



Rijksdienst voor Ondernemend  
Nederland

# *Brandincidenten met fotovoltaïsche (PV) systemen in Nederland*

Westerduinweg 3  
1755 LE Petten  
Postbus 15  
1755 ZG Petten

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 50 65

## TNO-rapport

TNO 2019 P10287

# Brandincidenten met fotovoltaïsche (PV) systemen in Nederland.

## Een inventarisatie

Datum	13 maart 2019
Auteur(s)	E.E. Bende N.J.J. Dekker
Exemplaarnummer	1
Oplage	10
Aantal pagina's	65 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	20
Opdrachtgever	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)
Projectnaam	PV-branden
Projectnummer	060.37017

Alle rechten voorbehouden.

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

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2019 TNO

## Samenvatting

In 2018 zijn branden met fotovoltaïsche (PV) systemen veel in het nieuws geweest. In het voorjaar van 2018 hebben branchevereniging Holland Solar en TNO hierover contact gehad en vervolgens heeft Holland Solar contact opgenomen met RVO. Daarna heeft RVO aan TNO de opdracht gegeven een inventarisatie te verrichten. Gevraagd is of er een 'gemene deler' te vinden is in de incidenten en mogelijke oorzaken, en of dit gekoppeld kan worden aan informatie uit het veld en uit de literatuur.

Voor deze inventarisatie is gesproken met professionals uit de PV-installatiewereld en uit de PV-sector, schade-experts, verzekeraars, bewoners, zonne-energieonderzoekers, deskundigen op het gebied van daken en normeringen, DBA-Kiwa, IFV en de brandweer. Verder is een, in omvang beperkte, literatuurstudie verricht.

Voor zover bij ons bekend hebben de branden met zonnepanelen tot nu toe alleen geleid tot economische schade. Bij ons zijn 23 brandincidenten met woonhuizen bekend die hoofdzakelijk in 2018 hebben plaatsgevonden. Wij schatten in dat er in Nederland in 2018 zo'n 170.000 systemen op woonhuizen zijn geïnstalleerd.

Uit de bij ons bekende gevallen kunnen wij afleiden dat ongeveer één derde van de branden optreedt bij in-dak PV-systemen. Schade-experts schatten dat echter op 80% tot 90%. In-dak systemen zijn systemen waarbij de dakpannen vervangen zijn door zonnepanelen. Een grote verzekeraar geeft aan in sommige gevallen zelfs na uitgebreid onderzoek geen enkele oorzaak gevonden is. Uit de literatuur zijn meerdere oorzaken bekend die tot een brand kunnen leiden. Hieruit blijkt ook dat ondeugdelijk verbindingen met connectoren een veel voorkomend euvel zijn. Schade-experts die we gesproken hebben, schatten dat de oorzaak voor 80% tot 99% te wijten is aan problemen met connectoren.

De verdenking is dat problemen ontstaan wanneer een stekker (connector) van het ene merk verbonden worden met een contrastekker van het andere merk (*cross mating*). Dit kan leiden tot overgangsweerstanden, interne vlambogen, warmteontwikkeling en uiteindelijk brand. *Cross mating* komt voor als de installateur een kabel over langere afstand moet aanleggen en een (contra)stekker aan die kabel verbindt die van een ander merk is dan die van het paneel. Het onvakkundig monteren van stekkers kan tot soortgelijke problemen leiden.

De verwachting is dat ontstekingsbronnen bij op-dak systemen niet per se tot brand leiden vanwege de brandwerende werking van dakpannen. Echter bij in-dak systemen bevindt het paneel zich op korte afstand van materialen als dakfolies en isolatiemateriaal. Het Bouwbesluit uit 2012 stelt wel eisen over de brandwerendheid van de totale dakopbouw maar geen eisen voor de brandwerendheid van materialen die zich onder de buitenste daklaag bevinden.

Op grond van onze bevindingen bevelen wij onder meer het volgende aan.

- Voorlichting van installateurs over (de noodzaak van) deugdelijke connectorverbindingen zal per direct moeten plaatsvinden.
- RVO stelt een multidisciplinaire commissie samen, of breidt een bestaande commissie uit, die op korte termijn adviseert over constructie en materiaal-brandbaarheidseisen van in-dak PV-systemen evenals over regulering middels normering en/of richtlijnen ter voorkoming van *cross-mating* van connectoren.
- Het verrichten van multidisciplinair *stress-test* onderzoek met waarheidsgetrouwe PV-installaties op testdaken en realisatie van faciliteiten hiervoor.
- Evaluatie en mogelijke aanscherping van certificatie van installateurs.
- Reservering van publieke middelen om aan de bovenstaande aanbevelingen invulling te kunnen geven.

# Inhoudsopgave

	<b>Samenvatting .....</b>	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Verkregen informatie over Nederlandse PV-branden .....</b>	<b>7</b>
2.1	PV-systeemtypes .....	7
2.2	PV-systeem opbouw .....	8
2.3	Bevindingen .....	8
<b>3</b>	<b>Literatuurstudie .....</b>	<b>13</b>
3.1	Normeringen .....	15
<b>4</b>	<b>Factoren die kunnen bijdragen aan het ontstaan van PV-branden .....</b>	<b>17</b>
4.1	Technische factoren .....	17
4.2	Menselijke factoren .....	29
4.3	Omstandigheden .....	30
4.4	Combinatie van factoren .....	31
<b>5</b>	<b>Analyse en aanbevelingen .....</b>	<b>33</b>
5.1	Observaties die aanleiding geven tot de aanbevelingen .....	33
5.2	Korte-termijn, hoge-urgentie aanbeveling .....	36
5.3	Middellange-termijn, medium-urgentie aanbeveling .....	37
5.4	Aanbeveling structurele benadering van veiligheid van PV systemen .....	38
5.5	Afsluitende opmerking .....	38
<b>6</b>	<b>Literatuur .....</b>	<b>39</b>
	<b>APPENDIX: CASUS</b>	
A.1	Aalten .....	1
A.2	Apeldoorn .....	2
A.3	Appelscha .....	3
A.4	Hulst .....	4
A.5	Denekamp .....	5
A.6	Drachten .....	6
A.7	Enschede .....	7
A.8	Haarlemmermeer .....	8
A.9	Heiloo .....	8
A.10	Horst .....	9
A.11	Lemelerveld .....	10
A.12	Locatie Midden Nederland .....	10
A.13	Lytsewierrum .....	12
A.14	Meijel .....	13
A.15	Melick .....	13
A.16	Onbekende locatie .....	14
A.17	Opmeer .....	14
A.18	Rotterdam .....	15
A.19	Stein .....	16
A.20	Twello .....	16
A.21	Ureterp .....	17

A.22	Vinkeveen .....	17
A.23	IJselstein .....	18
A.24	Zutphen .....	19
A.25	Zwaanshoek 2016 .....	19
A.26	Zwaanshoek 2018 .....	20
A.27	Wilaarderburen .....	21

# 1 Inleiding

De groei van het aantal fotovoltaïsche (PV) systemen in Nederland is groot. In 2018 is 1,33 gigawatt-piek (GWp) bijgeplaatst. Deze PV-systemen betreffen (grootschalige) grondgebonden installaties en installaties in de gebouwde omgeving waaronder op woonhuizen.

In het voorjaar en in de zomer van 2018 is een aantal branden bij of door PV-systemen in het nieuws gekomen. Veelal betrof dit branden waarvan (alleen) de lokale media gewag hebben gemaakt. Naar aanleiding hiervan is TNO met branchevereniging Holland Solar in overleg getreden. Hierna heeft branchevereniging Holland Solar contact opgenomen met de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)

De groei van de PV-markt in combinatie met signalen dat de brandveiligheid van PV-systemen mogelijk onvoldoende geborgd is of te verbeteren valt, was de aanleiding voor RVO om een onafhankelijke studie naar deze brandincidenten door TNO te laten uitvoeren.

Dit rapport bevat de resultaten van deze studie. Hierbij merken wij op dat de omvang en de reikwijdte van deze studie door het beschikbare budget beperkt zijn geweest. De studie is daarom een inventarisatie en een eerste interpretatie van feiten en observaties en nadrukkelijk geen onderzoek. Er is dus niet ter plekke onderzoek gedaan bij de verschillende incidenten.

Het doel van de inventarisatie was om een mogelijke rode draad te vinden in de beschikbare informatie van diverse brandincidenten die bij de media bekend zijn geworden of die via andere kanalen tot ons is gekomen. Daarnaast is een beperkte literatuurstudie gedaan, waarbij de bevindingen van deze buitenlandse studies zijn vergeleken met de observaties en getuigenverslagen van de brandincidenten in Nederland.

## 2 Verkregen informatie over Nederlandse PV-branden

In deze inventarisatie hebben wij informatie verwerkt van meerdere bronnen. Dit zijn nieuws-artikelen van websites, enkele bezoeken aan PV-brand locaties, (telefoon)gesprekken met bewoners, schade-experts en installateurs, omwonenden en brandweer Nederland. Daarnaast hebben wij een bezoek gebracht aan BDA Dakadvies, onderdeel van Kiwa. Tevens hebben wij een vergadering bijgewoond van de Veiligheidsregio's die georganiseerd en gecoördineerd wordt door het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV).

Wij benadrukken dat deze studie niet gekenschetst mag worden als onderzoek maar meer als inventarisatie. De omvang van de opdracht was niet zodanig dat een diepgaand onderzoek kon worden uitgevoerd. Tevens ontbrak ons de autoriteit om toegang te krijgen tot onderzoeksresultaten van derden.

Wij hebben bij de 27 ons bekende branden, vragenlijsten uitgezet om informatie te verzamelen. Echter slechts een zeer klein deel werd geretourneerd. Voornaamste reden hiervan is dat de meeste branden vrij recent hebben plaatsgevonden en dat onderzoeken voor specifieke incidenten nog bezig zijn. Aangezien de schuldvraag van de brand een belangrijk motief is voor dergelijk onderzoeken kan men dan geen inzage geven in detailinformatie van een individueel incident.

De meeste informatie is verkregen van schade-experts, verzekeraars en brandweer die in algemene zin verslag hebben kunnen uitbrengen en is verkregen uit openbare bronnen.

De meeste van de 27 brandincidenten hebben plaatsgevonden in 2018. Een paar incidenten van eerdere data zijn meegenomen omdat deze al in het bezit van de onderzoekers waren. In één woonwijk is zowel een brand in 2016 als in 2018 opgetreden, met hetzelfde type huis en PV-systeem.

Opdracht van de inventarisatie was om te kijken of er binnen tijd en budget van de opdracht een "rode draad" te vinden was bij deze incidenten.

### 2.1 PV-systeemtypes

We kunnen grofweg een viertal PV-systemen onderscheiden:

1. Systemen op platte daken
2. Op-dak systemen
3. In-dak systemen
4. Grondgebonden systemen.

Systemen op platte daken variëren van die op woonhuizen en kantoren tot systemen op grote industriële daken.

Bij op-dak systemen worden de panelen boven de buitenste daklaag, meestal de dakpannen, geplaatst. Bij in-dak systemen is het 'normale' buitenste dakbekledingsmateriaal (meestal dakpannen) vervangen door zonnepanelen.



Grondgebonden systemen betreffen voornamelijk grote systemen op bijvoorbeeld landbouwgrond.

## 2.2 PV-systeem opbouw

PV-systemen bestaan uit een aantal componenten, waaronder de zonnepanelen (PV-panelen), de kabels en de DC-AC omvormer. De zonnepanelen genereren gelijkstroom (DC) waarbij de stromen kunnen oplopen tot 10 A. De zonnepanelen zijn in serie geschakeld via de kabels. Aan ieder paneel zijn twee kabels bevestigd en aan de uiteinden van die kabels is een connector bevestigd van het type *male* ("stekker") en *female* ("contrastekker") respectievelijk. De meest voorkomende zonnepanelen in de gebouwde omgeving hebben 60 kristallijn-silicium zonnecellen die onderling in serie geschakeld zijn.

Gebruikelijk is dat over iedere (deel)serie van 20 zonnecellen in een paneel een zogenaamde bypass diode parallel is geschakeld. De bypass diode staat onder normale omstandigheden in de sperrichting (d.w.z. hij geleidt geen stroom) en dan loopt de gehele elektrische stroom door de zonnecellen. Onder bijzondere omstandigheden kan de stroom, of een deel van de stroom, door de bypass diode lopen. De bypass dioden zijn gehuisvest in de zogenaamde *junction box*.

Veel systemen hebben een centrale omvormer die via kabels en connectoren is verbonden met de zonnepanelen. Sommige systemen hebben micro-omvormers; hierbij wordt de gelijkstroom van één paneel of van een klein aantal panelen omgezet in wisselstroom. Andere systemen hebben een *optimizer* per paneel of per een klein aantal panelen. Deze optimizers zorgen ervoor dat het systeem onder bepaalde omstandigheden zoals (gedeeltelijke) beschaduwning, optimaal blijft functioneren door de gelijkstromen en spanningen tussen de verschillende panelen op elkaar aan te passen.

## 2.3 Bevindingen

In Nederland is in 2018 1330 MWp aan zonnepanelen bijgeplaatst. Hiervan is 38% residentieel (505 MWp) en 62% zakelijk (824 MWp) (1).

Bij ons zijn 27 brandincidenten bekend geworden waarvan er 23 in het residentiële segment en 4 in het zakelijke segment waren, waarbij we 'zakelijk' hebben geïnterpreteerd als zijnde niet op woonhuizen.

Wij schatten in dat een typisch 'residentieel systeem zo'n 3 kWp bedraagt. Dit betekent dat er naar schatting 170.000 systemen zijn bijgeplaatst. Dit impliceert dat de door ons gevonden fractie 'residentiële' brandincidenten bij benadering  $23/170.000 = 0.014\%$  bedraagt van het aantal bijgeplaatste residentieële PV-systemen.

Plaats	datum	Etmaal-gemiddelde	Maximum	Globale straling		pand	type	markt
		windsnelheid de	temperatuur de	de Bilt [J/cm <sup>2</sup> ]	de Bilt [J/cm <sup>2</sup> ]			
		Bilt[m/s]	Bilt [C]					
Aalten	29-6-2018		3.8	26.1	2,953	schuur		residentieel
Apeldoorn	4-6-2018		2.9	23.2	1,718	woonhuis	indak	residentieel
Appelscha	19-4-2015		1.6	15.2	1,896	woonhuis	indak	residentieel
Denekamp	5-7-2018		2.5	24.3	2,772	bedrijfspand	plattendak	zakelijk
Drachten	22-6-2017		4.3	30.8	2,226	schuurtje	indak	residentieel
Enschede	14-7-2018		2.6	24.9	2,880	bedrijfspand	plattendak	zakelijk
Haarlemmermeer						woonhuis	?	residentieel
Heiloo	26-5-2018		3.1	29.0	2,574	woonhuis	indak	residentieel
Horst	31-3-2018		2.0	12.4	1,050	woonhuis	indak	residentieel
Hulst	16-6-2018		3.0	21.3	1,713	woonhuis	indak	residentieel
Ijsselstein	30-1-2018		2.5	7.4	485	bedrijfspand	schuin dak	zakelijk
Lemelerveld	31-5-2018		2.2	24.0	1,774	woonhuis	indak	residentieel
Leidsche Rijn	20-7-2018					bedrijfspand	plattendak	residentieel
Lytsewierum	24-5-2018		3.1	22.6	1,033	?	?	residentieel
Meijel	17-5-2018		4.4	18.3	2,617	woonhuis	indak	residentieel
Melick	11-8-2015		2.1	25.4	1,617	woonhuis	indak	residentieel
Onbekend						woonhuis	opdak	residentieel
Opmeer	19-6-2018		2.6	20.4	700	woonhuis	plattendak	residentieel
Rotterdam	26-10-2018		3.9	11.8	194	woonhuis	opdak	residentieel
Stein	20-6-2018		3.4	25.2	1,897	woonhuis	plattendak	residentieel
Twello						?	?	residentieel
Utererp	7-6-2018		2.0	28.6	2,821	bedrijfspand	opdak	zakelijk
Vinkeveen	2-8-2018		2.2	29.7	2,501	woonhuis	indak	residentieel
Ijsselstein	30-1-2018		2.5	7.4	485	bedrijfspand	?	zakelijk
Zutphen	22-10-2018		2.9	15.0	738	woonhuis	plattendak	residentieel
Zwaanshoek2016						woonhuis	indak	residentieel
Zwaanshoek2018	13-9-2018		1.3	19.5	1,769	woonhuis	indak	residentieel
Wilaarderaburen	12-7-2018		3.3	24.6	2,635	bedrijfspand	?	zakelijk

Figuur 1 De bij TNO bekende brandincidenten en de weersomstandigheden op de dag van het incident.

Bij 12 van de 27 incidenten die TNO heeft verkregen via openbare bronnen, de brandweer en schade-experts gaat het om zogenaamde in-dak systemen. Afgaand op gesprekken met schade experts is hun inschatting dat de PV-branden voor 80%-90% optreden bij in-dak systemen. Een mogelijke verklaring voor dit verschil zou kunnen zijn dat niet alle brandincidenten die bij schade-experts bekend zijn in de media terecht zijn gekomen of anderszins bij ons bekend zijn geworden.

Voor zover bij ons bekend hebben de branden met zonnepanelen tot nu toe alleen geleid tot economische schade. Wij denken dat dat te verklaren is vanwege het feit dat de branden bij daglicht optreden, veelal aan de buitenkant van het gebouw en dus snel worden opgemerkt en dat de brandweer, gemiddeld genomen, snel bij de brandhaard aanwezig is om te blussen.

De schade-experts schatten dat de oorzaak voor 80% tot 99% te wijten is aan problemen met connectoren. Echter een verzekeraar geeft aan ook in sommige gevallen, zelfs na uitgebreid onderzoek, geen enkele oorzaak te kunnen vinden. Zij geven aan een beter inzicht te willen krijgen in het gedrag van PV-systemen en de interactie met de omgeving en spreken de wens uit meer van TNO te willen leren.

Uit gesprekken met schade-experts en dakopbouwdeskundigen blijkt dat er bij in-dak systemen geen eisen zijn gesteld aan de brandklasse van folies die zich onder PV-panelen van in-dak systemen bevinden. Eén van de schade-experts zegt dat als een aanstekervlam op de folie wordt gehouden, voor controle van het brandgedrag, er veel folies eenvoudig aan het branden zijn te krijgen. Ook is er een groot verschil in brandbaarheid tussen de folies.

Eén van de schade experts maakt de volgende inschatting van brandoorzaken op basis van eigen ervaring:

1. 10% door warmtestuwing
2. 10% te dicht op brandbaar materiaal
3. 10% junction box
4. 70% verkeerd aangesloten connectoren.

Wij denken echter dat de categorieën 1 en 2 hierin verwijzen naar ongunstige omstandigheden en categorieën 3 en 4 naar de echte oorzaken (de ontstekingspunten) verwijzen. Uiteraard kan een combinatie van oorzaken en ongunstige omstandigheden tot de problemen leiden.

Uit de literatuur is bekend dat de temperaturen onder zonnepanelen van in-dak systemen makkelijk kunnen oplopen tot 50°C (2) of zelfs 83°C (3). Eén schade-expert claimt temperaturen tot 75 °C gemeten te hebben. Voor zover ons bekend kan dit nog niet leiden tot een brandhaard. Eén van de schade-experts merkt op dat hout na (jaren-)lange blootstelling van warmte, bijvoorbeeld in de buurt van kachelpijpen, kan pyroliseren. In extreme gevallen zou het hout dan kunnen ontbranden bij een temperatuur van 90°C. Echter dit scenario is zeer onwaarschijnlijk, omdat de meeste branden in deze inventarisatie hebben plaatsgevonden met systemen die recentelijk (minder dan één jaar oud) zijn aangelegd. Een groot deel van de in-dak branden heeft bij nieuwbouwhuizen plaatsgevonden die afgelopen jaar zijn opgeleverd.

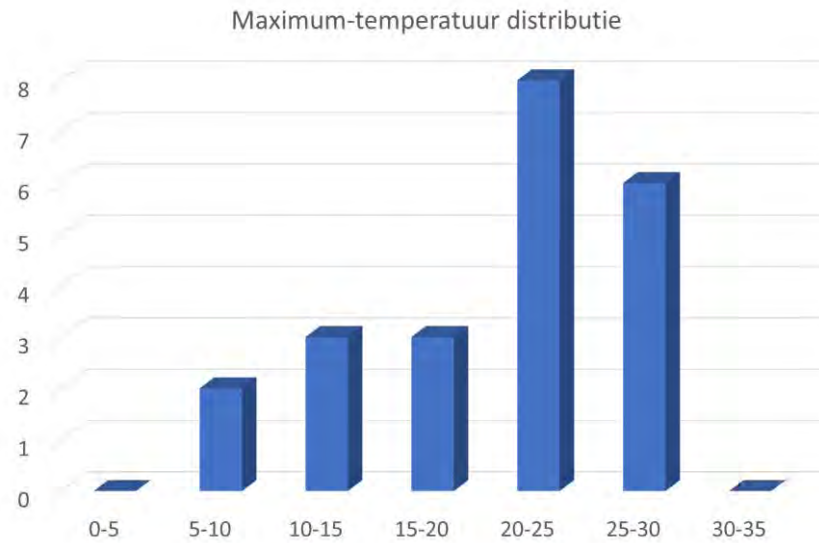
Van de bij TNO bekende PV-systeem gerelateerde branden lijken er vijf bij de omvormer te zijn begonnen. Bij twee van deze incidenten lijken problemen met de connector de meest waarschijnlijke oorzaak.

Van de bij TNO bekende PV-systeem gerelateerde branden zijn er drie op een plat dak geweest. Eén daarvan was op een industrieel dak.

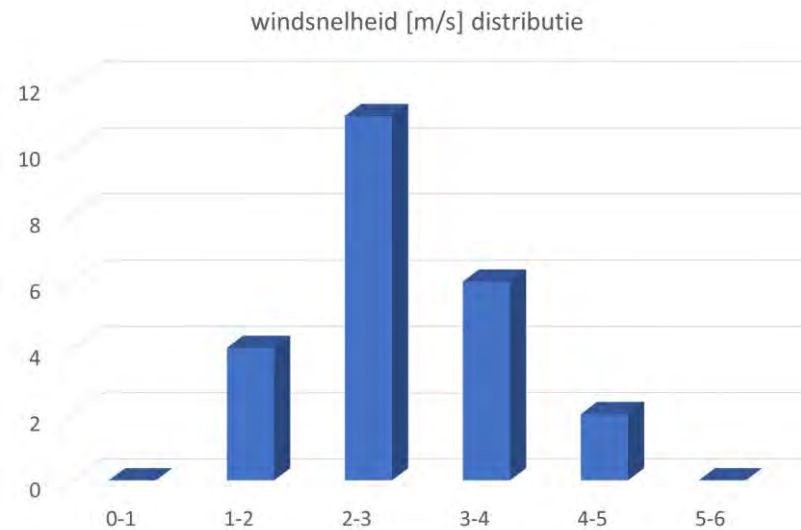
Op een locatie in Midden Nederland is er op een plat dak van een remise grind tegen panelen aangewaaid, hetgeen tot zonnecelbeschadiging heeft geleid. Bij deze beschadigde zonnecellen is (door zonnecel-mismatch) een verhoogde temperatuur gemeten. Er heeft hier geen brand plaatsgevonden, maar dit illustreert wel aan dat zonnecel-*mismatch*, ongeacht de oorzaak, een verhoogd risico met zich meebrengt..

Van één van de schade-experts hebben wij vernomen dat soms personeel wordt geselecteerd op "het ontbreken van hoogtevrees" in plaats van op vakkundige kennis om de PV-installatie aan te leggen. Van een ooggetuige hebben we vernomen dat bij een incident personeel uit andere Europese landen wordt ingeschakeld om de installatie te verrichten.

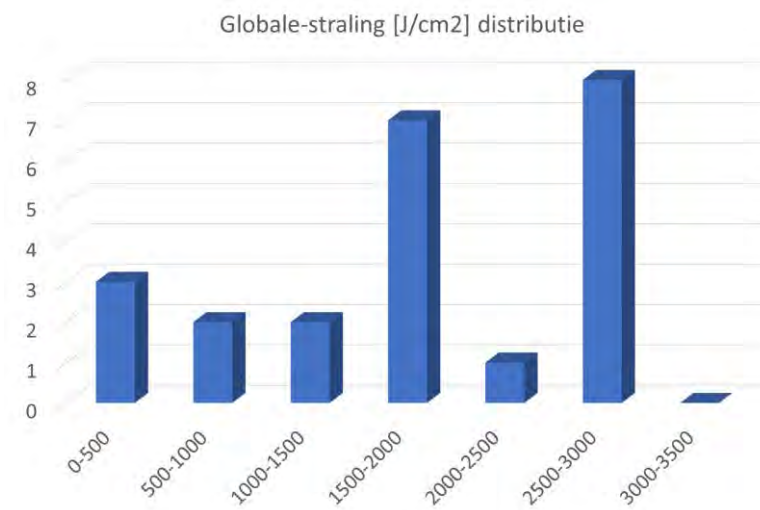
De meeste brandincidenten hebben in voorjaar en zomer van 2018 plaatsgevonden. Onderstaande histogrammen laten zien dat veel branden hebben plaatsgevonden bij relatief hoge temperaturen en hoge instralingen en met name bij zwakke wind (2-3 m/s, 2 Beaufort). De meteodata komen van weerstation de Bilt en lokale weersomstandigheden kunnen dus afwijken. Uiteraard leidt een hoge instraling en een hoge omgevingstemperatuur en een geringe koeling door de wind tot hoge zonnepaneeltemperaturen. Bovendien leiden hoge instralingen tot hoge elektrische stromen in de kabels van de PV-systemen. Het is belangrijk op te merken dat vermogensdissipaties (bijvoorbeeld in overgangsweerstanden van connectoren) schalen met de elektrische stroom in het kwadraat. Deze combinatie van omstandigheden lijkt statistisch gezien een belangrijke rol te spelen. Echter niet bij alle brandincidenten is dit het geval.



Figuur 2 Verdeling van de maximumtemperatuur (gemeten in de Bilt) waarbij de brandincidenten optraden.



Figuur 3 Verdeling van de (etmaal-gemiddelde) windsnelheid (gemeten in de Bilt) in m/s waarbij de brandincidenten plaatsvonden. Ter indicatie: windsnelheden van 1 (zeer zwak), 2 (zwak), 3 (vrij matig) Beaufort komen respectievelijk overeen met de intervallen 0,3-1,5 ; 1,5-3,3 ; 3,4-5,4 m/s.



Figuur 4 Verdeling van de globale straling per dag in J/cm<sup>2</sup> (gemeten in de Bilt) waarbij de brandincidenten optraden.

### 3 Literatuurstudie

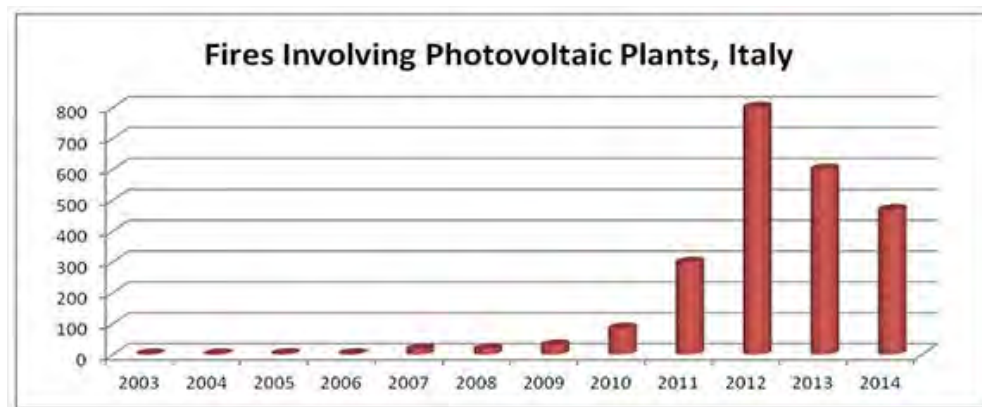
Uit de PV-brandenstudie van Fraunhofer ISE uit 2013 (4) blijkt dat de verdeling van gerapporteerde PV-branden als volgt is: 22% veldopstellingen, 15% plat-dak, 1% façade, 11% in-dak en 51% op-dak systemen. Volgens het rapport komt deze verdeling min of meer overeen met de marktaandelen van de respectievelijke systemen. Echter de in-dak systemen (*roof-integrated*) zijn de grote uitzondering. In 2013 vertegenwoordigde deze slechts 1% van de markt. Als men kijkt naar de in het ISE-rapport beschreven gebouwschade dan zijn de bijdragen als volgt: 20% plat dak, 21% *integrated* (in-dak) en 59% op-dak. De ISE-onderzoekers concludeerden destijds dat in-dak systemen een 20x hoger brandrisico hebben dan op-dak systemen.

De onderzoekers van ISE plaatsen de PV-brandproblematiek in perspectief door te stellen dat er jaarlijks dertig branden zijn op 1 miljoen PV-systemen. Echter *Building Integrated PV systems* (in-dak systemen) vertonen een verhoogd brandrisico. Ze adviseren dat BIPV-systemen aparte voorzorgsmaatregelen en risicobewustzijn van de installateur krijgen. Ten tijde van het schrijven van dit artikel bedroeg het aantal BIPV-systemen slechts 1% van het totaal. Het ISE-artikel stelt verder dat een derde van de branden te wijten is aan installatiefouten. Zij stellen dat installatiebedrijven het brandrisico kunnen reduceren door simpele maatregelen als:

- Het zich houden aan de voorschriften van fabrikanten
- Gebruik van de juiste krimptangen
- Connectoren zonder schroeven maar met “*cage clamp*” gebruiken
- Geen *cross-combinatie* van connectoren toepassen
- Gebruik van “click-on” connectoren
- Uitvoeren van inspectie en testen.

Om lange-termijn degradatie en defecten aan te tonen worden opbrengstmonitoring en regelmatige inspectie aanbevolen. Inspectie van het hele systeem inclusief elektrische verbindingen met een warmtecamera vergemakkelijkt het vinden van kritische punten. Verder wordt aanbevolen om abrupte veranderingen in subsidieschema's te vermijden om te hoge werkdruk van installateurs te voorkomen.

Figuur 5 van (5) laat de omvang de problematiek van branden met PV-systemen uit het recente verleden in Italië zien.



Figuur 5 PV-gerelateerde brandincidenten in Italië (5).

Volgens dit artikel komt de piek van zo'n 700 brandincidenten in 2012 door de golf van nieuwe installaties. Bij deze installaties vond de brand hoofdzakelijk in hetzelfde jaar als de oplevering van het PV-systeem plaats, waarbij men stelt dat een gebrek aan gekwalificeerde ontwerpers en installateurs een belangrijke rol heeft gespeeld. Genoemde oorzaken zijn incorrect schaduwmanagement, blootstelling van componenten aan abnormale condities (condensatie onder panelen), slechte kwaliteit componenten, tijdens de installatie kapotgetrokken kabels, "*under-evaluation of typical DC current behavior*" en zonnecelmismatch. Studies naar de Italiaanse incidenten hebben uitgewezen dat DC-vlambogen en de ontsteking van brandbaar polyurethaan en polystyreen de belangrijke factoren waren bij deze branden. Het artikel over de Italiaanse brand-incidenten gaat niet in detail in op wat het karakter van de vlambogen is: intern in de connectoren of extern. In paragraaf 4.1.2 zullen wij de term "vlambogen", die in het jargon voorkomt, nuanceren en laten zien dat hier ook oververhitting van connectoren mee bedoeld kan worden en dat er nog veel onduidelijk is over de fysisch mechanismen.

De "Tech talk" uit 2012 van (her)verzekeraar Allianz (6) noemt ook vlambogen als een bron van branden. De Allianz Risk Consulting Group raadt zeer sterk af om PV-systemen te plaatsen op commerciële/industrialgebouwen met brandbare daken (volledig brandbaar of met brandbare isolatie). In het artikel uit 2012 wordt genoemd dat er nog zeer weinig ervaring met *Building Integrated PV* was.

Het BRE rapport uit 2017 (7) noemt als oorzaken van branden: ontwerpfouten, installatiefouten, productfouten en onvoldoende onderhoud. Het rapport stelt: "*Arc faults undoubtedly represent the greatest fire hazard on PV systems ...*". De "*faults*" die genoemd worden zijn: seriële vlambogen, parallelle vlambogen en vlambogen met "aarde". BRE gebruikt de term "vlambogen", maar onduidelijk is wat hier precies onder verstaan moet worden. In sectie 4.1.2 gaan wij nader in op het karakter van deze zogenaamde "vlambogen". BRE haalt een "Failure Mode and Effect Analysis" aan, waaruit wordt geconcludeerd dat omvormers het hoogste faalisico hebben maar dat vanuit brandperspectief andere componenten een hoger risico hebben. De componenten die genoemd worden zijn: DC-connectoren, DC-isolatoren, zonnepanelen, omvormers en "*module mountings*". Uit de bron "Workshop "PV-brandschutz", Freiburg, Germany, 2013" wordt geciteerd dat de oorzaken als volgt zijn: connectoren (29%), zonnepanelen (34%) en andere systeemonderdelen (37%).

### 3.1 Normeringen

De wettelijke brandveiligheidsvoorschriften volgens het Bouwbesluit 2012 gaan er vanuit dat een installatie in een gebouw goed en deugdelijk is geïnstalleerd en wordt onderhouden gedurende de gebruiksfase (zorgplicht). Er bestaan twee belangrijke Nederlandse normen met betrekking tot PV systemen die daarop nader ingaan: de NEN1010 en NEN7250. Het Bouwbesluit 2012 verwijst overigens alleen naar NEN1010 en niet naar NEN 7250; in de NEN 7250 hebben betrokken stakeholders voor de toepassing van PV panelen een nadere uitwerking gemaakt van zowel de publiekrechtelijke eisen uit het Bouwbesluit 2012 als aanvullende privaatrechtelijke eisen.

#### 3.1.1 NEN1010

De NEN1010 behandelt Elektrische installaties voor laagspanning – Nederlandse implementatie van de HD-IEC 60364-reeks. Deel 7 gaat over de bepaling voor bijzondere installaties en bijzondere ruimten en omgevingen. Sectie 712 gaat over PV systemen.

Regel 712.420.4 “Veiligheid van het PV-systeem” stelt: Er moet rekening worden gehouden met nationale of plaatselijke brandveiligheidsvoorschriften. **OPMERKING** Zie o.a. de eisen in het Bouwbesluit. Regel 712.421 is zeer summier en geeft slechts aanwijzingen over isolatie.

In 712.526.1 valt te lezen:

*“Voeg toe-*

*Elke combinatie van steker en contrasteker moet elektrisch en mechanisch bij elkaar passen en geschikt zijn voor de omgeving waarin deze wordt gebruikt. Het combineren van stekers en contrastekers van verschillende fabrikaten is alleen toegelaten indien beide fabrikanten de compatibiliteit van de steker-contrastekercombinatie onderschrijven.*

*OPMERKING 1 Het wordt aanbevolen dat elke combinatie van steker en contrasteker van hetzelfde fabrikaat is.*

*OPMERKING 2 Een gevaarlijke compatibiliteit tussen installatieconnectoren van verschillende fabrikaten wordt niet voorkomen door het voldoen aan NEN-EN-IEC 62852.”*

712.526.10 stelt dat Verbindingsconnectoren aan de DC-zijde moeten worden gekozen volgens NEN-EN-IEC 62852.

Wij verwijzen ook naar de opmerkingen in paragraaf 4.1.1.2.

#### 3.1.2 NEN7250

NEN7250 is de Nederlandse norm over Zonne-energiesystemen - Integratie in daken en gevels - Bouwkundige aspecten. Hoofdstuk7 betreft “Eisen met betrekking tot de brandveiligheid”. In grote lijnen gaat dit hoofdstuk over veiligheid in geval van brand die vanaf de buitenzijde van de zonnepanelen komt. Hierbij wordt verwezen naar vuurkorf testen, waarbij vliegvluur afkomstig van branden elders. Hierbij wordt feitelijk de complete dakopbouw inclusief zonnepanelen getest. Het achterliggende idee is dat een brand in de omgeving niet mag kunnen overslaan op een dak met zonnepanelen.



### 3.1.3 *Conclusie*

Elektrotechnische Norm NEN1010 is wel adviserend maar niet dwingend in de keuze voor het gebruik van hetzelfde *fabrikaat* stekker. Zonne-energie norm NEN7250 regelt niets ten aanzien van de brandbaarheid van materialen onder de buitenste daklaag.

## 4 Factoren die kunnen bijdragen aan het ontstaan van PV-branden

In dit hoofdstuk geven we een overzicht van factoren die mogelijk een bijdrage kunnen geven aan het ontstaan van een brand. Bij veel incidenten, waaronder ook branden, is er vaak niet één oorzaak aan te wijzen. Meestal betreft het een keten van oorzaken, handelingen en omstandigheden die tot het incident leiden. Alleen als alle elementen in die keten ongunstig zijn is er een significante kans dat er een (brand-)incident kan optreden.

### 4.1 Technische factoren

#### 4.1.1 Connectoren

Bij de installatie van systemen worden componenten elektrisch geschakeld door *male* connectoren met *female* connectoren te verbinden. De connectoren bevestigd aan de kabels die vastzitten aan de zonnepanelen zijn “af-fabriek”, d.w.z. reeds bevestigd bij levering van de panelen. Kabels die door de installateur worden toegevoegd aan het systeem om langere afstanden te overbruggen zoals tussen verschillende paneelrijen of -kolommen of tussen de zonnepanelen en de centrale omvormer worden op locatie van de installatie voorzien van een connector. Wanneer de verbinding tussen twee connectoren of tussen een connector en de kabel niet optimaal is kunnen zogenaamde overgangsweerstanden aanwezig zijn die weer aanleiding kunnen geven tot (grote) lokale warmteontwikkeling door interne “vlambogen”. Figuur 6 laat de parameter ruimte van spanning en stroom zien waaronder vlambogen kunnen optreden.

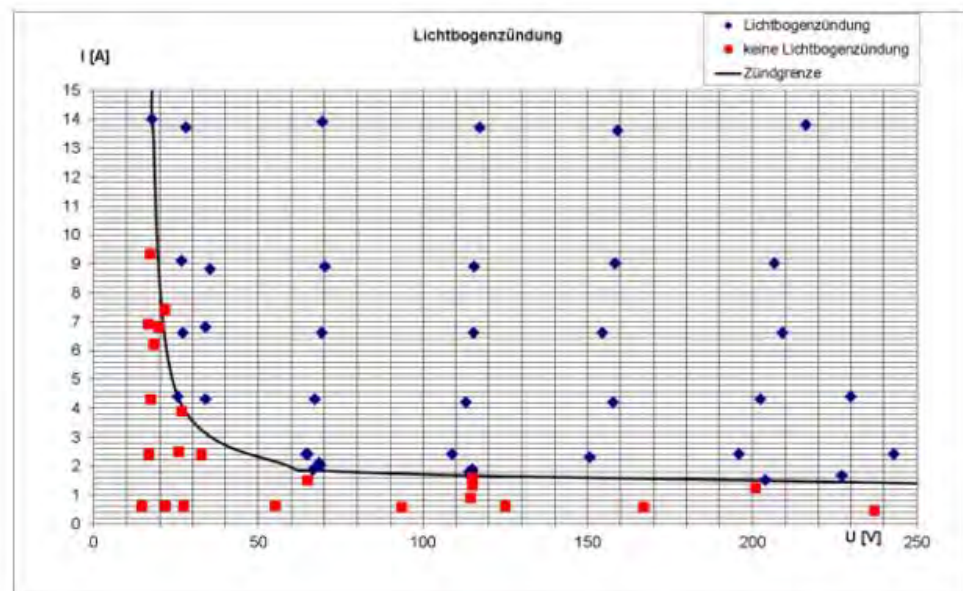


Bild 2-2: Lichtbogen-Zündgrenze, ermittelt auf der Basis von Kupferelektroden, Quelle: TÜV Rheinland

Figuur 6. Vlamboog-ontstekingsgrens in elektrische verbindingen (zwarte curve). De blauwe punten corresponderen met omstandigheden waaronder een vlamboog ontstaat (8).

#### 4.1.1.1 Type connectoren.

De MC4-connector is de meest gebruikte DC-connector voor de onderlinge doorverbinding van zonnepanelen en voor de DC-verbinding van de zonnepanelen met de omvormer. Deze connector is ontwikkeld door het bedrijf Multi-Contact. Het getal 4 staat voor de draaddiameter van 4 mm<sup>2</sup>. Multi-Contact is sinds 2002 onderdeel van de Stäubli Group.



Figuur 7, MC4-connectoren (Photovoltaic main catalog, Multi-Contact, Stäubli)

Zonnepanelen worden geleverd met voor-gemonteerde DC-connectoren. Bij installatie van de zonnepanelen worden deze connectoren in elkaar geklikt, waardoor de zonnepanelen in serie worden geschakeld. De connectoren zijn vaak “MC4” of “MC4 compatible”.

Bij de overgang tussen verschillende rijen zonnepanelen en bij de verbinding van de zonnepanelen naar de omvormer zijn de kabels van de zonnepanelen te kort en zal gebruik moeten worden gemaakt van langere kabels met een mogelijk ander type of merk connector. Hierdoor kunnen in een PV-systeem verschillende merken connectoren voorkomen.

Diverse onderzoeken laten zien dat het gemengd gebruik (“*cross mating*”) van verschillende merken connectoren minder betrouwbare resultaten opleveren dan het gebruik van hetzelfde merk. Wij doen geen uitspraak over welke merken connectoren eventueel wel gecombineerd zouden kunnen worden. Zie refs. (9), (10) en (11).

##### 4.1.1.1.1 Literatuur over connectoren

Volgens het rapport van BRE (7) is het probleem met het gemengd gebruik van connectoren nog niet opgelost en BRE verwijst naar IET en MSC, die melden dat connectoren van verschillende merken in zijn algemeenheid niet gecombineerd moeten worden. Volgens MSC zou dit alleen mogen als er een testrapport kan worden overlegd dat de comptabiliteit van de verschillende merken connectoren aantoont volgens de norm BS EN 50521. Deze norm is inmiddels vervangen door IEC 62852:2015.

BRE stelt dat er nog geen gestandaardiseerd DC-connectorontwerp is dat het gecombineerd gebruik van connectoren mogelijk maakt. Er zijn vele “MC4-stijl” connectoren op de markt, die ogenschijnlijk in elkaar passen. Maar er zijn geen testgegevens die aangeven welke combinaties veilig kunnen worden gebruikt. Zie refs. (7) en (12).

Tanguturi (11) concludeert dat er een standaard zou moeten komen waarin wordt vastgelegd welke tolerantie zou mogen worden toegestaan voor het gebruik van verschillende merken connectoren.

Amphenol (13) stelt dat de Helios H4 “*fully intermateable with industry standards*” is. Het is niet duidelijk wat deze industriële standaarden inhouden, met welke connector(en) de Helios H4 gecombineerd zou mogen worden en wat voor garantie gegeven wordt bij het gebruik van verschillende merken connectoren.

SolarEdge (14) levert power optimizers met verschillende merken connectoren, te weten Multi-Contact MC4, Canadian Solar T4 (Tlian), Amphenol H4 en Amphenol UTX.

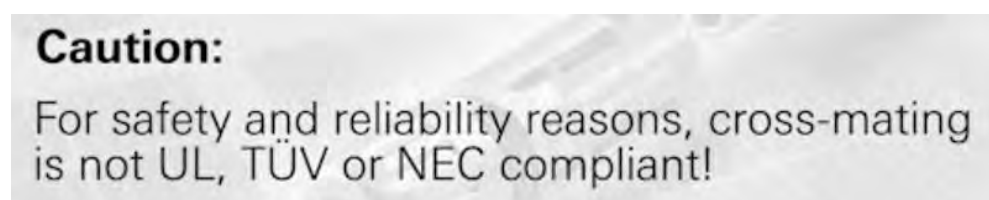
Gezien het geringe aantal merken connectoren is dit maar een oplossing voor een beperkt aantal installaties om gemengd gebruik van connectoren te voorkomen.

Multi-Contact geeft duidelijke richtlijnen voor het gebruik van MC4-connectoren (15):

*“Multi-Contact clearly dissociates itself from connections made with MC connectors and connectors from other manufacturers due to the high demands placed on safety and reliability of PV installations. Connectors that have not been produced by MC but appear mateable with MC components, and sometimes are being advertised as “compatible with MC” by the manufacturers do not meet the requirements for safe, stable electrical connections and must not be mated with MC connectors for safety reasons. Multi-Contact does not take any responsibility for damages that result from such connections which have not been approved by MC.”*

Uit het oogpunt van het bedrijf Multi-Contact is dit een logische uitspraak, Multi-Contact kan natuurlijk nooit een veilige combinatie garanderen als hun connector wordt gecombineerd met een ander merk connector.

De uitspraak wordt in een gezamenlijk artikel onderstreept door TÜV Rheinland (16). Tevens wordt dit in de instructievideo van Stäubli/MultiContact gezegd, zie Figuur 8.



Figuur 8 Waarschuwing in de montagevideo van Stäubli ten aanzien van combineren van verschillende merken connectoren.

Algemeen wordt aanbevolen om gelijke merken connectoren te gebruiken; in Frankrijk is dit verplicht gesteld (17): *“Pour garantir la qualité de la connexion et limiter les risques d’arc électrique pouvant créer des incendies, chaque couple de connecteurs mâle femelle à assembler doit être de même type et même marque.”*

#### 4.1.1.2 IEC 62852:2015

De norm IEC 62852:2015 (Connectors for DC-application in photovoltaic systems - Safety requirements and tests) gaat onder andere over de veiligheidseisen en het

testen van connectoren. Voor zover bekend wordt in deze norm geen uitspraak gedaan of het combineren van verschillende merken connectoren is toegestaan. In het Handboek Zonne-energie (18) wordt vermeld in 6.4.3 (DC bekabeling): “Stekkers en contrastekkers dienen van hetzelfde **type** te zijn”. Het is niet duidelijk of dit betekent (resp. of hiermee wordt bedoeld) dat de stekkers en contrastekkers ook van hetzelfde *merk* moeten zijn.

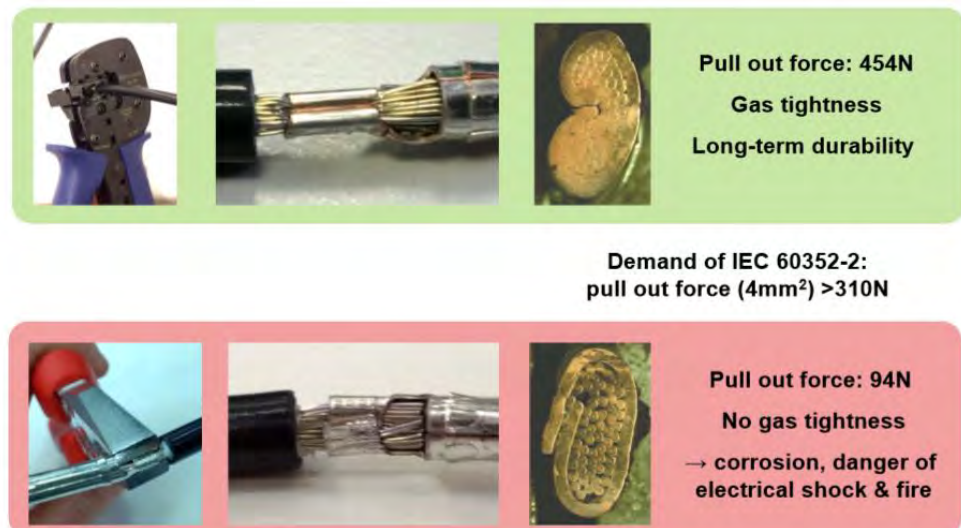
#### 4.1.1.3 Monteren van de connector aan een kabel

Bij het monteren van een connector aan een kabel zijn meerdere stappen cruciaal. Multi-Contact laat dit zien in een instructievideo (19) en handleiding (20):

1. Strip de draad op de juiste lengte met een speciale tang
2. Gebruik de juiste krimptang voor de bevestiging van de draad aan het metalen deel
3. Assembleer het metalen deel in de plastic isolator
4. Controleer de diepte van het metalen deel in de isolator
5. Maak de verbinding waterdicht met speciale sleutel

Het monteren van de connectoren gaat in de praktijk niet altijd volgens de regels:

- Het gebruik van de krimptang is essentieel voor een goede verbinding van de draad aan het metalen deel. Installateurs die het niet zo nauw nemen blijken in de praktijk hiervoor een combinatietang te gebruiken. Dit levert geen goede verbinding op, zoals blijkt uit Figuur 9. Dit leidt al direct tot een hogere overgangsweerstand en resulteert in een lage betrouwbaarheid gedurende de levensduur van 25 jaar (21).



Figuur 9. Verschil tussen draadverbinding met juiste krimptang en combinatietang. (21)

- De krimptang is geschikt voor 3 draaddiameters. Voor de juiste aandrukkracht is het noodzakelijk dat de tang wordt gebruikt met de juiste draaddiameter.
- De originele krimptang kost ongeveer € 350, imitaties zijn veel goedkoper. Met een imitatietang is een goede verbinding niet gegarandeerd.

- Het monteren van de connector aan de draad vraagt zorgvuldigheid. Wanneer dit op een schuin dak in de buitenlucht wordt gedaan, kan dit leiden tot een niet-correcte verbinding.

Ieder merk connector heeft zijn eigen gereedschap en montagewijze. Installateurs zullen daarom maar een beperkt aantal merken connectoren kunnen aanzetten. Als het gereedschap niet aanwezig is, zal vaak voor een minder goede oplossing worden gekozen.

Remco de Mol van Omega (22) Training en Inspectie geeft een overzicht van de problematiek in de praktijk: *“Bij de overgang van de verschillende rijen panelen en van de panelen naar de omvormer gaat het vaak mis. Dit zijn vaak verschillende connectoren. Afknippen dan maar? Hiermee vervalt de garantie van de panelen. Fabrikanten van PV-panelen zouden extra contrastekkers moeten leveren zodat de connectoren van één merk zijn. Zolang er geen goede normen zijn, is het afknippen van de connectoren van de buitenste panelen een veilige en praktische oplossing.”*

Deze discussie wordt ook internationaal gevoerd (23), (24), (25) en er zijn voor zover bekend nog geen uniforme richtlijnen.

#### 4.1.1.4 Conclusie connectoren

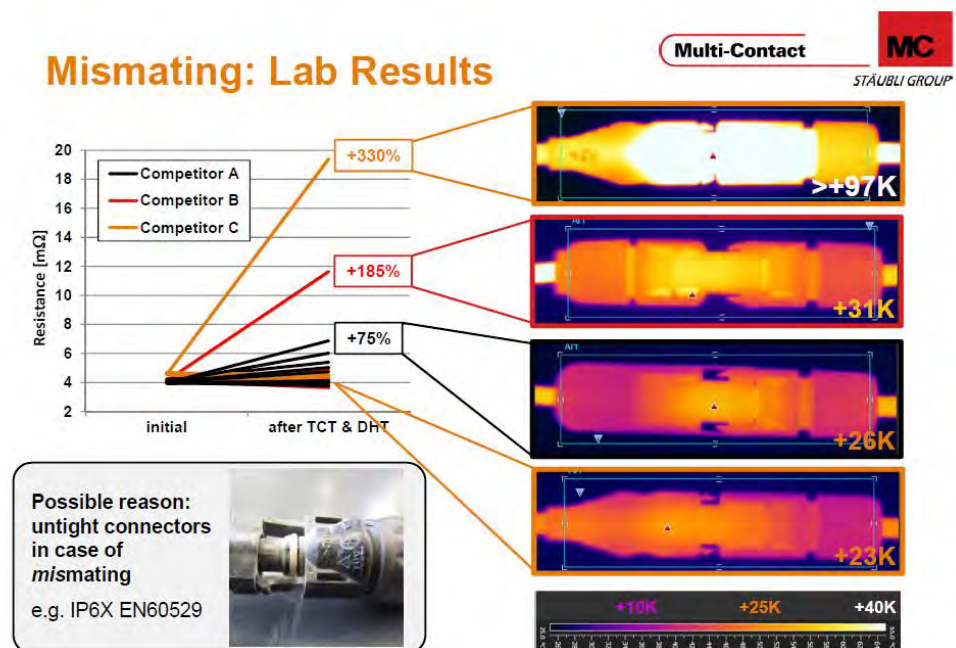
- Het monteren van een connector aan een kabel kan alleen op een goede manier gebeuren met het juiste gereedschap. Voor een goede verbinding is het noodzakelijk dat de handleiding van de leverancier van de connector wordt opgevolgd.
- De MC4-type connector heeft een overgroot marktaandeel. Veel fabrikanten leveren zonnepanelen met zogenaamde “MC4-compatible” connectoren. Bij het aansluiten van deze zonnepanelen ontstaan er in een systeem combinaties van verschillende merken connectoren (*cross mating*), die in de praktijk problemen kunnen geven zoals oververhitting.
- Om in een systeem gelijke connectoren te hebben zijn er twee oplossingen
  1. De connectoren van de (buitenste) modules worden afgeknipt en andere connectoren die matchen met de connectoren van de losse kabels worden gemonteerd. Echter hierbij vervalt de garantie van de betreffende modules, hetgeen een dilemma is voor de installateur.
  2. De leverancier van de zonnepanelen levert extra PV-connectoren mee die aan de kabels kunnen worden gemonteerd voor “rij naar rij” overgangen en verbinding richting omvormer. Dit gebeurt nu nog niet.
- Voor zover bekend zijn er geen richtlijnen, dit zou verder uitgezocht moeten worden.

#### 4.1.2 Oververhitting connectoren

Als de twee connectoren niet goed aansluiten of er als een corrosieve laagje tussen de twee polen van het contact aanwezig is kan er een overgangsweerstand ontstaan. Zo'n weerstand kan tot warmteontwikkeling leiden waardoor de temperatuur kan oplopen en de connector uiteindelijk een ontstekingspunt voor een brand kan vormen. In het jargon en in de PV-literatuur worden in deze context ook vlambogen genoemd. Echter tevens wordt aangegeven in de literatuur dat de modellen voor degradatie van het contact en het uiteindelijk ontstaan van

vlambogen (Arcs) nog onderontwikkeld zijn (26), (27). Deze vlambogen treden intern in de behuizing van de connector op.

Figuur 9 toont een pagina uit de presentatie van Stäubli in de Workshop Brandsicherheit (28). *Cross-mated* (MC4-achtige) connectoren van concurrenten van Stäubli zijn getest. De connectoren hebben onder laboratoriumcondities een versnelde degradatie ondergaan van een temperatuurcyclustest van  $-40$  tot  $+85^{\circ}\text{C}$  (200x), volgens norm EN50521 en een *damp-heat* test ( $85^{\circ}\text{C}$ , 85% luchtvochtigheid, 100 uur), volgens EN505021. Een Stäubli MC4-MC4 connector paar laat een temperatuurstijging ten opzichte van de achtergrond zien van slechts  $11^{\circ}\text{C}$  als deze een nominale elektrische stroom geleidt. Dezelfde elektrische stroom leidt, na de versnelde degradatietesten, bij een *mis-mated* connectorpaar tot een temperatuurstijging van maar liefst  $97^{\circ}\text{C}$ .



Figuur 10 Bron: presentatie van Stäubli in de Workshop Brandsicherheit (28). De onderzoeker van Stäubli laat de consequenties zien van een van de *mis-mate* combinaties van connectoren van concurrenten van Stäubli (die claimen MC4-compatibel te zijn). De connectoren hebben een *accelerated degradation tests* in laboratoriumomstandigheden ondergaan en zijn daarna gemeten. Bij een "*mis-mated*" connectorcombinatie is de weerstand na de degradatiecondities opgelopen tot 19 mΩ, hetgeen, bij doorlating van een nominale elektrische stroom, tot een lokale temperatuurstijging van  $+97^{\circ}\text{C}$  leidt.

Een "Tech talk" paper van Allianz Risk Consulting (6) stelt het volgende: "*Arcing has been found to be the main reason of larger rooftop fires on commercial buildings starting on PV systems and have gained a lot of attention*". Verder wordt genoemd: "*Any electric installation is exposed to the risk of arcs, but solar installations are particularly sensitive to this exposure because of the continuous DC current and the high currents (>10 A) and voltages (300-1000 V) involved. DC arcs do not self-extinguish and can reach temperatures as high as  $3000^{\circ}\text{C}$  ( $5400^{\circ}\text{F}$ ). Arcs at this temperature can melt metal, which can fall as slag and ignite nearby combustible materials.*"

Er worden drie typen vlambogen onderscheiden:

- Seriële vlambogen als er een onderbreking (of een hoge weerstand) in de verbinding komt wanneer de installatie stroom levert. Dit kan dus optreden bij slecht contact makende connectoren en bij een slechte verbinding tussen de kabel en de connector. Dit type vlambogen lijkt het meest voorkomend euvel te zijn.
- Parallele vlambogen wanneer twee kabels waar verschillende spanningen heersen met elkaar in contact komen door bijvoorbeeld breuk, knaagdierschade, (UV)-verbrossing in combinatie met weersinvloeden.
- Aard-vlambogen. Kabels die met de aarde contact maken door soortgelijk oorzaken als hierboven maar ook door schroeven van dakdekkers die de kabel (bijna) raken.

Er bestaan overigens vlamboogdetectiesystemen. Echter de betrouwbaarheid hiervan is aan discussie onderhevig. Ook de mogelijkheid van *false positive* meldingen is een punt van zorg.

#### 4.1.3 *Bypass diodes*

De meeste zonnepanelen bestaan uit 60 in serie geschakelde zonnecellen. De stroom die een cel kan leveren is evenredig met de hoeveelheid zonlicht op de cel. Door bijvoorbeeld schaduw op een cel kan deze cel minder stroom leveren dan de onbeschaduwde cellen. Indien de omvormer toch de hogere stroom van de onbeschaduwde cellen oplegt, zal de beschaduwde cel deze stroom niet kunnen leveren waardoor de spanning over deze cel negatief zal worden. Deze cel zal nu geen vermogen meer leveren maar dissiperen waardoor deze heet wordt.

Om de temperatuurstijging en het vermogensverlies bij (gedeeltelijke of gehele) schaduw te beperken worden zogenaamde bypass diodes toegepast. Vrijwel altijd zitten er 3 bypass diodes in de junction box achter de module, te weten één diode per 20 (of 24) cellen. Indien de stroom die de omvormer oplegt (veel) hoger is dan die de beschaduwde cel(len) kan leveren, zorgt de diode ervoor dat de groep van 20 cellen wordt kortgesloten. Hiermee wordt het vermogensverlies beperkt tot de groep van 20 cellen. Tevens wordt de energie die wordt gedissipeerd in de beschaduwde cel door de 19 omliggende onbeschaduwde cellen beperkt.

Bypass diodes kunnen om verschillende redenen stukgaan, zoals *thermal runaway* en bliksem.

Een *thermal runaway* kan optreden als een module in het volle zonlicht vermogen levert en één zonnecel volledig is beschaduwd. In dit geval zal alle stroom van het zonnepaneel door de bypass diode lopen waardoor de bypass diode heet wordt. Indien de beschaduwing verdwijnt zal de diode nog steeds heet zijn, waardoor er een lekstroom zal gaan lopen door de diode. Als deze lekstroom hoog is en de koeling van de diode te laag, kan de bypass diode nog warmer worden waardoor de lekstroom nog hoger wordt. Dit zelfversterkend effect heet "*thermal runaway*" en kan leiden tot oververhitting van de diode. Een goede keuze van de diode en koeling van de diode in de junction box zal voorkomen dat dit effect optreedt. Hierbij wordt er wel vanuit gegaan dat de junction box zijn warmte kan afgeven naar de omgeving. (29), (30), (31).



Bliksem is een andere mogelijkheid voor falen van een bypass diode. Door bliksem kan een diode defect raken. Dit kan zowel bij directe blikseminslag als bij blikseminslag in de omgeving, waarbij het elektromagnetische veld van de bliksem via inductie een stroompuls kan veroorzaken die door de bypass diode loopt.

Een defecte bypass diode kan hierbij ongewenst gaan sperren of ongewenst gaan geleiden. In geval van schaduw kan de diode de vermogensdissipatie van de beschaduwde cel niet meer beperken en kan oververhitting van de beschaduwde cel optreden. Zonder schaduw zal dit systeem normaal functioneren, waardoor het lastig is om aan te tonen dat de diode defect is. Schaduw kan in dit geval leiden tot hoge temperaturen in de module, waardoor zelfs brand kan ontstaan.

Onder normale condities (zonder schaduw) zal bij een defecte bypass diode de groep van 20 cellen worden kortgesloten, waardoor de spanning van het zonnepaneel circa 10 V lager zal zijn dan verwacht. Dit vermogensverlies zal veelal in een systeem niet opvallen, behalve als het systeem is uitgerust met power *optimizers* of micro-omvormers. Uitlezing van de individuele vermogensproductie geeft aan welke module niet goed functioneert. Kortsluiting van een groep van cellen zal veelal wel leiden tot een verhoogde temperatuur van een of meerdere cellen.

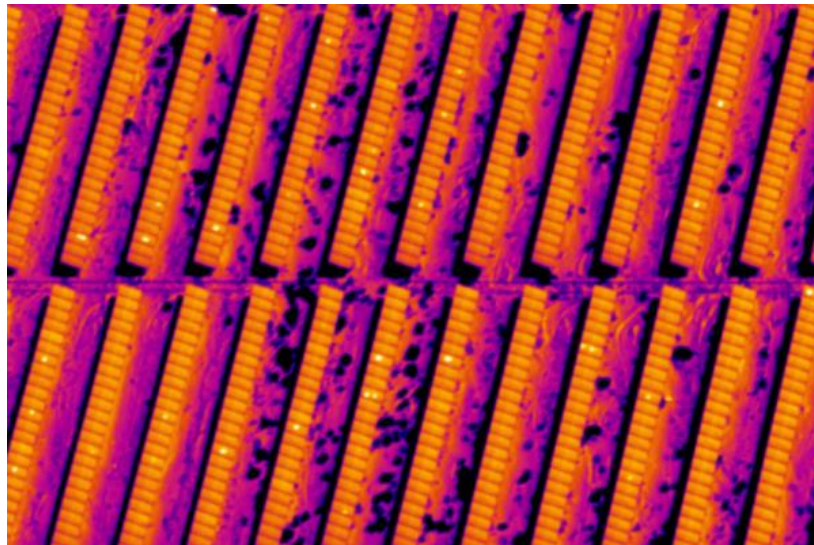


Figuur 11. Voorbeeld van verhoogde temperaturen van modules als gevolg van kortsluiting van bypass diodes (4).

Uit de studie van Laukamp (4) blijkt dat in een systeem van 5 MWp na bliksem 1500 modules defecte bypass diodes bevatten. De diodes waren in dit geval allemaal in geleiding onder niet-schaduwomstandigheden.

#### 4.1.4 Cel-mismatch problemen

Cel mismatch is het effect waarbij zonnecellen die in dezelfde serie, van normaal gesproken 20-24 zonnecellen, zijn geschakeld verschillende lichtgegenereerde stromen hebben. Deze stroom is gelijk aan de kortsluitstroom als de zonnecel geïsoleerd zou zijn. Omdat de zonnecellen in serie zijn geschakeld moet echter de stroom door alle zonnecellen hetzelfde zijn. Een mismatch kan ontstaan als een zonnecel (partieel) beschaduwd is, bijvoorbeeld door vogelpoep, *soiling*, of als door cel-cracks sommige delen van de zonnecel niet mee kunnen doen met het genereren van de elektrische stroom.



Figuur 12 Infrarood opname vanuit de lucht van een grondgebonden PV-systeem met zeer veel *hot spots* (in het geel) die corresponderen met defecten aan het zonnepaneel. Bron: Heliolytics (32).

Onder specifieke schaduwcondities gaat de stroom die door een string van 20-24 cellen gaat ook door de cel met mismatch en komt de mismatch-cel onder een negatieve spanning te staan. Deze spanning kan (in absolute zin) even groot zijn als de spanning van 19-23 overige cellen uit de string, waarbij de som van de spanningen over alle cellen ongeveer gelijk aan nul is.

In *worst case* condities zal de mismatch-zonnecel een reverse *bias* hebben van zo'n 11 tot 13 V bij een stroom van ongeveer 8.5 A. Dit impliceert dat er een vermogen in de "mismatch-cel" gedissipeerd wordt van 85 W tot 110 W. Dit komt dus neer op het vermogen van een zware gloeilamp dat gegenereerd wordt binnen een oppervlak van typisch 15.6x15.6 cm<sup>2</sup>. Als in deze situatie de vermogensdissipatie ook nog lokaal in zogenaamde hotspots plaatsvindt kan dit leiden tot zeer hoge temperaturen. Figuur 12 laat *hotspots* zien die zijn opgenomen met een warmtecamera boven een veldopstelling.

Er bestaan testen gedefinieerd in IEC-normen die panelen testen op hotspots. Echter de vraag is of deze testen afdoende zijn en bovendien worden ze slechts steekproefsgewijs toegepast.

Hierboven is een worst case scenario beschreven. Het is goed om hierbij wat kanttekeningen te plaatsen. Allereerst zal niet iedere microcrack of partiële cel beschaduwing tot dit scenario leiden. In het voorbeeld is uitgegaan van een hoge-instralings dag met daardoor hoge elektrische stromen. Ook is verondersteld dat de stroom 100% door de mismatch-cel loopt, hetgeen impliceert dat de bypass diode nog niet in geleiding is. De meest ongunstige mismatch treedt op als de lichtgegenereerde stroom zo'n 10%-20% lager is dan die van de zonnecellen in dezelfde string. Dit kan dus voorkomen wanneer er een vogelpoep of vuilophoping precies op een zonnecel valt en *effectief* een 'harde schaduw' van 10%-20% veroorzaakt. Daarnaast moet het systeem een dusdanig werkpunt kiezen dat het een hoge stroom forceert door de string die de mismatch-cel bevat. Het werkpunt wordt gekozen bij het maximale vermogen. Echter de curve van het

systeemvermogen als functie van de systeemspanning kan -in schaduwomstandigheden- twee maxima hebben: één bij lage spanning en één bij hoge spanning.

Oude omvormers kiezen doorgaans het vermogensmaximum bij hoge spanning. In dat geval komt een *mismatch*-zonnecel niet in *reverse bias* terecht en gaat de bypass diode niet in geleiding. Sinds een aantal jaren adverteren omvormerfabrikanten echter met omvormers die *global maximum power point tracking* hebben. In bepaalde schaduwgevallen zal de omvormer dan kiezen voor het hogere vermogens maximum, bij een lager systeemspanning. De fabrikanten adverteren met deze *global* MMP tracking omdat het systeem een hogere opbrengst geeft in veel schaduwgevallen. De keerzijde is echter dat zonnecellen in zeer specifieke mismatchomstandigheden in *reverse* kunnen gaan en er dus hoge vermogens gedissipeerd kunnen worden op kleine oppervlakken (33).

Onder meer door verbeterde rendementen van zonnecellen, door meer zonnecellen in één string (24 in plaats van 20), en door de introductie van omvormers met *global MPP trackers* zullen de kans op lokale warmteopwekking en mogelijk risico toenemen.

Hierboven is de situatie geschetst wanneer een maximum vermogensdissipatie in een zonnecel optreedt. Geisemeyer et al. (34) laten zien dat de situatie waarin een maximum temperatuur optreedt niet per se overeenkomt met de situatie van maximum vermogensdissipatie. Een gedetailleerd onderzoek en modellering is nodig voor het bepalen van die worst-case situatie.

Het is evident dat de temperatuur die kan optreden bij zo'n lokale dissipatie van elektrisch vermogen, dan wel in een *hotspot* of homogeen verdeeld over de zonnecel, afhangt van de omgevingstemperatuur en van de mogelijkheid om warmte af te voeren. Een zelfde mismatch-probleem zal verschillende gevolgen kunnen hebben voor bijvoorbeeld een in-dak systeem, een op-dak systeem, een systeem op een plat dak of een systeem in het veld.

Simulatiestudies hebben aangetoond dat micro-omvormers (of optimizers) die het 'optimale' werkpunt kiezen voor slechts één paneel of voor een beperkt aantal panelen een kleinere kans hebben op lokale dissipatie dan centrale, *globale MPPT*, omvormers met een groot aantal panelen. Micro-omvormers zullen over een bredere range van beschaduwingspercentages kiezen voor het hoge-spanning *maximum power point* waarbij de beschaduwde zonnecel in *forward* blijft en waar dus lokale vermogensdissipatie vermeden wordt.

Het is belangrijk te benadrukken dat het optreden en de hoogte van lokale vermogensdissipatie en daarbij hoge lokale temperaturen van veel omstandigheden afhangt zoals grootte van schaduw (of mate van reductie van de lichtgegenerateerde stroom door microcracks of vuilophoping), mate van instraling, positie van de schaduw, aanwezigheid van hotspots, omgevingstemperatuur, type omvormer en warmteafvoer (ventilatie, geleiding etc.). Het is achteraf moeilijk aan te tonen of deze omstandigheden tot een brand geleid hebben. Een laboratoriumopstelling is benodigd om het risico hiervan in te schatten.

#### 4.1.5 Kabels

Kabels kunnen onder-gedimensioneerd worden. Hierdoor is de weerstand van een kabel hoger en zal de warmtedissipatie hoger zijn en zullen de temperaturen oplopen.

Wij citeren een stuk uit de *White Paper* van Solinso (35) (een bedrijf dat in-dak systemen levert en dus belang heeft bij de veiligheid van in-dak PV-systemen): *"Kabels lopen tussen technische ruimte en het zonnepanelenvlak over het dak. Het is praktisch onuitvoerbaar om kabels door een buis te voeren omdat de materialen op de kap daarvoor te dun zijn. Bij "in-dak" zonnepanelen is het bovendien zo dat het zonnestroomsysteem wordt geplaatst ruim voordat timmerman (dakvenster) en dakdekkers hun werk doen waardoor de kans bestaat dat er beschadigingen aan de kabels ontstaan omdat er overheen gelopen wordt of omdat kabels op mechanische spanning komen te staan omdat er onbedoeld aan getrokken wordt. Dit kan ertoe leiden dat connectoren op trekspanning komen te staan. Wanneer de connectoren langzaam uit elkaar worden getrokken tijdens stroomproductie kan een lasboog ontstaan. Dakpannen, nokvorsten worden geschroefd en er bestaat een kans dat er onbedoeld door een kabel wordt geschroefd. Dit is niet direct een probleem maar leidt wel tot corrosie waardoor de stroomproductie op termijn gaat afnemen. Alleen wanneer door 2 kabels wordt geschroefd kan kortsluiting ontstaan."*

#### 4.1.6 Daksysteem

Als eerder opgemerkt kunnen we hoofdzakelijk drie soorten PV-daksystemen onderscheiden: Systemen op platte daken, op-dak systemen en in-dak systemen.

Op platte daken wordt een *rack* neergezet waaraan de panelen worden gemonteerd. Het rack wordt verankerd of blijft op zijn plaats door ballast.

Voor de schuine daken zijn er hoofdzakelijk twee mogelijkheden: het op-dak en het in-dak systeem. Het op-dak systeem betreft meestal een pannendak waarop het systeem is aangebracht. Constructiemateriaal van het PV-systeem is via haken verankerd aan de panlatten onder de dakpannen. Bij een op-dak systeem hebben de panelen enige afstand tot de dakpannen, waardoor koeling door de wind en natuurlijke convectorie mogelijk is, hetgeen bevorderlijk is voor zowel het rendement als de veiligheid omdat temperaturen minder hoog oplopen.

Bij een in-dak systeem zijn de dakpannen niet aanwezig. Uit deze studie blijkt dat er relatief veel brandincidenten zijn opgetreden bij in-dak systemen. Ook uit een studie van PV-branden in Duitsland uit 2013 [ISE] blijkt dat een meer dan evenredig gedeelte van branden ontstaat bij in-dak systemen. Echter het lijkt erop dat het feit dat een PV-systeem in-dak is *an sich* niet de oorzaak van een brand is. Er moet immers een ontstekingspunt zijn van waaruit de brand kan ontstaan. Een ontstekingspunt, zoals een smeulende connector, kan bij een op-dak systeem een minder grote impact hebben vanwege de hitte-werende eigenschap van dakpannen dan bij in-dak systemen.

Door de jaren heen zijn er verschillende soorten dakconstructies toegepast. Een veel voorkomende dakopbouw ziet er in grote lijnen als volgt uit (36):

Het skelet van het dak bestaat uit schuine balken: “de ribben”. Tussen de ribben bevindt zich isolatie materiaal. De binnenzijde van het dak is vaak afgewerkt met gipsplaten die tegen de onderkant van de ribben zijn bevestigd. Het isolatiemateriaal kan even dik zijn als de ribben, maar kan ook minder dik zijn.

Op de ribben is een folie gespannen. Deze folie heeft de waterkerende functie en kan van uiteenlopende materialen gemaakt zijn zoals polyethyleen en bitumen. De waterkerende folies zijn in verschillende brandklassen voorradig, maar er worden hieraan geen eisen gesteld. Als het isolatiemateriaal minder dik is dan de ribben, bevindt zich nog lucht tussen de folie en het isolatiemateriaal.

De folie wordt op zijn plaats gehouden door latten, de tengels, die over de lengte van de ribben zijn aangebracht; de folie is dus *gesandwich*t tussen de tengels en de ribben. Vervolgens worden panlatten horizontaal getimmerd op de tengels. Bij een in-dak PV-systeem worden de PV-panelen bevestigd aan de panlatten.

Bovenstaande is een voorbeeld van een veel toegepast in-dak systeem. Daarnaast zijn er leveranciers die met eigen constructiemateriaal (bijv. van aluminium) de verbinding met het dak maken.

De afmetingen van het constructiemateriaal en/of de panlatten bepalen hoe dicht de zonnepanelen gemonteerd zijn tegen de dakfolie. Zonnepanelen worden geleverd met een installatievoorschrift. Hierin staat onder meer wat de afstand van het zonnepaneel tot de ondergrond moet zijn. Probleem daarbij is dat niet precies gedefinieerd is wat die afstand inhoudt: Bijvoorbeeld óf van de *backsheet* tot het dakfolie, óf van het *frame* van het zonnepaneel tot de folie.

Voor zover bij ons bekend bestaan er geen eisen met betrekking tot ventilatie van in-dak zonne-energie systemen. Zo'n 20% van de energie van de zonnestraling wordt omgezet in elektrische energie en bijna 80% van het zonlicht wordt omgezet in warmte. Het is bekend dat de temperatuur van zonnepanelen hoog kan oplopen. Ref. (2) rapporteert temperaturen die oplopen tot 45°C. Eén van de shade-experts die wij spraken noemt een gemeten temperatuur tot 75°C. Ref (3) rapporteert een maximum temperatuur van 72°C voor geventileerde segmenten van een in-dak systeem en 83°C voor een niet-geventileerd segment.

Het verlagen van de paneeltemperatuur is zowel voor de prestatie als voor de brandveiligheid van belang. Temperatuurverlaging kan worden gerealiseerd door natuurlijke ventilatie. Hiertoe dient aan de onderkant van een schuin dak een luchtinlaat te bestaan en bij de nok een luchtuitlaat. De natuurlijke ventilatie zorgt dus voor een temperatuurverlaging hetgeen de omstandigheden voor het ontstaan van brand minder gunstig maakt. Het is belangrijk om op te merken dat dezelfde “schoorsteenwerking”, als er eenmaal een begin van een brand is, de brand juist sneller kan doen laten verspreiden, door de aanvoer van zuurstof en het transport van brandbare deeltjes (vliegvlam).

Mits voorzien van fijnmazige roosters vormen de ventilatie-ingangen en uitgangen openingen waarachter zich stof kan ophopen of waar vogels een nest kunnen bouwen. Stof, nest materiaal en andere materialen bieden een gunstige omgeving creëren voor het ontstaan van een brand en dienen derhalve voorkomen te worden.

## 4.2 Menselijke factoren

### 4.2.1 *Installatiefouten*

Installatiefouten die kunnen optreden zijn:

- *Cross-mating*: het verbinden van *male* en *female* connectoren van verschillende merken. (Zie 4.1.1.1 )
- Het ondeugdelijk verbinden van de kabels en connectoren (zie 4.1.1.3)
- Het verkeerd lussen van kabels waardoor een inductiekring ontstaat, waar blijkbaar een risicoverhogend effect op het systeem kan hebben. Falende diodes kunnen later weer in bepaalde omstandigheden een risico vormen (zie 4.1.3).
- Het bevestigen van omvormers in ruimten met onvoldoende ventilatie.
- Gebruik van te korte kabels (die onder spanning staan), hetgeen kan leiden tot overgangsweerstanden tussen twee connectoren of tussen kabel en connector. Dit kan ook door economische motieven zijn ingegeven.
- Het onnodig blootstellen van kabels aan zonlicht.
- Kabels en connectoren die onnodig op een (plat) dak liggen in nattigheid met verhoogde degradatie van materialen tot gevolg of lekstromen naar aarde.
- Het foutief uitvoeren van systeem-strings. Bijvoorbeeld een paar zonnepanelen op noordzijde in serie schakelen met modules op zuidzijde van een dak.
- Gebruik van te dunne kabels.
- Het doorboren van kabels met bijvoorbeeld schroeven.
- Het niet volgen van installatievoorschriften.

Uit onderzoek (4) is gebleken dat abrupte afnames in subsidieschema's kunnen leiden tot een enorme piek in de vraag van PV-systeeminstallaties. Op dat soort momenten kunnen sommige installateurs door de enorme tijdsdruk om veel systemen voor een bepaalde *deadline* op te leveren kennelijk niet meer de kwaliteit bieden die gebruikelijk, respectievelijk nodig is. Het is makkelijk voor te stellen dat als montage van connectoren niet met precisie en aandacht wordt uitgevoerd, dit risicoverzarend werkt.

### 4.2.2 *Kwalificatie personeel*

Van oudsher is de elektrische installatie in gebouwen het domein van elektrotechnische monteurs. Dit domein betreft hoofdzakelijk de techniek van wisselstroom (van één fase en drie fasen) en de veiligheid met betrekking tot circuit aanleg, aarding en bedrading. De spanningen variëren van 230 V (één fase naar nul) tot 400 V (tussen twee fasen). PV-systemen genereren voor het overgrote deel gelijkstroom met relatief hoge spanningen, tot voor kort maximaal 1000 V, maar inmiddels tot 1500 V.

Het wisselstroomcircuit heeft een 'bron' die van buiten komt, namelijk de netspanning op de kabels naar het gebouw toe en deze bron is eenvoudig af te schakelen, namelijk door het omzetten van de hoofdschakelaar. Echter een PV-systeem is van zich zelf een bron en daarmee dus niet 'af te schakelen'. Stroom en spanning ontstaan als er licht op de zonnepanelen valt. Ook kunnen de stromen hoog oplopen tot 9 A. Hoge spanningen kunnen al optreden bij lage lichtintensiteiten.

PV-systemen wijken dus in elektrotechnisch opzicht af van wat bekend is uit het verleden. Dit impliceert dat personeel dat omgaat met PV-systemen een speciale opleiding moet genieten. Personeel dat niet goed is opgeleid kan fouten maken met

de installatie van het systeem. Dit kan leiden tot installatiefouten als genoemd in 4.2.1. Ook kan onvoorzichtig omgaan met panelen leiden tot beschadigingen zoals *microcracks* in de zonnecellen, die op hun beurt tot *cell mismatch* kan leiden. Dat onder ongunstige omstandigheden dan weer tot hoge lokale vermogensdissipatie kan leiden. Stoten tegen panelen en of lopen over panelen, door gebrek aan inzicht in de consequenties en onvoldoende vakmanschap, kunnen microcracks veroorzaken.

#### 4.2.3 *Certificering*

In Nederland bestaat er voor het installatiebedrijf het zogenaamde “Zonnekeur” certificaat. Het Zonnekeur certificaat wordt ondersteund door branchevereniging Holland Solar en Techniek Nederland (voorheen Uneto-VNI). Het vakblad *Roofs* stelt d.d. 2017-03-24 dat: *“Een bedrijf kan het Zonnekeur Installateur aanvragen als het o.a. minimaal een medewerker in dienst heeft (voltijd of deeltijd) in een leidinggevende of coördinerende functie die vakbekwaam is op het gebied van zonnestroom en/of zonnewarmte. Deze ‘technisch beheerder’ draagt zorg voor de inzet van vakbekwaam personeel bij de deelactiviteiten en controleert het uitgevoerde werk. Voor alle deelactiviteiten moet voor dat doel gekwalificeerd personeel worden ingezet.”* Het is ons niet bekend of deze certificering in de praktijk ook borgt dat het personeel voldoende geschoold is om de installatie, waaronder het bevestigen van connectors, adequaat op te leveren.

Daarnaast bestaat er sinds 2012 een openbaar register van vakbekwame zon-installateurs die een opleiding hebben gevolgd die erkend is door InstallIQ op basis van de door de sector en overheid opgestelde lijst van kennis- en vaardigheidseisen en examinering. (37), (38).

Op de website QBISnl staat: *“QBISnl is het openbare, onafhankelijke nationale kwaliteitsregister van gekwalificeerde vakmensen en vakbedrijven in de (duurzame) bouw- en installatietechniek. Het platform is in 2013 opgericht mede op verzoek van de overheid omdat een dergelijk kwaliteitsregister in de sector nog niet bestond.”* Deze website verwijst ook weer naar de “Zonnekeur Installateur” (39).

### 4.3 **Omstandigheden**

#### 4.3.1 *Weersomstandigheden*

Een hoge instraling van zonlicht (direct en diffuus) zal leiden tot een hoog vermogen van een PV-systeem. Het is belangrijk te bedenken dat slechts 15%-22% van het zonlicht wordt omgezet in elektrische energie. Enkele procenten worden gereflecteerd en het overgrote gedeelte wordt omgezet in warmte, waardoor het paneel opwarmt. Andere factoren zoals ventilatie, natuurlijke convectie, windkoeling en omgevingstemperatuur bepalen uiteindelijk de temperatuur van het paneel en eventueel de nabije omgeving, zoals de temperaturen tussen het dak en het paneel. In combinatie met andere factoren zoals vlambogen, hoge lokale vermogensdissipaties (in diodes of zonnecellen) zullen hogere temperaturen eerder tot een ontsteking leiden.

#### 4.3.2 *Schaduw*

Beschaduwing kan aanleiding geven tot óf lokale vermogensdissipatie in zonnecellen (zie 4.1.4) óf in diodes (zie 4.1.3) of in beide. Ook defecte diodes

kunnen leiden tot *reverse voltage* effecten met verhoogde lokale dissipaties. Een zonnecel met een ongunstige lokale partiële beschaduwning, in combinatie met één defecte diode, kan tot een hogere vermogensdissipatie leiden en daarmee een nog groter risico vormen.

#### 4.4 Combinatie van factoren

Zoals bij veel rampen kan vaak niet één factor het incident verklaren. Veelal is het een combinatie van oorzaken en omstandigheden die tot een incident leiden. Eveneens is veiligheid vaak in een *trade-off* met economische motieven.

In het artikel van Fraunhofer ISE (4) worden enkele ketens genoemd die tot problemen leiden, zoals:

- Bevestiging rails te dicht op junction box leidt tot afschuifkrachten → schade aan junction box → elektrische vlamboog
- Blootstelling junction box aan weersinvloeden → contactproblemen → toename contactweerstand → elektrische vlamboog
- Junction boxes bevestigd aan brandbaar materiaal (houten palen) of boven brandbaar materiaal → snelle verspreiding brand
- Meerdere gebundelde kabels → oververhitting kabels → brand in kabelbundel
- Te dunne kabels → oververhitting → verkoolde contacten
- Ondergedimensioneerde gelijkstroomschakelaar → oververhitting → vlamboog
- Wisselstroomzekering in gelijkstroom circuit toegepast → zekering onderbrak hoge stroom niet → vlamboog
- Gelijkstroomkabels over scherpe rand neergelegd → isolatiemateriaal beschadigd → kortsluiting → vlamboog
- Ongeschikte *terminals* gebruikt om met aluminiumgeleiders te verbinden → toegenomen weerstand → brand
- Omvormers op ongeschikte locaties opgehangen (op of bij brandbaar materiaal en onder invloed van weer). Schade van kapotte omvormers tot afgebrande schuren.
- DC connector niet goed verbonden → gesmolten connector → serieschakeling onderbroken; soms gebouwschade
- DC connector niet of niet goed verbonden (gekrompen) aan kabel → vlamboog en gebouwschade
- Connector met schroefverbinding niet aangedraaid → vlamboog en “generator junction box” beschadigd; in één geval gebouw beschadigd
- Kabelisolatie gedeeltelijk ingebracht in *terminal* → slecht contact → oververhitting → brand in kast
- Zekering niet goed aangebracht in houder → slecht contact → vlamboog → brand in junction box
- Onvoldoende of ontbrekende voorbehandeling van aluminium geleiders → slecht contact → brand → centraal omvormer station in de brand
- *Cross mating* van gelijkstroom connectoren → oververhitting van honderden connectorparen in groot PV systeem
- Module kabels als *handle* gebruikt → kabels gedeeltelijk losgetrokken in junction box → vlamboog in junction box
- Knaagdieren en marters knagen isolatiemateriaal kabels weg → kortsluiting → vlamboog
- Blikseminslag → kapotte by-pass dioden → “reverse current” → vernielde junction box



- Werklieden schroeven in (niet-zichtbare) kabels op het dak → kortsluiting → vlamboog.

Een Italiaans onderzoek uit 2012 (5) vermeldt dat gelijkstroomvlambogen (*DC arcing*) en de ontsteking van brandbaar dakmateriaal, vaak polyurethaan en polystyreen, belangrijke combinaties van factoren waren bij het ontstaan van de branden.

## 5 Analyse en aanbevelingen

Brandincidenten met fotovoltaïsche (PV) systemen zoals die met name in voorjaar en zomer van 2018 in het nieuws zijn gekomen, moeten uiteraard tot een aanvaardbaar niveau beperkt worden. Bovenal is hierbij de veiligheid van mensen in het geding, maar daarnaast leiden ze tot economische schade. Bovendien kunnen ze een negatief effect hebben op de maatschappelijke acceptatie van zonne-energie die onontbeerlijk is voor de uitvoering van de energietransitie en het behalen van daaraan gerelateerde doelstellingen.

Zoals in dit rapport benoemd zijn brandincidenten vaak een gevolg van een combinatie van meerdere oorzaken en omstandigheden, waarbij zowel technische als menselijke factoren een rol spelen. Hieronder geven wij een korte analyse van de factoren die het belangrijkste lijken te zijn en op grond van deze analyse doen wij meerdere aanbevelingen.

Vanuit de literatuur zijn veel oorzaken van branden met PV-installaties bekend. Onze aanbevelingen zijn enerzijds gericht op het reduceren van de kans op het optreden van de (naar verwachting) meest voorkomende oorzaak en anderzijds op het aanpassen van de omstandigheden waaronder een eenmaal ontstaan ontstekingspunt eenvoudig tot een omvangrijke(re) brand kan leiden. Een vaak gebruikte definitie van risico is “kans” maal “gevolg”. Onze benadering is om zowel de “kans” (op het ontstaan van een ontstekingspunt van een beginnende brand) als het “gevolg” (mate van schade en/of gevaar) te reduceren en daarmee dus het risico.

Onze aanbevelingen zijn onderverdeeld in één voor de korte termijn met hoge urgentie, één voor de middellange termijn met medium urgentie en één voor een meer structurele benadering van brandveiligheid van PV-systemen.

### 5.1 Observaties die aanleiding geven tot de aanbevelingen

In de zomer van 2018 is een aantal branden met PV-installaties in het nieuws gekomen. Een opvallend groot aandeel daarvan betreft nieuwbouwhuizen met zogenaamde in-dak systemen. Op basis van berichten in vakbladen, verslagen van deskundigen en technisch/wetenschappelijke literatuur lijken problemen met elektrische connectoren (populair ook “stekkers” genoemd) de belangrijkste factor bij het ontstaan van brand. Naar alle waarschijnlijkheid (op basis van de nu beschikbare informatie) zijn de problemen te wijten aan twee zaken:

1. Het verbinden van *male*- en *female*-connectoren van verschillende merken (waarvan compatibiliteit geclaimd wordt met het type MC4 van het bedrijf Multi-Contact, inmiddels onderdeel van de Stäubli groep), waardoor de kwaliteit van de verbinding onvoldoende is en er een overgangsweerstand kan zijn die tijdens bedrijf tot een zodanige warmteontwikkeling leidt dat deze als ontstekingspunt van brand kan werken.
2. Ondeugdelijke bevestiging van connectoren aan kabels. Net als bij de verbinding tussen connectoren kunnen hier ook overgangsweerstanden en bijbehorende problemen optreden.

In het Installatiejournaal van 4 december 2018 (40) wordt het dilemma van een installateur geschetst met betrekking tot de aanwezigheid van verschillende merken connectoren: Merk A is “af-fabriek” bevestigd aan de kabels van de panelen en merk B is beschikbaar als losse connector voor het verbinden van rijen panelen over langere afstand of voor de verbinding met de omvormer. Het liefst wil de installateur een lange kabel waaraan hij handmatig een connector van merk B heeft bevestigd, verbinden met een connector van hetzelfde merk behorende bij het paneel. Hiertoe zou hij de connector van merk A van de kabel van het paneel moeten afknippen en vervangen door een connector van merk B. Dit zal hij echter niet doen omdat daarmee de garantie van het paneel komt te vervallen. Daarom is hij genoodzaakt om toch een connector van merk A te verbinden met een van merk B, wat dus een risico met zich meebrengt.

In Frankrijk, waar veel *building integrated PV (BIPV)* voorkomt, bestaat reeds regelgeving die het verplicht om alleen connectoren van hetzelfde type én merk bij een systeem te gebruiken.

In-dak systemen zijn populair om twee redenen: velen vinden dat ze er mooier uitzien dan op-dak systemen (esthetische meerwaarde) en bij nieuwbouwprojecten hoeven er geen dakpannen te worden geplaatst, wat een kostenbesparing met zich meebrengt.

Op dit moment zijn er in Nederland geen normeringen of regelgeving bekend die eisen stellen aan de brandklasse van individuele dakmaterialen zoals isolatiemateriaal en onderdakfolie. Het Bouwbesluit uit 2012 stelt dat de bovenzijde van het dak niet brandgevaarlijk mag zijn. Binnen de testmethode wordt de volledige dakopbouw, d.w.z. het gehele pakket aan isolatiemateriaal-onderdakfolie-dakbeschot, getest/beoordeeld. Dit gebeurt aan de hand van vliegvuurtesten. Het idee hierbij is dat een brand in de nabijheid niet tot een nieuwe brand van een ander gebouw mag leiden. Bij in-dak systemen kan echter het ontstekingspunt van de brand zich bevinden tussen het paneel en de rest van het dak.

De elektrotechnische norm NEN1010 is wel adviserend maar niet dwingend in de keuze voor het gebruik van hetzelfde “fabricaat” stekker. Zonne-energienorm NEN7250 regelt niets ten aanzien van de brandbaarheid van materialen onder de buitenste daklaag.

Onder de zonnepanelen van in-dak systemen kunnen, overigens medeafhankelijk van eventueel mogelijke ventilatie, temperaturen van 50°C tot meer dan 80°C gehaald worden. Het is waarschijnlijk dat een lokale hittebron eerder een ontstekingspunt zal worden en zich verder zal ontwikkelen tot een brand in een omgeving die al een hoge temperatuur heeft.

Voor zover wij hebben kunnen nagaan bestaat er geen eis voor de ruimte tussen het isolatiemateriaal dat zich tussen gordingen (ook wel ribben genoemd) en de dakfolie bevindt. Als het isolatiemateriaal minder hoog is dan de hoogte van de ribben betekent dit dat er stilstaande lucht aanwezig is. Het is waarschijnlijk dat een beginnende brand zich sneller zal uitbreiden als een bel warme lucht aanwezig is.

In-dak systemen worden opgeleverd mét en zonder ventilatieoplossingen. Een ventilatieoplossing bestaat uit een luchtinlaat aan de onderkant van het PV-systeem

of het dak en een luchtuitlaat aan de bovenzijde van het systeem of aan de bovenzijde van het dak, bij de nok. Het is duidelijk dat deze ventilatie door natuurlijke circulatie een koelende werking heeft. Echter wij merken op dat als er reeds een beginnende brand is, ventilatie de brand wellicht makkelijk kan doen uitbreiden vanwege het schoorsteeneffect (aanvoer zuurstof).

Gezien de hoge ambities van de energietransitie en de voornoemde voordelen van in-dak systemen is de verwachting dat het aantal van dit soort systemen sterk zal toenemen. Het is dus heel belangrijk dat in-dak systemen (componenten en installatiekwaliteit) een veilig alternatief vormen voor op-dak systemen.

Opvallend is dat veel branden in 2018 in het warme voorjaar en de warme zomer hebben plaatsgevonden. De condities van hoge instraling en hoge omgevingstemperaturen in combinatie met weinig wind kunnen mogelijk een rol hebben gespeeld bij de toename van het aantal branden. Tegelijk heeft er echter ook een enorme groei plaatsgevonden van het aantal geplaatste PV-systemen en bovendien hebben ook in-dak PV-systeembranden plaatsgevonden in mindere warme omstandigheden, waardoor het op dit moment moeilijk is om een eenduidig en oorzakelijk verband tussen hoge temperaturen en een verhoogd brandrisico vast te stellen. Een ander effect dat mogelijk van invloed was, is dat de relatief hoge instraling in de betreffende periode van 2018, die inherent leidt tot relatief hoge *gemiddelde* elektrische stromen uit de panelen, ook leidt tot een grotere *gemiddelde* (respectievelijk vaker voorkomende) warmteontwikkeling bij overgangsweerstanden in de connectoren.

Volgens het brandonderzoek uit 2013 van Fraunhofer ISE in Freiburg (DE) treedt 35% van de brandincidenten aan PV-systemen op in het eerste jaar na installatie.

Uit gesprekken met het onafhankelijk Raadgevend Ingenieursbureau BDA Dakadvies, onderdeel van Kiwa, blijkt dat normering op het gebied van daken hoofdzakelijk betrekking heeft op bouwfysische aspecten van daken. De focus ligt hierbij met name op draagconstructies, waterkerende functionaliteit, condensvorming, isolatie, windbestendigheid etc.. Voor wat betreft het brandgevaar zijn er normen en testen beschikbaar, maar die hebben hoofdzakelijk betrekking op vliegvuurbestendigheid. Er wordt dan gekeken naar de brandbestendigheid van de *complete* dakopbouw als er vliegvuur (rondvliegende vonken) van een reeds bestaande brand op een dak terecht komt. Het doel hiervan is om te beoordelen in hoeverre een bestaande brand zich makkelijk kan uitbreiden. Er wordt dus niet specifiek gekeken naar het voorkómen van branden bij de integratie van een elektrische installatie, zoals een PV-systeem.

In de woningbouw en in het bijzonder in de dakensector ziet men op dit moment PV-systemen vooral als een extra element op het dak en daarom is wellicht nog (te) weinig het besef ontstaan dat het dak naast de waterkerende en isolerende functies, ook die van elektriciteitscentrale krijgt.

Op dit moment bezit TNO testfaciliteiten voor het verrichten van *performance* en *reliability* metingen aan individuele zonnepanelen en componenten. BDA Dakadvies heeft faciliteiten voor het uitvoeren van (gestandaardiseerde) testen gericht op voornamelijk bouwfysische aspecten van daken of dak-elementen. De brandweer heeft in Enschede een faciliteit om branden te laten ontstaan en te bestrijden. Het

ontbreekt aan een multidisciplinaire research en testfaciliteit waar het PV systeem als onderdeel van het dak getest kan worden op brandveiligheid, met name ten aanzien van ontstekingspunten die zich onder de panelen bevinden..

Bij de keuze van een leverancier/installateur van een PV-systeem is kostprijs vaak een zeer belangrijke factor. Door de hevige concurrentie op prijs wordt daarom soms bezuinigd op de kosten van het personeel. We hebben vernomen dat sommige installateurs of aannemers ter zake ongeschoold personeel, bijvoorbeeld dakdekkers uit andere Europese landen, inhuren om PV-systemen te installeren. Deze onvoldoende opleiding kan leiden tot installatiefouten (of algemener: tot een lagere kwaliteit van de installatie), zoals ondeugdelijke verbindingen met connectoren. Het is op basis van de nu beschikbare informatie ook niet uit te sluiten dat wordt bezuinigd op materiaal en gereedschappen, zoals speciale krimptangen voor het aanzetten van connectoren op kabels.

Voor het “Zonnekeur”-certificaat is het voldoende dat één persoon, meestal de leidinggevende, binnen het installatiebedrijf het bijbehorende examen haalt. Het is daarmee onvoldoende duidelijk of dit ook de vakbekwaamheid borgt van de mensen die het feitelijke installatiewerk op het dak verrichten.

## 5.2 Korte-termijn, hoge-urgentie aanbeveling

Gezien bovenstaande observaties bevelen wij aan dat binnen één maand branchevereniging Holland Solar met een communiqué naar buiten treedt waarin de installateurs wordt opgeroepen om hetzelfde **type en merk** connectoren te gebruiken voor de verbindingen. Aangezien dit alleen zal werken als de groothandel bij levering van zonnepanelen een set connectoren van hetzelfde **type en merk**, als die aan de panelen verbonden zijn meeleverd, bevelen wij aan dat Holland Solar tevens formeel de groothandel oproept om hieraan gehoor te geven. Tevens zou Holland Solar de installateurs op het gevaar van brand moeten wijzen en moeten benadrukken dat vakkundige bevestiging van connectoren hierbij van groot belang is. In het bijzonder dient hierbij duidelijk gemaakt te worden dat opleiding van personeel en het gebruik van een goede krimptang noodzakelijk zijn.

Wij adviseren RVO een commissie in het leven te roepen die de PV-systeembranden problematiek met urgentie aanpakt. Het is in onze optiek van groot belang dat deze commissie een multidisciplinair karakter krijgt. Omdat de NEN1010 commissie hoofdzakelijk elektrotechnische georiënteerd is en de NEN7250 commissie hoofdzakelijk bouwfysisch georiënteerd is, bevelen wij aan om deze expertise gebieden bij elkaar te brengen. De implementatie kan plaatsvinden door uitbreiding van een bestaande commissie dan wel via een nieuw op te richten commissie. Het is vanzelfsprekend hiervoor ook het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijkrelaties en het ministerie van Economische Zaken en Klimaat te consulteren vanwege hun respectievelijke affiniteit met het Bouwbesluit (en gelieerde normeringen) en met de “Energietransitie” bij te betrekken.

Onze aanbeveling is de hoogste prioriteit te leggen bij het voorkomen van branden bij in-dak systemen. Wij bevelen aan dat de door RVO samengestelde commissie zowel de oorzaken (ontstaan van ontstekingspunten) als de omstandigheden

(brandbare materialen in het bijzonder bij in-dak systemen) in haar risico-reductieplannen meeneemt.

Thema's die minimaal in het Plan van Aanpak aan de orde dienen te komen zijn

- gebruik van hetzelfde type én merk connector;
- evaluatie van de Franse normering/regelgeving;
- deugdelijke montage van connectoren;
- handhaving van deugdelijke montage;
- brandklasse van dakfolies, isolatiemateriaal en dakconstructie materiaal bij in-dak PV-systemen;
- de luchtlaag tussen de dakfolie en het isolatiemateriaal bij in-dak PV-systemen;
- de vereiste minimale afstand van paneel tot het dak, mede in relatie tot het "installatievoorschrift" van de fabrikant;
- eisen aan de connector ten aanzien van elektrische geleidbaarheid, mechanische eigenschappen en degradatie onder weersinvloeden;
- ventilatie van in-dak systemen.

De commissie weegt af of de aanbevelingen via normeringen, richtlijnen dan wel via certificatie het werkveld bereiken, mede in relatie tot urgentie van de problematiek en de snelheid van besluitvorming en implementatie.

Vertegenwoordigers van verschillende branches zouden kunnen worden toegevoegd aan de commissie dan wel geconsulteerd kunnen worden door de commissie. In onze optiek komen vertegenwoordigers van de volgende organisaties hiervoor in aanmerking: Beroepsvereniging Brandschade Experts, Verbond van Verzekeraars, Kiwa-BDA, IFV, NVWA, Techniek Nederland, Holland Solar, de groothandel en onderzoekinstellingen.

### 5.3 Middellange-termijn, medium-urgentie aanbeveling

In de korte-termijn aanbeveling is een aanpak gepresenteerd die voornamelijk gericht is op het reduceren van het risico vanwege de connectorenproblematiek, al dan niet in combinatie met in-dak systemen. Wij zien dit als het '*laaghangend fruit*' om een groot deel van het risico te reduceren.

Echter uit het veld en uit de literatuur blijkt dat enerzijds de oorzaak niet altijd te achterhalen is en dat anderzijds er meerdere oorzaken bekend zijn. Dit leidt tot onze aanbeveling dat er een meer gestructureerd en diepgaander onderzoek nodig is. Zo zijn in dit rapport mogelijke problemen met diodes en de junction box genoemd. Ook zien wij de betrekkelijk recente opkomst van omvormers met *global maximum power point tracking* als mogelijk risicoverzarend. Tot nu toe zijn slechts computersimulaties aan systemen uitgevoerd die laten zien dat onder zeer specifieke beschaduwings-omstandigheden hoge lokale vermogensdissipaties, gepaard gaande met hoge temperaturen, in zonnecellen kunnen plaatsvinden. Er is bij ons weten nog niet experimenteel onderzocht welk eventueel risico dit in de praktijk voor een reëel systeem, bijvoorbeeld bij een in-dak systeem waar de temperatuur al bij nominale condities kan oplopen tot meer dan 80 graden achter de zonnepanelen, met zich meebrengt. Een experimentele opstelling die een dergelijke "stress test" faciliteert is hiervoor nodig.

Er zou een advies moeten worden uitgebracht of de eisen van het certificaat Zonnekeur en eventueel andere certificaten aangescherpt moeten worden. In het bijzonder moet bekeken worden of naast de vereiste van één examen van één medewerker (meestal leidinggevende) per bedrijf, niet alle werklieden een soortgelijk of verwant certificaat dienen te halen om de werkzaamheden “gecertificeerd” te kunnen uitvoeren. Daarbij moet worden afgewogen of verzwaring van de eisen niet tot minder gecertificeerde bedrijven leidt vanwege de toegenomen kosten en daarmee wellicht averechts werkt.

#### **5.4 Aanbeveling structurele benadering van veiligheid van PV systemen**

Met de marktstimulering van PV-systemen (en van duurzame-energie-installaties in bredere zin) zijn zeer omvangrijke bedragen publiek geld gemoeid. Het verdient aanbeveling om ook middelen in te zetten voor het (doen) verbeteren en borgen van de veiligheid van die systemen. Dit betreft preventie van (brand)incidenten maar ook bestrijding van branden die optreden bij PV-installaties. Voor de brandweer ontbreken nog eenduidige *drills* hoe om te gaan met branden bij gelijkstroominstallaties met spanningen die tot 1500 V kunnen oplopen, zoals PV-systemen, die bovendien soms niet ‘afgeschakeld’ kunnen worden.

Normeringen en/of richtlijnen zullen moeten worden afgestemd op de multifunctionaliteit van het gebouw in zijn algemeenheid en het dak in het bijzonder. Echter een faciliteit voor *stress tests* op PV-daken in een gesimuleerde omgeving met gewenste dakopbouw, geïntegreerd PV systeem en condities voor temperatuur, instraling en beschaduwing is aanwezig. Voor zover ons bekend bestaat dit nog niet in Europa en het is daarom onze aanbeveling om zo’n (nationale) testfaciliteit te realiseren.

Tot slot de volgende, algemene constatering en aanbeveling. Schokken in de markt van PV-systemen (zoals een plotselinge toename of piek in de vraag) door nationale of internationale oorzaken kunnen negatieve gevolgen hebben voor de kwaliteit van installaties, zoals blijkt uit een studie van Fraunhofer ISE in 2013. (Te) snelle oplevering van (te)veel systemen leidt tot fouten en slordigheden die in de statistieken als een toename van het aantal brandincidenten tot uitdrukking komen. Verdere opbouw en professionalisering van de PV-sector is gebaat bij een zekere stabiliteit van de markt. De aanbeveling is om hiermee rekening te houden bij het optimaliseren van implementatiebeleid.

#### **5.5 Afsluitende opmerking**

Dit rapport geeft de bevindingen weer van een studie van beperkte omvang. Dit rapport moet meer als een eerste inventarisatie gezien worden dan als een onderzoek. Een groter onderzoek met de benodigde autoriteit is nodig is om veel zaken te verifiëren en mogelijke oorzaken van branden te onderzoeken. Voor de voorgestelde commissie is een taak weggelegd om een eventueel nader onderzoek te definiëren.

## 6 Literatuur

1. *Nationaal Solar Trendrapport 2019*. s.l. : Dutch New Energy Research, 2019.
2. W. Folkerts, et al. *Performance assessment of various BIPV concept*, SEAC. s.l. : <https://www.seac.cc/wp-content/uploads/2018/01/Proceedings-of-Advanced-Building-Skins-2017-pp-1378-1388.pdf>, 2017.
3. *Comparative performance assessment of a non-ventilated and ventilated BIPV rooftop configurations in the Netherlands*. Ritzen, M.J., Vroon, Z.A.E.P., Rovers, R and Geurts. C.P.W. s.l. : Solar Energy, 2017, Vol. 146.
4. *PV Fire Hazard – Analysis and assessment of fire incidents*. Laukamp, et al. Paris : EUPVSEC, 2013.
5. *Fires in Photovoltaic Systems: Lessons Learned from Fire Investigations in Italy*. s.l. : [https://www.sfpe.org/page/FPE\\_ET\\_Issue\\_99/Fires-in-Photovoltaic-Systems-Lessons-Learned-from-Fire-Investigations.htm](https://www.sfpe.org/page/FPE_ET_Issue_99/Fires-in-Photovoltaic-Systems-Lessons-Learned-from-Fire-Investigations.htm), 2012.
6. *Understanding the Fire Hazards of Photovoltaic Systems, Tech Talk*. s.l. : Allianz Risk Consulting, 2012. Volume 8, July 2012.
7. BRE National Solar Centre. *Fire and Solar PV Systems, report number P100874-1000 issue 3.4*. Cornwall : s.n., 2017.
8. *Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung, TÜV, 2015, Leitfaden\_Brandrisiko\_in\_PV-Anlagen\_V01.pdf*.
10. Pandey. *Evaluation of Various PV Module Cable Connectors and Analysis of their Compatibility, International Journal of Current Engineering and Technology, Vol.7, No.5 (Sept/Oct 2017), page 1721-1727*.
11. Tanguturi, S.K. *Effect on Contact Resistance due to Cross Connection of MC4 Compatible Connector, Master Level Thesis European Solar Engineering School, Dalarna University, 2018*.
12. <https://www.bre.co.uk/page.jsp?id=3211>.
13. <https://www.amphenol.com/node/984>.
14. <https://www.solaredge.com/sites/default/files/optimizer-input-connector-compatibility.pdf>.
15. [http://ec.staubli.com/AcroFiles/PV-Portal/SZ\\_Compatibility\\_\(en\).pdf](http://ec.staubli.com/AcroFiles/PV-Portal/SZ_Compatibility_(en).pdf).
16. <https://www.pveurope.eu/News/Installation/TÜV-Rheinland-Don-t-use-crossover-PV-connections-if-you-want-to-prevent-risks-and-secure-your-return-of-invest>.
17. *Installations photovoltaïques raccordées au réseau public de distribution, UTE C15-712-1:2013*.
18. *Handboek Zonne-energie – Bouwkundige- en installatietechnische richtlijnen voor zonne-energiesystemen, versie 2016*.
19. [http://www.staubli-alternative-energies.com/video/video\\_Assembly-MC4.php](http://www.staubli-alternative-energies.com/video/video_Assembly-MC4.php). [Online]
20. [http://ec.staubli.com/AcroFiles/MA/PV\\_MA231\\_de-en.pdf](http://ec.staubli.com/AcroFiles/MA/PV_MA231_de-en.pdf). [Online]
21. *Sichere Steckverbindungen: Paarung von Fremdprodukten / Crimpenim Feld, 2.ter Workshop PV Brandsicherheit*. Berginski. Freiburg : s.n., 2013.
22. *Connectoren oorzaak vele dakbranden*. Mooi, Richard. 4 dec 2018, s.l. : [www.installatiejournaal.nl](http://www.installatiejournaal.nl).
23. <https://pv-magazine-usa.com/2016/09/07/burnt-out-incompatible-connectors/>. [Online] 2016.
24. [https://www.pv-magazine.com/2016/06/20/overheating-and-incompatible-plug-connectors\\_100025082](https://www.pv-magazine.com/2016/06/20/overheating-and-incompatible-plug-connectors_100025082). [Online]



25. <https://www.civicsolar.com/support/installer/articles/pv-connectors-what-you-need-know>. [Online]
26. *Arc Fault Risk Assessment and Degradation Model Development for Photovoltaic Connectors*. Benjamin B. Yang, et al. s.l. : IEEE 40th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2014. DOI: 10.1109/PVSC.2014.6924875.
27. Eric Schindelholz, et al. *Characterization of Fire Hazards of Aged Photovoltaic Balance-of-Systems Connectors*. Albuquerque : <https://www.osti.gov/servlets/purl/1257682>, 2015. SAND2015-4699C.
28. Berginski, Dr. Michael. *Sichere Steckverbindungen: Paarung von Fremdprodukten / Crimpen im Feld. 2.ter Workshop PV Brandsicherheit*. Freiburg : Multi-contact, Staubli group, 2013.
29. *The thermal reliability study of bypass diodes in photovoltaic modules*, , February 26-27. Zhang, et al. Colorado : Photovoltaic Module Reliability Workshop, 2013.
30. “*Safe and reliable PV modules (SANREMO)*”, partners ECN, Solned en NXP. Kester, et al. s.l. : TKI project TEID115015, 2016.
31. *IEC 62979:2017, Photovoltaic modules - Bypass diode - Thermal runaway test*.
32. <https://pv-magazine-usa.com/2017/08/22/hot-spots-causes-and-effects/>. [Online] 2017.
33. *PERFORMANCE AND SAFETY ASPECTS OF PV MODULES UNDER PARTIAL SHADING: A SIMULATION STUDY*. E.E. Bende, N.J.J. Dekker, M.J. Jansen. Amsterdam : Proceedings EU PVSEC, 2014.
34. *Prediction of silicon PV module temperature for hotspots and worst case partial shading situations using spatially resolved lock-in thermography*. I. Geisemeyer, et al. s.l. : Solar Energy Materials & Solar Cells, 2014.
35. P. de Jong. *Brandgevaar van in-dak zonnepanelen*. <https://www.linkedin.com/pulse/brandgevaar-van-in-dak-zonnepanelen-paul-de-jong/>. [Online] Solinso, 2018.
36. Gesprekken met BDA-Kiwa.
37. <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2014/04/RES%20Factsheet.pdf>. *Kies een vakbekwame installateur duurzame energie*. [Online] Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
38. QBISnl. <https://www.qbisnl.nl/zoeken/sub/Duurzaam/Zon%20PV>. [Online]
39. <https://www.qbisnl.nl/keurmerken>. *QBISnl-Keurmerken*. [Online]
40. *Connectoren oorzaak vele dakbranden*. <https://www.installatiejournaal.nl/energie/nieuws/2018/12/mc4-connectoren-oorzaak-vele-dakbranden-1018935>. [Online] Het installatie journaal.

## Appendix A. CASUS

A.1	Aalten.....	1
A.2	Apeldoorn .....	2
A.3	Appelscha .....	3
A.4	Hulst.....	4
A.5	Denekamp .....	5
A.6	Drachten .....	6
A.7	Enschede .....	7
A.8	Haarlemmermeer.....	8
A.9	Heiloo.....	8
A.10	Horst .....	9
A.12	Lemelerveld .....	10
A.13	Locatie Midden Nederland.....	10
A.14	Lytsewierrum .....	12
A.15	Meijel .....	13
A.16	Melick.....	13
A.17	Onbekende locatie.....	14
A.18	Opmeer .....	14
A.19	Rotterdam .....	15
A.20	Stein.....	16
A.21	Twello .....	16
A.22	Ureterp.....	17
A.23	Vinkeveen .....	17
A.24	IJselstein .....	18
A.25	Zutphen.....	19
A.26	Zwaanshoek 2016 .....	19
A.27	Zwaanshoek 2018 .....	20
A.28	Wilaarderburen .....	21

Onderstaande informatie is verkregen via openbare bronnen (websites) en op vertrouwelijke wijze via Brandweer Nederland, schade experts en belanghebbenden.

## A.1 Aalten



Datum

29-6-2018

<b>Algemeen</b>	
<b>Titel</b>	
<b>Veiligheidsregio</b>	VNOG
<b>Status onderzoek</b>	afgerond
<b>Naam onderzoeker</b>	RS
<b>Incidentnummer GMS</b>	163918
<b>Melding GMS</b>	Brand industrie agrarisch
<b>Tijdstip melding alarmcentrale</b>	16:01:53
<b>Classificatie brand</b>	Middel
<b>Object functie</b>	Schuur garage
<b>Bouwjaar object</b>	Oud nieuw dak
<b>Aangetroffen situatie</b>	Brand door de brandweer halverwege de schuur succesvol bestreden muv een gasvlam die natijd is gedoofd door afsluiten gas. Schuur achterzijde destructief verbrand
<b>Waarnemingen</b>	Volgens omstander/eigenaar in de hoek bij de zonnepanelen de eerste vlammen aan de buitenkant waargenomen. Aan de binnenzijde volgens de brandonderzoeker van de verzekeraar zo destructief verbrand dat daar niets meer te onderzoeken is.
<b>Preventieve voorzieningen</b>	
<b>Plaats van ontstaan</b>	Achterzijde schuur
<b>Analyse</b>	Geen oorzaak kunnen aanwijzen
<b>Conclusie</b>	Relatie met de zonnepanelen niet aantoonbaar. De ontstaanslocatie klopt wel met de plek en de voedingskabel van de zonnepanelen naar de meterkast
<b>Brandoorzaak</b>	onbekend

<https://www.gelderlander.nl/aalten/na-brand-in-aalten-zonnepanelen-op-dak-zijn-100-procent-veilig~aa00f71a/>

<https://www.facebook.com/AladnaFm/videos/1778677578890521/>

<http://www.zevenbergenzonne-energie.nl/brand-niet-door-zonnepanelen/>

Datum

29-jun-2018

Weer

Max. temperatuur de Bilt: 26.1 C.  
 Globale instraling de Bilt [J/cm<sup>2</sup>] : 2953.  
 Etmaalgemiddelde windsnelheid: 3.8 m/s

## A.2 Apeldoorn



Adres	Apeldoorn
Datum	4-jun-2018
Weer	Max. temperatuur de Bilt: 23.2 C. Globale instraling de Bilt [J/cm <sup>2</sup> ]: 1718. Etmaalgemiddelde windsnelheid: 2.9 m/s
Referenties	<a href="https://www.destentor.nl/apeldoorn/zonnepanelen-op-apeldoorns-br-huis-in-vuur-en-vlam~ac02b6bd/">https://www.destentor.nl/apeldoorn/zonnepanelen-op-apeldoorns-br-huis-in-vuur-en-vlam~ac02b6bd/</a> <a href="https://www.youtube.com/watch?v=201zPvzXXoA">https://www.youtube.com/watch?v=201zPvzXXoA</a>

### A.3 Appelscha



Referentie	<a href="https://www.frieslandactueel.nl/2015/04/19/zonnepanelen-op-woning-brand/">https://www.frieslandactueel.nl/2015/04/19/zonnepanelen-op-woning-brand/</a> <a href="https://www.compactmedia.nl/2015/04/19/kortsluiting-in-zonnepanelen-zorgt-voor-brandweerinzet-video/">https://www.compactmedia.nl/2015/04/19/kortsluiting-in-zonnepanelen-zorgt-voor-brandweerinzet-video/</a>
Type	Indak systeem (afgeleid van beeldmateriaal)
Datum	19-4-2015
Weer	Max. temperatuur de Bilt: 15.2 C. Globale instraling de Bilt [J/cm <sup>2</sup> ] : 1896. Etmaalgemiddelde windsnelheid de Bilt: 1.6 m/s Uit de video blijkt de brand te zijn begonnen bij een paneel dat zich niet aan de zijkant van het systeem bevond. Normaal gesproken is hier een male-female connector verbinding tussen twee panelen. De kans dat het hier zou gaan tussen een verbinding tussen twee verschillende merken connectoren is dus klein.

## A.4 Hulst



Adres	
Datum plaatsing systeem	medio april 2016
Datum en tijd brand	16 juni 2018 rond 13.15uur
Weer	Max. temperatuur de Bilt: 21.3 C. Globale instraling de Bilt: 1713 J/cm <sup>2</sup> Etmaalgemiddelde windsnelheid: 3 m/s
Eigenaar systeem	Woonstichting Hulst
Type pand	Rijtjeswoning
Type dak	Indak (zadeldak)
Dakbedekkingsmateriaal	
Type systeem	PV laminaat
Merk panelen	Eurener
Typenummer panelen	MEPV - monocrystalline standaard all black 250 - 270 wp
Aantal panelen	27
Panelen layout	Portrait
Orientaite	Zuid-West
Merk omvormer	Growatt 4000-6000UE
Weersomstandigheden voorafgaand aan brand	Zon afgewisseld met lichte bewolking

## Referenties

[https://www.pzc.nl/zeeuws-vlaanderen/uitslaande-brand-in-woning-hulst~a3cc2165/?\\_sp=e01d2840-774d-41d3-948e-69a3fea4f533.1532077267077](https://www.pzc.nl/zeeuws-vlaanderen/uitslaande-brand-in-woning-hulst~a3cc2165/?_sp=e01d2840-774d-41d3-948e-69a3fea4f533.1532077267077) <https://www.hvzeeland.nl/nieuws/35728-brand-zonnepanelen-verwoest-dak-woning/?foto=104008#nieuwsbericht> <https://www.omroepzeeland.nl/nieuws/106480/Daken-met-zonnepanelen-Hulst-extra-onderzocht-Better-safe-than-sorry> <https://groenecourant.nl/zonne-energie/zonnepanelen-in-brand-woonstichting-hulst-controleert-alle-huizen/> <https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i16259/zonnepanelen-in-brand-woonstichting-hulst-controleert-alle-huizen-met-pv-systeem> <https://www.bndestem.nl/zeeland/zonnepanelen-op-woning-janseniuslaan-hulst-uitgeschakeld-vanwege-brandonderzoek~acc86485/>

## A.5 Denekamp



Adres	Denekamp
Datum plaatsing systeem	
Datum en tijd brand	5 juli 2018
Weer	Max. temperatuur de Bilt: 24.3 C. Globale instraling de Bilt: 2772 J/cm <sup>2</sup> Etmaalgemiddelde windsnelheid: 2.5 m/s

Type pand	Industrie pand
Type dak	Plat dak
Opmerkingen	

## A.6 Drachten

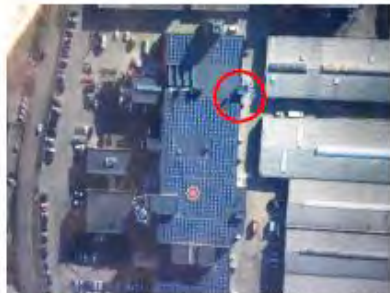


Plaats	Drachten
Referentie	<a href="http://www.lc.nl/friesland/Dak-met-zonnepanelen-in-brand-in-Drachten-22307490.html">http://www.lc.nl/friesland/Dak-met-zonnepanelen-in-brand-in-Drachten-22307490.html</a>
Datum	22 juni 2017
Weer	Max. temperatuur de Bilt: 30.8 C. Globale instraling de Bilt: 2226 J/cm <sup>2</sup> Etmaalgemiddelde windsnelheid: 4.3 m/s
Details	Het schuurtje bevindt zich op ongeveer honderd meter van een palletfabriek met brandbare goederen. In een naastgelegen bedrijf werd uit voorzorg een dieseltank weggehaald, maar de brand bleef beperkt tot de schuur.



## A.7 Enschede

### AFBEELDINGEN



Plattegrond van het gebouw (rood is het gedeelte waar de brand zich bevond)



Connectoren onder aan de omvormer



De omvormers



De kap van de linker omvormer verwijderd



'Pareltjes'



Datum

14-7-2018

Weer

Max. temperatuur de Bilt: 24.9 C.

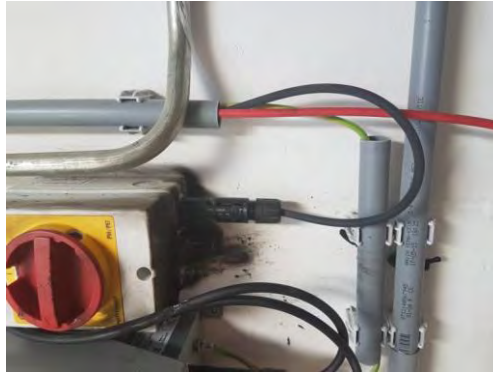
Globale instraling de Bilt: 2880J/cm<sup>2</sup>

Etmaalgemiddelde windsnelheid: 2.6 m/s

Adres

Mogelijke oorzaken zijn: overbelasting in een connector die de zonnepanelen verbind met de omvormer (dit lijkt het meest waarschijnlijk) of kabelschade tijdens de installatie of schade door dieren

## A.8 Haarlemmermeer



**Casus** 1100 huurwoningen van Ymere, in Haarlemmermeer, zonnepanelen geplaatst. Van die 1100 installaties zijn er ruim 600 met een Mastervolt Soladin 1500 omvormer incl DC schakelaar en ruim 400 met SAJ inverter waar een dc schakelaar in zit.

Omdat bij de Mastervolt standaard geen DC schakelaar zat en deze waarschijnlijk in de toekomst verplicht zou worden gesteld, hebben wij bij de Mastervolt omvormers deze schakelaar laten plaatsen.

In 5 of 6 gevallen hebben we in deze schakelaar of de aansluiting sluiting gehad. Bij 1 kwamen de vlammen er uit. Van de anderen weten we het niet, omdat de bewoners het niet hebben gezien. Wij vinden 5 op de 620 wel veel. In 1 geval was het ook in de aansluiting van de omvormer.

## A.9 Heiloo



Datum	26 mei 2018
Weer	Max. temperatuur de Bilt: 29.0 C. Globale instraling de Bilt: 2574 J/cm <sup>2</sup> Etmaalgemiddelde windsnelheid: 3.1 m/s
Type systeem	In-dak systeem
Details	Installatie team "Van Oost-Europese kom af, met ongeschoolde indruk" volgens getuigenverslag

## A.10 Horst



Referentie	<a href="https://www.1limburg.nl/brandweer-rukt-uit-voor-woningbrand-horst">https://www.1limburg.nl/brandweer-rukt-uit-voor-woningbrand-horst</a>
Datum	31 maart 2018
Weer	Max. temperatuur de Bilt: 12.4 C. Globale instraling de Bilt: 1050 J/cm <sup>2</sup> Etmaalgemiddelde windsnelheid: 2.0 m/s
PV systeem	In-dak systeem
Type pand	<i>Woonhuis</i>
Type dak	<i>Schuin met indaksysteem, rest pannen</i>
Dakbedekkingsmateriaal	<i>Panelen met dakpannen</i>
Type systeem	<i>In-dak</i>
Merk panelen	<i>Canadian Solar</i>
Typenummer panelen	<i>CS6K-270M</i>
Zonnecel-technologie	<i>?</i>
Aantal panelen	<i>18</i>
Panelen layout	<i>twee rijen van 9 boven elkaar</i>
Oriëntatie panelen	<i>Zuid</i>
Merk omvormer	<i>?</i>
Type omvormer	<i>?</i>
Typenummer omvormer	<i>?</i>
Type gelijkstroom kabel bij omvormer	<i>?</i>
Overige informatie	
Weersomstandigheden voorafgaand aan brand	<i>Buiig met brede felle opklaringen</i>
Waar is de brand begonnen?	<i>onder aan paneel bij junctionbox</i>
Hoeveel brandhaarden waren er?	<i>1</i>
Hoe heeft de brand zich ontwikkeld?	<i>via panlatten en kunststof montageplaten naar boven.</i>
Hoe lang heeft de brand gewoed?	<i>circa 20 min</i>
Wat waren de (weers)omstandigheden tijdens installatie systeem?	<i>?</i>
Is er sprake van beschaduwing door objecten op het systeem?	<i>Nee</i>
Is er sprake van vogelpoep beschaduwing of anderszins?	<i>Nee</i>
Overige informatie	
Heeft er onderzoek plaatsgevonden na de brand?	<i>Ja</i>

## A.11 Lemelerveld



Adres	Lemelerveld
Systeem	In-dak systeem
Datum	31-05-18
Weer	Max. temperatuur de Bilt: 24.0 C. Globale instraling de Bilt: 1771 J/cm <sup>2</sup> Etmaalgemiddelde windsnelheid: 2.2 m/s
Referentie	<a href="https://www.youtube.com/watch?v=AbRluclelcE">https://www.youtube.com/watch?v=AbRluclelcE</a> <a href="https://www.gelderlander.nl/overijssel/kortsluiting-in-zonnepanelen-veroorzaakt-uitslaande-brand-in-lemelerveld~a29d9784/">https://www.gelderlander.nl/overijssel/kortsluiting-in-zonnepanelen-veroorzaakt-uitslaande-brand-in-lemelerveld~a29d9784/</a> <a href="https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i16136/zonnepanelen-in-brand-bij-nieuwbouwwoning-in-lemelerveld">https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i16136/zonnepanelen-in-brand-bij-nieuwbouwwoning-in-lemelerveld</a>

## A.12 Locatie Midden Nederland

Bevindingen van metingen aan beschadigde zonnepanelen een industrieel dak.

### **Situatie:**

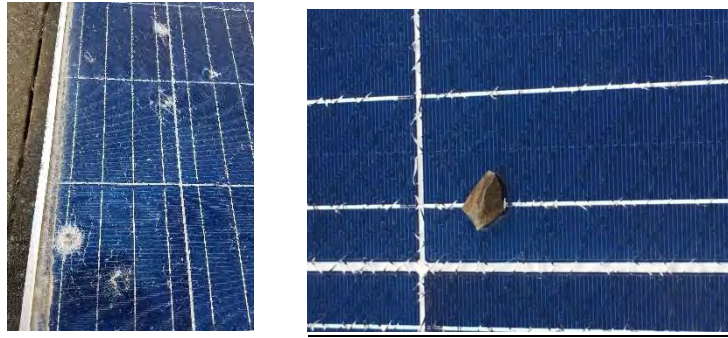
Dak van de remise is volledig voorzien van zonnepanelen! Op het dak liggen ruim 600 panelen en zijn medio 2017 en 2018 geplaatst.



### **Oorzaak beschadigde zonnepanelen:**

In de zomer van 2018 is het dakbedekking van de toren vervangen door nieuwe dakbedekking en grint. Bij het aanbrengen van het grint (omhoog geblazen op het dak) op de bovenste etage zijn kiezels via de 1,5 meter brede watergoot op de zonnepanelen van de remise gevallen.

De naar beneden gevallen kiezels hadden sterren en grote beschadigingen veroorzaakt wat ook bijvoorbeeld door een hagelbui kan worden veroorzaakt.



#### **Opbouw en uitvoering van deze zonnepanelen:**

Deze zonnepanelen zijn opgebouwd uit een fotovoltaïsche cel, ook wel PV-cel genoemd, met diverse lagen welke in een aluminium frame zijn opgesloten. De zonnepanelen liggen onder een hoek van ongeveer 20 graden op een metalen frame op het dak en zijn middels aarding beveiligd.

#### **Welke onderzoeksvragen hebben we gesteld?**

- Is er gevaar van elektriciteit op de frames van de beschadigde zonnepanelen bij droog en of bij nat weer?
- Zijn er verhoogde temperaturen meetbaar op beschadigde zonnepanelen bij droog en of bij nat weer?
- Zijn er risico's bij een eventuele inzet door bijvoorbeeld blussen?

#### **Metingen in een avondsituatie 20-7-2018 (+/- 20:00 uur):**

- De zonnepanelen lagen tijdens de metingen in de schaduw van het gebouw.
- De temperatuur was ongeveer 23 graden Celsius en het was droog weer.

#### **De warmtebeeldcamera:**

- Op droge en niet beschadigde delen ongeveer 12 tot 15 graden Celsius.
- De beschadigde delen (zichtbare hotspots). Ongeveer 35 tot 40 graden Celsius weer.
- In de schaduw gelegen en natgemaakte zonnepanelen. Na enige tijd is ongeveer 70 graden Celsius gemeten!

#### **Metingen op de dag-situatie 23-7-2018 (+/- 11:00 uur) :**

- De zonnepanelen lagen tijdens de metingen in de zon.
- De temperatuur was ongeveer 28 graden Celsius en het was droog weer.

#### **De warmtebeeldcamera:**

Op droge en niet beschadigde delen ongeveer 20 tot 25 graden Celsius.  
De beschadigde delen (zichtbare hotspots) Ongeveer 40 tot 45 graden Celsius weer.



### A.13 Lytsewierrum



Datum

Weer

Adres

Melding

24 mei 2018

Max. temperatuur de Bilt: 22.6 C.

Globale instraling de Bilt: 1033 J/cm<sup>2</sup>

Etmaalgemiddelde windsnelheid: 3.1 m/s

24-05-2018 07:29:32 > b schuur

24-05-2018 07:29:44 > b meterkast

24-05-2018 07:29:58 > b i03

24-05-2018 07:30:24 > hokje 4 bij 4

24-05-2018 07:30:32 > brand in een kast

24-05-2018 07:30:41 > omvormer mogelijk in de brand

24-05-2018 07:36:28 > melder kan niet goed uitleggen

wat er brand, gevraagd de omvormer

24-05-2018 07:36:28 > uit te schakelen

24-05-2018 07:37:18 > verder gevraagd of het mogelijk

is om de zaak spanningloos te maken zonder dat dit

heel veel economische schade aanricht

Technische storing in schakelkast

CHINT power model: CPS SCA20KTKTL-DO

### A.14 Meijel



Adres Meijel, Nederweert  
 Systeem In-dak (afgeleid van beelden)  
 Referentie <https://www.nederweert24.nl/2018/05/17/zonnepanelen-in-brand-op-aanbouw-woning-meijel/>

Datum 2018-05-17  
 Weer Max. temperatuur de Bilt: 15.3 C.  
 Globale instraling de Bilt: 2617 J/cm<sup>2</sup>  
 Etmaalgemiddelde windsnelheid: 4.4 m/s

### A.15 Melick



Datum 11-8-2015  
 Weer Max. temperatuur de Bilt: 25.4 C.  
 Globale instraling de Bilt: 1617 J/cm<sup>2</sup>  
 Etmaalgemiddelde windsnelheid: 2.1 m/s  
 Type systeem In-dak (afgeleid van beelden)  
 referentie

### A.16 Onbekende locatie



Adres

Referent

ie <https://www.brandweer.nl/brandweernederland/nieuws/cases/zon-nepanelen-casus-7>

### A.17 Opmeer



Adres Opmeer

Datum 19-6-2018

Weer Max. temperatuur de Bilt: 20.4 C.  
Globale instraling de Bilt: 700 J/cm<sup>2</sup>  
Etmaalgemiddelde windsnelheid: 2.6 m/s

Systeem Plat dak

Referentie <https://www.noordhollandsdagblad.nl/hoorn-enkhuizen/gemeentehuis-opmeer-ontruimd-wegens-brand-op-dak>



<https://www.noordhollandsdagblad.nl/hoorn-enhuizen/afgebrand-zonnepaneel-gemeentehuis-opmeer-16-jaar-oud>  
<https://www.nhnieuws.nl/nieuws/226605/Opmeerse-ambtenaren-op-straat-door-brand-zonnepanelen-op-dak-gemeentehuis>  
<https://www.heiloo-online.nl/nieuws/11246-opmeerse-ambtenaren-op-straat-door-brand-zonnepanelen-op-dak-gemeentehuis>

Details 16 jaar oude panelen

### A.18 Rotterdam



Adres	Rotterdam
Datum	26.10.2018 (datum artikel)
Weer	Max. temperatuur de Bilt: 11.8 C. Globale instraling de Bilt: 194 J/cm <sup>2</sup> Etmaalgemiddelde windsnelheid: 3.9 m/s
Referentie	<a href="https://www.telegraaf.nl/nieuws/2727721/zonnepanelen-bron-van-brand">https://www.telegraaf.nl/nieuws/2727721/zonnepanelen-bron-van-brand</a>
Systeem	Op-dak (afgeleid van foto, Telegraaf)
Niet duidelijk of dit verslag hoort bij de foto	

#### Verslag Brandweer Rotterdam Rijnmond

Op datum heeft er brand gewoed in een vrijstaande woning aan de straat in plaats. Waarschijnlijk is de brand door kortsluiting in de zonnepanelen op het dak ontstaan. De brand heeft zich uit kunnen breiden via het dampremmende folie op het dak. Tijdens het incident is er onduidelijkheid over de juiste aanpak om de zonnepanelen te blussen. Een monteur van netbeheerder heeft de zekeringen en hoofdzekering van de meterkast omgezet. Vervolgens is de omvormer met kleine blusmiddelen geblust, de zonnepanelen en de rest van de zolder zijn met water geblust. Bij de overdracht van het incident zijn geen nadere maatregelen met betrekking tot de zonnepanelen getroffen. Hierover staat in de instructiekaart zonnecellen niks vermeld. Naderhand is over de afhandeling en overdracht van het incident consternatie ontstaan. Het blijkt dat de zonnepanelen mogelijk spanning blijven leveren ook al is de converter uitgeschakeld.

### A.19 Stein



Adres	Stein
Datum	20-6-2018
Weer	Max. temperatuur de Bilt: 25.2 C. Globale instraling de Bilt: 1897 J/cm <sup>2</sup> Etmaalgemiddelde windsnelheid: 3.4 m/s
Referenties	<a href="https://www.limburger.nl/cnt/dmf20180620_00064474/brand-op-dak-met-zonnepanelen">https://www.limburger.nl/cnt/dmf20180620_00064474/brand-op-dak-met-zonnepanelen</a>
Systeem	Plat-dak opstelling

### A.20 Twello

Onderzoeksnotitie

#### Startdatum onderzoek

Adres	Twello
Mogelijke oorzaak	De voedingskabels in relatie met de omvormer lijken het meest aannemelijk als oorzaak van de brand

### A.21 Ureterp



Adres	Ureterp
Datum	7-6-2018
Weer	Max. temperatuur de Bilt: 28.6 C. Globale instraling de Bilt: 2821 J/cm <sup>2</sup> Etmaalgemiddelde windsnelheid: 2.0 m/s
Systeem	Op-dak (afgeleid van beelden)
Details	Zonnepanelen op loods in brand

### A.22 Vinkeveen



Adres	Vinkeveen
Datum	2-8-2018
Weer	Max. temperatuur de Bilt: 29.7 C. Globale instraling de Bilt: 2501 J/cm <sup>2</sup> Etmaalgemiddelde windsnelheid: 2.2 m/s
Systeem	In-dak systeem (afgeleid van beeldmateriaal)
Onderzoek	Schade-onderzoek bedrijf doet onderzoek

Referenties	<a href="https://www.ad.nl/woorden/zonnepanelen-in-brand-op-dak-in-vinkeveen~af26c102/">https://www.ad.nl/woorden/zonnepanelen-in-brand-op-dak-in-vinkeveen~af26c102/</a> <a href="https://www.telegraaf.nl/nieuws/2382945/zonnepanelen-vliegen-in-brand?utm_source=mail&amp;utm_medium=email&amp;utm_campaign=email">https://www.telegraaf.nl/nieuws/2382945/zonnepanelen-vliegen-in-brand?utm_source=mail&amp;utm_medium=email&amp;utm_campaign=email</a> <a href="https://www.rtvutrecht.nl/nieuws/1803063/brand-in-vinkeveen-door-mogelijke-kortsluiting-in-zonnepanelen.html">https://www.rtvutrecht.nl/nieuws/1803063/brand-in-vinkeveen-door-mogelijke-kortsluiting-in-zonnepanelen.html</a> <a href="https://www.hartvannederland.nl/nieuws/2018/zonnepanelen-zorgen-voor-brand-in-nieuwbouwhuizen-vinkeveen/">https://www.hartvannederland.nl/nieuws/2018/zonnepanelen-zorgen-voor-brand-in-nieuwbouwhuizen-vinkeveen/</a> <a href="https://www.youtube.com/watch?v=4eSmY3rzoLI">https://www.youtube.com/watch?v=4eSmY3rzoLI</a> <a href="https://twitter.com/salvage_nl">https://twitter.com/salvage_nl</a> <a href="https://www.ad.nl/woorden/uitvoerig-onderzoek-naar-voorbeeldbrand-zonnepanelen~a3c0faf8/">https://www.ad.nl/woorden/uitvoerig-onderzoek-naar-voorbeeldbrand-zonnepanelen~a3c0faf8/</a>
-------------	---

### A.23 IJsselstein



Marjan Enzlin

Adres IJsselstein

Referentie

<https://www.rtvutrecht.nl/nieuws/1717957/brand-in-jachthaven-ijsselstein-ontstond-bij-aanleg-zonnepanelen-tientallen-boten-verwoest.html>

Datum 30-1-2018

Weer

Max. temperatuur de Bilt: 7.4 C.  
Globale instraling de Bilt: 485 J/cm<sup>2</sup>  
Etmaalgemiddelde windsnelheid: 2.5 m/s

Details

Brand tijdens bouw

Quote RTV Utrecht

Monteurs waren volgens omstanders bezig met het installeren van zonnepanelen op de daken van de vier botenloodsen, een groot project van de eigenaren, die er in totaal 640 exemplaren willen plaatsen.

Tijdens de werkzaamheden van vanmiddag zou kortsluiting zijn ontstaan en kabels zouden aan het smeulen zijn geweest. De monteurs konden net op tijd van dak af komen, vertellen getuigen aan RTV Utrecht. De Veiligheidsregio Utrecht wil nog niet ingaan op de oorzaak van de brand, maar bevestigt wel dat er mensen aan het werk waren op het dak.

## A.24 Zutphen



Adres	Zutphen
Datum	22-10-2018
Weer	Max. temperatuur de Bilt: 15.0 C. Globale instraling de Bilt: 738 J/cm <sup>2</sup> Etmaalgemiddelde windsnelheid: 2.9 m/s
Referenties	<a href="https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i16995/zonnepanelen-vermoedelijk-oorzaak-van-brand-bij-appartementencomplex-zutphen">https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i16995/zonnepanelen-vermoedelijk-oorzaak-van-brand-bij-appartementencomplex-zutphen</a> <a href="https://www.destentor.nl/zutphen/onderzoek-naar-brand-in-zutphen-loopt-nog~a30eea5f/">https://www.destentor.nl/zutphen/onderzoek-naar-brand-in-zutphen-loopt-nog~a30eea5f/</a> <a href="https://www.brandveilig.com/nieuws/defect-omvormer-zonnepaneel-mogelijk-oorzaak-brand-zutphen-56173">https://www.brandveilig.com/nieuws/defect-omvormer-zonnepaneel-mogelijk-oorzaak-brand-zutphen-56173</a> <a href="https://www.contactzutphen.nl/nieuws/algemeen/229062/grote-brand-in-pand-aan-de-noorderhaven-in-zutphen-">https://www.contactzutphen.nl/nieuws/algemeen/229062/grote-brand-in-pand-aan-de-noorderhaven-in-zutphen-</a>

## A.25 Zwaanshoek 2016



Adres	Zwaanshoek
Systeem	Indak
Datum	2016

## A.26 Zwaanshoek 2018



Adres	Zwaanshoek
Datum	brand op 13-9-2018
Weer	Max. temperatuur de Bilt: 19.5 C. Globale instraling de Bilt: 1769 J/cm <sup>2</sup> Etmaalgemiddelde windsnelheid: 1.3 m/s In-dak systeem
Referenties	<a href="https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i16779/woning-met-zonnepanelen-in-zwaanshoek-getroffen-door-brand">https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i16779/woning-met-zonnepanelen-in-zwaanshoek-getroffen-door-brand</a> <a href="https://www.nhnieuws.nl/nieuws/231243/Zonnepanelen-vliegen-in-brand-in-Zwaanshoek">https://www.nhnieuws.nl/nieuws/231243/Zonnepanelen-vliegen-in-brand-in-Zwaanshoek</a> <a href="https://www.112meerlanden.nl/2018/09/13/zwaanshoek-zonnepanelen-vliegen-in-de-brand-op-dak-woning/">https://www.112meerlanden.nl/2018/09/13/zwaanshoek-zonnepanelen-vliegen-in-de-brand-op-dak-woning/</a> <a href="https://www.rtlnieuws.nl/nieuws/artikel/4420686/zonnepanelen-huizen-record-brand">https://www.rtlnieuws.nl/nieuws/artikel/4420686/zonnepanelen-huizen-record-brand</a> <a href="https://www.haarlemsdagblad.nl/haarlem-eo/zonnepanelen-vatten-vlam-nieuwbouwwijk-zwaanshoek">https://www.haarlemsdagblad.nl/haarlem-eo/zonnepanelen-vatten-vlam-nieuwbouwwijk-zwaanshoek</a> <a href="https://witteweekbladnieuw-vennep.nl/lokaal/zonnepanelen-vliegen-brand-zwaanshoek-485810">https://witteweekbladnieuw-vennep.nl/lokaal/zonnepanelen-vliegen-brand-zwaanshoek-485810</a> <a href="https://www.rtl.nl/video/4cad96a4-83ef-4ad5-b8bc-359a7d0401ec/">https://www.rtl.nl/video/4cad96a4-83ef-4ad5-b8bc-359a7d0401ec/</a> <a href="https://www.uitzendinggemist.net/aflevering/448126/Rtl_Nieuws_1930_Uur.html">https://www.uitzendinggemist.net/aflevering/448126/Rtl_Nieuws_1930_Uur.html</a>

## A.27 Wilaarderburen

Team Brandonderzoek Noord-Nederland	
Onderzoeksnotitie	
<i>Dit document wordt na ieder onderzoek ingevuld en dient als basis voor de invoering in de landelijke database.</i>	
<b>Algemeen</b>	
Veiligheidsregio	Fryslân
Incidentnummer GMS	
Meldingtekst GMS	01 Woning/Woongebouw
Datum en tijdstip melding MKNN	12 jul 2018 20:41:36
Classificatie	Kleine brand
Adres brandlocatie (incl postcode)	
Gebruiksfunctie	Onderwijsfunctie, bijeenkomstfunctie, kantoorfunctie, sportfunctie
Bouwjaar	2012
Omschrijving object	
Tijdstip brandweer gealarmeerd	20:41:36
Tijdstip brandweer uitgerukt	20:44:44
Tijdstip brandweer ter plaatse	20:50:50
Tijdstip brandweer ingerukt	-
Slachtoffers	-
Redding	-
Brand gemeld door	A
<b>Onderzoek</b>	
Aanleiding onderzoek	Brand in PV installatie
TBO brandonderzoeker(s)	
Startdatum onderzoek	13-7-2018
Einddatum onderzoek	13-7-2018
Toestemming onderzoek verleend	

## Team Brandonderzoek Noord-Nederland

### Onderzoeksnotitie

door	
Betrokken onderzoekspartijen	-
Contactpersonen	
Preventieve voorzieningen	n.v.t.
Informatiebronnen	Internet, meldkamer rapport, onderzoek ter plaatse en interview met de gymleraar die de brand heeft ontdekt en geblust.
Informatie	[redacted] was toevallig op school, en hoorde een knal. Toen hij naar buiten keek zag hij vlammen (1 meter hoog) en zwarte rook uit de schakelkast komen. Hij is snel via een vlizotrap naar het dak gegaan en heeft de brand met een schuimblusser geblust. 3 Weken eerder was er ook al een deksel van een omvormer (1 van de 3) geblazen. Leeftijd van de installatie is circa 3 jaar.
Aangetroffen situatie	Het deksel van de omvormer was van de schakelkast geblazen. In de schakelkast was beperkte brandschade te zien.
Waarnemingen	Brandschade in schakelkast
Brandpatronen	Onderdeel verbrand
Brandverloop	Deksel is van schakelkast geblazen en vervolgens
Brandschademodel	Onderdeel van schakelkast
PID-meting / bemonstering uitgevoerd	-
Objecten onderzocht	schakelkast
Productspecificatie	CHINT power model: CPS SCA20KTKTL-DO
Analyse	Technische storing in schakelkast
Ruimte van ontstaan	Buiten op het dak
Object van ontstaan	Schakelkast
Hypothese(s)	Technische storing in schakelkast
Conclusie	Technische storing in schakelkast
Aanvullend onderzoek	Registratie van brand met PV installaties
<b>Eindresultaat</b>	
Rapportage	
Leermomenten voor brandweer	
Leermomenten voor risicobeheersing	Calamiteiten bij PV installaties
Leermomenten overig	

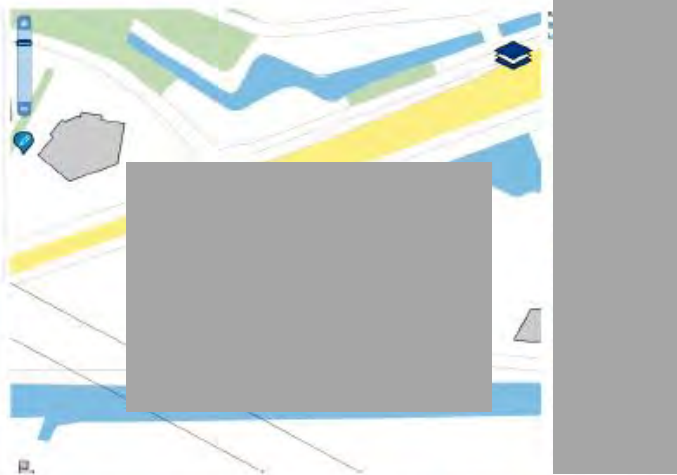


# Team Brandonderzoek Noord-Nederland

## Onderzoeksnotitie

### Beeldmateriaal

*Situatietekening  
BAG-viewer*



**Team Brandonderzoek  
Noord-Nederland**

**Onderzoeksnotitie**



Weer

Max. temperatuur de Bilt: 24.6 C.  
Globale instraling de Bilt: 2635 J/cm<sup>2</sup>  
Etmaalgemiddelde windsnelheid: 3.3 m/s

Dit is een publicatie van:

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland  
Prinses Beatrixlaan 2 | 2595 AL Den Haag  
Postbus 93144 | 2509 AC Den Haag  
T +31 (0) 88 042 42 42  
E klantcontact@rvo.nl  
www.rvo.nl

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | maart 2019  
Publicatienummer: RVO-030-1901/DUZA-RP

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl) stimuleert duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet- en regelgeving. RVO.nl werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie.

RVO.nl is een onderdeel van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.