

Openbaar InVeZo eindrapport

TNO 2025 M12145 – 21 augustus 2025

Openbaar InVeZo eindrapport

Auteurs	Lenneke Slooff-Hoek, Nico Dekker, Gertjan de Graaff, Menno van den Donker, Tatjana Vivalkin
Rubricering rapport	TNO Publiek
Titel	TNO Publiek
Rapporttekst	TNO Publiek
Aantal pagina's	17 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	0

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2025 TNO

Inhoudsopgave

- 1 Inleiding.....4
- 2 Opzet van het project.....5
- 3 WP1 PV brand en risico analyse PV panelen6
 - 3.1 Veiligheid van PV panelen.....6
- 4 WP2. Testen van panelen en WP3 brandveiliger panelen.....13
 - 4.1 Task 2.1. Stresstest methode.....13
- 5 WP4 ontwerp richtlijnen15

1 Inleiding

Aanleiding

Door de focus in de zonneladder op PV op gebouwen zal het aantal PV installaties op gebouwen toenemen en daarmee kan het aantal branden door gebouw-gebonden PV systemen mogelijk ook toenemen. Zowel conventionele PV als BIPV producten kunnen een bijdrage leveren aan deze schaalvergroting. Kennis van welke aspecten tot brandrisico's leiden is onontbeerlijk, niet alleen voor veilige installatie van de huidige generatie van zonnepanelen, maar ook voor het ontwerp van nieuwe producten. In dit project is gekeken naar hoe zonnepanelen intrinsiek veiliger kunnen worden gemaakt en op welke manier de panelen het beste kunnen worden getest om de veiligheid beter te garanderen.

Doel van het project

Aan de hand van de analyse van PV branden sinds 2018, zijn beoordelings- en ontwerpcriteria ontwikkeld en opgesteld voor huidige- en nieuwe generatie zonnepanelen. Doel daarbij is het ontwikkelen van intrinsiek veilige PV producten die ongevoelig zijn voor het ontstaan van vlambogen door verkeerde installatie, veroudering, dynamische belasting, hotspots e.d.

Korte omschrijving van de activiteiten

1. Analyse van PV branden:

Bepalen van kwetsbare onderdelen van PV systeem aan de hand van recente branden. Onderzoek naar de relatie tussen het ontwerp van de zonnepanelen en het brandrisico.

2. Test methoden:

Ontwikkelen van testmethoden die brandonveilige faalmechanismes aan het licht kunnen brengen, zodat deze toegepast kunnen worden op de huidige en nieuwe generatie zonnepanelen.

3. Langdurige hotspottesten:

Uitvoeren van bi-en monofacial hotspottesten op commerciële en R&D panelen t.b.v. onderzoek naar effect langdurige thermische belasting op brandveiligheid.

4. Maken van prototypes voor stress-, hotspot en verouderingstesten:

Stress testen zoals hotspot op specifieke ontwerpaspecten: zoals elektrisch ontwerp, cel type en materialen.

5. Ontwikkeling van beoordelings- en ontwerpcriteria voor veilige producten

Vertaling van de analyse en testen naar ontwerpisen voor intrinsiek veilige PV panelen.

6. Ontwerp en maken van intrinsiek veiligere prototypes:

Door stresstest gevalideerde veiligere prototypes.

Commented [KN1]: Wat is recent? Betekent voor mij "kort geleden", "pas gebeurt". Kijken we jaren terug? Dan misschien iets concreter maken?

2 Opzet van het project

Het project is opgezet in 4 werkpakketten.

In WP1, **PV brand en risico analyse PV panelen**, zal een analyse van branden worden gedaan a.d.h.v. een database PV branden Nederland (2018 – heden). Deze is opgebouwd in eerder onderzoek en zal verder worden aangevuld en verdiept in een parallel lopend project met het IFV en de NEN.

Verder zal er een analyse worden gedaan van branden tijdens de projectperiode waarbij modules mogelijk de brandoorzaak zijn. Daarnaast wordt een desktop studie gedaan naar de elektrische risico's van de huidige panelen die op de markt zijn.

In WP 2, **Testen brandveiligheid van commerciële en R&D panelen**, wordt aan de hand van de analyses uit WP1 en literatuurstudies bepaald welke stresstesten (enkelvoudige of combinatietesten) het beste het ontstaan van brandgevaarlijke gebreken in de huidige en toekomstige generatie zonnepanelen in het veld kunnen simuleren. Als onderdeel van de onderzoeks- en ontwikkelcyclus van brandveilige panelen zullen de producten die in WP3 worden gemaakt, getest worden in WP2. Er zal onderzoek worden gedaan naar veroudering van backsheets onder hotspot condities die verder gaan dan de standaard IEC testen, en naar materialen die beter geschikt zijn voor veeleisende omstandigheden zoals BIPV.

WP3, **Ontwikkeling brandveilige panelen**, gaat in op mogelijke verbeteringen in het ontwerp en de materialen voor veiliger zonnepanelen en het maken van prototypes met deze verbeterde aanpak.

Tot slot wordt in WP4, **Beeoordelings- en ontwerpcriteria veilige gebouw-gebonden PV panelen**, een lijst met criteria en aandachtspunten opgesteld waarmee zowel bestaande als nieuwe producten kunnen worden beoordeeld op hun brandveiligheid onder de typische condities die te verwachten zijn bij gebouw-gebonden PV panelen.

3 WP1 PV brand en risico analyse PV panelen

Brandveiligheid van zonnepanelen kan in een aantal categorieën worden onderverdeeld die voortvloeien uit de verschillende onderdelen van een installatie en de bestrijding en gevolgen van een brand:

- Veiligheid van PV panelen
- Veiligheid van PV systemen
- Veiligheid bij brand bestrijding
- Veiligheid bij blussen

In dit werkpakket is gekeken naar de eerste twee, de veiligheid van PV panelen en van PV systemen.

3.1 Veiligheid van PV panelen

Hot cells vormen een significant risico's als het gaat om brand in zonnepanelen. Oorzaken van hot cells zijn defecte bypassdioden, cracks in cellen, slechte elektrische verbindingen in PV connectoren en zonnepaneel. Verder kunnen verouderde backsheets leiden tot vergeling en delaminatie.¹

3.1.1 Hot cells

Het huidige zonnepaneel concept bestaat in de meeste gevallen uit 3 serie geschakelde strings met cellen, waarbij elke string is aangesloten op een bypass diode. Deze bypass diodes bevinden zich in de junction box van het paneel.

De bypass diodes zijn een manier om een zonnepaneel veiliger te maken in geval van schaduw op het paneel.

Een hotcell treedt op als een cel in een zonnepaneel minder stroom kan leveren dan door het systeem wordt gevraagd, bijvoorbeeld in geval van schaduw. Hierdoor ontstaat een negatieve spanning over de cel en zal deze vermogen verliezen door het uitstralen van warmte. De cel wordt dan dus heet. Hoe langer de serieschakeling, hoe meer cellen, en hoe hoger de stroom, des te warmer de cel wordt.

De huidige Maximum Power Point trackers van omvormers zijn geoptimaliseerd om zoveel mogelijk vermogen uit de serie schakeling van zonnepanelen te halen door de stroom/spanning verhouding te zoeken met het hoogste vermogen. Hierdoor zal een string met een afwijkende cel direct worden kortgesloten zodat hotcells vaker zullen voorkomen.

In 2020 heeft Witteck¹ laten zien dat een zonnepaneel met 72 cellen met een vermogen van 367Wp en 3 bypass diodes een hotcell temperatuur bereikt van 164°C, resulterend in degradatie van het paneel en verhoogd risico op het falen van het zonnepaneel. Hun conclusie was dat een 3 bypass diode configuratie niet langer voldoet.

Sindsdien zijn de zonnepanelen verder ontwikkeld, waarbij hogere vermogens verkregen worden door grotere cellen, meer cellen, efficiëntere cellen, betere licht inkoppeling en een kleinere afstand tussen de cellen.

Deze veranderingen zullen tot een hogere hotcell temperatuur leiden, waarbij degradatie van de materialen bij een herhaaldelijke hotcell niet onwaarschijnlijk is.

Een Inter Digitated Backcontact (IBC) cel heeft een doorslagspanning die lager is dan de maximale reverse spanning, hierdoor is de opwarming van een cel lager dan van een standaard zonnepaneel.

Conclusie

De huidige generatie panelen met 3 bypass dioden geven een verhoogd risico vanwege het verhoogde gevaar van hotcells door grotere en efficiëntere cellen, meer cellen per bypassdiode en lagere verliezen in de zonnepanelen. Alternatieven zijn meer bypassdioden, het gebruik van (sub)string optimizers, andere schakeling van cellen en toepassing van IBC cellen met lage reverse-spanning.

In de volgende paragraaf zullen de meest voorkomende oorzaken voor hot cells worden besproken en zullen maatregelen en oplossingen worden gegeven om het gevaar op brand te verminderen.

3.1.2 Oplossingen ter voorkoming of het reduceren van hotcells

Elimineren van hotcells door substring optimizers

In een normaal zonnepaneel met bypass diodes worden substrings met een of meer beschaduwde cellen kortgesloten, zodat de substrings met onbeschaduwde cellen hun maximale vermogen kunnen leveren. De beschaduwde cellen worden hierbij heet omdat het vermogen van de onbeschaduwde cellen in de kortgesloten string zal worden gedissipeerd door de beschaduwde cellen.

In het Taylor concept worden de substrings aangesloten op een optimizer, waardoor deze bij beschaduwing niet worden kortgesloten maar vermogen blijven leveren. Hierdoor wordt de beschaduwde cel niet warm en levert het zonnepaneel meer vermogen¹.

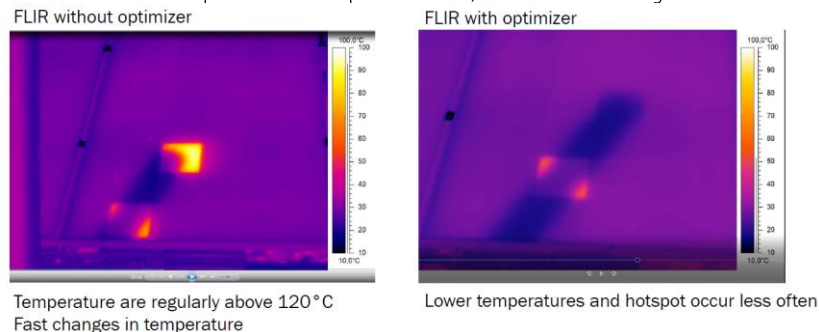
Dit concept met half cells is een variant van het TESSERA2.0 concept, zoals beschreven in het TNO patent EP3982423A1²

¹ Witteck at all, Three Bypass Diodes Architecture at the Limit, IEEE Journal of Photovoltaics, volume: 10, issue: 6, November 2020.

² <https://patents.google.com/patent/EP3982423A1/en?inventor=dekker+nicolaas+jacobus&oq=dekker+nicolaas+jacobus>

Beperking hotcell temperatuur door power optimizers of micro-omvormers

In een systeem met een string inverter zal een cel met meer dan 10-20% schaduw een hot-cell worden, omdat de inverter bij MPP de stroom kiest van de onbeschaduwde cel waardoor die gebypassd wordt. De hoogste temperaturen worden bereikt met het laagste percentage schaduw. In een systeem met optimizers of micro-inverters per zonnepaneel zal pas een hotcell ontstaan in een zonnepaneel wanneer een cel meer dan 50% wordt beschaduwd. Optimizers of microinverters kunnen extern worden aangesloten of ingebouwd zijn. Door het gebruik van optimizers of microinverters per zonnepaneel zal daarom minder vaak een hotcell ontstaan (want pas met schaduw > 50%) en worden de meest kritische schaduw condities (10-20 tot 50%) vermeden, zoals duidelijk wordt uit de metingen met een FLIR camera van een zonnepaneel met een paal schaduw, zie onderstaande figuur.³



Figuur 1. FLIT afbeeldingen van een paneel met en zonder optimiser. De temperaturen zijn aanzienlijk lager in geval van de optimiser.

Overige oplossingen

- Ontwerp bifacial panelen of de omliggende constructies dusdanig dat er geen permanente schaduw op bepaalde cellen kan vallen.
- Beperk het aantal cellen in serie om de vermogensdissipatie in een hotcel te reduceren en daarmee de hotcel temperatuur te beperken

3.1.3 Hotspots

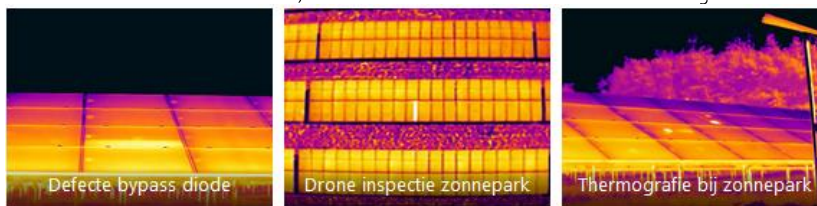
Als een cel een defect heeft zal dit “in reverse” een lokaal hoge temperatuur tot gevolg kunnen hebben, die tot falen van het zonnepaneel zal leiden. Defecten moeten daarom vermeden worden. Om een dergelijke hotspot te voorkomen wordt voor inbouw van cellen iedere cel op een negatieve spanning gezet zoals in geval van schaduw het geval is. Met een IR camera wordt gecontroleerd of er geen hotspot optreedt. Als er wel een hotspot optreedt wordt de cel niet ingebouwd maar gerecycled.

3.1.4 Bypass dioden

Bypass dioden kunnen om verschillende redenen defect raken, bijvoorbeeld door bliksem en continue overbelasting. Dit kan resulteren in de volgende defecten:

³ TNO-2021-R10791, <https://www.eupvsec-proceedings.com/proceedings?paper=49518>

- Open circuit, waardoor de diode niet meer werkt. Open circuit treedt typisch op door bliksem. Open circuit is gevaarlijk omdat er geen beperking is van de reverse spanning waardoor een beschaduwde cel extreem heet kan worden en zelfs brand kan veroorzaken⁴.
- Continue geleiding, waardoor de substring continue wordt kortgesloten. Hierdoor zal de substring geen vermogen meer leveren en de substring warmer dan wel de zwakste cel heet worden, zoals met een FLIR camera kan worden aangetoond.⁵



Figuur 2. FLIR afbeeldingen van zonnepanelen om kapotte bypass te detecteren.

Reduceren van het risico van brand in bypass dioden

Open circuit

Dit wordt onder normaal bedrijf niet opgemerkt. Door 's nachts een IV curve met omgekeerde polariteit te meten van een string van modules kan worden bepaald of er een defecte diode in open circuit in de string aanwezig is. Deze simpele methode is 2022 door TNO bedacht en middels lab testen gevalideerd. De benodigde elektronica voor deze meting kan worden ingebouwd in een inverter, naast de built-in PID recovery. Controle van de bypass-diode kan hiermee 's nachts door de inverter plaatsvinden.⁶

Continue geleiding

Hierdoor zal de betreffende substring geen spanning meer hebben. Het spanningsverlies van 1 substring bij een serieschakeling van bijvoorbeeld 24 zonnepanelen met 3 dioden zal slechts 1.4% zijn. Andere effecten, zoals temperatuur en vervuiling, hebben minimaal een vergelijkbare spanningsdaling. Bepaling van een defecte bypassdiode op basis van spanning is daarom lastig. Het opsporen van geleidende bypass dioden gaat goed met een FLIR camera (zie vorige sheet)

3.1.5 Connectoren

Uit onderzoek van TNO in 2019 bleek dat connectoren een regelmatig voorkomende bron van brand zijn. Vooral bij het verbinden van verschillende merken (cross mating).⁷

Dit kan leiden tot slechte verbindingen en oververhitting en ontstaat door ondeugdelijke verbindingen tussen de verschillende merken en door onjuiste installatiepraktijken, zoals het niet volledig aansluiten van connectoren of het gebruik van verkeerd gereedschap.

⁴ https://ieq-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_T13-01_2014_Review_of_Failures_of_Photovoltaic_Modules_Final.pdf

⁵ <https://www.energiekeurplus.nl/inspectie-zonnepanelen-groningen/>

⁶ <https://support.huawei.com/enterprise/en/doc/EDOC1100164794/f75d3b3a/built-in-pid-recovery>

⁷ [TNO-2019-R10287.pdf](https://www.tno.nl/2019-R10287.pdf)

In 2021 kwam er een nieuw rapport uit van Dekra⁸ dat op basis van de IEC-norm 62852:2014/AMD1:2020 had onderzocht welke merk combinaties van connectoren wel veilig zouden zijn. Hieruit bleek dat connectoren van acht fabrikanten (Canadian Solar, Longi, Suntech, JA Solar, Sunpower, Trina Solar, Jinko Solar, Weidmüller) veilig gecombineerd kunnen worden met MC4-connectoren van Stäubli.

Echter op sommige punten was de norm niet volledig gevolgd. Stäubli waarschuwde ook dat er geen garantie is op de goede werking als Staubli connectoren worden verbonden met andere merken connectoren.

Reduceren van het risico op brand door connectoren

Om de risico's op brand ten gevolge van connectoren te voorkomen is het noodzakelijk om de volgende richtlijnen te volgen:

- Gebruik connectoren van hetzelfde merk en type.⁹ Indien dit niet mogelijk is, combineer alleen merk en types die op comptabiliteit door een onafhankelijk gecertificeerd lab getest zijn volgens IEC 62852.
- Monteer connectoren volgens voorschrift van de fabrikant aan de draad.
- Gebruik AFCI om brand als gevolg van eventuele defecten te voorkomen.
- Controleer jaarlijks of de connectoren nog goed zijn met bijvoorbeeld een FLIR camera.

In gebruik

Gebruik dopjes op de connectoren als deze niet met elkaar verbonden zijn.

Zorg ervoor dat de connectoren voor het koppelen schoon en droog zijn.

Gebruik bij het ontkoppelen van een connectorpaar altijd een ontkoppelsleutel om schade aan de connectoren te voorkomen



Figuur 3. Voorbeeld van een gesmolten stekker verbinding.

3.1.6 Breuken in cellen en interne verbindingen

Breuken in cellen kunnen leiden tot hotcells en hotspots, waardoor brand kan ontstaan.

Breuken kunnen ontstaan door:

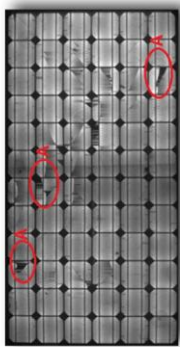
- Transport van de zonnepanelen

⁸ [Testen DEKRA wijzen uit: connectoren 8 fabrikanten kunnen veilig gecombineerd worden met MC4-connectoren Stäubli | Holland Solar](#)

⁹ <https://pv-magazine-usa.com/2016/09/07/burnt-out-incompatible-connectors/>

- Montage door bijvoorbeeld op de modules te leunen, te stoten of te vast aandraaien van de bevestigingsbouten,
- Wind en inslag door bijvoorbeeld hagelstenen.
- Verhoogde weerstand van interne verbindingen kunnen leiden tot verhoging van de temperatuur en vlambogen, waardoor brand kan ontstaan. Slechte verbindingen ontstaan door:
 - Slechte solderingen
 - Belasting van het zonnepaneel door externe krachten zoals wind en krachten op het frame

Breuken in cellen en slechte verbindingen kunnen met IR en EL worden opgespoord.



Figuur 4. Voorbeeld van een EL afbeelding met verschillende gebroken celen en vebindingen.

Oplossingen ter voorkoming van breuken in cellen

De oplossingen liggen voor de hand. Zorg voor stevige verpakkingen en stabiel transport en handling van de panelen.

Belast de modules niet tijdens de montage. Ga er niet op staan, houd de voorschriften aan bij het aandraaien van klemmen.

Check de panelen na extreem weer op breuk.

Zorg voor gedegen montage en positionering. Houd daarbij rekening met windbelasting.

Grote panelen kunnen met achterzijde balken worden verstevigd om het risico op cel breuk te beperken.

3.1.7 Achterzijde folie

De belangrijkste functies van het achterzijde folie zijn de elektrische isolatie van het zonnepaneel en het tegenhouden van vocht. Door veroudering van het achterzijde folie worden deze functies minder. De elektrische isolatie wordt slechter, waardoor het aanraken van een zonnepaneel kan leiden tot een schok. De vochtwerende functie neemt af, waardoor oxidatie van de componenten in het paneel kan optreden.

Ook kan bijvoorbeeld verkleuring optreden als gevolg van inwerking van vocht.

Reduceren van de risico's van achterzijde folie

Als alternatief voor het achterzijde folie kan glas worden gebruikt. Dit geeft een langere levensduur van de modules, maar zorgt ook voor een hoger gewicht.

Dubbelglas zonnepanelen zijn veelal minder kwetsbaar voor beschadigingen aan de achterkant van het zonnepaneel en laten minder makkelijk vocht door via de achterzijde.

Een nadeel is dat het vocht dat in een paneel is gekomen er moeilijker weer uit kan. Dit kan met name in de ochtend het geval zijn.

4 WP2. Testen van panelen en WP3 brandveiliger panelen

Om te bepalen hoe gevoelig een module is voor beschaduwing zijn verschillende testen gedaan. Deze worden hieronder beschreven.

4.1 Task 2.1. Stresstest methode

Het doel van de test is om de reverse-karakteristiek te bepalen aan de hand van een flash test, volgens IEC 60904-1, waarbij één cel wordt afgedekt.

4.1.1 Hot-cel Test

De hot-cel test is een gebaseerd op de MQT 9.1 test. De gekozen cel voor een full-cel module zit in het midden van de string of tegen het midden van een half-cel module – zodat er twee cellen tegenover elkaar kunnen worden beschaduwd.

De module wordt geplaatst voor een klasse A zonn simulator (1000 W/m²).

Met een Agilent datalogger worden met een interval van twee seconde de volgende parameters gemeten:

- Instraling: in het vlak van het paneel in W/m²
- Stroom: door het paneel in Ampère
- Spanning: over het paneel in (mili)Volt - verlies over de draden
- Temperatuur: Module temperatuur & omgevingstemperatuur

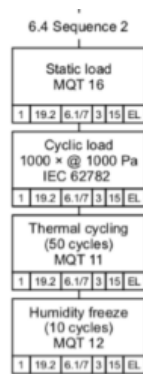
De infrarood camera (SC655) van Flir wordt gebruikt om de temperatuur van de gemeten cel te filmen. Elke twee seconde wordt de temperatuur opgeslagen en aan de hand van deze informatie kan worden bekeken hoe de temperatuur zich stabiliseert.

Vervolgens wordt er schaduw aangebracht en zal worden bekeken hoe heet de beschaduwde cel wordt. Nadat de temperatuur van de cel stabiel is, wordt telkens meer schaduw toegevoegd en gewacht tot de temperatuur van de cel weer stabiel wordt, totdat de temperatuur van de cel lager uitkomt dan de vorig gemeten temperatuur..

4.1.2 Stresstest methode Sequence 2

Om een vergelijking te kunnen maken tussen nieuwe zonnepanelen en verouderde panelen is er gebruikt gemaakt van de Test Sequence 2 uit IEC TS 63209-1:2021. Hierbij wordt zowel een constante- als een dynamische mechanische kracht uitgeoefend op een zonnepaneel.

Na de mechanische testen wordt het zonnepaneel blootgesteld aan thermal cycling en humidity freeze testen in een klimaatkamer.



Figuur 5. Overzicht van de testen in sequence 2.

Static load test

Een constante kracht wordt toegepast met de test MQT 16 Static mechanical load test uit IEC 61215-2. Hierbij wordt een druk van 2400 Pascal op het zonnepaneel uitgeoefend wanneer deze gemonteerd staat zoals de fabrikant dit heeft aangegeven. De druk wordt gedurende één uur van boven en daarna van onder toegepast en dit proces wordt drie keer herhaald.

Cyclic load test

Bij een dynamische mechanische load test wordt er kracht uitgeoefend op het zonnepaneel. Dit wordt gedaan aan de hand van Photovoltaic (PV) modules – Cyclic (dynamic) mechanical load testing uit de IEC TS 62782. Met 1000 Pascal en 1000 cycli van 3-7 maal per minuut.

Thermal cycling

Vanuit de IEC 61215-2 MQT 11 Thermal cycling wordt het zonnepaneel bloot gesteld aan een veranderende cyclus in temperatuur van de -40 °C tot 85 °C, terwijl er continue stroom op wordt gezet. Één cyclus duurt 6 uur en gaat van 25 °C naar -40 °C, waar deze stabiel blijft voor minimaal 10 minuten. Van daar uit wordt de klimaatkamer verwarmd naar 85 °C, waarbij de temperatuur weer stabiel moet blijven voor minimaal 10 minuten. Dit moet 50 keer herhaald worden.

Humidity freeze

Vanuit de IEC 61215-2 MQT 12 Humidity freeze wordt het zonnepaneel bloot gesteld aan een veranderende cyclus van tussen de -40 °C naar 85 °C, met een continue stroom van 0,5% van de STC Impv (waarvan minimaal 100mA). Tijdens de cyclus van 85 °C moet de luchtvochtigheid op 85% zijn, daarbuiten hoeft er geen luchtvochtigheid te worden ingesteld. De cyclus zal vanuit 25 °C naar 85 °C gaan en hier 20 uur blijven. Daarna zakt de temperatuur naar -40 °C en zal hier 30 minuten blijven. De cyclus wordt 10 keer herhaald. Na dit proces is het paneel versneld blootgesteld aan extreme omstandigheden, waardoor het schade kan hebben opgelopen die ook kan ontstaan indien het paneel jaren buiten is geweest.

Hierna wordt weer een hot-cel meting gedaan en de resultaten met de nulmeting vergeleken.

5 WP4 ontwerp richtlijnen

De resultaten uit WP2 en WP3 laten zien dat in sommige gevallen er een verhoogd risico is op hoge hot cell temperaturen die op den duur kunnen leiden tot schade aan het paneel.

Op basis van het onderzoek uit de vorige hoofdstukken kan een aantal richtlijnen worden gegeven met betrekking tot de cellen en de module om het risico op hot cells te verkleinen. Deze kunnen worden onderverdeeld in de volgende onderwerpen:

- Cel/module ontwerp
- Systeem ontwerp
- Installatie
- Transport en handling
- Onderhoud

Cel/module ontwerp

Aantal cellen per bypass diode

Beperk het aantal cellen per bypass diode zodat het vermogen dat in een cel gedissipeerd kan worden beperkt blijft. Op basis van de experimenten kunnen de volgende richtlijnen voor het maximum aantal cellen per bypass diode worden gegeven. Dit is afhankelijk van de bill of materials van de module:

- Glas/folie: maximaal 18 cellen per diode
- Folie/folie: maximaal 11 cellen blijkt goed te gaan
- Glas/glas: maximaal 18 cellen per diode
- IBC: aantal maakt niet uit vanwege lage reverse spanning van de cellen zelf
- Shingled: De commerciële module met 31 cellen in serie liet hotcell temperaturen zien van boven de 150 °C. De experimenten konden geen indicatie geven voor een bovengrens van het aantal cellen in serie waarbij een maximale hotcell temperatuur van 150 °C niet wordt overschreden.

NB: dit zijn richtlijnen. De temperatuur die bereikt wordt in de module is afhankelijk van vele factoren en zal altijd volgens de IEC hotspot test moeten worden getest om te checken of de module temperatuur inderdaad niet te hoog wordt. In bovenstaande richtlijn zijn we uitgegaan van een maximum temperatuur van 150 °C.

Cel type

Toepassing van IBC cellen. Door de geringe reverse spanning is de warmte dissipatie lager dan bij een PERC cel, waardoor de temperaturen onder schaduw lager zijn dan bij PERC cellen.

Systeem ontwerp

Bifacial panelen

Houdt bij het gebruik van bifacial panelen rekening met het feit dat inhomogene belichting vanaf de achterzijde ook hot cells kan genereren. Ontwerp de omliggende constructies dusdanig dat er geen permanente schaduw op bepaalde cellen kan vallen.

Gebruik van optimizers of microinverters per zonnepaneel

In een systeem met een string inverter zal een cel met meer dan 10-20% schaduw een hot-cell worden. De hoogste temperaturen worden bereikt met het laagste percentage schaduw. In een systeem met optimizers of micro-inverters per zonnepaneel zal pas een hotcell ontstaan in een zonnepaneel wanneer een cel meer dan 50% wordt beschaduwd, tov 10-20% schaduw zonder optimizer of microinverter, en zal minder vaak een hotcell.

Gebruik van (sub)string optimizers

Door gebruik van substring optimizers wordt de string bij beschaduwning niet worden kortgesloten maar vermogen blijven leveren. Hierdoor wordt de beschaduwde cel niet warm en levert het zonnepaneel meer vermogen

Installatie

Connectoren

Gebruik bij de installatie connectoren van hetzelfde merk en type. Indien dit niet mogelijk is, combineer alleen merk en types die op comptabiliteit door een onafhankelijk gecertificeerd lab getest zijn volgens IEC 62852.

Monteer connectoren volgens voorschrift van de fabrikant aan de draad.

Gebruik dopjes op de connectoren als deze niet met elkaar verbonden zijn zodat er geen vocht en vuil in kan komen.

Zorg ervoor dat de connectoren voor het koppelen schoon en droog zijn.

Gebruik bij het ontkoppelen van een connectorpaar altijd een ontkoppelsleutel om schade aan de connectoren te voorkomen

Belast de modules niet tijdens de montage. Ga er niet op staan, houd de voorschriften aan bij het aandraaien van klemmen.

Zorg voor gedegen montage en positionering.

Ontwerp

Bij het ontwerp is veelal bewust een bepaalde keuze gemaakt voor het ontwerp van het systeem. Als dit in de praktijk op sommige punten niet haalbaar is, overleg dan met een expert over de oplossing.

Houdt in het ontwerp rekening met windbelasting. Grote panelen kunnen met achterzijde balken worden verstevigd om het risico op cel breuk te beperken.

Transport en handling

Om cel breuk en het loslaten van verbindingen tijdens transport te voorkomen is het noodzakelijk om de panelen te verpakken in stevige verpakkingen en te zorgen voor stabiel transport.

Zorg er bij uitpakken en installatie voor de panelen goed ondersteund worden zodat ze niet te veel buigen en/of torden, niet stoten en voorzichtig worden neergezet om zichtbare, en niet-zichtbare schade te voorkomen.

Onderhoud

Testen bypass dioden

Regelmatig testen van bypass dioden op open circuit en continue geleiding. Dit voorkomt dat bypass dioden niet meer functioneren.

Vlamboogdetectie

Gebruik vlamboogdetectie (AFCI) om brand als gevolg van eventuele defecten te voorkomen.

Inspectie

Controleer jaarlijks of de connectoren nog goed zijn met bijvoorbeeld een FLIR camera.
Check de panelen na extreem weer op breuk.

Energy & Materials Transition | Energy & Materials Transition

Watersloepweg 1

1751 LT, Port of Rotterdamweg 3

1751 LS, Rotterdam

www.tno.nl

TNO innovation
for life