Handreiking Risicobeheersing

ADVIES VEILIGE PV-SYSTEMEN



BRANDWEER
Nederland

Inhoudsopgave

Inleiding 4

1 Werking en kenmerken 5

1.1 Een PV-systeem 5
1.2 Het paneel 5
1.3 De kabels 5
1.4 De omvormer 6
1.5 DC-schakelaar (lastscheider) 7
1.6 Aansluiting van de omvormer naar de meter- of groepenkast 7
1.7 Energieopslag door accupakket (optioneel toegepast) 7
1.8 Optimizers (optioneel toegepast) 8
1.9 Combinerboxen (optioneel toegepast) 8

2 Algemene voorwaarden 9

2.1 Kwaliteit van materialen 9
2.2 Certificering en normering 9

3 Toepassing op bouwwerken 11

3.1 Brandoorzaken 11
3.2 PV-systeem op of in een dakconstructie of op de gevel 11
3.3 Grotere Installaties (vanaf 5 kVA) 14
3.4 Brandscheidingen 17
3.5 Aandachtspunten op het gebied van veiligheid: externe invloeden 18
3.6 Aandachtspunten op het gebied van veiligheid: het elektrische systeem 19
3.7 Aandachtspunten voor een betere mogelijkheid tot incidentbestrijding 21

4 Zonneparken 23

4.1 Te verwachten effecten van een brand in een zonnepark 23
4.2 Advisering 24

Bijlage 1 Toe te passen regelgeving 26
Bijlage 2 Meterkastkaart woningen (< 5kVA) 32
Bijlage 3 Entreekaart (>5kVA) 34
Bijlage 4 Zonneparken en brandgedrag 37
Bijlage 5 Scenario's 41
Bijlage 6 Achtergrondinformatie 43
Colofon 44

Inleiding

De zon is een krachtige (gratis) energiebron waar steeds meer gebruik van wordt gemaakt door de energie op te vangen met fotovoltaïsche (PV) systemen. De technische ontwikkeling van PV-panelen (zonnepanelen) gaat snel. Het materiaal, type cellen en rendement worden constant verbeterd, waardoor de panelen tegenwoordig in vele varianten en in verschillende toepassingen op steeds meer plaatsen worden geïnstalleerd. Ze worden niet alleen geplaatst op daken, maar worden ook geïntegreerd in gevelsystemen, kunstwerken, geluidswallen, zonneparken, voertuigen et cetera, en worden geïnstalleerd op het water.

Vanaf 1 januari 2021 moet alle nieuwbouw voldoen aan de eisen voor Bijna Energie-neutrale Gebouwen (BENG[1]). Een PV-installatie levert hernieuwbare energie, waarmee een positieve bijdrage wordt geleverd aan het voldoen aan de BENG-eis. Op daken, met name van hoogbouw, is echter een beperkte oppervlakte beschikbaar om zonnepanelen te kunnen plaatsen. Steeds vaker wordt een PV-installatie daarom geïntegreerd in het gevelsysteem.

PV-installatie als brandoorzaak
De afgelopen jaren is het aantal branden waarbij een PV-systeem is betrokken, toegenomen. Hieruit wordt door sommigen de conclusie getrokken dat deze installaties brandgevaarlijk zijn. In *iedere* installatie kan echter brand ontstaan, zoals ook bijvoorbeeld in de elektrische installatie van een woning of een bedrijf. In Nederland worden miljoenen zonnepanelen per jaar geïnstalleerd en voor alle installaties geldt: hoe meer installaties, des te groter de kans op brand. Daarbij speelt natuurlijk ook de kwaliteit van de installaties én van de installateurs een belangrijke rol.

Door TNO is onderzoek gedaan naar de oorzaken van branden in PV-systemen.[2] Er zijn diverse oorzaken waardoor er brand kan ontstaan in of rondom een PV-installatie. Denk hierbij bijvoorbeeld aan beschadigingen door werkzaamheden, knaagdrift van dieren of stormschade, productiefouten, warmtestuwing of installatiefouten. Uit het onderzoek van TNO en uit internationaal onderzoek blijkt dat fouten in de verbindingen tussen de connectoren een belangrijke brandoorzaak zijn, bijvoorbeeld omdat twee verschillende typen connectoren zijn gebruikt en daardoor niet goed passen, doordat een connector niet op een correcte wijze is gefixeerd aan de bekabeling, omdat de connectoren niet goed in elkaar gedrukt zijn of doordat er vocht in de connector is terecht gekomen.

De meeste installatieonderdelen van de PV-systeem bevinden zich aan de buitenzijde van een gebouw. In de bouwregelgeving is het uitgangspunt dat een brand ontstaat in een gebouw, tegen een gevel van een gebouw of er brand ontstaat op het dak door vliegvuur. Het PV-systeem als ontstekingsbron valt hier eigenlijk buiten, net als andere installaties op of aan een gebouw.

Het onderwerp van deze handreiking
In dit document wordt nader ingegaan op de PV-systemen en de brandpreventieve maatregelen die toegepast kunnen worden. Hierbij wordt verondersteld dat de onafhankelijke Scios Scope 12 certificering wordt gehanteerd, omdat verzekeraars deze noemen in hun eisen als goede richtlijn voor het veilig installeren van elektrische systemen.[3] Voor dit document is gebruikgemaakt van onder meer (inter)nationale onderzoeken en (inter)nationale regelgeving.

Deze handreiking is door de programmaraad risicobeheersing vastgesteld maar moet gezien worden als een werkdocument dat telkens zal moeten worden aangepast aan actuele ontwikkelingen. Hierbij gaat het zowel om aanpassingen in regelgeving als aanpassingen in technieken en toepassingen.

Voor de aanduiding van deze systemen en onderdelen worden veel verschillende benamingen gebruikt:

- Zonnepaneel
- PV-paneel
- Zonnepaneelsysteem
- Zonnestroomsysteem
- PV-systeem

Wij hebben er bij het opstellen van deze handreiking voor gekozen de termen PV-paneel en PV-systeem te hanteren.

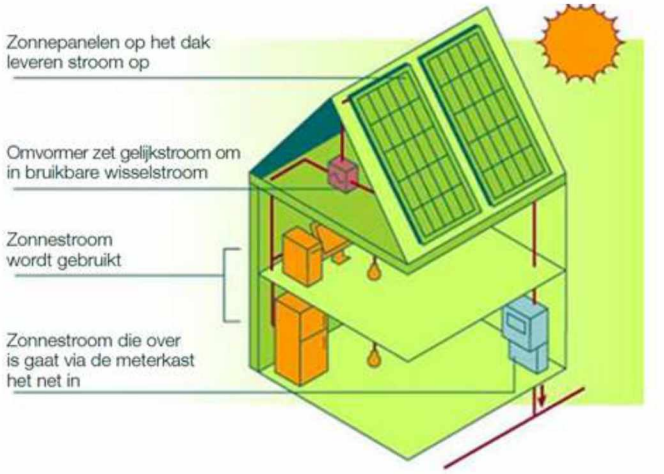
[1] *De BENG-eis vervangt de EPC-eis.*
[2] *Brandincidenten met fotovoltaïsche (PV) systemen in Nederland. Een inventarisatie (TNO 2019 P10287).*
[3] *https://www.scios.nl/welcome/scope-12..*

1 Werking en kenmerken

In dit hoofdstuk worden de werking en de losse onderdelen van een PV-systeem kort toegelicht.

1.1 EEN PV-SYSTEEM

Een PV-systeem wekt stroom op met PV-panelen. De PV-panelen zijn met elkaar verbonden in een lus (string) en leveren gelijkstroom (DC). Via een omvormer wordt hier alternerende stroom (AC) van gemaakt. Deze omvormer is verbonden met de meterkast. In onderstaande afbeelding 1.1 staat dit schematisch weergegeven voor een huis.



Afbeelding 1.1 Schematische weergave van een PV-systeem (Bron: FOV federatie van onderlinge verzekeraars 2012)

1.2 HET PANEEL

Een PV-paneel is een paneel dat zonne-energie omzet in elektriciteit. Een zonnepaneel bestaat uit een verzameling zonnecellen, ook wel fotovoltaïsche cellen genoemd. Per paneel kunnen enkele tientallen volts aan spanning opgewekt worden; dit aantal loopt, afhankelijk van het soort paneel, op naar soms 110 volt per paneel. De meest gebruikte panelen leveren rond de 40 volt per paneel. Het vermogen dat opgewekt wordt per paneel is de vermenigvuldiging van het voltage met de stroom die er doorheen kan (P=U x I). Panelen worden vaak aan elkaar gekoppeld in een lus, ook wel *string* genoemd. Het voltage wordt hierdoor verhoogd. Dit is niet te zien vanaf de buitenkant of zonder nadere informatie van derden.

1.3 DE KABELS

Bij zonnepanelen blijven de kabels, als er licht is, onder spanning staan; de panelen blijven namelijk licht opvangen en wekken hiermee stroom en spanning op. In een lus van 15 zonnepanelen van 40 volt DC die in serie geschakeld zijn, staat er 15 x 40 = 600 volt DC op de kabels. Bij 25 gekoppelde panelen kan dit oplopen tot 1500 volt DC. De maximale spanning is 1500 volt DC. De hoeveelheid stroom hangt direct af van de hoeveelheid licht. Op een goede lichte dag in de zomer kan dit 8-9A zijn. De combinatie van deze stromen en spanningen is zeer gevaarlijk (elektrocutie) bij directe aanraking van de open verbindingen van een kapot systeem.



Afbeelding 1.2 Kabeltracé met transportkabels (Bron: TBO GM)

1.4 DE OMVORMER

De omvormer (ook wel 'inverter' genoemd) is de kast die de gelijkspanning (bijvoorbeeld 1000 volt DC) die van de panelen afkomt, omzet in bruikbare wisselspanning (230 volt AC), zoals die ook in huis gebruikt wordt. Omvormers zijn in allerlei soorten en maten te krijgen met elk hun eigen specificaties. De omvormer wordt veelal dicht bij de panelen geplaatst om energieverliezen door de kabels te verminderen. De omvormer wordt dus bij een PV-systeem op het dak meestal op zolder of een bovenste verdieping geplaatst.

Een omvormer heeft spanning nodig om te kunnen werken. De meeste omvormers krijgen deze spanning uit het net. Als de netspanning van de omvormer wordt afgehaald, stopt deze met het omvormen en het leveren van wisselspanning. Het afschakelen van de omvormer in de groepenkast of door middel van een werkschakelaar, zorgt ervoor dat de omvormer geen stroom meer terug levert naar het elektriciteitsnet. Dit geldt *niet* altijd voor een hybride omvormer of een systeem met een accuopslag; dergelijke omvormers of systemen zijn voorzien van een accu, zodat de omvormer in bedrijf blijft op het moment dat de spanning in de groepenkast afgeschakeld wordt. Het is afhankelijk van de installatie op welke wijze deze afgeschakeld kan worden.

1.4.1 Cascadeopstelling

Vaak bestaat een groot systeem met veel panelen uit meerdere kleinere systemen (cascade-opstelling) die als zodanig behandeld kunnen worden. Dit is bijvoorbeeld het geval met PV-systemen op staldaken of bedrijfspanden. In deze situatie hebben we te maken met meerdere omvormers naast elkaar op een wand gemonteerd. Bij werkzaamheden hieraan zal vooraf helder moeten zijn welke omvormer uitgeschakeld moet worden of dat alle omvormers uitgeschakeld moeten worden. Bij twijfel is het aan te raden om alles uit te schakelen.



Afbeelding 1.3 Cascade-opstelling van omvormer met DC-plug (Bron: TBO GM)

1.4.2 Micro-omvormers

Met name kleinere PV-installaties kunnen ook voorzien zijn van micro-omvormers. Deze bevinden zich direct achter de zonnepanelen. De kabels van maximaal twee zonnepanelen zijn hier op aangesloten. Door het uitschakelen van de betreffende groep in de meterkast worden ook deze micro-omvormers uitgeschakeld. De 230-volt-kabel tussen de meterkast en de micro-omvormers is daarna spanningsloos.

1.5 DC-SCHAKELAAR (LASTSCHEIDER)

In veel gevallen zit er een 'DC-schakelaar' op of bij de omvormer die bij het omzetten ervoor zorgt dat de stroomkring (string van zonnepanelen) wordt onderbroken. De werking is hiermee dus gelijk aan die van een werkschakelaar. Een DC-schakelaar is er in verschillende vormen. Het kan een schakelaar zijn, maar ook een plug die uit de omvormer getrokken moet worden. Als de DC-schakelaar geïntegreerd is in de omvormer, dan is de handelswijze hierop aangegeven (dit is niet altijd duidelijk, en daardoor dus een aandachtspunt). Het installatiedeel achter de DC-schakelaar is na het uitschakelen weliswaar veiliger, maar nog niet helemaal veilig. Tegenwoordig wordt er door sommige leveranciers gebruik gemaakt van een 'brandweerschakelaar'; dit is in feite ook een DC-schakelaar die de stroomkring onderbreekt.

1.6 AANSLUITING VAN DE OMVORMER NAAR DE METER- OF GROEPENKAST

Tussen de omvormer en de groepenkast is de spanning hetzelfde als in een regulier elektriciteitsnet thuis. Deze spanning kan dan afgesloten worden in de meter- of groepenkast door middel van het uitzetten van de hoofdschakelaar of de juiste groep, tenzij het een hybride omvormer betreft. In dat geval zal de stroom worden afgevoerd naar het accupakket. Let op dat in de toekomst vaker gebruikgemaakt zal worden van een energieopslag in woningen door middel van een accupakket.



Afbeelding 1.4 Omvormer in een meterkast. Na stormschade is de DC-schakelaar is omgezet en de betreffende groep uitgeschakeld (Bron: J. Ebus)

1.7 ENERGIEOPSLAG DOOR ACCUPAKKET (OPTIONEEL TOEGEPAST)

Op dit moment neemt de opslag van opgewekte energie toe. Terugleveren van elektriciteit zal in de toekomst om verschillende redenen (onder andere door de afbouw van de salderingsregeling) minder aantrekkelijk worden, zodat het lokaal opslaan van opgewekte energie zal toenemen. De meest gebruikte vorm is op dit moment opslag door middel van accu's, en dan specifiek de Li-ion batterijen waarbij het risico op een thermal runaway aanwezig is. Er wordt hierbij vaak als eerste aan de Tesla powerwall gedacht, maar er zijn inmiddels vele systemen die elk hun eigen specificaties hebben. Het belangrijkste verschil tussen de diverse opslagsystemen is de locatie van de accu in het PV-systeem:

- in de AC-zijde, de wisselspanningszijde van 230 Volt. Dit is de kant waarin de elektriciteit al bruikbaar is voor de gebruikers.
- in de DC-zijde, de gelijkspanningszijde. Dit is tussen de zonnepanelen en de omvormer in. Hierin is de opgewekte elektriciteit nog niet bruikbaar voor de reguliere apparatuur.

Op dit moment is de voorkeur in de installatiewereld om accuopslagen in de DC-zijde te verwerken, omdat hier minder verliezen bij optreden en een accu ook een DC elektrische installatie is. Elke keer als elektriciteit wordt omgezet van gelijkspanning naar wisselspanning of omgekeerd, treden er verliezen op, wat ten koste gaat van het rendement van het systeem. Daarnaast zorgt deze wijze van aansluiten voor minder omvormers in een systeem, waardoor de voorkeur bij nieuwe systemen is om accu-opslag uit te voeren aan de DC-zijde.

Op het moment van schrijven van deze handreiking zijn er nog veel ontwikkelingen op het gebied van accuopslag. Deze ontwikkelingen en de effecten hiervan zullen op een later moment verwerkt worden in een herziene versie. Voor de

veiligheidsaspecten van de plaatsing van energieopslagsystemen op daken wordt verwezen naar: Instituut Fysieke Veiligheid (2020). *Energieopslag en/of -opwekking op daken van collectieve woongebouwen. Handreiking voor een veilige plaatsing vanzonnepanelen in combinatie met Elektriciteit Opslag Systemen*. Arnhem: IFV.

1.8 OPTIMIZERS (OPTIONEEL TOEGEPAST)

Optimizers zijn elektronische componenten die tussen de zonnepanelen en de omvormer geplaatst worden. Deze componenten bewaken het afzonderlijke paneel of de string als geheel en zorgen door onderlinge communicatie voor een hoger rendement van het totale PV-systeem. Het voordeel van veel optimizers is de veiligheidsfunctie die ingebouwd is. Bij een storing in het systeem (zoals bijvoorbeeld brand) gaat de spanning per paneel omlaag naar een veilige uitgaande spanning van 1 volt. Hierdoor is het risico op elektrocutie zo klein dat er gedemonteerd zou kunnen worden zonder kans op vlambogen. Een vlamboog kan pas optreden bij een hogere spanning. Draag wel altijd 1000V geïsoleerde handschoenen. Het nadeel in de praktijk is dat alleen de eigenaar of installateur weet of er gewerkt wordt met optimizers. Om hierachter te komen is kennis van een systeem nodig of zal demontage moeten plaatsvinden. Als het niet duidelijk is of er een optimizer is geplaatst, behandel het systeem dan als een systeem zonder optimizers.

1.9 COMBINERBOXEN (OPTIONEEL TOEGEPAST)

Combinerboxen, ook wel stringboxen genoemd, zijn verzamelkasten voor de stroomkabels afkomstig van verschillende strings met panelen. Deze worden vaak gebruikt in veldopstellingen (platte daken of op de grond). Op de combinerbox kan een DC-schakelaar (lastscheider) aanwezig zijn of er kunnen zekeringen in zitten. Door deze naar 0 te zetten, wordt ook de stroomkring onderbroken. Vanuit een combinerbox wordt de stroom met zwaarder uitgevoerde kabels naar de omvormer geleid.



Afbeelding 1.5 Combinerbox (Bron: TBO GM)

2 Algemene voorwaarden

In dit hoofdstuk worden de algemene voorwaarden genoemd die aan een PV-systeem worden gesteld. In bijlage 1 worden de belangrijkste normen meer in detail weergegeven.

De kwaliteit van de PV-installaties zelf wordt geborgd in wet- en regelgeving en installatievoorschriften. Dit is de reden dat in dit document niet zal worden ingegaan op de elektrische eisen die gesteld worden aan de installatie. De Scios Scope 12 is een inspectie waarin getoetst wordt of de beloofde kwaliteit ook daadwerkelijk geleverd is. Het advies is deze regeling te volgen. Deze handreiking is bedoeld als aansluiting op de Scios Scope 12 en heeft als doel om de toepassing van de PV-installatie op een gebouw of zonnepark veiliger en incidentbestrijding mogelijk te maken, mocht het toch fout gaan.

2.1 KWALITEIT VAN MATERIALEN

De kwaliteit van de gebruikte materialen dient goed te zijn en te voldoen aan de gestelde normen hiervoor (NEN1010), zoals uitgelegd in bijlage 1. In de NEN-EN-IEC 62446 worden aanvullende eisen genoemd voor de documentatie van de installatie, de beproeving voor inbedrijfstelling en voor de eerste inspectie. De keuring is een specialistische taak en geen taak voor de brandweer.

De keuring van de materialen is gebaseerd op controle zoals geproduceerd in de fabriek. Bij transport van zonnepanelen kan echter schade optreden. Daarom is het van belang dat transport goed gebeurt; dit is geregeld in de norm NEN-EN-IEC 62759-1: 2015. Deze norm dient te worden toegepast in combinatie met NEN-EN-IEC 61215 of NEN-EN-IEC 61646. Deze laatste normen zijn kwaliteitsnormen voor zonnepanelen.

2.2 CERTIFICERING EN NORMERING

Door verzekeraars worden steeds strengere eisen gesteld aan PV-systemen om de brandveiligheid te verbeteren. Een voorbeeldclausule kan gevonden worden via de website van de VNAB.[4] Het is aan de individuele verzekeraar of en hoe ze deze voorbeeldclausule gaan hanteren. Het is verstandig om voor de installatie de verzekeraar te consulteren. Het Verbond voor Verzekeraars heeft ook een brandpreventiebrochure uitgegeven met aandachtspunten.[5] Er worden twee onderdelen genoemd in de clausule die hieronder staan toegelicht. Dit zijn de *Scios Scope 12* en het *Opleverings- en controle rapport PV-installaties*.

De *Scios Scope 12* is een landelijke onafhankelijke certificering voor nieuwe PV-installaties, gebaseerd op de bestaande normen (NEN1010, NEN-EN-IEC-62466-1, NEN-EN-61439-1, NEN-EN-IEC 62305, NEN 3140, NEN 7250). De Scios Scope 12 is mede opgezet door het Verbond voor Verzekeraars. Deze certificering kan toegepast worden op elke type en grootte van installatie. Zij is dus geschikt voor PV-toepassingen op daken, land, water en geluidsbarrières, en voor zowel kleine installaties van een paar panelen als grote velden van vele Megawatts. Volgens deze certificeringsregeling wordt een systeem bij oplevering elke vijf jaar gekeurd op de geldende normen. De voorbeeldclausule is gesteld voor systemen vanaf 5 kVA. In deze richtlijn volgen we deze grens. Een andere grens uit de markt is 15 kWp. Dit is de grens tussen de salderingsregeling (de terugleveringscompensatie voor particulieren) en SDE+ subsidie (een subsidie door overheid). Desgewenst kan in adviezen worden afgeweken naar deze grens van 15 kWp.
De Scope kan gevonden worden op: https://www.scios.nl/welcome/scope-12. Na een gratis registratie is er toegang tot de documenten, waarin in de TD18 de specificaties staan voor de keuring van zonnestroomsystemen.

Het *Opleverings- en controlerapport PV-installaties* van Holland Solar en Techniek Nederland kan gevonden worden via deze link.[6] Het systeem wordt bij invulling van het rapport visueel gekeurd en elektrisch doorgemeten, waarna het voldoet aan de gestelde normen. Het rapport vult de installateur zelf in en de controle is dus niet onafhankelijk.

Er zijn drie landelijke erkenningsregelingen voor PV-installateurs: InstallQ, ZonnekeurKIWA BRL K11008. InstallQ is de landelijke regeling voortgekomen uit de samenvoeging van de erkenningsregelingen Sterkin en KvINL.[7] Zonnekeur heeft

[4] *Zie: "Voorbeeld clausule zonnepaneleninstallaties met een vermogen van meer dan 5 kVA (garantie)", https://www.vnab.nl/nl-NL/downloads/modelvoorwaarden-en-clausules, onder het kopje brand (2020).*
[5] *Preventiebrochure Zonnepanelen, Verbond voor Verzekeraars (2020).*
[6] *Opleverings- en controlerapport installaties, TechniekNL, https://www.techniekNederland.nl/producten/zonne-energie-installaties.*
[7] *InstallQ, https://installq.nl/zonnestroominstallaties-pv.*

InstallQ als basis, aangevuld met extra kwaliteitseisen.[8] KIWA BRL K11008 is in voorbereiding door KIWA.[9] De regelingen kunnen worden gebruikt om de kwaliteit van een installateur te borgen.

Het advies is:

- altijd eerst contact op te nemen met de verzekeraar.
- *Scios Scope 12* certificering en/of het *Opleverings- en controlerapport PV installaties* te gebruiken voor grote systemen.
- Het *Opleverings- en controlerapport PV installaties (tot 3x25A)*[6] te gebruiken voor kleine systemen en/of *Scios Scope 12* certificering te gebruiken voor kleine systemen ter keuring bij oplevering. De *Scios Scope 12* certificering kan ook steekproefsgewijs bij gezamenlijke inkoopacties gebruikt worden.
- te werken met installateurs die erkend zijn via een landelijke regeling.
- te werken met installateurs die ingeschreven staan bij de Kamer van Koophandel (KvK) met een relevante elektrotechnische installatie branchecode.
- te werken met installateurs die een bedrijfsaansprakelijkheidsverzekering hebben. Kosten bij eventuele schade kunnen dan verhaald worden.

[8] *http://www.zonnekeur.nl/*
[9] *KIWA BRL K11008. https://www.kiwa.com/nl/nl/service/brl-k11008-installatie-van-zonne-energie-systemen/.*

3 Toepassing op bouwwerken

3.1 BRANDOORZAKEN

Er is (inter)nationaal veel onderzoek gedaan naar de oorzaken van brand door PV-systemen. Door TNO is onderzoek gedaan naar de oorzaken van branden in PV-systemen op daken in Nederland.[10] Het gros van de oorzaken werd gevonden in gebrekkige planning (materialen, legplan) en uitvoering van een installatie. De Scios Scope 12 is ingesteld om deze oorzaken te ondervangen. De verwachting is dat hierdoor het aantal brandincidenten door PV-systemen flink zal dalen. De oorzaken van branden door PV-systemen zullen dan meer gelijkelijk worden verdeeld in het systeem en kunnen dan gevonden worden bij de panelen zelf (inclusief junction boxen), bij bekabeling en connectoren, bij de omvormers en bij andere elektronica.[11]

Om brand te voorkomen en uitbreiding te beperken, is het uitgangspunt dat een PV-systeem (inclusief de omvormer) zijn eigen brandcompartiment krijgt, zover dit mogelijk is. Dit betekent dat de adviezen zich richten op de kwaliteit van de ondergrond, de doorvoer van de verschillende componenten van het systeem en het inrichten van compartimenten bij grote installaties (onderwerp in de norm NEN 7250 die op dit moment wordt herzien).

3.2 PV-SYSTEEM OP OF IN EEN DAKCONSTRUCTIE OF OP DE GEVEL

Een PV-systeem kan op een dakconstructie worden geplaatst of worden geïntegreerd in de dakconstructie. Dit wordt in dit document een ‘op-dak’ respectievelijk een ‘in-dak’ PV-systeem genoemd.

- Op-dak PV-systeem: op de dakconstructie wordt een frame gemonteerd waarin de PV-panelen worden geplaatst. Het betreffende dak kan plat of schuin zijn, en bestaan uit verschillende typen dakbedekking.
- In-dak PV-systeem: de PV-panelen worden in het dak gemonteerd en hebben ook de functie van waterkerende laag.

Op de onderstaande afbeelding 3.1 is zowel een in-dak (rechts) als een op-dak (links) PV-systeem zichtbaar.



Afbeelding 3.1 Links een ‘op-dak’ PV-systeem en rechts een ‘in-dak’ PV-systeem (Bron: IFV)

Ook worden PV-panelen steeds vaker op de gevel geplaatst, of in tuinen naast woningen, wat mogelijk problematisch is voor de bereikbaarheid.

[10] *Brandincidenten met fotovoltaïsche (PV) systemen in Nederland. Een inventarisatie (TNO 2019 P10287).*
[11] *Photovoltaics and Firefighters’ Operations: Best Practices in Selected Countries, IEA, Report IEA-PVPS T12-09:2017 (2017).*

3.2.1 Uitgangspunt: PV-systeem krijgt eigen brandcompartiment

Voor brandweeradvisering is het uitgangspunt dat een PV-systeem een eigen brandcompartiment krijgt en dat het aantal minuten weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (WBDBO) voor de ondergrond (in-dak, op-dak en gevel, van buiten naar binnen) conform het Bouwbesluit is voor het desbetreffende gebouw en gebruiksfunctie. Voor een laag utiliteitsgebouw (hoogste verblijfsvloer ≤ 5 meter) is dit bijvoorbeeld 30 minuten WBDBO, en voor een flatgebouw 60 minuten WBDBO. Ook dient de scheiding tussen brandcompartimenten te worden gehandhaafd. Zie ook het Bouwbesluit art. 268 voor nieuwbouw en art. 277 voor bestaande bouw.

3.2.2 Op-dak systemen

Een PV-systeem op een dak met een dakbedekking van brandklasse A en B, zoals bijvoorbeeld dakpannen, levert minder brandgevaar (ontsteking) op dan wanneer hetzelfde systeem wordt geplaatst op een dak met een lagere brandklasse (bijvoorbeeld met een bitumen dakbedekking).

Aandachtspunt bij het plaatsen van een PV-systeem is de extra belasting van het dak door het gewicht van het systeem. Ook zijn loopruimte en valbeveiliging voor montage en onderhoud van belang. Het kan ook van invloed zijn op de windbelasting op het dak. Als de windbelasting op een dak te groot wordt, dan worden de PV-panelen in plaats van onder een ideale hoek ook wel (bijna) plat op het dak gelegd. De meeste zonnepanelen staan op een plat dak in een hoek van 10-15 graden – dit in tegenstelling tot de ideale hoek die voor Nederland rond de 38 graden ligt.



Afbeelding 3.2 Op-dak PV-systeem op een bedrijfshal, vlak vanwege windbelasting (Bron: Tbo GM)

Een PV-systeem dient goed geventileerd te zijn. Er dienen geen uitstekende elementen tegen de panelen aan te komen die voor schade kunnen zorgen. Het advies vanuit de fabrikanten is dat de PV-panelen minimaal 10cm van (alle onderdelen van) het dak liggen. Volgens de branche is dit bij de meeste PV-systemen inderdaad het geval.

3.2.3 In-dak systemen

Bij een in-dak systeem worden de PV-panelen in het dak gemonteerd en hebben ook een waterkerende functie.

Er zijn een aantal specifieke aandachtspunten bij in-dak systemen; in de installatievoorschriften van de PV-panelen wordt aangegeven onder welke voorwaarden de panelen kunnen worden toegepast.

- De ondergrond waarop de PV-panelen worden geplaatst, moet aan een bepaalde brandklasse voldoen of onbrandbaar zijn. Dit is geen eis vanuit de bouwregelgeving, maar een eis van de producent. Dit houdt in dat er goed gekeken moet worden naar de productinformatie en de materialen die toegepast worden; de verzekeraar kan hier extra eisen aan stellen.
- Het advies is om bij deze daken gebruik te maken van onbrandbare materialen (brandklasse A, B) voor constructie, isolatie en dampremmende folie. Verder dienen de connectoren vrij te worden gehouden van materialen. De afstand van het paneel (dit geldt ook voor de junction box en andere elektronica) tot de dakisolatie / folie dient volgens de voorschriften van de fabrikant te zijn. Dit is ongeveer 10 centimeter om voldoende ventilatie achter het systeem te krijgen. Het systeem dient ook zodanig zijn gemaakt dat de ruimte achter te panelen voldoende geventileerd wordt.

De ontwikkeling van PV-panelen gaat snel. Het type PV-paneel dat daadwerkelijk wordt toegepast, wordt vaak pas op het laatste moment bepaald, terwijl de detaillering van de PV-panelen al in de aanvraag voor de omgevingsvergunning is vastgelegd. Dit maakt controle op de bovenstaande punten lastig.



Afbeelding 3.3 Branduitbreiding over de brandscheiding heen. De panlatten zijn conform regels. Rechts: detail; dakpannen onderbroken (Bron: Tbo GM)

3.2.4 Dakconstructie en brandgevaar

Een dakconstructie mag niet brandgevaarlijk zijn overeenkomstig NEN 6063 (Bouwbesluit art.2.7.1.). Dit wordt getest door een vuurkorf met 600 gram houtwol in brand te steken op een dakconstructie. Aan de dakbedekking wordt vaak een additief toegevoegd om de test te kunnen doorstaan en bij kunststof dakbanen wordt hiervoor een extra laag glasvlies toegepast. Dit wordt gedaan om het door de dakbedekking branden / zakken van het vuur te vertragen. Als er PV-panelen boven de dakbedekking aanwezig zijn, komt de situatie niet overeen met de testsituatie waarbij voor een dakconstructie wordt bepaald of deze wel of niet brandgevaarlijk is. De energie van het vuur kan niet vrij van de dakbedekking wegstromen, maar wordt door de PV-panelen tegengehouden. Dit kan de nog niet brandende dakbedekking opwarmen, waardoor het brandgedrag van de dakbedekking anders wordt.

Er geldt een uitzondering voor NEN 6063: als een gebouw geen voor personen bestemde vloer heeft, hoger dan 5 meter en binnen 15 meter van de perceelsgrens gesitueerd, dan hoeft een dak niet aan de eis te voldoen. Als er een dakconstructie wordt toegepast die niet aan de NEN 6063 voldoet, dan vergroot dit de kans dat een brand op een dak zich snel kan uitbreiden.

Als de zon schijnt, kunnen vlambogen ontstaan bij een defect PV-systeem of een PV-systeem dat bij brand betrokken raakt. De temperatuur van een vlamboog is vele malen hoger dan de temperaturen waaraan een niet-brandgevaarlijk dak in de test wordt blootgesteld. Te verwachten is daarom dat een vlamboog snel door een niet-brandgevaarlijke dakbedekking heen brandt en de mogelijk brandbare dakisolatie bereikt. Dit kan voor een snelle branduitbreiding zorgen.

De NEN 6063 gaat over de brandbaarheid van daken door externe oorzaken, zoals vliegvuur en beperkte warmtestralingsintensiteit. Er is een NEN norm in voorbereiding over PV-systemen op en om de bouwschil. Tot deze norm is vastgesteld, is het advies voorlopig de NEN 6063 te volgen met de opmerking dat de dakopbouw ook de hittebelasting van een langdurige vlamboog dient te kunnen weerstaan. Om dit te bereiken is het advies om een niet-brandgevaarlijke dakconstructie toe te passen met een niet-brandgevaarlijke dakisolatie, bij voorkeur een onbrandbare isolatie met brandklasse A,B (volgens NEN-EN 13501-1).

3.2.5 Gevelconstructie

Als de PV-panelen geïntegreerd zijn in de gevelconstructie, moet er net als bij andere gevelconstructies aandacht zijn voor brandoverslag en -doorslag. Als een brand in de gevelconstructie terechtkomt, kunnen mogelijk delen van de gevelconstructie worden verwijderd om de brand te bestrijden. Als dit PV-panelen zijn, kan dat belemmerend werken, omdat op de onderdelen van de PV-installatie spanning kan blijven staan.

Er zijn geen normen of testen die gaan over de materialen van panelen bij toepassing aan gevels. Het kan daardoor zijn dat de stevigheid van een zonnepaneel minder wordt (verzakkingen) over de jaren heen door de werking van de zwaartekracht. Het effect hiervan is onbekend. Het advies specifiek voor gevels is:

- tussen PV-panelen op gevels van twee brandcompartimenten de NEN norm 6068 te volgen. In de hoogte kunnen ‘fire blocks’ worden gebruikt; in de lengterichting van de gevel de zijkanten dient 1 meter afstand te worden aangehouden tussen PV systemen.
- om geen PV-panelen boven een nooduitgang / vluchtweg te plaatsen (voorstel[12]: 1 meter vanaf iedere kant).

[12] *Er is aansluiting gezocht bij de één-meter-regel.*

3.2.6 Gewicht

Niet elk dak of elke gevel is geschikt om het extra gewicht van het PV-systeem te kunnen dragen. Door middel van een constructieberekening door een constructeur dient te worden aangetoond dat de constructie het gewicht en de extra windbelasting aan kan. Dit wordt ook gesteld in de voorbeeldclausule van verzekeraars. Het betreft niet alleen het gewicht van de PV-installatie zelf, maar ook de gebruikte ballastmiddelen (bij het dak) en de windbelasting. De constructieve veiligheid moet voldoen aan het Bouwbesluit. Lichtgewicht PV-systemen zullen komende jaren steeds meer op de markt komen; deze kunnen ook op wat zwakkere constructies geplaatst worden. Voor een dak geldt dan dat dit mogelijk niet meer toegankelijk is om over te lopen, op uitzonderingsstroken na. Dit dient aangegeven te worden op de meterkast- of entreekaart (zie daarvoor Bijlage 2 respectievelijk 3).

3.3 GROTERE INSTALLATIES (VANAF 5 KVA)

Bij grotere installaties zijn er specifieke aandachtspunten die in deze paragraaf toegelicht worden. De grens tussen klein en groot is 5 kVA, de grens zoals aangegeven in de voorbeeldclausule van de verzekeraars. Specifieke aandacht dient gegeven te worden aan PGS15-gebouwen (opslagloodsen voor gevaarlijke stoffen), het wel of niet toepassen van gelijkwaardigheid en de aanwezigheid van sprinklersystemen. Tevens dient een PV-systeem te worden aangelegd in compartimenten om toegang tot het dak mogelijk te maken en branduitbreiding te beperken.

3.3.1 PGS15 gebouwen

Voor het aanbrengen van een PV-systeem op een PGS-15 gebouw dient er overleg met de betreffende Veiligheidsregio en verzekeraar te worden gevoerd. Het aanbrengen van het PV-systeem kan leiden tot het stellen van hogere brandveiligheidseisen aan het gebouw, maar kan ook voorschriften bevatten over de uitvoering van het systeem.

Er wordt geadviseerd het volgende toe te passen:

- Een WBDBO naar binnen / buiten en naar buiten / binnen van 60 minuten.
- Isolatiematerialen dienen van brandklasse A te zijn.
- Als omvormers binnen staan, dienen ze in een ruimte beneden in het gebouw te worden geplaatst, op een gemakkelijk toegankelijke plek met een WBDBO van 60 minuten naar de rest van het gebouw. Omvormers worden bij voorkeur buiten het gebouw geplaatst (transformatorhuis).
- Als de bekabeling van het PV-systeem aan de buitenzijde van het gebouw wordt aangebracht, moet deze voldoen aan NEN 1010. Als de bekabeling van het PV-systeem aan de binnenzijde van het gebouw wordt aangebracht, moeten de gebruikte kabels vlamdovend zijn.

3.3.2 Utiliteitsgebouw zonder toepassing gelijkwaardigheid

Het aanbrengen van een PV-systeem op daken van utiliteitsbouw waarbij brandcompartimentering conform het Bouwbesluit zonder toepassing van gelijkwaardigheden wordt gebruikt, verandert het brandveiligheidsniveau van een bouwwerk. Hierbij is het van belang om de scheidingen tussen de brandcompartimenten te respecteren en uit te voeren zoals verderop in dit document in paragraaf 3.3.5 bij het legplan en brandcompartimentering is aangegeven.

3.3.3 Utiliteitsbouw met toepassing gelijkwaardigheid

Het aanbrengen van zonnepanelen op daken waarbij gelijkwaardigheid is toegepast, verandert het brandveiligheidsniveau van een bouwwerk. Voor het aanbrengen van zonnepanelen op bouwwerken gelden vanuit brandveiligheid geen specifieke eisen vanuit het Bouwbesluit. Dit moet meegenomen worden in het brandbeveiligingsconcept.

Voor extra informatie omtrent utiliteitsgebouwen met en zonder toepassing van gelijkwaardigheid wordt verwezen naar het document *Zonnepanelen: Ontwerpuitgangspunten voor daken en velden*.[13]

3.3.4 Gesprinklerde gebouwen

Als een brandcompartiment voorzien is van een sprinklerinstallatie, kan een dak- of gevelbrand een bedreiging zijn voor de aanwezige sprinklerinstallatie. Een sprinklerinstallatie wordt ontworpen om een brand met een bepaalde omvang / intensiteit onder de installatie te kunnen beheersen. Door een dak- of gevelbrand kan mogelijk op meerdere plaatsen brandend materiaal in het compartiment terechtkomen. Dit kan zorgen voor een brand van zodanige omvang en/of intensiteit dat de installatie deze brand niet meer kan beheersen. Ook kan de installatie door de brand van boven dermate worden beschadigd, dat deze zijn werk niet meer naar behoren kan uitvoeren (denk aan vallende constructiedelen van het dak).

Bij nieuwbouw wordt geadviseerd om in het *Uitgangspuntendocument* van de sprinklerinstallatie rekening te houden met de aanwezigheid van een PV-systeem. Als er een PV-systeem wordt aangebracht op een bestaand gebouw waarin een

[13] *R. Ummenthum* (2020). *Zonnepanelen Ontwerpuitgangspunten voor daken en velden. Veiligheidsregio Limburg-Noord.*

sprinklerinstallatie aanwezig is, dan zal bekeken moeten worden of er met een PV-systeem nog steeds wordt voldaan aan het *Uitgangspuntendocument*.

3.3.5 Compartimentering

Ook grote daken van bijvoorbeeld bedrijfshallen worden vol PV-panelen gelegd. Naast verhoogde kans op brand door het PV-systeem zelf, kunnen PV-panelen ook het blussen belemmeren, omdat bluswater niet onder de panelen kan komen.

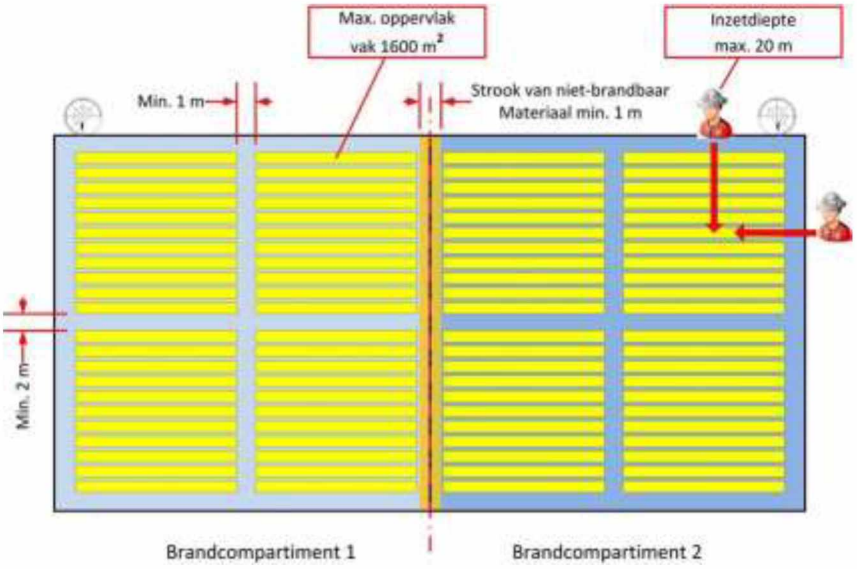
Geadviseerd wordt om grote dakoppervlakten in te delen in compartimenten (secties) met stoplijnen ertussen om verdere branduitbreiding via de dakbedekking en de -isolatie te voorkomen of te beperken. Deze strook wordt vrijgehouden van zonnepanelen en is voorzien van een onbrandbare dakconstructie met onbrandbare dakbedekking (brandklasse A, B). Hierdoor blijft de brand beperkt tot het compartiment. Deze barrière hindert de branduitbreiding en biedt de repressieve dienst de mogelijkheid om de brand te kunnen bereiken en deze strook te gebruiken als stoplijn. Zonder de aanwezigheid van dergelijke stroken is het voor de repressieve dienst niet of nauwelijks mogelijk om op het dak te kunnen treden. Ook voor regulier onderhoud zijn deze stroken van belang. Daarnaast is het advies deze stroken samen te laten vallen met brandscheidingen. Over de brandscheidingen mogen geen PV-panelen zijn geplaatst en het gebruikte materiaal dient conform de brandwerendheidseisen te zijn.



Afbeelding 3.4 Onbrandbare dakisolatie beperkt de brand op het dak (Bron: Tbo GM)

De indeling van het dak in compartimenten is schematisch weergegeven in afbeelding 3.5. De compartimenten hebben de volgende kenmerken:

- Voor de indeling van het dak is het advies te werken met vlakken van maximaal 40 bij 40 meter (1600 m^2). Dit in verband met de worplengte van een lagedruk-straal.
- De brandscheidingsstroken zijn minimaal 1 meter breed in een richting en 2 meter breed in de richting hier haaks op. De 2-meter-strook dient in het verloop te liggen van de aansluiting op de droge blusleiding, indien aanwezig (optioneel, in overleg met de Veiligheidsregio). Voor gebouwen smaller dan 40 meter hoeft maar een strook van 1 meter breed per 40 meter lengte te worden gerealiseerd.
- Als het mogelijk is, wordt deze strook boven een constructiedeel (muur) geplaatst in verband met de stevigheid voor het belopen van dit pad. Dit wordt ook aangegeven in de meterkastkaart (zie paragraaf 3.7).
- Bij zeer grote (meer dan 120 meter breed en lang), hoge (>20 meter) of niet goed bereikbare daken kunnen droge blusleidingen (60m^3/uur) aangelegd worden. Er dient hiertoe advies te worden verkregen van de desbetreffende Veiligheidsregio, omdat deze daken wel bereikbaar moeten zijn voor de brandweer. Dit is afhankelijk van het gekozen scenario bij een incident en dient daarom goed afgestemd te worden met verzekeraar en de Veiligheidsregio.
- Bekabeling over de stroken dient vlamdovend te worden aangebracht.
- Zoals eerder gesteld, mogen over een brandcompartiment heen geen PV-panelen geplaatst worden. Ook dient de doorvoer van bekabeling de brandveiligheidsnormen te waarborgen. Ander gebruikt materiaal dient ook de brandveiligheidsnormen te waarborgen tussen brandcompartimenten (en erfgrenzen).
- De dakrand dient vrij te zijn, waarbij de afstand tot de dakrand minimaal even groot is als het hoogste punt van het paneel en de no-go zone ter reductie van windbelasting (afhankelijk van hoogte en breedte gebouw) wordt gevolgd.



Afbeelding 3.5 Indeling van een dak in compartimenten (schematische weergave)

Vrije ruimte

Op de plaatsen waar doorvoeringen (bijvoorbeeld bij (elektra-)kabels, een rookgasafvoer van een cv-installatie, kooiladders of lichtkoepels en lichtstraten) aanwezig zijn in de dakconstructie, bestaat het risico dat een dakbrand zich uitbreidt naar de binnenzijde of een brand van binnen zich uitbreidt naar het dak van het bouwwerk. Geadviseerd wordt om de directe omgeving vrij te houden van PV-panelen om direct vlamcontact te voorkomen (zie afbeelding 3.6). Hierdoor wordt het risico beperkt dat de brand zich naar binnen of buiten toe kan verplaatsen. Geadviseerd wordt rondom een object op het dak een vrije ruimte te realiseren met een breedte van tenminste 1 meter en minimaal voorzien van een niet brandgevaarlijke dakbedekking. Ook dient er een vrije toegang tot objecten zoals bijvoorbeeld een ventilatieschacht of lichtkoepel te zijn (zie afbeelding 3.7).



Afbeelding 3.6 Voorbeeld van vrije ruimte rondom een daklicht (Bron: Tbo GM)



Afbeelding 3.7 Voorbeeld van het risico van zonnepanelen nabij lichtkoepels bij onvoldoende vrije ruimte (Bron: Tbo GM)

3.4 BRANDSCHEIDINGEN

Ter plaatse van de brandscheidingen zijn in het dak vaak brandpreventieve voorzieningen aanwezig om een bepaalde WBDBO te garanderen. Het PV-systeem kan hierop een negatieve invloed hebben. Er zal aangetoond moeten worden dat het systeem geen nadelige invloed heeft op de benodigde WBDBO.

Om te voorkomen dat de brand zich via de PV-panelen kan uitbreiden, wordt geadviseerd om aan beide zijden van de brandscheiding een strook vrij te houden van zonnepanelen. Dit verkleint de kans dat een brand zich onder of via de PV-panelen naar het aangrenzende brandcompartiment kan verplaatsen. Daarnaast biedt het repressie de kans om de brandscheiding te laten fungeren als stoplijn. Hoe breed deze strook moet zijn, kan per situatie verschillen. Het uitgangspunt hierbij is 1 meter.

3.4.1 Woningen (kleine daken)

Bij een standaard rijtjeswoning is er beperkte ruimte beschikbaar voor zonnepanelen. Zonder vrije ruimte tussen de PV-systemen van twee verschillende woningen kan er bij brand niet eenvoudig een stoplijn worden gerealiseerd. Geadviseerd wordt om ruimte vrij te houden van 1 meter over de brandscheiding heen, 0,5 meter aan iedere kant. Dit komt overeen met de no-go zone voor windbelasting en is overeenkomstig de voorwaarden van het vergunningsvrij plaatsen van een dakkapel. Dit mag tot op 0,5 meter van de erfscheiding. Zowel bij een in-dak- als een op-daksysteem is het advies een dergelijke vrije ruimte aan te houden. Bij woningen met een schuin dak kunnen ter plaatse van de erfscheiding enkele dakpannen of passtukken worden gebruikt. Ter plaatse van de brandscheiding kunnen standaard details worden toegepast om de benodigde WBDBO tussen de brandcompartimenten te realiseren.

Voor platte daken geldt altijd een no-go zone in verband met windbelasting en een storingsvrijeruimte.



Afbeelding 3.8 Vrije ruimte tussen PV-panelen (Bron: Shutterstock)

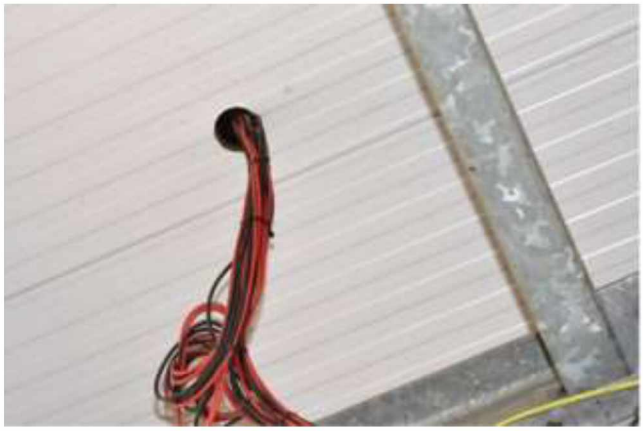
3.4.2 Grote daken

Het advies is om brandscheidingen bij grote daken samen te laten vallen met de compartimenteringsstroken, zoals besproken in de vorige paragraaf.

3.4.3 Doorvoeringen in brandscheidingen

Als er voor een PV-systeem een doorvoering in een brandwerende scheidingsconstructie wordt gemaakt, zal deze doorvoering zodanig dichtgezet moeten worden dat er aan de gestelde WBDBO-eis wordt voldaan. Op de bekabeling van een PV-systeem blijft echter spanning staan. Als de bekabeling door een brand wordt beschadigd, kan er een vlamboog ontstaan. Deze vlamboog kan zichzelf in stand blijven houden. Het is niet bekend of er applicatie-techniek of een brandmanchet bestaat die de vlamboog kan stoppen ter plaatse van de brandscheiding.

Het advies is om de bekabeling van een PV-systeem niet door een brandscheiding heen te leiden. Daar waar bekabeling wel door een brandscheiding heen wordt geleid, dient deze doorvoering te worden voorzien van brandwerende voorzieningen. Tevens moet het doorvoeren van de bekabeling van het PV-systeem langs scherpe delen van een constructie worden voorkomen.



Afbeelding 3.9 Doorvoering van bekabeling die niet voldoet. De bekabeling loopt langs scherpe delen van een overkapping. Plus- en minkabels lopen door dezelfde doorvoer, terwijl de onderlinge afstand minimaal 10 cm moet zijn. (Bron: Tbo GM).

3.5 AANDACHTSPUNTEN OP HET GEBIED VAN VEILIGHEID: EXTERNE INVLOEDEN

3.5.1 Wind in combinatie met scherpe constructieonderdelen

Een aandachtspunt is bekabeling die door de wind mogelijk langs constructieonderdelen gaat schuren. De kans op beschadiging hierdoor is groter bij scherpe constructiedelen. Dit kan uiteindelijk tot brand leiden. Bekabeling dient geleid te worden via een halfronde zwanenhals.

3.5.2 Water

De connectoren waarmee de bekabeling van het PV-systeem wordt aangesloten, hebben enige weerstand tegen water. Als connectoren (langdurig of herhaaldelijk lang) in water liggen, kan dit echter voor corrosie zorgen, waardoor een overgangsweerstand ontstaat. De hitte die hierbij ontstaat, kan voor brand zorgen als deze connector (weer) droog ligt. Als deze connector in water ligt, is er een elektrocutiegevaar. Het advies is daarom om de bekabeling zodanig aan te brengen dat deze niet in het water kan komen te liggen. Op platte daken worden hiervoor verhoogde kabelgoten toegepast (onderdeel Scios Scope 12). Daarnaast dienen kabels ook niet door ruimtes te worden geleid waar het risico bestaat dat de connectoren in water terecht komen.

Een PV-systeem dat op een dak wordt gelegd, mag de afwatering niet hinderen: water dient vrijelijk weg te kunnen stromen. Dit geldt voor alle onderdelen van het PV systeem. Dit is met name van belang op een plat dak. Bij hinder kan water namelijk op het dak blijven staan, en op deze continue toegevoegde belasting is de dakconstructie niet zomaar berekend.



Afbeelding 3.10 Bekabeling met connectoren in een kruipruimte vol met water door een defecte pomp (Bron: Tbo GM)

3.5.3 Hagelbuien

Bij hagelbuien kunnen PV-panelen beschadigen of kunnen er beschadigingen ontstaan aan de stroomvoerende onderdelen van de PV-systemen. Dit kan tot een brandrisico leiden. Het risico neemt toe met de tijd. Sommige vormen van schade worden pas zichtbaar na enkele maanden. Kleine breuken die kunnen ontstaan bij een hagelbui worden door temperatuur- en vochtschommelingen en elektrische stroom groter met de tijd. Het advies is om het systeem na een (zware) hagelbui te inspecteren op directe schade, maar ook nogmaals na drie maanden tot een jaar.

3.5.4 Zonlicht
PV-panelen reflecteren zonlicht. Dit kan belemmerend werken op de omgeving, bijvoorbeeld op bestuurders van auto's. Het advies is dat PV-panelen zodanig gericht moeten zijn dat reflectie geen probleem vormt voor de omgeving of dat de PV-panelen getextureerd zijn waardoor er überhaupt geen reflectie is.

3.5.5 Vuil
Vogelpoep en ander vuil zorgt voor beschaduwing en daardoor voor een zogenoemde hotspot; de temperatuur loopt daar, of in de diode in de junction box, te hoog op. Dit kan op termijn het paneel beschadigen waardoor een brandrisico kan ontstaan. Het advies is het PV-systeem met regelmaat (jaarlijks) schoon te maken, waar de regen dit niet voldoende kan. Schoonmaken dient te gebeuren met zachte spons en zonder schoonmaakmiddelen. Jaarlijks dienen potentieel brandgevaarlijke vervuiling zoals nesten en zwerfvuil / bladafval te worden weggehaald. Het legplan dient rekening te houden met al het regelmatig terugkerend beheer (met een frequentie van 1 of vaker per jaar) van en aan installaties en/of gebouwelementen. Het systeem zou hiervoor niet (gedeeltelijk) ontmanteld te hoeven worden.

3.5.6 Vogelnesten
Vogels kunnen onder zonnepanelen gaan nestelen. Deze nesteling kan voor schade zorgen, die mogelijk brand kan veroorzaken. Het advies is om rondom zonnepanelen een vogelwering aan te brengen die nestelen voorkomt.

3.5.7 Verwijderen van oude systemen
Als het PV-systeem niet meer functioneel is of niet meer onderhouden wordt, dient het verwijderd te worden. Als dit niet gebeurt, kan het op den duur een veiligheidsprobleem worden, omdat de onderdelen slijten (door weer, wind en UV-effecten, maar ook door knaagdieren en warmte / koude-wisselingen) en omdat de cellen bij licht altijd blijven werken. Dit verwijderen valt onder het Bouwbesluit, artikelen 1.16 en 7.10.

3.6 AANDACHTSPUNTEN OP HET GEBIED VAN VEILIGHEID: HET ELEKTRISCHE SYSTEEM

Via de Scios Scope 12-regeling wordt het elektrisch systeem gekeurd. Bij toepassing op een gebouw zijn er enkele aandachtspunten voor het elektrisch systeem die hier aanvullend op zijn of die extra toelichting verdienen.

3.6.1 Kabeltracé PV-systeem binnen en buiten het gebouw en het gebruik van extra DC-schakelaars
Een gedeelte van de PV-installatie kan niet uit worden geschakeld. Er blijft spanning op de PV-panelen en de gelijkstroombekabeling staan, zolang er stroom opgewekt wordt door (zon)licht. Het gedeelte van het PV-systeem dat onder spanning blijft staan, kan wel worden beperkt, waardoor er mogelijk veiliger opgetreden kan worden. Door het PV-systeem van extra DC-schakelaars te voorzien, kunnen delen van de (transport)bekabeling spanningsloos worden gemaakt. Bij voorkeur kunnen deze DC-schakelaars worden aangestuurd vanaf een centrale plek zoals de meterkast.



Afbeelding 3.11 Kabeltracé met transportkabels en een niet automatische stringbox met DC schakelaar om een dakvlak met panelen te ontkoppelen (Bron: Tbo GM)

3.6.2 Inductielus
Kabeltracés op het dak dienen zo aangelegd te worden dat de zogenaamde inductielus zo klein mogelijk wordt gemaakt. Dit betekent dat de + en – kabels (rood en zwart) die vanaf elk PV-paneel komen, dicht langs elkaar dienen te worden gelegd om de ruimte (het oppervlakte) tussen de kabels zo klein mogelijk te houden. Door alle elektrische systemen die in de buurt van een blikseminslag (ook bij een niet directe inslag) liggen, gaat een stroom lopen die qua grootte afhankelijk is van de magnetische flux van de bliksem en het oppervlakte van de inductielus. Deze stroom kan voor schade en eventueel brand zorgen. Een goede installateur houdt in zijn legplan voor zonnepanelen al rekening met een kleine inductielus. Een (grote) inductielus kan mogelijk voor storingen in apparatuur en portofoons zorgen. Meer informatie over de inductielus kan gevonden worden op de website van ISSO.[14]

[14] *https://kennisbank.isso.nl/.*



Afbeelding 3.12 Bekabeling boven een verlaagd plafond (Bron Tbo GM)

3.6.3 Connectoren

Het gros van de branden in Nederland waarbij PV-panelen zijn betrokken wordt veroorzaakt door slecht aangesloten connectoren.[15] Cross-mating van connectoren waarbij verschillende typen op elkaar worden aangesloten, is hiervan (deels) de oorzaak. Verschillende typen connectoren passen niet altijd op elkaar, maar dit wordt soms toch geforceerd.

Het advies is dat in een systeem maar één type connector worden toegepast (cross-mating is niet toegestaan). Deze connectoren mogen niet ter plaatse bij installatie worden gemonteerd; de juiste connectoren moeten reeds in de fabriek gemonteerd zijn. Uitzondering hierop is als beide fabrikanten te kennen hebben gegeven dat de producten aan elkaar verbonden mogen worden. Dit zal duidelijk in de montagevoorschriften moeten zijn aangegeven. In de Scios Scope 12-inspectie wordt gecontroleerd of de connectoren goed vastzitten.

3.6.4 Vlamboogdetectie

Sommige omvormers zijn uitgerust met vlamboogdetectie. Bij andere kan dit separaat aan de installatie worden toegevoegd. Aandachtspunt is dat de ingebouwde vlamboogdetectie bij inbedrijfstelling wel wordt aangezet.
Het advies is om vlamboogdetectie bij PV-systemen toe te passen. PV-systemen met optimizers kunnen voorzien zijn van vlamboogdetectie. Deze staat echter meestal uit. Wanneer ze wel aan staan, resulteert dat in 30% meer storingen, waardoor de detectie meestal weer uitgezet wordt. Er moet dus van uitgegaan worden dat de vlamboogdetectie uitstaat.

3.6.5 Omvormers

Om verliezen te beperken wordt de lengte van het DC-kabeltracé naar de omvormer zo kort mogelijk gehouden. Dit betekent dat de omvormer dicht bij de zonnepanelen wordt geplaatst, meestal op zolder. De kabels naar de omvormers toe kunnen onder spanning blijven staan en bij brand een risico vormen voor de repressieve dienst. In de omvormers kan net als in andere apparaten een brand ontstaan.

De volgende adviezen worden gegeven:

- De omvormer(s) moeten op een voor de brandweer goed bereikbare plaats gepositioneerd worden.
- De omvormer(s) moeten op een brandwerende ondergrond (met een WBDBO van 60 minuten rondom) geplaatst worden.
- De omvormer(s) moeten worden vrijgehouden van andere objecten.
- De omvormer(s) moeten niet in een vluchtroute of verblijfsruimte geplaatst worden.
- De omvormer(s) moeten op minimaal 1 meter van de systemen geplaatst worden om branduitbreiding via de dakbedekking en -isolatie te voorkomen.
- De ruimte waar de omvormer(s) staan, moet goed geventileerd en schoon gehouden worden.
- De ruimte waar de omvormer(s) staan, moet worden voorzien van rookdetectie. Als het gebouw is voorzien van een brandmeldinstallatie, wordt deze rookmelder daarop aangesloten. Bij grote systemen wordt aanbevolen om, indien mogelijk, de omvormer (transformatorhuis) buiten te plaatsen.

De combinerboxen die ook op het dak staan, dienen op onbrandbare ondergrond (brandklasse A) te worden geplaatst op minimaal 1 meter afstand van de PV-panelen om branduitbreiding via de dakbedekking en -isolatie te voorkomen.

Bij de ingang of in de meterkast als deze zich bij de ingang van het gebouw bevindt, wordt op de meterkastkaart (zie Bijlage 2) aangegeven waar de omvormer is.

3.6.6 Aarding

De installatie dient geaard te zijn. De Scios Scope 12-regeling controleert hierop.

[15] *"Brandincidenten met fotovoltaïsche (PV) systemen in Nederland: een inventarisatie", TNO 2019 P10287 (2019).*

3.6.7 Bliksembeveiliging

Bij grote daken wordt ook bliksembeveiliging aangelegd en geaard. Ook deze systemen dienen onderhouden en gecertificeerd te worden. Bij het legplan van de zonnepanelen dient rekening te worden gehouden met mogelijke beschaduwing van de bliksembeveiliging.

3.6.8 Levering

In een vroeg stadium dient door de eigenaar van het PV-systeem contact te worden opgenomen met de netbeheerder met de vraag of de installatie met de huidige aansluiting en met het geplande PV-systeem ook direct op het net kan worden aangesloten. Bij (zeer) grote systemen kan dit een probleem zijn.

3.7 AANDACHTSPUNTEN VOOR EEN BETERE MOGELIJKHEID TOT INCIDENTBESTRIJDING

In dit onderdeel worden enkele aandachtspunten genoemd om de mogelijkheden tot incidentbestrijding te verbeteren. Het is belangrijk om ook kennis te nemen van de uitgangspunten uit het kennisdocument *Brandweeroptreden nabij elektriciteit* (Brandweer Nederland 2020).

3.7.1 Aanwezigheid van een PV-systeem

Voor de repressieve dienst is het van belang om te weten of er een PV-systeem op of aan het gebouw aanwezig is. Dit is niet altijd van buitenaf te zien. Het wordt sterk aanbevolen deze informatie op een kaart in te vullen en beschikbaar, zichtbaar en toegankelijk te hebben bij de entree of in de meterkast (bij de ingang) van het gebouw. In Bijlage 2 en 3 zijn formats opgenomen van een zogenaamde meterkastkaart en entreekaart waarop de eigenaar van het gebouw de voor het repressief optreden benodigde informatie kan aangeven.

Voor systemen tot 5 kVA kan worden volstaan met de volgende informatie:
- Aantal PV-panelen en vermogen
- Locatie van de omvormer
- Locatie van de DC-schakelaar
- Installateur met naam en telefoonnummer
- Aanwezigheid en locatie van eventuele batterijen voor opslag van de opgewekte energie
- Aanwezigheid en locatie van andere eventueel aanwezige energie-opwek of -opslagsystemen (pelletbrander, brandbare gassen en/of vloeistoffen, waterstof).

Voor systemen groter dan 5 kVA is onderstaande informatie van belang, tezamen met de benodigde tekeningen:
- Locatie en aantal PV-panelen (inclusief vermogen) / legplan met PV-panelen
- Locatie van de omvormer(s)
- Locatie van DC-schakelaars
- Aanwezigheid en locatie van de brandweerschakelaar
- Route van de kabeltracés
- Route van DC-bekabeling door het gebouw heen
- Alle bekabeling die niet spanningsloos kan worden gemaakt
- Eigenaar van het PV-systeem met naam en telefoonnummer
- Eigenaar van het pand met naam en telefoonnummer
- Installateur met naam en telefoonnummer
- Toegang(en) tot dak
- Informatie over welke stroken van de compartimenten gestut zijn en welke horen bij een brandscheiding
- Informatie over waar het dak beloopbaar is (zeker wanneer het gaat over daken met beperkte draagkracht)
- Overige getroffen veiligheidsmaatregelen
- Aanwezigheid en locatie van eventuele batterijen voor opslag van de opgewekte energie
- Aanwezigheid en locatie van andere eventueel aanwezige energie-opwek of -opslagsystemen (pelletbrander, brandbare gassen en/of vloeistoffen, waterstof).

Bij grote daken (>5kVA) is het advies dat een goed toegankelijke brandweerschakelaar aanwezig is op de begane grond voor het deels uitschakelen van het PV-systeem. Die schakelaar moet tevens gekenmerkt zijn met de sticker zoals voorgeschreven in NEN 1010. Een brandweerschakelaar schakelt het systeem uit op meerdere punten: in de meterkast en voor de (string)omvormer(s).

3.7.2 Opstelplaats voor brandweervoertuigen

Rondom het gebouw waarop een groot PV-systeem is aangebracht, dient voldoende vrije ruimte te zijn voor een redvoertuig om zich zo te kunnen opstellen dat dit het gehele dakvlak bij een brand kan bestrijden. (Meer informatie: *Handreiking bluswatervoorziening en bereikbaarheid 2019*, Brandweer Nederland (2019)).

3.7.3 Overdracht na een incident

Er moet, na afloop van de brandbestrijding, geregeld worden aan wie overdracht dient plaats te vinden om een veilige demontage doorgang te kunnen geven. Hiertoe wordt overleg gevoerd met Stichting Salvage. Het Verbond voor Verzekeraars stuurt bij Stichting Salvage hier ook op aan. Door de installateur te laten doen is geen goede oplossing: deze heeft geen ervaring met het demonteren van potentieel onveilige systemen. Ook gaan installateurs soms failliet, waarna er niemand beschikbaar meer is voor demontage. De suggestie is om hiervoor in de toekomst een organisatie in te schakelen die de juiste expertise heeft gegenereerd. Voordat deze er is, is overdracht en demontage door de installateur echter de enige oplossing. Het advies is wel erop toe te zien dat de demontage veilig gebeurt.

3.7.4 Verspreiding van deeltjes

Bij grote (schuur)branden kunnen onderdelen (schilfers en kleine delen) van zonnepanelen zich verspreiden tot 10 km van de incidentlocatie. Hier dient men alert op te zijn bij een brand. Onder welke omstandigheden dit voorkomt en wat de gevolgen zijn, is onderdeel van een lopend onderzoek door het IFV.

4 Zonneparken

Bij de vergunningverlening voor zonneparken zal het bevoegd gezag niet automatisch de Veiligheidsregio / brandweer om advies vragen. Of dit niet alsnog verplicht zou moeten worden, is een daarbij voor de hand liggende vraag. Deze vraag is enerzijds te beantwoorden door te kijken of daartoe nut dan wel noodzaak bestaat. Want het uiteindelijke doel van toetsing en advisering door de Veiligheidsregio / brandweer is om een minimaal veiligheidsniveau te bewerkstelligen op het gebied van ontvluchting en beheersbaarheid in geval van brand enerzijds en wat betreft de effecten van brand in het kader van de omgevingsveiligheid anderzijds. Als branden in zonneparken laten zien dat op deze onderdelen problemen te voorzien zijn, dan is een advies van de brandweer zeker op zijn plaats.

In basis is het aanleggen van zonneparken voor de Woningwet 'gewoon' bouwen, waarmee het Bouwbesluit van toepassing is. Het Bouwbesluit kent voor zonneparken echter geen gebruiksfunctie zoals wonen of industrie; er zullen dan ook nagenoeg geen prestatie-eisen in te vinden zijn. Er kan dan worden gewerkt met de functionele eisen zoals bijvoorbeeld artikel 2.81. lid 1: Een te bouwen bouwwerk is zodanig dat de kans op een snelle uitbreiding van brand voldoende wordt beperkt.

Anderzijds is overleg in een vroeg stadium tussen de initiatiefnemer, het bevoegd gezag en de Veiligheidsregio / brandweer sowieso aan te raden. Zo kan duidelijk gemaakt worden welke gevolgen een brand in een zonnepark kan hebben en wat, gegeven de inrichting van het zonnepark, dan de (on)mogelijkheden van het repressieve optreden van de brandweer zijn. De aanbeveling is dan ook om met het bevoegd gezag afspraken te maken over hoe en wanneer de brandweer alsnog betrokken wordt bij het proces van vergunningverlening voor zonneparken.

Ter ondersteuning van het voorgaande geven § 4.1 en bijlage 4 een eerste en dus voorlopig beeld van het te verwachten brandverloop in een zonnepark; § 4.2 biedt een eerste voorzet voor mogelijk te nemen preventieve en repressieve maatregelen. In dit hoofdstuk wordt onder het begrip 'zonnepark' een 'commerciële opstelling van meerdere zonnepanelen in de openlucht en niet op of aan gebouwen' verstaan.

4.1 TE VERWACHTEN EFFECTEN VAN EEN BRAND IN EEN ZONNEPARK

Bij de inschatting of en in hoeverre een brand in een zonnepark tot voorzienbare problemen leidt, spelen twee aspecten een rol: de ontwikkelingssnelheid en de omvang van de brand. In bijlage 4 wordt hier aan de hand van casuïstiek en literatuuronderzoek verder op ingegaan. Het beeld komt naar voren dat de zonnepanelen die momenteel in zonneparken worden gebruikt, weinig gevoelig zijn voor branduitbreiding. Met andere woorden: er zullen naar verwachting hoogstens enkele panelen tegelijkertijd branden, een en ander afhankelijk van de brandoorzaak. Hierbij moet echter wel rekening worden gehouden met de ondergrond, bijvoorbeeld de aanwezigheid van droge grassen en dergelijke. Deze begroeiing zal kort gehouden moeten worden om dit risico op branduitbreiding ook beheersbaar te houden. Daarmee zijn er geen grote problemen te verwachten ten aanzien ontvluchting, beheersbaarheid in geval van brand en de effecten van brand in het kader van de omgevingsveiligheid.

Een belangrijke factor is hierbij de ondergrond waarop de panelen zijn geplaatst. Wanneer in een brandend zonnepaneel kunststof aanwezig is, zal dit leiden tot brandende druppels kunststof die uit het paneel op de ondergrond vallen. Vervolgens kan via de ondergrond (bijvoorbeeld begroeiing) alsnog een snelle branduitbreiding plaatsvinden. In zo'n geval is er eigenlijk meer sprake van een natuurbrand waarbij zonnepanelen zijn betrokken in plaats van een brand in een zonnepark. In het verlengde hiervan kan zo ook branduitbreiding plaatsvinden naar aangrenzende begroeiing c.q. natuurgebieden en zo een op zichzelf staande natuurbrand veroorzaken.

Het casuïstiek- en literatuuronderzoek biedt te weinig basis om er zeker van te kunnen zijn dat een brand in het type zonnepanelen en de opstelling daarvan zoals deze momenteel gebruikelijk zijn in een zonnepark ook vanzelf zal uitdoven. Optreden van de brandweer blijft dus vooralsnog gewenst om de brand te blussen. Dit is uiteraard alleen goed mogelijk als dit ook gefaciliteerd wordt; de volgende paragraaf geeft een overzicht van te nemen maatregelen.

4.2 ADVISERING

Zolang de effecten overzienbaar zijn, zoals in de vorige paragraaf beschreven, is een inzet van één tankautospuit met twee lagedruk stralen afdoende om een brand te beheersen en te blussen, indien het alleen een brand aan het PV-systeem betreft. De maatregelen zoals hieronder genoemd maken een dergelijke inzet mogelijk. Om zonneparken te bouwen en te onderhouden worden toegangswegen gerealiseerd. Deze kunnen door de brandweer worden gebruikt om het zonnepark te bereiken.
N.B. Aangezien in de nabije toekomst het type zonnepanelen en de opstelling alweer anders kunnen zijn, is daarmee ook het brandgedrag geen vast gegeven. Het is van belang de ontwikkelingen op dit terrein nauwgezet te volgen en met de branche in contact te blijven om de juiste brandveiligheidsadviezen te kunnen geven en de repressieve dienst adequaat te kunnen informeren.

4.2.1 Algemeen

Beter nog dan het beperken en blussen van brand is het voorkomen van brand. De kans op brand kan worden teruggebracht door een installatie goed te onderhouden en de mogelijke interne en externe brandoorzaken te beperken. Dit kan middels een aantal maatregelen:

- De eigenaar draagt zorg voor een periodieke controle van de zonnepanelen, bekabeling en overige componenten.
- De minimale afstand tussen zonnepanelen / overige componenten en aangrenzende bebouwing is gelijk of groter aan de afstand van 'kans op overslag: gering' zoals bepaald in het document *Brandoverslag. Handelingsperspectief en literatuuronderzoek* (Brandweeracademie 2018).
- Het zonnepark is niet algemeen toegankelijk en als zodanig fysiek gescheiden van de omgeving.

4.2.2 Preventie

Daarnaast is het van belang dat de kans op verdere branduitbreiding zo klein mogelijk wordt gehouden. De volgende maatregelen kunnen hier een bijdrage aan leveren:

- Er is een voorziening aanwezig die brand meldt en zo bijdraagt aan een spoedige doormelding aan 112.
- Componenten anders dan zonnepanelen en bekabeling worden zo veel mogelijk op voldoende afstand van de panelen geplaatst, zodat zij niet tot brandoverslag richting de panelen kunnen leiden.
- Bekabeling dient vlamdovend uitgevoerd te worden.
- De draagconstructie en ondergrond waarop de panelen en componenten geplaatst zijn, dragen zo weinig mogelijk bij aan branduitbreiding richting overige panelen / componenten.
- Pas zonnepanelen toe met zo weinig mogelijk brandbaar materiaal (bijvoorbeeld zo weinig mogelijk kunststof) en breng zo mogelijk een paneellijst van onbrandbaar materiaal aan.
- Beperk het aantal aanliggende panelen in een rij.
- Houd voldoende afstand tussen de rijen om brandoverslag te voorkomen.
- Om brandoverslag en -uitbreiding via begroeiing onder en naast zonnepanelen te voorkomen, moet gezorgd worden voor brandgangen waar de begroeiing minimaal is.

4.2.3 Repressie

Om voldoende mogelijkheden te hebben voor repressief optreden moet de inrichting van het zonnepark aan een aantal zaken voldoen. Zo zullen de panelen en overige componenten bereikbaar moeten zijn voor blussing en zal een afdoende bluswatervoorziening aanwezig moeten zijn. Onderstaande inrichting is een voorbeeld van hoe hierin kan worden voorzien. Echter, het onderstaande is niet altijd haalbaar en ook bestaande systemen zijn in veel gevallen ook niet zo aangelegd:

- Het zonnepark is via twee toegangen toegankelijk middels het bij de brandweer in gebruik zijnde systeem voor toegang.
- Deze twee toegangen zijn zo geplaatst dat bij elke willekeurige windrichting hoogstens één van beide toegangen benedenwinds van een mogelijke brand ligt.
- Elk zonnepaneel e/o component is tot op een afstand van maximaal 20 meter met een lagedruk (LD) -straal te benaderen. De looproute c.q. de route waarover de LD-straal wordt afgelegd, is daarbij vrij van hindernissen (zodat bijvoorbeeld personeel e/o slangen niet onder panelen hoeven door te gaan).
- De inzet van stralen zal conform het document *Brandweeroptreden nabij elektriciteit* plaatsvinden. Voor elk paneel en elke component is duidelijk binnen welke van de drie categorieën (transport, distributie, gebruik) dit / deze valt. Panelen / componenten die binnen de categorieën 'transport' of 'distributie' vallen, zijn spanningsloos te maken.
- De afstand tussen de opstelplaats van de TS en elk zonnepaneel e/o component is, gemeten over de looproute (zie het vorige punt), nergens groter dan 100 meter.

- Een opstelplaats is bereikbaar middels een verharde weg. Zowel opstelplaats als verharde weg voldoen aan het gestelde in de *Handreiking Bluswatervoorziening en Bereikbaarheid 2019*. In dat kader wordt de weg op een zonnepark gelijkgesteld aan een erftoegangsweg.
- De bluswatervoorziening levert minimaal 60 m3/h. De bluswatervoorziening voldoet qua inrichting aan het gestelde in de *Handreiking Bluswatervoorziening en Bereikbaarheid 2019*.
- Er zijn voldoende bluswatervoorzieningen. Voldoende wil hier zeggen dat de bluswatervoorzieningen, opstelplaatsen en looproutes samen een dekkend geheel vormen.

Bijlage 1 Toe te passen regelgeving

Wetgeving/ normen	Art.nr.	
Bouwbesluit	1.16	**Zorgplicht:** **1.** Een bij of krachtens de wet aanwezige installatie als bedoeld in hoofdstuk 6 van dit besluit: a. functioneert overeenkomstig de op die installatie van toepassing zijnde voorschriften; b. wordt adequaat beheerd, onderhouden en gecontroleerd, en c. wordt zodanig gebruikt dat geen gevaar voor de gezondheid of de veiligheid ontstaat dan wel voortduurt. **2.** Na het aanbrengen of wijzigen van een kabel-, leiding- of andere doorvoer in of door een scheidingsconstructie waarvoor op grond van dit besluit een eis met betrekking tot de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag of rookdoorgang geldt, wordt de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag of rookdoorgang op adequate wijze gecontroleerd.
Bouwbesluit	2.7.1.	**Dakoppervlak:** De bovenzijde van een dak van een bouwwerk is, bepaald volgens NEN 6063 niet brandgevaarlijk (vliegvuur). Dit geldt niet indien het bouwwerk geen voor personen bestemde vloer heeft hoger dan 5 m boven het meetniveau, en de brandgevaarlijke delen van het dak tenminste 15 m vanaf de perceelgrens liggen. Indien het perceel waarop het bouwwerk ligt, grenst aan een openbare weg, openbaar water, openbaar groen, of een perceel dat niet is bestemd voor bebouwing of voor een speeltuin, kampeerterrein of opslag van brandgevaarlijke stoffen of van brandbare niet milieugevaarlijke stoffen wordt die afstand aangehouden tot het hart van de weg, dat water, dat groen of dat perceel. Dit geldt niet voor bouwwerken kleiner dan 50 m^2.
Bouwbesluit	2.82	**Brandcompartimentering:** Hoewel niet rechtstreeks betrekking hebbende op de PV-installatie dient voorkomen te worden dat een eventuele brand op het dak via branddoorslag / overslag uitbreidt naar een naastgelegen brandcompartiment. In de praktijk blijkt dat brandbare zonnepanelen vaak over compartimenterings-wanden heen lopen. Het gebruik van onbrandbare isolatie- en bouwmaterialen met een brandklasse A (volgens NEN-EN 13501-1) is een goede invulling om branduitbreiding te beperken.
Bouwbesluit	7.2	**Restrisico brandgevaar en ontwikkeling van brand:** Onverminderd het bij of krachtens dit besluit bepaalde is het verboden in, op, aan of nabij een bouwwerk voorwerpen of stoffen te plaatsen, te werpen of te hebben, handelingen te verrichten of na te laten, werktuigen, middelen of voorzieningen te gebruiken of niet te gebruiken of anderszins belemmeringen op te werpen of hinder te veroorzaken waardoor brandgevaar wordt veroorzaakt of bij brand een gevaarlijke situatie wordt veroorzaakt.

Wetgeving/ normen	Art.nr.	
Bouwbesluit	7.10	**Restrisico brandgevaar en ontwikkeling van brand:** Onverminderd het bij of krachtens dit besluit bepaalde is het verboden in, op, aan of nabij een bouwwerk voorwerpen of stoffen te plaatsen, te werpen of te hebben, handelingen te verrichten of na te laten, werktuigen, middelen of voorzieningen te gebruiken of niet te gebruiken of anderszins belemmeringen op te werpen of hinder te veroorzaken waardoor: a. brandgevaar wordt veroorzaakt, of b. bij brand een gevaarlijke situatie wordt veroorzaakt.
Bouwbesluit	7.16	**Restrisico veilig vluchten bij brand:** Onverminderd het bij of krachtens dit besluit bepaalde is het verboden in, op, aan of nabij een bouwwerk voorwerpen of stoffen te plaatsen, te werpen of te hebben, handelingen te verrichten of na te laten, werktuigen, middelen of voorzieningen te gebruiken of niet te gebruiken of anderszins belemmeringen te veroorzaken waardoor: – melding van, alarmering bij of bestrijding van brand wordt belemmerd; – het gebruik van de vluchtmogelijkheden bij brand wordt belemmerd, of – het redden van personen of dieren bij brand wordt belemmerd.
NEN 1010 NEN 1010	Art. 6.8 Deel 1	**Voorziening voor elektriciteit:** Een voorziening voor elektriciteit voldoet aan NEN 1010 bij lage spanning. Op PV-installaties van toepassing zijnde bepalingen: In NEN 1010:2015, deel 1, zijn de fundamentele uitgangspunten beschreven (de basis). Nieuw hierin is dat NEN 1010 ook van toepassing is op het ontwerp, de installatie en de inspectie van PV-installaties (bepaling 11.1).
NEN 1010	Deel 3,4,5	Algemene regels uit de delen 3, 4, 5 en 6 zijn van toepassing op PV-installaties. In deel 712 staan specifieke aanvullingen en beperkingen bij PV-installaties. In de norm wordt met een PV-installatie bedoeld: de installatie die bestaat uit PV-panelen tot en met de aansluiting op de verdeelinrichting op de vaste installatie. In de norm zijn verschillende nieuwe termen beschreven in deel 712.2x. (figuur 1). Elke PV-installatie moet beschermd zijn tegen: – elektrische schok – thermische invloeden – brand door het elektrisch materiaal zelf – overspanning – blikseminslag. **Beschermen tegen schok** De DC-installatie van een PV-installatie moet worden beschouwd als een systeem dat onder spanning staat, ongeacht of de omvormer er wel of niet op is aangesloten en/of de AC-zijde erop is aangesloten. De installatie moet aan de DC-zijde worden beschermd tegen elektrische schokken door het toepassen van dubbel geïsoleerd (klasse II) materiaal of het toepassen van een zeer lage spanning (SELV / PELV). **Klasse II** Al het materieel dat wordt toegepast aan de DC-zijde van de installatie (tot aan de DC-aansluitklemmen van de omvormer) moet van klasse II zijn, of hieraan gelijkwaardig (bepaling 712.412.3). In de vorige norm was dat een advies. PV-panelen zijn in het algemeen dubbel geïsoleerd, maar ook de leidingen en eventuele aansluitkastjes moeten klasse II zijn. Een leiding van klasse II is een éénaderige kabel die zowel een functionele als fundamentele isolatie heeft (in tegenstelling tot een draad). **Extra lage spanning SELV / PELV** Als aan de DC-zijde de beschermingsmaatregel 'extra lage spanning' wordt toegepast, dan mag Uoc maximaal 120 V DC zijn. Dit is de maximale openspanning

Wetgeving/ normen	Art.nr.	

tussen de uiteinden van een PV-streng die ontstaat bij het in serie schakelen van PV-panelen.

Beschermen tegen thermische invloeden
Als in een PV-installatie een kortsluiting plaatsvindt tussen actieve delen onderling of ten opzichte van beschermingsleidingen, dan kunnen er onbedoelde stromen lopen die een brand kunnen veroorzaken. Om te controleren of een PV-installatie geïsoleerd blijft (klasse II) gedurende de levensduur van de installatie, moet een isolatiebewakingstoestel worden geïnstalleerd. Dit is niet nodig als de omvormer de isolatieweerstand bewaakt en afschakelt bij een isolatiefout en als een van de actieve DC-geleiders is vereffend (bepaling 712.421.8). In deze laatste situatie wordt de installatie afgeschakeld door een foutstroom, omdat hierbij geen sprake is van een zwevend net. Om te grote (fout)stromen door PV-panelen te voorkomen, zijn de volgende eisen gesteld:

- PV-strengen, die bestaan uit een gelijk aantal dezelfde PV-panelen, mogen parallel worden aangesloten op de omvormer. Bij drie of meer PV-strengen moet echter worden voorkomen dat er (bij een defect in één streng) te grote retour-foutstromen door het defecte paneel met de sluiting gaan lopen. Om oververhitting bij de plaats met het defect te voorkomen, moeten in elke streng beveiligingstoestellen (smeltpatronen of installatieautomaten) worden toegepast. De beveiligingstoestellen moeten zowel in de plus- als de min-leiding worden toegepast.
- Om overbelasting van de PV-AC-voedingsleiding tussen de verdeler en de omvormer te voorkomen, moet een PV-installatie op een aparte eindgroep in de schakel- en verdeelinrichting worden aangesloten. Op deze groep mogen geen andere toestellen of wcd's zijn of kunnen worden aangesloten. Deze PV-AC-voedingsleiding moet een doorsnede hebben die is afgestemd op het voorliggende beveiligingstoestel en de ontwerpstroom van de omvormer.

Beschermen tegen overspanningen
Overspanningsbeveiligingen moeten ook in de DC-zijde van de PV-installatie worden geïnstalleerd als dat nodig is op basis van de risicoanalyse die van toepassing is op de gehele elektrische installatie, zoals beschreven in bepaling 443. Ook al is het op basis van bepaling 443 niet noodzakelijk, dan nog moeten overspanningsbeveiligingen in het DC-systeem worden toegepast als de lengte van de DC-leidingen op het dak een kritische grens overschrijdt. Deze kritische lengte kan als volgt worden berekend:

1. Bepaal de afstand van de totale leidinglengte tussen het aansluitpunt van de DC-leiding (op het verste paneel) en het aansluitpunt op de omvormer. Bij meerdere pv-arrays: kies de langste leiding.
2. Bepaal de kritische lengte met onderstaande tabel.

	NEN 1010	Kritische lengte bij Ng 3*
Woonhuis	115/ng	38 m
Open veld	200/ng	67 m
Gebouw	450/ng	150 m

*Het gemiddelde aantal blikseminslagen/km^2 in Nederland ligt tussen 2-3.

Bepaal het gemiddelde aantal blikseminslagen/km2 op de locatie. In NEN-EN-IEC 62305-2, bijlage A.1, staat een kaart met het gemiddelde aantal inslagen/km2. Dit getal (Ng in tabel 1) ligt voor Nederland gemiddeld op zo'n 2 à 3.

Is de PV-leiding langer dan de kritische lengte volgens de tabel, dan is beveiligen tegen overspanning in het DC-circuit verplicht. Is de lengte korter, dan hoeft dit niet.

Wetgeving/ normen	Art.nr.	
		Welke overspanningsbeveiligingen geschikt zijn voor welke situatie staat beschreven in bepaling 712.534.x. Om overspanningen door inductie te voorkomen, is het belangrijk dat het oppervlak van lussen tussen de afzonderlijke (DC-)leidingen zo klein als mogelijk wordt gehouden. Praktisch betekent dit dat de plus- en min-leidingen bijvoorbeeld bij elkaar moeten worden gemonteerd. **Bliksembeveiliging** Als een opvanginrichting van een uitwendige blikseminstallatie op het object aanwezig is, moet er naar worden gestreefd om de PV-panelen en het draagsysteem in een beveiligd gebied te plaatsen. Hiervoor kunnen vrijstaande opvangers of een vangleiding nabij – maar niet te dicht bij – de panelen worden geplaatst. Om overslag te voorkomen tussen een blikseminstallatie en de PV-installatie bij een blikseminslag, moet tussen de PV-installatie (panelen, draagsysteem en DC-leidingen) en elk deel van de uitwendige blikseminstallatie een minimale scheidingsafstand (S) worden aangehouden. In NEN-EN-IEC 62305-3: 6.3 staat beschreven hoe deze afstand kan worden berekend. Hieronder staat een versimpelde rekenmethode die uitgaat van lucht tussen de twee geleiders.
NEN 1010	Deel 712	In NEN *1010:2015,* deel 712, staan de eisen aan PV-installaties beschreven. Deze eisen zijn veranderd ten opzichte van NEN 1010:2007. De belangrijkste veranderingen zijn de concrete eisen die worden gesteld aan het toegepaste materieel, het plaatsen van pictogrammen, het toepassen van isolatiebewakingstoestellen en overspanningsbeveiligingen.
	Deel 712.5	**Eisen aan het materieel** Alle materialen en componenten van de PV-installatie moeten voldoen aan specifieke normen. In NEN 1010:2015, bepaling 712.5, zijn de normen vermeld voor de PV-onderdelen. Het materiaal dat buiten wordt toegepast, moet een beschermingsgraad hebben ≥ IP44 en een beschermingsgraad tegen uitwendige mechanische stootbelasting ≥ IK07. **Aanduidingen** Om veiligheidsredenen moeten betrokken personen, zoals gebruikers, monteurs, inspecteurs, hulpverleners (brandweer en dergelijke) worden gewaarschuwd voor de aanwezigheid van een PV-installatie. Ook al is de PV-installatie gescheiden van het net, dan nog staat er spanning op het DC-systeem waardoor er een risico op elektrocutie- en/of brand is. De aanwezigheid van een PV-installatie moet met een embleem, bijvoorbeeld een sticker, worden aangeduid. Op enkele onderdelen moeten specifieke stickers worden aangebracht. **Leidingen en verbindingen** Leidingen moeten zo worden aangelegd dat de kans op aardsluiting en kortsluiting en overspanningen door inductie zo klein mogelijk is. Naast het type leiding is het belangrijk dat de leidingen deugdelijke worden bevestigd. Materialen daarvoor moeten bestand zijn tegen uitwendige invloeden, zoals zonnestraling (Uv-licht), wind, water en sneeuw. De doorsnede van de DC-leidingen moet worden berekend bij een omgevingstemperatuur van minimaal 70 °C (bepaling 712.523.10). DC-connectoren waarmee leidingen aan elkaar worden verbonden, moeten voldoen aan NEN-EN-IEC 62852, op zo'n manier dat ze goed bij elkaar passen. Verschillende merken onderling zijn wellicht niet compatibel en daardoor samen ongeschikt. Het is daarom alleen toegestaan een stekker en contrastekker van een verschillend fabricaat toe te passen als beide fabrikanten de compatibiliteit onderschrijven. Als DC-connectoren worden toegepast op een plaats die bereikbaar is door leken, dan moeten connectoren: – worden toegepast die alleen met gereedschap zijn te openen – zijn ondergebracht in een behuizing die alleen met een sleutel of gereedschap is te openen.

Wetgeving/ normen	Art.nr.	
		Aardlekschakelaar Een aardlekschakelaar kan verplicht zijn om toe te passen als foutbescherming of als aanvullende bescherming (zie hoofdstuk 4 van NEN 1010: 2015). Als een aardlekschakelaar wordt toegepast in de schakel en verdeelinrichting in de voedingsketen naar de omvormer, dan moet deze wellicht ook uitschakelen als er door een fout DC-stromen gaan lopen. Hiervoor is een type B-aardlekschakelaar geschikt. Als er maatregelen zijn getroffen waardoor er geen fout-DC-stromen kunnen lopen, dan kan een type A-aardlekschakelaar worden toegepast. Dit is mogelijk als: – de omvormer ten minste voorziet in een enkelvoudige scheiding tussen de AC- en de DC-zijde – de installatie ten minste voorziet in een enkelvoudige scheiding tussen de omvormer en het toestel voor aardlekbeveiliging door gescheiden wikkelingen van een transformator – de omvormer volgens een verklaring van de fabrikant geen toestel voor aardlekbeveiliging van het type B nodig heeft (omdat deze inwendig bijvoorbeeld over een soortgelijke beveiliging beschikt). **Lastscheiders** Om veilig onderhoud aan, en vervanging van de omvormer mogelijk te maken, moeten er lastscheiders in de PV-installatie worden toegepast. Deze moeten zowel in de AC- als DC-zijde worden geïnstalleerd. Let erop bij de keuze van een lastscheider in het DC-circuit, dat deze geschikt moet zijn om DC-stromen te scheiden. Bij het verbreken van een DC-circuit ontstaat een intense vlamboog. Als een stroomvoerend DC-circuit spontaan wordt onderbroken, dan zal de vlamboog de verbinders beschadigen. Als deze vervolgens weer aan elkaar worden bevestigd, is de kans reëel dat er een verhoogde overgangsweerstand ontstaat met een sterk verhoogd brandgevaar tot gevolg. Om onbedoeld verbreken van de stroomkring te voorkomen, moeten onbevoegden geen toegang hebben tot plaatsen waar scheiding mogelijk is. Voorbeelden hiervan zijn de behuizingen waar verbindingen in het DC-systeem zijn gemaakt. Aan de AC-zijde moet bij de keuze van de scheider (de installatieautomaat of de aardlekautomaat) worden gelet op de polariteit van de beveiliging. **Aarding en potentiaalvereffening** Aardingsinstallaties kunnen om verschillende reden worden toegepast: – als veiligheidsaarding om bij een aardsluiting de installaties automatisch te laten afschakelen (foutbescherming) – als veiligheidsaarding als vereffening om een (te groot) potentiaalverschil tussen twee of meer gelijktijdig aanraakbare delen te voorkomen – om bliksemstromen te voeren – om aangesloten apparatuur storingsvrij te laten functioneren. Een PV-DC-installatie is meestal een zwevend net waarbij uitsluitend klasse II-materiaal wordt toegepast. Aan de foutbescherming is hiermee voldaan. Om deze reden hoeven PV-panelen dan in het algemeen ook niet met een beschermingsleiding worden verbonden (fabrikanten schrijven voor hoe materiaal moet worden toegepast). Een metalen stellage of draagframe op het dak is geen vreemd geleidend deel dat volgens bepaling 411.3.1.2 met een beschermende vereffeningsleiding moet worden verbonden. Dit geldt als de stellage of het frame bij normaal gebruik niet bereikbaar is voor personen (op een dak is dat gangbaar). Het kan wel nodig zijn om metalen frames en metalen ladderbanen, buizen, kabelgoten enzovoort, te vereffenen. Redenen om dit te doen kunnen zijn: – Bij een omvangrijke installatie kan er spanning op deze metalen delen komen te staan door capacitieve koppeling met leidingen. Door te vereffenen wordt een eventuele ontlading via het lichaam voorkomen als een omvangrijke installatie wordt geladen. De vereffeningsleidingen moeten voor deze situatie een doorsnede hebben ≥ 4 mm2.

Wetgeving/ normen	Art.nr.	
		– Als er een uitwendige blikseminstallatie op hetzelfde dak aanwezig is en de volledige PV-installatie niet in een beschermd gebied ligt en/of de afstand S tot de uitwendige blikseminstallatie onvoldoende groot is, wordt geadviseerd de metalen delen van de PV-installatie (draaginrichting, kabelgoten en dergelijke) te vereffenen met de blikseminstallatie. Opmerking: als een PV-installatie is vereffend met de bliksem-installatie en er doet zich een blikseminslag voor, dan lopen er deelstromen (kilo-Ampères) door de PV-installatie. Deze grote stromen creëren hoge potentiaalverschillen. Een aanzienlijke schade in met name de hele PV-installatie, maar ook in andere delen van de elektrische installatie is dan een reëel risico. De schade is te beperken door het toepassen van overspanningsbeveiligingen. Als verbindingen tussen koperdraden en metalen draagframes en dergelijke worden gemaakt, is het belangrijk om geschikte verbinders te kiezen of de verbindingen zodanig te maken dat ze niet corroderen ondanks het contactpotentiaal tussen aluminium en koper. Als het draadframe en de panelen zijn vereffend, dan kan met de vereffeningsleiding op een eenvoudige manier de isolatieweerstand van de installatie worden bewaakt (met een isolatiebewakingstoestel) of gemeten (bij een inspectie). Deze 'vereffeningsleidingen' worden dan functionele vereffeningsgeleiders genoemd. Inspectie; Voor oplevering moet een inspectie plaatsvinden. In deel 6 van NEN 1010:2015 staat de algemene inspectie beschreven. NEN-EN-IEC 62446 geeft aanvullende eisen voor documentatie van de installatie, de beproeving voordat de installatie in bedrijf wordt genomen, en de eerste inspectie.

Bijlage 2 Meterkastkaart woningen (< 5kVA)

Meterkastkaart ten behoeve van de Brandweer

Deze kaart is voor de Brandweer, mocht er onverhoopt iets zijn.

Hang de kaart op aan de binnenkant van de deur in de meterkast, zodat de Brandweer hem makkelijk vindt en snel aan het werk kan!



Informatie

Aantal zonnepanelen:……

Totaal vermogen (Wp):……..

Locatie van Omvormer:……

Locatie DC-schakelaar:……

Naam installateur + noodnummer (bereikbaar 24/7):……...

……

Zijn er batterijen (thuisbatterij) aanwezig voor de opslag van de opgewekte energie? Zo ja, waar?

……

Zijn er andere energie-opwek of -opslagsystemen aanwezig? Zo ja, waar? Voorbeelden hiervan zijn: pelletbrander, zonnecollectoren (voor warm water), brandbare gassen en/of vloeistoffen, waterstofopwekking / opslag.

……

Bijlage 3 Entreekaart (>5kVA)

Entreekaart ten behoeve van de Brandweer

Deze kaart is voor de Brandweer, mocht er onverhoopt iets zijn.

Deze kaart dient bij de entree van het gebouw aanwezig, goed zichtbaar en toegankelijk te zijn.



Informatie

Aantal zonnepanelen en het totale vermogen:……

Locatie van omvormer:……..

Locatie van DC-schakelaar:……..

Locatie brandweerschakelaar:……

Naam installateur + noodnummer (bereikbaar 24/7):……

Naam eigenaar zonnestroomsysteem + noodnummer (bereikbaar 24/7):……..

……

Naam eigenaar pand + noodnummer (bereikbaar 24/7):……

……

Overig getroffen veiligheidsmaatregelen:……..

Zijn er batterijsystemen voor de opslag van de opgewekte energie? Zo ja, waar? Deze plek dient ook aangegeven te zijn op de tekening.

……

Zijn er eventueel andere aanwezige energie-opwek of -opslagsystemen? Zo ja, waar? Deze plek dient ook aangegeven te zijn op de tekening.
Voorbeelden hiervan zijn: pelletbrander, zonnecollectoren (voor warm water), brandbare gassen en/of vloeistoffen, waterstofopwekking / opslag.

……

➔ Op een aparte A4 komt een tekening met hierop:
- Legplan van zonnepanelen
- Locatie zonnepanelen, locatie DC-schakelaar
- Locatie brandweerschakelaar
- Route van kabeltracés
- Route van DC-bekabeling door het gebouw heen
- Alle bekabeling die niet spanningsloos kan worden gemaakt
- Toegang(en) tot dak
- Brandscheidingen
- Compartimenten van zonnepanelen
- Duidelijk ingetekend welke stroken van de compartimenten gestut zijn en welke behoren bij een brandscheiding
- Duidelijk ingetekend waar en of het dak beloopbaar is.

Bijlage 4 Zonneparken en brandgedrag

Bij de inschatting of en in hoeverre een brand in een zonnepark tot voorzienbare problemen leidt, spelen twee aspecten een rol: de ontwikkelingssnelheid en de omvang van de brand. In deze bijlage wordt aan de hand van casuïstiek en literatuuronderzoek verder op het brandverloop ingegaan. Daarbij wordt nadrukkelijk het voorbehoud gemaakt dat dit onderzoek naar casuïstiek en literatuur beperkt is geweest. Nieuwe casuïstiek en of onderzoek kunnen tot andere inzichten en daarmee ook tot een andere uitgangspunten voor advisering leiden.

CASUÏSTIEK

Op 24 maart 2019 vond in Emmeloord een brand plaats in een zonnepark, zie afbeelding B4.1. Deze brand is ontstaan in een transformator die onder een rij met zonnepanelen geplaatst was. Omdat eerst het een en ander spanningsvrij is gemaakt, kostte het enige tijd (ca. 45 minuten) voordat met blussen werd begonnen.

Desondanks is de branduitbreiding naar aangelegen panelen beperkt gebleven. Uiteindelijk is ca. 20 m2 aan panelen direct boven en rondom de transformator verbrand, zie afbeelding B4.2.



Afbeelding B4.1 Brand zonnepanelenpark aan de Kuinderweg in Emmeloord



Afbeelding B4.2 Uiteindelijk verbrande panelen

LITERATUURONDERZOEK

In de afgelopen jaren zijn er een aantal onderzoeken gedaan naar de brandbaarheid en het brandgedrag van zonnepanelen. Hierbij zijn proefstukken van zonnepanelen onder laboratoriumomstandigheden met een externe bron aangestraald. In het onderzoek van Yang et al.[16] is gekeken naar polykristallijne siliciumzonnepanelen met aan de bovenkant een glasplaat. De zonnecellen zelf zijn rondom ingepakt in EVA (ethyleenvinylacetaat copolymeer). Aan de onderzijde zit verder nog een kunststoffolie (zoals Tedlar of PET).

In het onderzoek van Yin en Qui[17] is gekeken naar CIGS-dunne-film-zonnepanelen. CIGS staat hierbij voor koper, indium, gallium en selenium. Ten opzichte van de panelen met een glasplaat biedt de dunne-film-panelen gebruiksvoordelen: de zonnepanelen zijn hierdoor namelijk flexibel. De dunne film in het onderzoek is van ETFE (ethyleen-tetrafluorethyleen copolymeer) en ligt aan de bovenkant. Daaronder liggen de zonnecellen op een metalen plaat met aan de achterkant een laag PET (polyethyleenterefthalaat).

[16] *Yang H.-Y., Zhou X.-D., Yang L.-Z., Zhang T.-L. Experimental Studies on the Flammability and Fire Hazards of Photovoltaic Modules. Materials. 2015.*
[17] *Yin L., Jiang Y., Qiu R. Combustion Behaviors of CIGS Thin-Film Solar Modules from Cone Calorimeter Tests. Materials. 2018.*

Bij beide onderzoeken is de minimale hittebelasting vastgesteld waarbij het proefstuk na een zekere tijd begint te branden. Verder biedt het onderzoek inzicht in het vrijkomende brandvermogen (HRR) van een dergelijk proefstuk. Helaas gaan de onderzoeken niet in op vrijkomende toxische verbrandingsproducten anders dan CO en CO_2.

ONTBRANDING

In geval van de glas- / EVA- / PET-panelen ontbrandt het proefstuk na ruim twee minuten wanneer het wordt blootgesteld aan een hittebelasting van 40 kW/m2. Bij een hittebelasting van 28 kW/m2 duurt het een kwartier alvorens het proefstuk ontbrandt. Bij een hittebelasting van 25 kW/m2 komt het proefstuk niet tot ontbranding, ook niet bij een langdurige blootstelling.
In geval van de ETFE-panelen ontbrandt het proefstuk na zo'n twee minuten wanneer het wordt blootgesteld aan een hittebelasting van 25 kW/m2. Bij een hittebelasting van 2o kW/m2 komt het proefstuk niet tot ontbranding, ook niet bij een langdurige blootstelling. Daarmee lijkt 20 kW/m2 aan hittebelasting een te hanteren ondergrens voor het wel of niet ontbranden van een zonnepaneel. Zie ook tabel B4.1.

Hittebelasting (kW/m2)	Ontbrandingstijd Glas / EVA (s)	Ontbrandingstijd CIGS / ETFE (s)
25	-	128
28	900	-
30	625	70
35	210	67
40	140	50
45	80	38

Tabel B4.1 Ontbrandingstijden afhankelijk van de hittebelasting

Het vrijkomende brandvermogen van een brandend zonnepaneel blijkt in de beide onderzoeken een sterke relatie te hebben met de hittebelasting die tot de ontbranding heeft geleid. Hoge hittebelastingen (lees: 45 kW/m2) leiden tot een hoge(re) en korte(re) HRR, terwijl een hittebelasting die nog nét een ontbranding kan veroorzaken, het tegenovergestelde laat zien. Zie ook de grafieken 1 en 2 verderop. De kleuren laten zien aan welke hittebelasting het proefpaneel wordt blootgesteld; op de verticale as wordt de HRR van het ontbrandende proefpaneel weergegeven.

De vraag is nu of deze HRR's voldoende zijn om vervolgens een buurpaneel tot ontbranding te brengen. Hiervoor kan als volgt een conservatieve inschatting worden gemaakt, zie ook afbeelding B4.1. Veronderstel de brand in een paneel als cilindervormige vlam boven het paneel. Deze cilinder heeft de volgende dimensies: de lengte is gelijk aan de lengte van het paneel, de diameter van de cilinder is gelijk aan de breedte van het paneel, de as van de cilinder ligt in de lengterichting boven het midden van het paneel en op een hoogte van de helft van de breedte van het paneel.

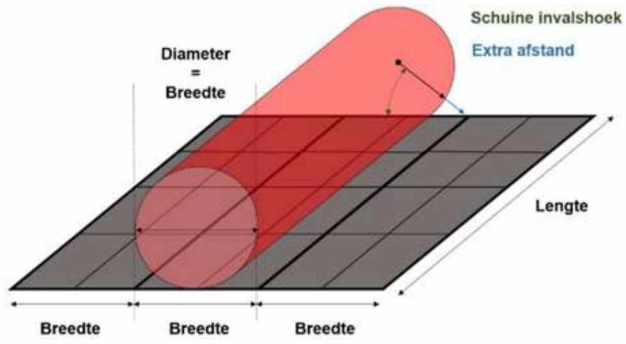
Het brandvermogen Q dat van een brandend paneel vrijkomt, is gelijk aan het oppervlakte van het paneel (BxL) maal de HRR. De grafieken 1 en 2 geven een beeld van de mogelijke HRR's van een paneel. Modelmatig wordt dit brandvermogen evenredig verdeeld over het oppervlakte O van de cilinder. Aangezien hier de diameter D van de cilinder gelijk is gesteld aan de breedte B van het paneel geldt:

$O_{cilinder} = \pi.B.L + 2(¼.\pi.B^2)$.

Omdat het brandvermogen van het paneel modelmatig gelijk is aan het brandvermogen van de cilinder geldt:

$HRR_{paneel} \times O_{paneel} = HRR_{cilinder} \times O_{cilinder}$.

$HRR_{cilinder}$ wordt daarmee gelijk aan HRR_{paneel} maal $L / \pi(L + ½B)$.

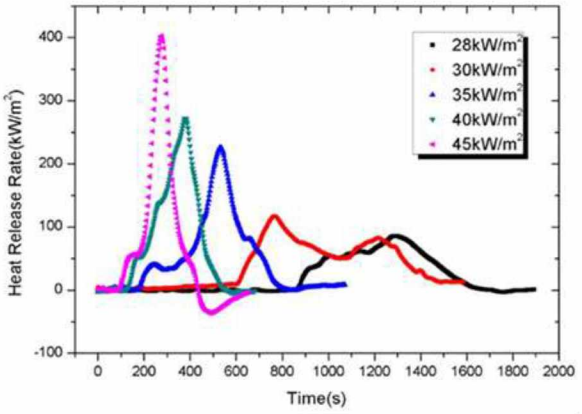


Afbeelding B4.1 Het middelste van de naast elkaar liggende panelen brandt, de vlam wordt voorgesteld als een cilinder boven het middelste paneel.

In geval van een paneel met een lengte–breedte verhouding van 2 - 1 (oftewel B= ½L) levert dit een reductie in stralingsintensiteit op met een factor van ongeveer 4.

Verder moet nog met twee andere factoren rekening gehouden worden. De kleinste afstand tot het buurpaneel is √2 maal de straal van de cilinder. Daarnaast valt de straling niet loodrecht op het buurpaneel, maar onder een hoek van 45 graden of minder. De extra afstand en de schuine invalshoek leveren elk een reductiefactor van √2, samen dus 2. De totale reductiefactor in vermogen wordt daarmee een factor 8. Oftewel, als hittebelasting op een buurpaneel kan de HRR_{paneel} maal een factor 0,125 worden aangenomen. Om dit buurpaneel tot daadwerkelijke ontbranding te laten komen, moet deze hittebelasting wel lang genoeg in stand blijven; tabel B4.1 biedt hiervoor een tijdsindicatie.

Grafiek 1 laat zien welke HRR's er bij een glas- of EVA-paneel gegenereerd kunnen worden. Een brandverloop conform de zwarte of rode lijn zal niet tot een ontbranding in een buurpaneel leiden: de HRR's van deze lijnen maal de factor 0,125 komen niet boven de eerder genoemde ondergrens van 20kW/m2 uit.

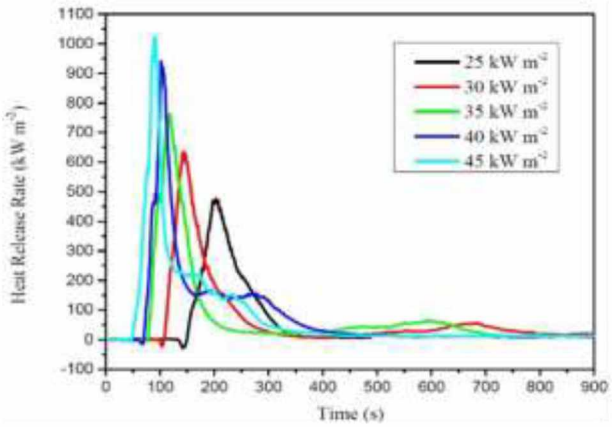


Grafiek 1: HRR bij glas/EVA paneel

De roze en ook de groene lijn leiden tot een andere uitkomst. De piek van de HRR ligt op respectievelijk ca. 400 en 270 kW/m2, de brandduur op respectievelijk ca. 360 en 420 seconden. Natuurlijk is deze piek HRR niet gedurende de hele brandduur aanwezig; we kunnen dit ondervangen door een extra factor 0,5 toe te passen. Gelet op het typische driehoekige karakter van de HRR curves wordt hiermee de totale vrijgekomen energie het beste benaderd. Daarmee levert het roze brandverloop een gemiddelde hittebelasting op een aanliggend paneel van ca 25 kW/m2 over een tijdsduur van ca. 360 seconden. Gelet op tabel B4.1 is dit niet voldoende om een buurpaneel te laten ontbranden.

Grafiek 2 geeft een overzicht van de HRR's die bij een CIGS- / EFTE-paneel worden bereikt. Als we de groene lijn beschouwen, zien we een piek HRR van ca 760 kW/m2. De gemiddelde hittebelasting op een buurpaneel zou daarmee ca. 48 kW/m2 worden. De brandduur is ca. 120 seconde. Gelet op tabel B4.1 is dit zeker voldoende om een buurpaneel tot ontbranding te brengen. Ook de zwarte lijn laat een dergelijk beeld zien: een piek HRR van ca. 480 kW/m2, en daarmee een gemiddelde hittebelasting van ca 30 kW/m2 voor een tijdsduur van ca. 170 sec.

Opmerkelijk is verder dat in deze benadering de brandduur langer is dan de ontbrandingstijd. Oftewel: een buurpaneel ontbrandt al terwijl het bronpaneel nog volop brandt. Een zichzelf versnellend karakter van de brand lijkt hierdoor mogelijk.



Grafiek 2: HRR bij CIGS/EFTE paneel

CONCLUSIE

Er is weinig onderzoek naar branduitbreiding in zonnepanelen gevonden. Op basis van een tweetal onderzoeken en de aannames die in deze bijlage worden gedaan, komt het beeld naar voren dat branduitbreiding in zonnepanelen sterk afhankelijk is van de relatieve hoeveelheid brandbaar materiaal (lees: kunststoffen) in de panelen. Dit wordt ook bevestigd door brandtesten van glas-folie zonnepanelen en glas-glas panelen. Bij de laatste is de folie vervangen door glas.[18]

Al met al kan geconstateerd worden dat het type zonnepanelen dat momenteel in zonneparken en als 'op-dak' wordt gebruikt, weinig gevoelig is voor branduitbreiding. Met andere woorden: er zullen naar verwachting hoogstens enkele panelen tegelijkertijd branden, een en ander afhankelijk van de brandoorzaak. Daarmee zijn er geen grote problemen te verwachten ten aanzien van ontvluchting, beheersbaarheid in geval van brand en de effecten van brand in het kader van de omgevingsveiligheid.

Een belangrijke randvoorwaarde is hierbij de ondergrond waarop de panelen zijn geplaatst. Wanneer in een brandend zonnepaneel kunststof aanwezig is, zal dit leiden tot op de ondergrond vallende brandende druppels kunststof uit het paneel. Vervolgens kan via de ondergrond (bijvoorbeeld begroeiing, of een dak) alsnog een snelle branduitbreiding plaatsvinden. In zo'n geval is eigenlijk meer sprake van een natuur- of dakbrand waarbij zonnepanelen zijn betrokken, in plaats van een brand in een zonnepark of zonnepaneel.

[18] *Guideline: Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization", TÜV Rheinland et al., pp. 60 e.v. (2018, German original 2nd edition: 2015).*

Bijlage 5 Scenario's

In deze bijlage zijn begeleidende scenario's opgetekend, welke ter ondersteuning kunnen dienen voor gemeente, bedrijf en burger. De scenario's zijn ontleend aan het document Zonnepanelen: Ontwerpuitgangspunten voor daken en velden. Vanuit het risico op het ontstaan van brand, het risico op uitbreiding van brand en de mogelijkheden voor repressief brandweeroptreden worden drie scenario's onderscheiden:

1. Zonnepaneel en/of bekabeling in brand
2. Brand in een omvormer, verzamelstation of inkoopstation
3. Brand van het gebouw / compartiment.

1 ZONNEPANEEL IN BRAND

Scenario:

Door een technisch falen ontstaat brand in een zonnepaneel of in de bekabeling / connectoren van de zonnepanelen.

Risico op branduitbreiding:
De zonnepanelen liggen in secties tegen elkaar. Bij het in brand geraken van een paneel zal de brand zich uitbreiden naar de direct aanliggende panelen binnen hetzelfde vak. Er moet uitgegaan worden van het uitbranden van één vak. Bij een tussenafstand van 3 meter* tussen de vakken, wordt brandoverslag van het ene vak naar het andere vak niet verwacht. Bij kleinere afstanden kan het risico op brandoverslag berekend worden. Aandachtspunt hierbij is dat een vak zonnepanelen zich niet over meerdere brandcompartimenten uitstrekt. Bij brandbare dakbedekking is de kans op branduitbreiding naar het gebouw groot. Afhankelijk van het isolatiepakket leidt dit tot een dakbrand of tot een branddoorslag het gebouw in. Dit kan leiden tot het in brand raken van gebouw.

Mogelijkheden voor repressief optreden:

Een brand in een zonnepaneel is lastig te blussen. Doordat de panelen stroom blijven opwekken en niet uitgeschakeld kunnen worden, is er elektrocutiegevaar voor het repressieve brandweerpersoneel. De brandweer zal terughoudend zijn met het benaderen van de brandende panelen. Zonder aanvullende voorzieningen moet uitgegaan worden van het uitbranden van het gehele vak. Bij de toepassing van brandbare dakbedekking / dakisolatie is het aannemelijk dat de brand overslaat naar het gebouw. Gelet op de grote inzetdieptes (>60 meter) en de slechte bereikbaarheid van een dak, is het blussen van een dakbrand of van zonnepanelen op een dak niet zonder meer mogelijk.

* Afhankelijk van de toegepaste gelijkwaardigheid kan hier een andere maatvoering van toepassing zijn.

2 BRAND IN EEN OMVORMER, VERZAMELSTATION OF INKOOPSTATION.

Scenario:

Door een technisch falen ontstaat brand in een omvormer, schakelstation of inkoopstation. Dit heeft betrekking op de omvormers in de verzamelstations en de inkoopstations.

Risico op branduitbreiding:

Afhankelijk van de locatie van de bovengenoemde systemen / stations, kan een brand zich uitbreiden naar een vak zonnepanelen of naar het gebouw.

Mogelijkheden voor repressief optreden:

Doordat de panelen stroom op blijven wekken en niet uitgeschakeld kunnen worden, is er elektrocutiegevaar voor het repressieve brandweerpersoneel. Indien er geen mogelijkheid is om de stroomtoevoer vanuit de zonnepanelen naar de systemen / stations uit te schakelen, is veilig repressief optreden niet mogelijk. Uitbreiding naar de omgeving kan beperkt worden door het koelen van naastgelegen systemen, rijen / vakken zonnepanelen of gebouwconstructies, afhankelijk van de tussenafstand tot het brandende systeem / station. Echter, gelet op de grote inzetdieptes (>60 meter) is dit niet zonder meer mogelijk. Zonder aanvullende maatregelen moet uitgegaan worden van brandoverslag naar het gebouw.

3 GEBOUWBRAND

Scenario:

In het gebouw ontstaat brand. De zonnepanelen blijven stroom opwekken en belemmeren veilig repressief optreden.

Risico op branduitbreiding:

Afhankelijk van de locatie van de bekabeling van de zonnepanelen in het pand, kan er niet veilig repressief opgetreden worden en breidt de brand zich uit. Afhankelijk van de locatie van de brand kan deze zich uitbreiden naar de systemen / stations.

Mogelijkheden voor repressief optreden:

Zonder mogelijkheden om de stroomaanvoer vanaf de zonnepanelen uit te schakelen, is veilig repressief optreden in het bouwwerk niet zonder meer mogelijk. Zonder aanvullende maatregelen moet uitgegaan worden van een terughoudendheid bij de brandweer voor een repressief optreden, van het uitbranden van het brandcompartiment en van overlast voor de omgeving door rookontwikkeling.

Bijlage 6
Achtergrondinformatie

Agentschap NL (2010). *Leidraad Zonnestroomprojecten*. Utrecht: Agentschap NL.

Binte Mohd Faudzi, F. (2019). *Flame Propagation Between Flat Roofing and Photovoltaic installations*. Master thesis. Edinburgh: University of Edinburgh.

Brandweeracademie (2018). *Kennisdocument Brandoverslag. Handelingsperspectief en literatuuronderzoek*. Arnhem: IFV.

Brandweer Nederland (2019). *Handreiking Bluswatervoorziening en bereikbaarheid 2019*. Arnhem: Brandweer Nederland.

Brandweer Nederland (2020). *Kennisdocument Brandweeroptreden nabij elektriciteit*. Arnhem: Brandweer Nederland.

Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (2012). *Zonnecollectoren en zonnepanelen*.

Techniek Nederland (z.d.). *Controlerapport PV-installaties*. Te raadplegen via: https://www.techniekneder land.nl/producten/zonne-energie-installaties.

Verbond van Verzekeraars (2020). *Preventiebrochure Zonnepanelen. Technische informatie voor verzekeringsprofessionals*. Den Haag: Verbond van Verzekeraars.

Yang H.-Y., Zhou X.-D., Yang L.-Z., Zhang T.L. (2015). Experimental Studies on the Flammability and Fire Hazards of Photovoltaic Modules. *Materials 8*(7), 4210–4225.

Yin L., Jiang Y., Qiu R. (2018). Combustion Behaviors of CIGS Thin-Film Solar Modules from Cone Calorimeter Tests. *Materials 11*(8), 1353.

Colofon

Kemperbergerweg 783
6861 RW Arnhem

Postbus 7010
6801 HA Arnhem

T 026 3552455
I www.brandweernederland.nl
E info@brandweernederland.nl

Foto cover: Shutterstock

Auteur: Community of Practice zonnepanelen (Brandweer Nederland en IFV)

Met dank aan (in alfabetische volgorde):
(ISSO),
(Voor de VVE),

Datum: december 2020