterkast waarop het PV-systeem is aangesloten. In het geval van micro-omvormers is dit laatste ook de enige optie, omdat er dan geen omvormer in het gebouw aanwezig is. Zoals aangegeven in paragraaf 2.7 is het volgens NEN 1010 verplicht om een sticker in de meterkast of hoofdverdeelinrichting aan te brengen, waarop staat dat er een PV-systeem aanwezig is in het gebouw. Om snel het PV-systeem af te kunnen schakelen in de meterkast, is deze sticker onmisbaar. Idealiter wordt ook in de groepenverdeling met tekst aangegeven op welke groep de zonnepanelen zijn aangesloten. Als het niet duidelijk is op welke groep de zonnepanelen zijn aangesloten, dient de de hoofdschakelaar uitgeschakeld te worden.

**Figuur 5.2 Voorbeeld van een meterkast waarbij in de groepenkaartverdeling duidelijk is aangegeven op welke groep het PV-systeem zit (bron: J. Ebus)**

# 6 Gevaren voor de omgeving

Naast het brandrisico dat een PV-systeem met zich meebrengt, eerder in dit document behandeld, is er ook een aantal andere gevaren voor de omgeving. Deze worden hier kort uiteengezet. Het gaat om:

> afglijdende of vallende delen
> elektrocutie of schrikreactie
> depositie van resten van zonnepanelen.

## 6.1 Afglijdende of vallende delen

Het kan voorkomen dat bij een storm de zonnepanelen door de wind van het dak waaien. Eerder is al genoemd dat dit kan gebeuren bij plat-dak-installaties, bij te weinig ballast of verwijderen van de windschermen; maar het dit ook voorkomen bij andere op-dak-installaties. Zoals in dit filmpje goed te zien is, zijn zonnepanelen groot. Een zonnepaneel is vaak 1 meter bij 2 meter groot en weegt algauw 20 kilo; en er worden tegenwoordig steeds grotere panelen toegepast. Het is dan ook belangrijk om goed op te letten bij een storm of harde wind en uit de buurt te blijven van een gebouw de zonnepanelen vanaf (lijken te) vallen.

## 6.2 Elektrocutie of schrikreactie

In dit document is meerdere keren beschreven hoe een PV-systeem veilig kan worden gesteld. Het is erg belangrijk dit ook te doen wanneer er de zonnepanelen, bijvoorbeeld in geval van storm, gezekerd moeten worden. Maar ook bij schoonmaakwerkzaamheden en bij reparatie is het belangrijk het PV-systeem veilig te stellen. Er is namelijk ook kans op elektrocutie of schrikreactie. Zoals eerder aangegeven moet er rekening mee worden gehouden dat zonnepanelen ook bij kunstlicht stroom blijven opwekken. Hierbij geldt wel dat een enkele bouwlamp nauwelijks risico geeft, in tegenstelling tot veldverlichting. Ook LED-lampen wekken weinig energie op in vergelijking met andere soorten lampen. Ook beschadigde of deels verbrande zonnepanelen zullen stroom blijven opwekken, als de stroomkring kan worden gesloten. Volledig beschadigde zonnepanelen of losse cellen geven geen risico op elektrocutie.

Er dient daarom altijd een erkende monteur te worden ingeschakeld om het PV-systeem veilig te stellen na brand, storm of andere schade die aan het PV-systeem is ontstaan.

Ook bij zonnepanelen waarvan alleen het glas is beschadigd, moet worden opgelet. Deze zonnepanelen kunnen prima aangeraakt worden als ze droog zijn; maar als ze nat zijn, kan er een stroom lopen tussen de cellen in het zonnepaneel en het menselijk lichaam (omdat water dat in de breuken zit, de stroom geleidt).

## 6.3 Depositie

De afgelopen tijd is depositie bij branden met zonnepanelen vaak in het nieuws gekomen. Zoals in figuur 6.1 te zien is, bestaat depositie uit verbrandingsproducten en onverbrande resten van zonnepanelen die zich verspreiden door de omgeving. Bij een grote brand komt veel hitte vrij. Deze hitte stijgt op en in de thermiek van de rook worden dan allerlei stoffen en deeltjes meegenomen. Door de wind kunnen de deeltjes zich over de omgeving verspreiden en verderop op de grond terechtkomen.

**Figuur 6.1 Ontstaan van depositie bij brand met zonnepanelen (bron: NIPV, 2021)**

**Figuur 6.2 Een deel van een zonnepaneel (zonnecelscherf) na een brand teruggevonden in de omgeving (bron: CAMJO media)**

Er wordt vaak onterecht gedacht dat deze deeltjes uit glas bestaan. Het glas van zonnepanelen is echter te zwaar om door de thermiek meegenomen te kunnen worden en zal dus meteen naar beneden vallen. Zonnecelfragmenten (silicium scherven of ‘wafers’) bestaan uit silicium dat een stuk lichter is dan glas, en kunnen daardoor wel meegenomen worden door de thermiek. Zonnecelscherven kunnen dus wel tot grote afstand van de brand verspreid worden.

Over het algemeen kan verspreiding van verbrandingsproducten plaatsvinden tot 500 meter van de brand (RIVM, 2007). Uitzonderingen zijn mogelijk, maar dan gaat het om zeer grote branden waarbij verspreiding tot op grote afstand (enkele kilometers) kan plaatsvinden. In dit soort uitzonderingsgevallen zijn zonnecelscherven tot 10 km van de brand gevonden (IFV, 2020).

Zonnecelscherven kunnen dan bijvoorbeeld terechtkomen in een weiland waar vee staat, of in een wijk waar kinderen aan het spelen zijn. Het gevaar van depositie is gelegen in de scherpe randen die zonnecelscherven kunnen hebben. Dat kan een gezondheidsrisico vormen voor grazend vee of wild omdat de scherven na inslikken schade aan het maag- en darmstelsel kunnen veroorzaken. Daarnaast kunnen er gevaarlijke stoffen op de scherven zitten, zoals lood en PAKs; dit is overigens het geval voor alle soorten resten die bij een brand verspreid worden. Blootstelling aan de gevaarlijke stoffen kan dan bijvoorbeeld optreden door in de mond steken of inslikken van de zonnecelscherven. Omdat het om kleine hoeveelheden gaat is de kans dat hierdoor gezondheidsschade ontstaat, echter heel klein (RIVM, 2022). Zonnecelscherven hebben ook geen invloed op de kwaliteit van melk, eieren of vleesproducten van grazend vee. Uit voorzorg kan het verstandig zijn om de resten van zonnepanelen die bij een brand in de omgeving verspreid zijn, op te ruimen (NIPV, 2021).

# 7 Voorbeelden van installatiefouten

Fouten die worden gemaakt bij de installatie van zonnepanelen en andere werkzaamheden op en bij daken met zonnepanelen zijn de grootste oorzaak van brand en/of andere incidenten met zonnepanelen. Dit hoofdstuk geeft een overzicht met voorbeelden van installatiefouten en onveiligheden, zodat deze te herkennen en daardoor hopelijk te voorkomen zijn. Bij toezichtwerkzaamheden vanuit Risicobeheersing kan hierop gelet worden, om zo onveilige situaties te voorkomen of verhelpen. Maar ook voor repressieve medewerkers draagt dit hoofdstuk bij aan het herkennen van onveilige situaties, zodat hier rekening mee gehouden wordt bij met het oog op veilig repressief optreden.

## 7.1 Installateurs

**Figuur 7.1 Installateurs aan het werk op het dak, zonder enige veiligheidsmaatregelen (bron: D. van der Meij)**

## 7.2 Installatie en werkzaamheden

**Figuur 7.2 Bij werkzaamheden is de steiger op de zonnepanelen geplaatst, wat microcracks kan veroorzaken (bron: D. van der Meij)**

**Figuur 7.3 Opslag van zonnepanelen met verzwaring door stenen erop (bron: D. van der Meij)**

Bij werkzaamheden aan een dak waar zonnepanelen op liggen, is het verstandig de panelen tijdelijk te verwijderen en veilig op te slaan. Als de panelen niet verwijderd worden, is het raadzaam om met het volgende rekening te houden:

> Als de zonnepanelen verwijderd worden en buiten opgeslagen worden, moet ervoor gezorgd worden dat de panelen netjes, maximaal 30 op elkaar, op pallets geplaatst worden. Zonnepanelen die schuin liggen, kunnen het folie van andere panelen beschadigen waardoor isolatiefouten (door vocht in het paneel) kunnen ontstaan.
> Er moet voor gezorgd worden dat de pallets met zonnepanelen op het dak niet in grind staan. Als de pallets in grind staan, kunnen de stenen door de dakbedekking worden gedrukt, als gevolg van het gewicht van de panelen. Hierdoor kan lekkage ontstaan. Er moet daarom gebruikgemaakt worden van tegels of granulaatblokken (zie figuren 7.5 en 7.6)
> Er moet voor gezorgd worden dat de connectoren vochtdicht zijn en blijven.
> De zonnepanelen moeten met het glas naar boven gelegd worden. Zo wordt voorkomen dat er water in de panelen kan blijven staan en zo ook in de connectoren en de junction boxen terecht kan komen.
> Er moeten geen stenen of andere zware objecten gebruikt worden om de zonnepanelen op hun plaats te houden, omdat dan een groot risico op (micro)cracks bestaat. Om de panelen vast te zetten, kan gebruikgemaakt worden van spanbanden.

**Figuur 7.4 Verrotte houten panlatten (bron: D. van der Meij)**

Bij het monteren van zonnepanelen op dakpannen is het belangrijk te kijken naar de houten panlatten, die de onderconstructie vormen voor de rails waarop de zonnepanelen bevestigd worden. Als de rails aan aan verrotte panlatten worden bevestigd (figuur 7.4) bestaat de kans dat het systeem bij wind gaat klapperen of bij storm zelfs losraakt.

**Figuur 7.5 Frame van plat dak zonnepanelen is geplaatst op het grind van het dak (bron: D. van der Meij)**

Figuur 7.5 geeft voorbeelden van plat-dak-systemen waarbij het systeem direct op het grind van het dak is geplaatst. Hierdoor kan lekkage ontstaan in het dak, doordat het grind in het dak wordt gedrukt. Het grind moet verwijderd worden om de voeten van de installatie veilig te plaatsen, zoals te zien is in figuur 7.6.

**Figuur 7.6 Een voorbeeld van een correct geplaatst frame van een plat-dak-installatie (bron: D. van der Meij)**

**Figuur 7.7 Foutief geplaatste windkappen bij een plat-dak-installatie (bron: D. van der Meij)**

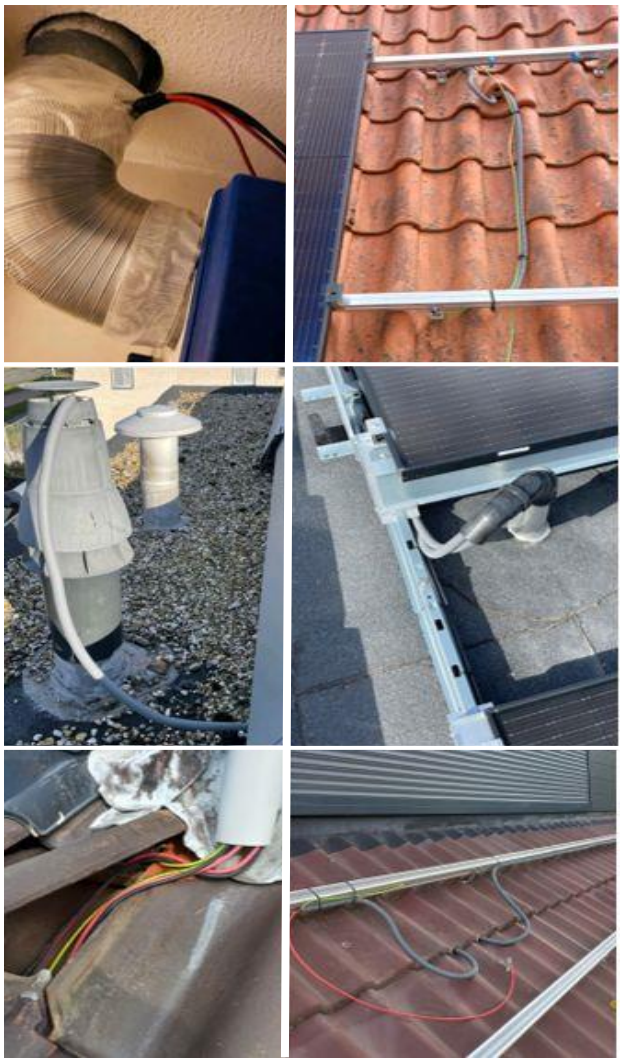
**Figuur 7.8 Slecht geplaatste klemmen (bron: D. van der Meij)**

Figuur 7.8 geeft voorbeelden van klemmen die niet goed zijn aangebracht. De klemmen moeten recht bevestigd worden en ver genoeg op het zonnepaneel liggen. Gebeurt dit niet, dan bestaat de kans dat de panelen verschuiven en/of loslaten.

## 7.3 Dakdoorvoeren

De beste oplossing om bekabeling naar binnen te voeren, is een doorvoer door het dak te maken. Er zijn ook opties waarbij de bekabeling over de dakrand via de zijgevel wordt gevoerd. Deze oplossing is niet duurzaam en kan leiden tot het breken van de gebogen buis, mede door (beperkte) UV-bestendigheid van de buis. Ook kan er bij wind aan de buis en de bekabeling worden getrokken. Hoewel een dakdoorvoer de beste optie is, wordt deze vaak om redenen van kostenbesparing niet toegepast. Gecombineerd gebruik van regenpijp en kabeldoorvoer is niet toegestaan.

**Figuur 7.9 Onveilige dakdoorvoer via de dakrand (bron: D. van der Meij)**



**Figuur 7.10 Links: onveilige dakdoorvoeren; rechts: veilige dakdoorvoeren (bron: D. van der Meij)**

## 7.4 Bekabeling en connectoren

Figuren 7.11 t/m 7.17 laten voorbeelden zien van onjuist geïnstalleerde connectoren en/of bekabeling.

**Figuur 7.11 Onjuist geïnstalleerde connectoren: connectoren die op de grond liggen (bron: D. van der Meij)**

**Figuur 7.12 Onjuist geïnstalleerde bekabeling: bekabeling die slordig en niet gescheiden en over het dak loopt (bron: D. van der Meij)**

**Figuur 7.13 Voorbeelden van slechte installatie van de bekabeling en slechte locatie van de connectoren: de kabels zijn te lang, niet goed doorgevoerd en connectoren liggen op de ondergrond (bron: D. van der Meij)**

**Figuur 7.14 Onjuist geïnstalleerde connectoren: connectoren die op de ondergrond liggen (bron: D. van der Meij)**

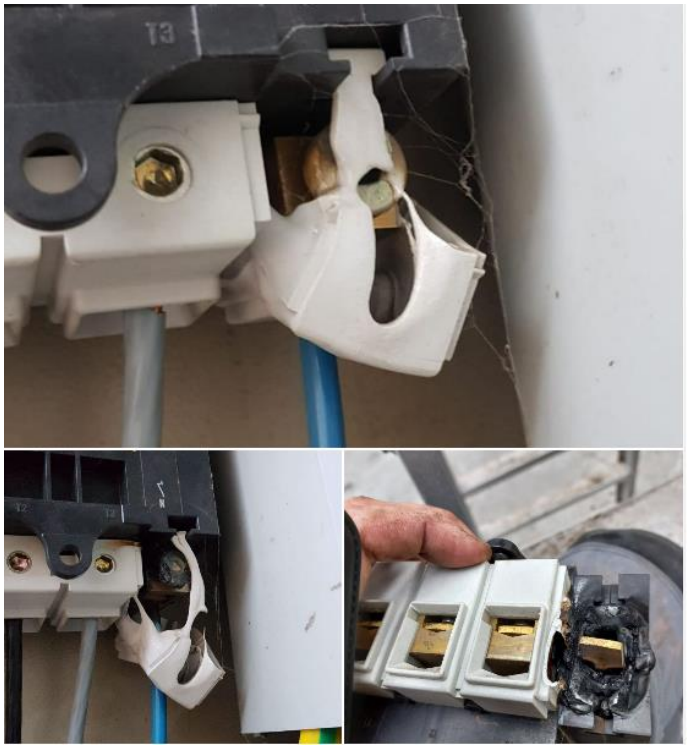
**Figuur 7.15 Onjuist geïnstalleerde bekabeling: bekabeling die niet goed is doorgevoerd en onveilig geplaatste omvormer (bron: D. van der Meij)**

**Figuur 7.16 Onjuist geïnstalleerde connectoren: connectoren die niet goed in elkaar zijn geklikt (bron: D. van der Meij)**

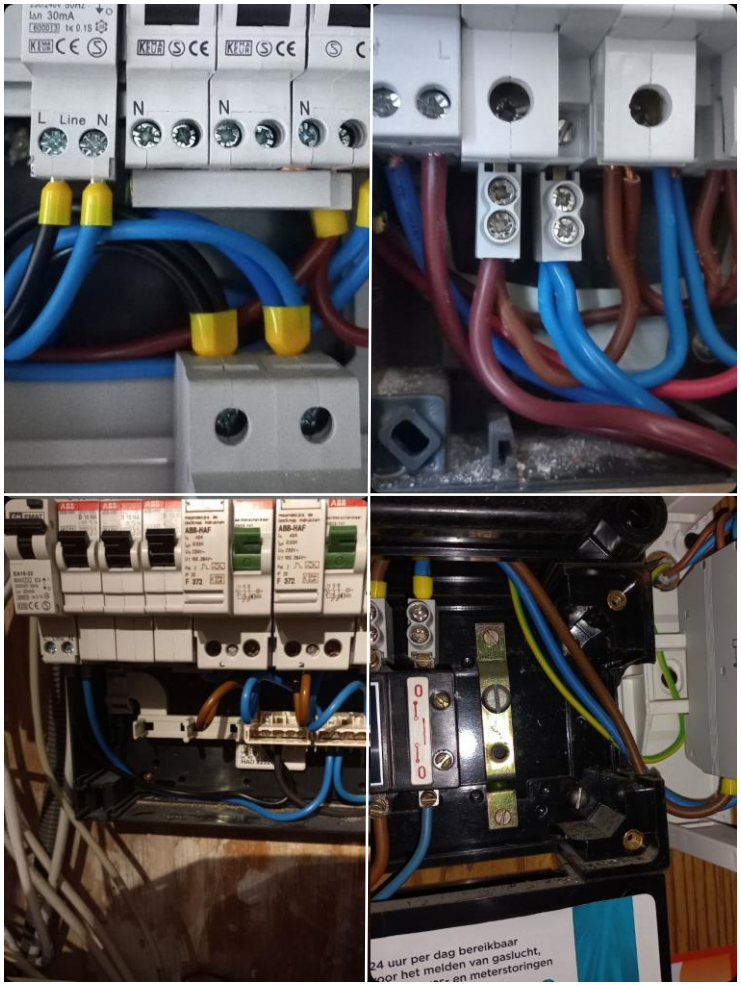
**Figuur 7.17 Onjuist geïnstalleerde bekabeling: AC-bekabeling van de omvormer op scherpe rand van stalen spant (bron: D. van der Meij)**

## 7.5 Aansluitingen en meterkast

In figuur 7.18 is het gevolg te zien van niet juist aandraaien van aansluitingen. Als de bekabeling niet op het juiste aandraai-moment wordt vastgezet, kan de overgangsweerstand zo hoog worden dat er veel warmte kan ontstaan. Dit kan zowel het geval zijn als de aansluitingen te los zitten, als wanneer ze te vast zijn gedraaid. Dit geeft een verhoogd risico op brand.



**Figuur 7.18 Weggesmolten onderdelen in meterkast (bron: D. van der Meij)**




**Figuur 7.19 Fouten in de meterkast (bron: D. van der Meij)**

Als een PV-systeem in bestaande bouw geïnstalleerd wordt, moet er in de meterkast een separate groep bij geplaatst te worden, voor de omvormer. Vaak wordt dit niet goed gedaan. Regelmaters worden twee diameters onder één klem gezet, een soepele en stugge ader onder één klem of twee stugge aders onder één schroef. Het is dan ook belangrijk dat, zoals op de foto's in figuur 7.19 te zien is:

> voor soepele aders altijd ader-eindhulzen gebruikt worden.
> dubbele of twin ader-eindhulzen worden gebruikt voor twee aders van gelijke diameter.
> de aftakrailtjes onder in de verdeler worden gebruikt.

# 8 Tips voor het aanschaffen en installeren van zonnepanelen

Zoals uit dit document blijkt hebben vooral de installatie en het materiaal van het PV-systeem een grote invloed op de veiligheid. Het is dan ook belangrijk om ervoor te zorgen dat de installatie van de zonnepanelen door een erkende installateur plaatsvindt. In de praktijk blijkt echter dat, door de grote vraag naar zonnepanelen en het gebrek aan regelgeving die eisen stelt aan de professionaliteit van de installateur, de kwaliteit van installatie uiteen loopt. Om dit document af te sluiten worden in dit hoofdstuk een aantal tips en regels uiteengezet, waarmee rekening gehouden kan worden bij het kiezen voor zonnepanelen en de installateur.

## 8.1 Installatie-eisen

Voor het installeren van PV-systemen moet een aantal richtlijnen en normen gehanteerd worden. Zo valt een PV-systeem onder het Bouwbesluit, wat inhoudt dat de elektrische veiligheid in lijn moet zijn met NEN 1010. Onderdeel hiervan is bijvoorbeeld het plaatsen van de eerder genoemde sticker in de meterkast.
Verder komt het steeds vaker voor dat verzekeraars eisen dat een aantal normen en richtlijnen gevolgd worden om een gebouw te verzekeren. Hierbij gaat het onder andere om de volgende richtlijnen en normen:

> NEN 1010 – Elektrische installaties voor laagspanning
> NPR 5310 – Richtlijn behorend bij NEN 1010
> NEN 7250 – Zonne-energiesystemen – Integratie in daken en gevels – Bouwkundige aspecten
> NPR 9090 – DC-installaties voor laagspanning
> NEN-EN-IEC 62446 – PV-systemen – Eisen voor beproeving, documentatie en onderhoud

Een volledig overzicht van deze richtlijnen en normen is in de Scios Scope 12 te vinden. Dit is een landelijke certificering voor PV-systemen. De Scope 12 is mede opgezet door het Verbond voor Verzekeraars.

## 8.2 De installateur

Het kiezen van de juiste installateur is erg belangrijk. Er bestaan echter nog geen normen of richtlijnen die vakmanschap van de installateur garanderen. Wel moeten installatiebedrijven over een certificaat beschikken waaruit blijkt dat de zonnepanelen zelf en de installatie

voldoen aan de *Requirements for Generators* en de Nederlandse Netcode elektriciteit, die voorschriften voor netbeheerders bevat over het aansluiten van klanten op de stroomnetten.

Daarnaast bestaan er initiatieven die helpen bij het kiezen van een goede installateur. Zo zijn er bijvoorbeeld certificaten die garanderen dat de installateur beschikt over de juiste kennis en kunde. In Nederland zijn er drie landelijke erkenningsregelingen: InstallQ, ZonnekeurKIWA en BRL K11008. Brandweer Nederland heeft een pagina ontwikkeld met tips voor veilige PV-systemen: Veilig Huis Vinkie. Hier staan verschillende tips over het kiezen van een installateur, het bepalen van de plek voor de omvormer, het onderhoud van zonnepanelen et cetera.

Een handige tool op die website is ook de zogenaamde Vinklijst (zie ook bijlage 1). Daarin is de basiskennis voor het plaatsen van zonnepanelen verwerkt. Door deze lijst af te lopen kan men, zonder te beschikken over diepgaande kennis, er alsnog voor zorgen dat het PV-systeem op een veilige manier geïnstalleerd wordt.

# 9 Bronnen


Bende, E.E. & Dekker, N.J.J. (2019). *Brandincidenten met fotovoltaïsche (PV) systemen in Nederland: een inventarisatie*, TNO rapport 2019 P10287.

Brandweer Nederland. (2020a). *Kennisdocument Brandweeroptreden nabij elektriciteit*.

Brandweer Nederland. (2021a). *Handreiking Incidentbestrijding zonnepanelen*.

Brandweer Nederland. (2021b). *Aandachtskaart zonnepanelen*.

Brandweer Nederland. (2020b). *Handreiking risicobeheersing. Advies veilige PV-systemen*.

Efectis. (2021). *Brandveiligheid industriële platte daken met PV installaties*.

Instituut Fysieke Veiligheid. (2020). *Vooronderzoek depositie bij branden met zonnepanelen*.

Instituut Fysieke Veiligheid. (2021). *Kennisbundel zonnepanelen*.

Kristensen J.S., Faudzi F.B.M. & Jomaas, G. (2021). *Experimental study of flame spread underneath photovoltaic (PV) modules*, Fire Safety Journal. Vol 21, 10327.

Nederlands Instituut Publieke Veiligheid. (2021). *Depositie bij branden met zonnepanelen*.

Nederlands Instituut Publieke Veiligheid. (2024). *Kennisbundel zonnepanelen*.

RIVM. (2007). *Emissies van schadelijke stoffen bij branden*, RIVM rapport 609021051/2007.

RIVM. (2022). *Schadelijke stoffen bij branden met zonnepanelen*, RIVM rapport 2022-0103.

**Website**
Brandweer Nederland: https://www.brandweer.nl/onderwerpen/veilig-huis-vinkie/.

# Bijlage 1 Veilig Huis Vinkie:
# Vinklijst Zonnepanelen plaatsen

## VINKLIJST PLAATSEN

De keuze voor een goede installateur is het halve werk. Als je onderstaande tips afvinkt weet je dat het goed komt.

### Voor het plaatsen

- ☐ De belastingcapaciteit van mijn dak is berekend voordat de zonnepanelen zijn geplaatst.
- ☐ De kabels en connectoren van mijn zonnepanelen zijn gecontroleerd om ervoor te zorgen dat ze overeenkomen met de handleiding van de fabrikant.
- ☐ Er is minimaal een halve meter ruimte als brandscheiding aangehouden tussen mijn zonnepanelen en die van mijn buren.
- ☐ Er is geen lekkage aan mijn dak voordat de panelen zijn geplaatst.

### Tijdens het plaatsen

- ☐ Er is voldoende ventilatie ruimte onder de panelen om warmteopbouw te voorkomen.
- ☐ Er is een vogelwering geplaatst om te voorkomen dat vogels nestjes onder mijn zonnepanelen bouwen.
- ☐ Bij regenachtig weer worden de connectoren goed droog gemaakt voordat ze worden aangesloten.

**Bron: Brandweer Nederland, [https://www.brandweer.nl/onderwerpen/veilig-huis-vinkie/](https://www.brandweer.nl/onderwerpen/veilig-huis-vinkie/)**

# Bijlage 2 Afkortingen

| | |
|---|---|
| AC | alternating current (wisselstroom) |
| DC | direct cureren (gelijkstroom) |
| LFP | lithium-ijzer-fosfaat (batterij) |
| NIPV | Nederlands Instituut Publieke Veiligheid |
| PV | photo voltaic |
| PVT | photovoltaic thermal |
| UV | ultraviolet |
| VRU | Veiligheidsregio Utrecht |
| W | watt |