



Rijksvastgoedbedrijf
Ministerie van Binnenlandse Zaken en
Koninkrijksrelaties

VEILIGHEID PV-SYSTEMEN OP DAKEN

Richtlijn

Versie 1.0

Datum: 5 mei 2021

Status: Definitief

Colofon

Versie 1.0

Contact T 0800 89 91 103

Rijksvastgoedbedrijf

Postbus 20952
2500 EZ Den Haag

Samenvatting

De noodzaak om het gebruik van fossiele brandstoffen te verminderen heeft geleid tot steeds strenger wordende eisen m.b.t. energieprestatie die aan bouwwerken worden gesteld. Daardoor heeft de inzet van zonnepanelen (Photo Voltaic panels) op daken een enorme vlucht genomen. Gebleken is dat de veiligheid, waaronder brandveiligheid, constructieve veiligheid en elektrische veiligheid, niet zondermeer gegarandeerd is.

Wet- en regelgeving op dit vakgebied is nog in ontwikkeling. Daarom is het voor het Rijksvastgoedbedrijf nu nog noodzakelijk om privaatrechtelijke eisen te stellen om de schade aan haar bouwwerken te kunnen beperken.

Hiertoe heeft het Rijksvastgoedbedrijf de onderhavige richtlijn opgesteld om het plaatsen van de meest voorkomende typen PV-installaties op daken integraal te beoordelen, de zogenaamde op-dak systemen. Aangezien voor andere systemen maatwerk vereist is, dat niet in een algemene richtlijn te vervatten is.

De Richtlijn "Veiligheid PV-systemen op daken" benadert het veilig kunnen plaatsen van PV-installaties integraal vanuit de disciplines Veiligheid & Gezondheid (waaronder Veilig Werken op Hoogte), Duurzaamheid, Brandveiligheid, Constructies, Elektrotechniek, Bouwkunde en Bouwfysica. Vanuit ieder vakdiscipline worden eisen gesteld en aanbevelingen gedaan.

Deze richtlijn beoogt eisen te stellen op marktconform niveau, waarmee op verantwoorde wijze kostentechnisch rendabele PV-installaties op rijks- en defensiedaken kunnen worden aangebracht.

Hierna volgen de belangrijkste punten per discipline:

Veiligheid & Gezondheid (incl. VWoH)

Vanuit het perspectief van het Veilig Werken op Hoogte zijn twee zaken van belang. Ten eerste moet er sprake zijn van een veilige bereikbaarheid van het dakvlak. Ten tweede moet het mogelijk zijn integraal veilig te werken op het dak zodanig dat de persoon op het dak een minimum aan persoonsafhankelijke veiligheidsvoorzieningen hoeft te gebruiken. Hiervoor dient het RVB-aspectprogramma Veilig Werken op Hoogte te worden betrokken in de ontwerpfase van de PV-installatie om te komen tot een afgestemde Risico Inventarisatie en Evaluatie (RI&E).

Duurzaamheid

Voor het aspect duurzaamheid is er geen directe relatie met veiligheidsrisico's voor het gebouw. Duurzaamheid is wel de aanleiding voor het willen plaatsen van PV-panelen. Verder is voorwaardelijk dat de niet gebruikte energie, vaak tijdens de

weekenden, door het openbare elektriciteitsnet "opgenomen" kan worden. Aan zowel de onderdelen van de PV-installatie als de inschrijver en uitvoerende partij zijn aanvullende eisen gesteld met betrekking tot duurzaamheid. Daarbij gaat het om eisen in vier categorieën: toxiciteit, circulariteit en levensduur, energie en duurzaamheid van bedrijfsprocessen.

Brandveiligheid

Deze richtlijn maakt gebruik van een methode die de vastgoedvoorraad indeelt in drie niveaus voor acceptabele schade aan een bouwwerk. Er zijn uiteenlopende oplossingsrichtingen om hieraan te voldoen. Deze oplossingsrichtingen zijn vastgelegd in de matrix die is opgenomen als bijlage B.

De definitieve bepaling welk schadeniveau acceptabel is voor een specifiek RVB-object dient altijd in overleg tussen RVB en de klant/gebruiker project te geschieden.

Constructie

Deze richtlijn bevat een stappenplan waarin eisen zijn vastgelegd voor een constructief verantwoorde installatie van PV-installaties op daken.

Wanneer ballasten geen optie is dan dient de onderconstructie van de PV-installatie door-en-door bevestigd te worden aan de dakconstructie.

Elektrotechniek

Een PV-systeem is een elektrotechnische installatie op basis van het gelijkstroom principe (DC). Actieve delen zijn doorgaans, t.g.v. schade aan of veroudering van het systeem, de oorzaak van het ontstaan van brand. Daarom wordt in deze richtlijn gefocust op:

- Schade voorkomen => intrinsieke veiligheid van installatie;
- Status installatie t.g.v. veroudering => Inspectie;
- Status installatie t.g.v. vervuiling => Reinigen;
- Status installatie t.g.v. schade => Inspectie.

Opdat een kwalitatief goed en veilig systeem wordt geïnstalleerd zijn elektrotechnische veiligheidseisen voor PV-installaties opgenomen.

Bouwkunde

Door het plaatsen van PV-panelen op een bestaand dak wijzigt de functie en ook het gebruik van een dak. Hiermee is in veruit de meeste gevallen geen rekening is gehouden bij het oorspronkelijke ontwerp van een dak hetgeen (aanvullende) bouwkundige risico's met zich mee kan brengen.

Vanuit bouwkundig perspectief is het voorkomen van lekkages het essentieel.

Bepalend hiervoor is de begaanbaarheid van de dakisolatie in combinatie met de dakbedekking. Deze dient voorafgaand aan de installatie van het PV-systeem te worden beoordeeld. Hetzelfde geldt voor de resterende levensduur van de toplaag/

dakbedekking. Met deze gegevens wordt bepaald of de dakbedekkingsconstructie integraal vervangen moet worden alvorens hierop een PV-installatie kan worden geïnstalleerd.

Bouwfysica

Vanuit bouwfysisch perspectief zijn er op hoofdlijnen geen aandachtspunten bij PV-systemen. Echter, wanneer de PV-installaties door het dak worden vastgemaakt met bevestigingsmiddelen of bijvoorbeeld veel doorvoeringen nodig zijn, dient er aandacht te worden besteed aan de detaillering ervan. Verder levert een PV-systeem bouwfysisch vooral een positieve bijdrage aan het dak.

Tot slot

Aangezien deze Richtlijn is geschreven met het oog om zo breed mogelijk toegepast te worden blijft maatwerk (d.w.z. gemotiveerd afwijken van eisen in de richtlijn) mogelijk. In beginsel geldt dat de eisen in deze Richtlijn te allen tijde van toepassing zijn, tenzij er moverende redenen zijn om af te wijken van een betreffende eis, met een onderbouwing waarom de eis voor de specifieke situatie niet realiseerbaar is. Hiertoe dient het RVB expliciet en schriftelijk goedkeuring te geven voor een afwijking.

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
Inhoudsopgave.....	6
Verantwoording Richtlijn.....	7
Toepassingsgebied.....	8
1 Inleiding	9
2 Hoofdcomponenten	10
3 V&G en Veilig Werken op Hoogte (VWoH)	13
4 Duurzaamheid	16
5 Constructieve veiligheid.....	18
6 Brandveiligheid.....	23
7 Elektrische veiligheid.....	31
8 Bouwkunde	32
9 Bouwfysica.....	35
BIJLAGE A – Uitvoeringseisen elektrische PV-installatie	36
BIJLAGE B – Matrix – Toegelaten oplossingsrichtingen	44

Verantwoording Richtlijn

Het aanbrengen van PV-panelen op daken van gebouwen is de laatste jaren steeds gebruikelijker geworden, mede vanwege de steeds strengere energieprestatie eisen voor bouwwerken. Gebleken is dat de veiligheid, waaronder brandveiligheid, constructieve veiligheid en elektrische veiligheid, niet zondermeer gegarandeerd is.

Met deze richtlijn wil het Rijksvastgoedbedrijf de veiligheidsrisico's in relatie tot gebouwen, installaties en werkzaamheden bij het aanbrengen van PV-panelen op daken in projecten ondervangen. In deze richtlijn worden eisen en adviezen gegeven om deze veiligheidsrisico's tot een acceptabel niveau te beperken.

De Richtlijn voor u geeft een algemene handreiking voor het veilig gebruiken van PV-systemen op daken van monumenten, rijks- en defensiegebouwen. Hierbij is rekening gehouden met integraliteit naar andere, niet zijnde veiligheidsdisciplines. Doordat deze richtlijn bedoeld is om de meest voorkomende gevallen te ondervangen, is afbakening van het toepassingsgebied noodzakelijk.

PV-systemen die niet onder het toepassingsgebied vallen vragen om maatwerk van adviseurs/experts van de afdelingen A&T en ECT van het RVB. Deze richtlijn kan in deze gevallen nog steeds als leidraad dienen.

Toepassingsgebied

Het karakter van deze Richtlijn is het toepassingsgebied gelimiteerd tot het volgende:

De Richtlijn is bestemd voor:

- PV-systemen op bestaande en nieuwe daken;
- PV-systemen op zowel hellende als platte daken;
- Glas-folie en glas-glas PV-panelen.

De Richtlijn is **niet** bestemd voor:

- Grondgebonden PV-systemen;
- Indak PV-systemen;
- PV-panelen in of aan de gevel;
- Andere PV-systemen dan glas-folie en glas-glas panelen (o.a. PV-dakpannen en PV-leien);
- Rieten daken;
- Leien daken.

Toelichting toepassingsgebied:

Het toepassingsgebied van deze Richtlijn is gelimiteerd tot glas-glas en glas-folie PV-panelen, daar deze panelen hoofdzakelijk op de Nederlandse markt worden gebruikt. PV-dakpannen, PV-leien, etc. zijn uitgesloten van de scope van deze Richtlijn.

Deze Richtlijn verzet zich niet tegen het aanbrengen van bovengenoemde uitgesloten systemen. Echter, indien het voornemen bestaat om dergelijke systemen toe te passen dan dient contact gezocht te worden met experts van de RVB-afdelingen A&T of ECT. Experts van alle in deze Richtlijn genoemde disciplines dienen geraadpleegd te worden. De beoordeling en het besluit hierover liggen bij het Rijksvastgoedbedrijf.

1 Inleiding

Het plaatsen van PV-panelen op daken, en bijvoorbeeld ook boven parkeerplaatsen op maaiveld, is een manier om duurzame energie op te wekken. De bestaande bebouwing wordt hiermee dubbel gebruikt, wat zeker in een drukbevolkt land als Nederland erg gewenst is. Het Rijksvastgoedbedrijf houdt hierbij rekening met de belangen van haar gebruikers, het geplande onderhoud en bijvoorbeeld het strategisch vastgoedplan van Defensie.

Vanwege de grootschaligheid van deze energietransitie betekent dit voor het Rijksvastgoedbedrijf dat zij versneld haar gebouwvoorraad moet verduurzamen. De afgelopen jaren hebben PV-panelen geleidelijk hun opwachting gemaakt in de gebouwde omgeving en deze worden dan ook als essentieel gezien voor het realiseren van de doelen van de energietransitie. Echter, het toevoegen van PV-panelen op daken betekent dat er extra risico's (waaronder onder andere elektrocutie, brand, krachten/belastingen) op het dak worden geïntroduceerd.

Parallel met de toename van PV-panelen blijkt ook een toename in dakbranden waarneembaar. Opdat het Rijksvastgoedbedrijf haar verantwoordelijkheid wil nemen met betrekking tot de veiligheid van haar gebruikers en het beschermen van haar vastgoed en de omgeving, is deze Richtlijn tot stand gekomen.

Kortom in het kader van de verduurzaming van de gebouwvoorraad van het Rijksvastgoedbedrijf kunnen PV-panelen essentieel zijn. Echter, zullen afwegingen gemaakt moeten worden of en onder welke voorwaarden PV-panelen op daken toelaatbaar zijn.

Deze richtlijn beoogt eisen te stellen op marktconform niveau, waarmee op verantwoorde wijze kostentechnisch rendabele PV-installaties op rijks- en defensiedaken kunnen worden aangebracht.

2 Hoofdcomponenten

2.1 Dakvlak

Het merendeel van rijksvastgoed is uitgevoerd met een platdakconstructie. Het gebruik van platte daken is steeds meer divers. Waar een dak voorheen alleen bedoeld was als wind- en waterdichting en onderdeel van de thermische schil zien we tegenwoordig een brede variatie aan extra functies¹ op daken:

- Gele daken → PV-panelen
- Rode daken → recreatiedaken, bijv. dakterras, sportveld of zwembad
- Blauwe daken → retentie of polderdak
- Groene daken → vegetatie/ tuindaken.

Een combinatie van deze soorten is ook mogelijk.

Een gegeven is dat naast het toevoegen van functies op daken het op de 'gewone' daken ook al steeds drukker wordt; aanlijnvoorzieningen Veilig Werken op Hoogte, bliksembeveiliging, ventilatie, UMTS, overige installaties enz. met daarnaast nog de 'gewone' dakdekker voor het reparatie/ schoonmaak-/ en onderhoudswerk. Veel van de marktpartijen beschouwen het dak niet integraal en zijn alleen gericht op hun eigen product. Kortom: in algemene zin geldt dat het aan het RVB is om verschillende projecten/werkzaamheden op elkaar af te stemmen. Het toevoegen van PV-panelen hieraan is daarin niet anders.

Er mag dan ook voorzichtig geconcludeerd worden dat er steeds meer op daken 'gebeurt' en dat moderne daken aanzienlijk multifunctioneler zijn dan waarvoor het dak ooit bedoeld was. Naast een ander gebruik van het dak willen we dat daken duurzaam (hoge Rc, Biobased & Circulair) en voldoende veilig zijn.

Dit alles brengt dan ook meer en ook zwaardere eisen met zich mee in geval van nieuwbouw of renovatie.

2.1.1 Levensduur dakvlak

Naast de extra functies is een belangrijk aspect de levensduur van de dakafwerking. Afhankelijk van de soort dakbedekking varieert de levensduur van een dakafwerkingspakket tussen de 25-40 jaar. Bij hellende daken is deze levensduur veel groter, afhankelijk van de materialisering ergens tussen de 50-120 jaar. Los van het materiaalgebruik zijn de volgende factoren van invloed op de levensduur:

- Kwaliteit uitvoering;
- De mate waarin het (periodieke) onderhoud is uitgevoerd;
- Effectief afschot;
- Type onderconstructie;
- Gebruiksbelastingen;
- Klimaatinvloeden.

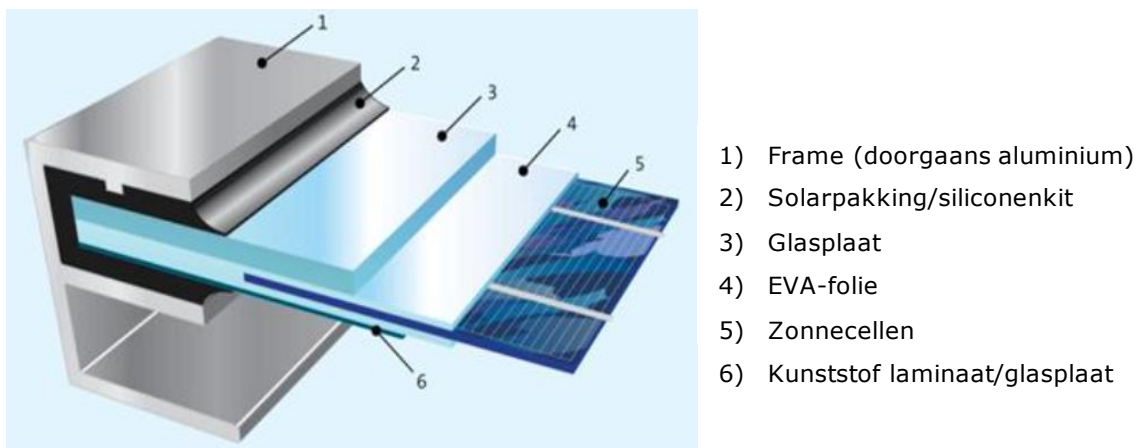
¹ Functiecodering o.b.v. multifunctionele kleurentabel gemeente Rotterdam
(<https://www.rotterdam.nl/wonen-leven/multifunctionele-daken/>)

Dit levensduuraspect en de invloeden daarop maakt dat het dakvlak als hoofdcomponent belangrijk is in de benadering voor de plaatsing van PV panelen daarop.

Kortom; Bij het voornemen om PV-panelen op (bestaande) daken te plaatsen is het vooraf beschouwen vanuit de diverse disciplines noodzakelijk om tot een weloverwogen besluit te komen.

2.2 PV-paneel

Primair moeten we ons de vraag stellen wat een PV-paneel nu eigenlijk is. Niet ieder paneel is hetzelfde en er zijn dan ook diverse typen PV-panelen op de markt. In deze richtlijn beperken we ons tot glas-folie en glas-glas PV-panelen, daar deze momenteel de meest gebruikte typen PV-panelen op de Nederlandse markt zijn. Het verschil in opbouw tussen beide typen panelen zit hoofdzakelijk aan de onderzijde van het paneel (positie 6 Figuur 1). Bij een glas-folie paneel bestaat de onderzijde uit een kunststof laminaat en bij een glas-glas paneel uit een glasplaat.



Figuur 1- Opbouw PV-paneel

2.3 PV-omvormer

Zonnepanelen zetten zonlicht om naar gelijkstroom, ook wel 'direct current' (DC) genoemd. De omvormer zet gelijkstroom om naar wisselstroom 'alternating current' (AC), waarna de elektriciteit gebruikt kan worden in de eigen installatie of teruggeleverd kan worden aan het elektriciteitsnet.

String-omvormers

De traditionele methode is om een string-omvormer. Omdat een groep zonnepanelen in serie zijn aangesloten, worden de afzonderlijke paneeluitgangen niet geoptimaliseerd. Bij schaduw op de panelen, vervuiling of verschillende temperaturen optreden, kan de gehele energieproductie hierdoor worden beïnvloed. Dit is waar optimalisatie op paneelniveau kan helpen. Hiervoor zijn twee methoden beschikbaar – power optimizers en micro-omvormers.

Power Optimizers

Power optimizers verdelen de traditionele string-omvormer in twee aparte onderdelen. De omvormer bevindt zich zoals gebruikelijk op een centrale locatie, terwijl de paneel optimizer aan het zonnepaneel is bevestigd. De optimizer zorgt ervoor dat de energieopbrengst van een afzonderlijk zonnepaneel maximaal wordt gebruikt.

Micro-omvormers

Micro-omvormers nemen alle functies van een string-omvormer over en zijn in elk individueel paneel geïntegreerd. Daardoor levert elk zonnepaneel een wisselstroom (AC) en heeft elk paneel een eigen optimizer en omvormer.

2.4 PV-bekabeling

De bekabeling tussen het PV-paneel en de omvormer is DC-bekabeling. Dit betreft 1-aderige kabels waaraan hoge eisen gesteld worden als het gaat om de isolatie en montage. De DC-bekabeling moet zo worden aangelegd dat de kans op aardsluiting en kortsluiting en overspanningen door inductie zo klein mogelijk is. Naast het type leiding is het belangrijk dat de leidingen deugdelijk worden bevestigd. Materialen daarvoor moeten bestand zijn tegen uitwendige invloeden, zoals zonnestraling (UV-licht), wind, water en sneeuw.

Om overbelasting van de pv-AC-voedingsleiding tussen de verdeler en de omvormer te voorkomen moet een pv-installatie op een aparte eindgroep in de schakel- en verdeelinrichting worden aangesloten.

2.5 Draagconstructies

Het monteren van panelen op een schuin dak is voor zonnepanelen ideaal, omdat de ideale invalshoek voor het zonlicht kan worden bereikt door het paneel eenvoudig plat op het dak te monteren. Hiervoor bestaan standaard vlakke rails die aan het dak bevestigd worden. De zonnepanelen worden vervolgens aan de rails bevestigd en het resultaat is een stevige en lijnrechte installatie.

Bij een plat dak moeten de zonnepanelen op een constructie worden geplaatst zodat ze de juiste hellingshoek krijgen. Dit zijn dan vaak kant en klare frames. Het is erg belangrijk dat de frames worden voorzien van goede ballast of stevige bevestiging aan de dakconstructie om de windbelasting te kunnen weerstaan.

Omvormers dienen voldoende ventilatiemogelijkheid te hebben en tegen een onbrandbare ondergrond gemonteerd te worden. Door de plaatsing van omvormers op het dak wordt gevaarlijke DC-spanning veilig buiten het gebouw gehouden. Hiervoor zijn metalen ophangconstructies met overkapping beschikbaar waar de omvormers op het dak goed geventileerd zijn en eveneens beschut tegen directe weersinvloeden.

3 V&G en Veilig Werken op Hoogte (VWoH)

3.1 Achtergronden en toelichting

Het RVB draagt de verantwoordelijkheid het veiligheidsniveau/opleiding op te geven aan degene die wij het dak 'opsturen' voor bijvoorbeeld onderhoud. Zijn er veiligheidsvoorzieningen aanwezig dan moet worden aangegeven welke voorzieningen dat zijn en hoe deze te gebruiken. Tevens moet kenbaar gemaakt zijn of deze voorzieningen zijn goedgekeurd. Indien niet het geval, dan moet het RVB aangeven dat de veiligheidsvoorzieningen niet aanwezig zijn. Dit laatste vrijwaart het RVB niet van de verplichting om deze persoon wel de mogelijkheid te geven om het dak veilig te kunnen bereiken en er bovenop te werken.

Vanuit die verantwoordelijkheid wordt in dit hoofdstuk dan ook ingegaan op de V&G -overwegingen waar het gaat om Veilig Werken op Hoogte (VWoH). Hiervoor zijn twee vragen van belang om mee te wegen in de Veiligheid van PV-systemen op daken. Dit zijn:

- 1) Is er sprake van een veilige bereikbaarheid naar het dak?
- 2) Hoe is het mogelijk om veilig te werken (t.b.v. onderhoud/vervanging) op het dak?

Vragen waarbij, in de afweging en beantwoording, rekening dient te worden gehouden met de Arbeids Hygiënische strategie (AH-strategie)² waaraan het Rijksvastgoedbedrijf zich heeft gecommitteerd.

3.1.1 Invulling VWoH

Wanneer er PV-panelen op (bestaande) daken worden geplaatst moet er rekening mee worden gehouden dat er daarna veilig op het dak kan worden gewerkt. Met name de aanwezigheid van andere installaties op het dak, naast de nieuw aan te brengen PV-installatie, kan betekenen dat de ruimte op het dakvlak schaars wordt. Bij het plaatsen van een PV-installatie dient dan ook al bij het ontwerp (legplan) rekening gehouden te worden met het veilig kunnen plegen van onderhoud aan alle aanwezige installaties en het schoonhouden van de systemen en het onderliggende dakvlak. Dit geldt zowel voor het veilig kunnen betreden van het dak als het veilig werken op het dak.

Binnen het Rijksvastgoedbedrijf is hiervoor een aspectprogramma Veilig Werken op Hoogte. In het kader van de toegang tot de daken, het gaan aanbrengen en veilig kunnen onderhouden van de PV-panelen op daken dient er afstemming plaats te vinden met dit aspectprogramma.

3.2 Toegang tot de daken

De toegang tot de daken kan op verschillende manieren geregeld zijn. Zowel van binnenuit als via de buitenzijde van het gebouw. Met het verkrijgen van toegang tot de daken ontstaan diverse veiligheidsrisico's. Zeker in een situatie waar dit via de

² <https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/arbeidshygiënische-strategie>

buitenzijde dient te gebeuren. Met het plaatsen van PV-panelen op de daken ontstaat er een aanvullende noodzaak om voor de beheerfase vaker op de daken te komen.

Om te bepalen welke en hoeveel maatregelen er nodig zijn om veilig PV-panelen aan te brengen en later ook onderhoudswerkzaamheden daaraan te kunnen doen dient er zorg te worden gedragen voor een veilige daktoegang.

Voor het begrip van een veilige daktoegang wordt gesteld dat deze start vanaf maaiveld en loopt tot in de veilige zone op het dak (in beginsel > 4 m¹ van de dakrand).

3.2.1 Aanbrengen PV-panelen op de daken

De veiligheid rondom het aanbrengen/ installeren van de PV-panelen dient te worden geborgd door middel van toepassing van (een set van) collectieve maatregelen tenzij specifiek anders wordt aangegeven/ overeengekomen.

3.2.2 Werken op de daken

Voor het veilig werken (t.b.v. onderhoud/ vervanging) op het dak geldt dat het dak is ingedeeld in zones, te weten:

- < 2 m¹ van dakrand
- 2 – 4 m¹ van dakrand
- > 4 m¹ van dakrand

Afhankelijk van in welke zone of zones PV-panelen worden geplaatst dienen er veiligheidsvoorzieningen aanwezig te zijn. Hierbij geldt uiteraard dat hoe dichterbij de dakrand hoe strenger de veiligheidsvoorschriften zijn. Voor diverse daken geldt dat er al voorzieningen aanwezig zijn om Veilig Werken op Hoogte mogelijk te maken. In hoeverre dit nog passend is met het voorstel tot plaatsen van PV-panelen dient te worden afgestemd tussen de programma's.

3.2.3 Schuine daken

PV-panelen plaatsen op schuine daken is, getuige de particuliere sector, mogelijk maar brengen veel veiligheidsrisico's met zich mee. Met name de toegang tot het schuine dak is veelal risicovol omdat deze er inpandig vaak niet zijn. Hierdoor moet een schuin dak van buitenaf worden beklommen vanuit of vanaf een voorziening zodanig dat de risico's worden beperkt.

Voor het uitvoeren van onderhoud en inspecties geldt dat slechts een klein aantal schuine dakvlakken binnen ons bezit een voorziening heeft waardoor men veilig kan werken op het dak. Voor alle overige schuine daken geldt dat inspecties en onderhoud alleen vanuit of vanaf een voorziening zoals een hoogwerker kan worden uitgevoerd.

3.2.4 Eisen VWOH

Vanuit het onderdeel VWOH gelden de volgende eisen aan het plaatsen van PV-panelen, als onderdeel van het PV-systeem, op daken:

1. De beide systemen (VWOH en legplan PV-panelen), moeten op elkaar zijn afgestemd in een RI&E en worden goedgekeurd door een VK'er vanuit het RVB.

2. Daar waar looppaden worden aangebracht voor onderhoud/ inspectie (van PV-panelen) dienen deze minimaal 0,5 m breed te zijn.
3. Bij oplevering indienen revisietekening (door Aannemer) en toe te voegen aan het gebouwdossier.

3.2.5 Legplan wel/ niet bekend

Voor plaatsing van de PV-panelen op daken voor het Rijksvastgoedbedrijf dient hier rekening te worden gehouden met het volgende:

- Het legplan is voorgeschreven/ uitgewerkt ten tijde van aanbesteding;
 - Dan heeft afstemming met aspectprogramma VWoH plaatsgevonden en dient alleen bij *afwijkingen* afstemming te worden gezocht met het aspectprogramma VWoH van het Rijksvastgoedbedrijf om te komen tot een geschikte oplossing.
- Het legplan is nog niet voorgeschreven/ uitgewerkt ten tijde van aanbesteding;
 - De invulling van het PV-panelen (legplan) op het dak dient te worden afgestemd met het aspectprogramma VWoH van het Rijksvastgoedbedrijf.

4 Duurzaamheid

Voor het aspect duurzaamheid is er geen directe relatie met veiligheidsrisico's voor het gebouw. Duurzaamheid is wel de aanleiding voor het willen plaatsen van PV-panelen.

Verder is voorwaardelijk dat de niet gebruikte energie, vaak tijdens de weekenden, door het openbare elektriciteitsnet "opgenomen" kan worden.

Aan zowel de onderdelen van de PV-installatie als de inschrijver en uitvoerende partij kunnen aanvullende eisen met betrekking tot duurzaamheid gesteld worden. Daarbij gaat het om eisen in vier categorieën: toxiciteit, circulariteit en levensduur, energie en duurzaamheid van bedrijfsprocessen.

4.1.1 Toxiciteit

De Inschrijver voldoet aan de RoHS 2011/65/EU wetgeving. Verder beschrijft de inschrijver in hoeverre zij in hun selectie van leveranciers en bij het ontwerp van PV-installaties rekening houden met het uitsluiten van toxische stoffen (Lood, Fluor, Cadmium, Antimoon, Arseen) in het PV-systeem en geeft aan of er beleid is opgesteld voor het uitsluiten van toxische stoffen in het PV-systeem.

4.1.2 Circulariteit en levensduur

De inschrijver levert een plan van aanpak waarin hij aangeeft hoe bij het ontwerp van de PV-installatie en bij de inkoop van de systeemonderdelen de hoeveelheid toegepast primair materiaal, uit een minerale of fossiele bron, wordt verminderd. Hierbij kan gedacht worden aan het verminderen van de totale hoeveelheid toegepast materiaal, het toepassen van gerecycled (secundair) materiaal en het toepassen van bio-based materiaal.

De Inschrijver voorziet in een toelichting over hoe er wordt omgegaan met kapotte onderdelen in de omvormer. Hierbij wordt ingegaan op de volgende punten:

- De repareerbaarheid van de verschillende onderdelen in de omvormer. Wat zijn de meest kwetsbare onderdelen?
- Een toelichting over het proces dat in gang wordt gezet als er een kapot onderdeel wordt geconstateerd;
- Wat er gebeurt met de vervangen onderdelen.

De Inschrijver voldoet aan de WEEE 2012/19/EU wetgeving.

De inschrijver geeft inzicht in de ontwikkelingen in de markt met betrekking tot de losmaakbaarheid van de encapsulant (tevens toelichting in welk opzicht deze losmaakbaar is) en in de termijnen waarop doorbraken verwacht worden. Tevens geeft men aan of en hoe men hiermee in haar eigen ontwerp rekening houdt.

4.1.3 Energie (verbruik bij productie en opwekking)

Voor elke 2% verhoging van het geleverde vermogen (in Wp) voor de zonnepanelen ten opzichte van het minimum (340 Wp voor 60-cells en 120 cells in geval van half-cell technologie) krijgt de inschrijver een beloning op zijn inschrijving. Dit beloningspercentage dient voor elke afzonderlijke aanbesteding te worden vastgesteld, maar kan in grote orde gelijk worden gesteld aan de verhoging in vermogen.

4.1.4 Duurzaamheid van bedrijfsprocessen

De inschrijver geeft haar visie aangaande duurzame bedrijfsvoering en geeft concrete voorbeelden aan hoe hier invulling aan wordt gegeven

5 Constructieve veiligheid

5.1 Constructieve veiligheidseisen aan PV-installaties

Bij de plaatsing van PV-systemen op of aan een bestaande constructie wordt eerst de haalbaarheid getoetst door het Rijksvastgoedbedrijf (RVB) of door de opdrachtnemer (ON). Daarna wordt het systeem verder uitgewerkt door de leverancier/ON. In onderstaande tabel zijn de stappen weergegeven. De opname op locatie vindt plaats als er onvoldoende archiefgegevens beschikbaar zijn en/of als de constructie kritisch is. Dit laatste is met name het geval bij houten dakconstructies en daken met stalen dakplaten.

Tabel 1 - Stappenplan constructie

Fase	Actie	Document	Actie door
Haalbaarheid	Verzamelen archiefgegevens gebouw	Archiefdocumenten	RVB of ON
	Opname op locatie	Opnamerapportage	RVB of ON
	Aanname van de gewichten en positie van het PV-systeem		RVB of ON
	Controleberekening capaciteit dak	Berekeningsrapport	RVB of ON
	Conclusie	Adviesrapport	RVB of ON
Uitvoering	Beschrijving opbouw systeem	Rapport	Leverancier
	Uitwerking	Plattegrond met positie panelen Tekening met detaillering inclusief bevestigingssysteem Berekeningsrapport	Leverancier

Wijze van bevestigen

Een geballast systeem is niet toegestaan bij daken met een helling groter dan 4°. Het haken van PV-systemen aan panlatten en vastschroeven aan het beschot van hellende daken is constructief niet aantoonbaar te maken. Dit wordt daarom niet toegestaan.

Bij plaatsing van PV-systemen op lichte daken zoals houten dakconstructies en stalen dakplaten is het vaak niet mogelijk de elementen direct op houten gordingen of stalen dakplaten te plaatsen. Er dient dan een hulpconstructie te worden toegepast

om de belasting af te voeren naar de constructieve onderdelen die de belasting wel kunnen dragen, zoals spanten, moerbalken of kolommen.

Constructieve veiligheid

Het plaatsen van PV-systemen veroorzaakt extra belastingen op de constructie. Er dient aangetoond te worden dat de dakconstructie voldoende capaciteit heeft om het systeem te kunnen plaatsen. Daarnaast dient aangetoond te worden dat het PV-systeem niet kan opwaaien, kantelen en/of verschuiven. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de normen zoals in het Bouwbesluit voorgeschreven en een aantal aanvullende normen:

- NEN 8700 - Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk
- NEN-EN 1990 - Grondslagen
- NEN-EN 1991 - Belastingen op constructies
- NEN-EN 1992 - Ontwerp en berekening van betonconstructies
- NEN-EN 1993 - Ontwerp en berekening van staalconstructies
- NEN-EN 1994 - Ontwerp en berekening van staal-betonconstructies
- NEN-EN 1995- Ontwerp en berekening van houtconstructies
- NEN-EN 1996 - Ontwerp en berekening van metselwerk
- NEN-EN 1997 - Geotechnisch ontwerp
- NEN-EN 1999 - Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies
- Aanvullende normen
- NEN 7250 - Zonne-energiesystemen - Integratie in daken en gevels - Bouwkundige aspecten
- NEN-EN 1998 - Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies
- NPR 9998 - Geïnduceerde aardbevingen - Grondslagen, belastingen en weerstanden

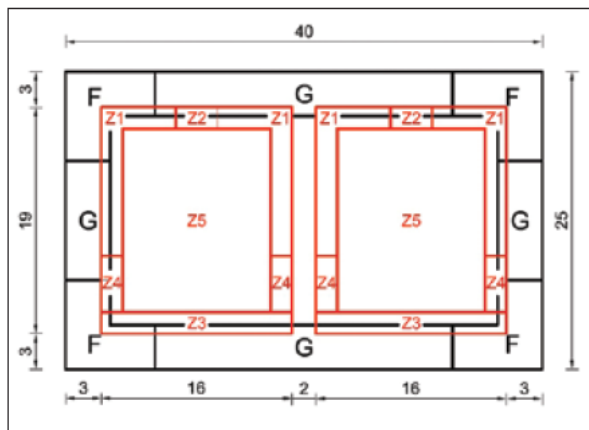
Bij de toepassing van de normen gelden de volgende eisen:

Gevolgklasse: In NEN-EN 1990 worden gebouwen ingedeeld in gevolgklassen. De keuze van de gevolgklasse bepaalt de veiligheidsfactor die gebruikt moet worden. Voor de controle van de plaatsing van het PV-systeem is in basis de te rekenen gevolgklasse gelijk aan de gevolgklasse van het gebouw waarop het systeem wordt geplaatst. Er kunnen echter redenen zijn om hiervan af te wijken. Dit dient dan wel te worden afgestemd met de expert constructies van het RVB.

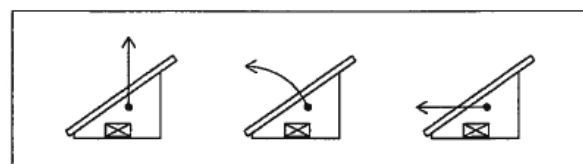
Veiligheidsniveau en levensduur: Bij nieuwbouw geldt het nieuwbouwniveau met een ontwerplevensduur voor het PV-montagesysteem van ten minste 20 jaar. Voor controle van de dakconstructie geldt een ontwerplevensduur gelijk aan die van het gebouw (ten minste 50 jaar). Bij bestaande bouw geldt het "verbouwniveau" op basis

van de NEN8700. Hierbij dient een restlevensduur van 30 jaar te worden aangehouden.

Als aanvulling op de NEN-EN 1991-1-4 waarin de windbelasting is vastgelegd is ook NEN 7250 van toepassing. In deze norm worden specifieke methodes gegeven voor het bepalen van de windbelasting op PV-systemen en worden een aantal montagewijzen toegelicht. Met de vermenigvuldigingfactoren uit de NEN 7250 dient in de verschillende dak- en belastingzones, de weerstand tegen opwaaien, kantelen en verschuiven van het PV-systeem te worden berekend.



Figuur 8, combinatie dakzones en belastingzones



Figuur 12, Bezwijkmechanismen.

Op basis van artikel 1.5 van NEN-EN 1991-1-4 is het toegestaan af te wijken van deze factoren door de windbelasting op het PV-systeem te bepalen met experimenteel onderzoek, bijvoorbeeld door windtunnelproeven. De wijze waarop dit plaats moet vinden staat omschreven in de NEN7250 (bijlage D) en CUR-aanbeveling 103. Windtunnelonderzoek dient aantoonbaar gevalideerd te zijn en rapportages van windtunnelmetingen verifieerbaar, zodat kan worden beoordeeld hoe de drukfactoren zijn bepaald, wat de randvoorwaarden van het onderzoek zijn, of het onderzoek voldoet aan de richtlijnen, en of het voldoende representatief is voor het PV-systeem op betreffende gebouw.

De montageconstructies inclusief verbindingen en bevestigingen dienen aantoonbaar te zijn doorgerekend en getoetst aan de optredende maximale windbelastingen volgens de van toepassing zijnde normen.

5.2 Toelichting op constructieve veiligheidseisen

De oplossingen uit de markt voor het bevestigen of ballasten van PV-systemen voldoen in de praktijk vaak niet aan de windbelastingen volgens de Eurocode en tabelwaarden uit de NEN7250, omdat leveranciers zich baseren op (doorgaans) veel lagere waarden uit eigen windtunnelonderzoek. Bij gebouw gebonden systemen wordt de windbelasting voor een groot deel bepaald door de vorm en afmetingen van het gebouw. Daarom is het erg belangrijk de windtunnelonderzoeken van

leveranciers te kunnen verifiëren, om te beoordelen of de resultaten passend zijn voor het specifieke gebouw.

Dit moet ook gelden voor de bepaling van de ballast en de constructieve veiligheid van de aluminium onderconstructies van PV-systemen die door leveranciers worden aangebracht. Deze aluminium onderconstructies zijn tot nu toe onvoldoende aantoonbaar bevonden. Het toepassen van stalen onderconstructies kan een oplossing bieden.

5.3 Checklists

5.3.1 Opname op locatie

- Verificatie van de bestaande situatie op basis van archiefonderzoek en opnamegegevens; beschrijving van de dakopbouw; toegepaste materialen, afmetingen / diktes en gewichten van diverse onderdelen en hart op hart afstanden draagconstructie. Zie ook RVB-product informatieblad Veilig werken op hoogte PIB 33.00.60-01.
- Controle afschot. Door de extra rustende belasting treden er extra vervormingen op, waardoor het afschot van platte daken af kan nemen.
- Controle hemelwateraccumulatie. Door het afnemen van het afschot kan er bij platte daken meer water op het dak blijven staan dan waar oorspronkelijk rekening mee gehouden is. Hierdoor kan de belasting door hemelwateraccumulatie dus ook hoger zijn dan oorspronkelijk.
- Controle op wijzigingen ten opzichte van archiefdocumenten (extra installaties, etc).

5.3.2 Controle draagconstructie in haalbaarheidsfase

- Normen & voorschriften; project-specifiek vaststellen van lokale (wind)belastingen, belastingcombinaties, veiligheidsfactoren, etc.
- Controle draagkracht draagconstructie. Aandacht voor extra belasting van het PV-systeem, extra (wind)zuiging, wateraccumulatie, sneeuwophoping en, indien aanwezig, extra ballast. Alle onder de dakafwerking gelegen constructieve elementen dienen te worden gecontroleerd, dus ook bijvoorbeeld houten dakbeschot of stalen dakplaten, ravelingen rondom dakopeningen, verbindingen etc.
- Controle belastbaarheid/ drukvastheid isolatie/ dakbedekking (indien van toepassing).
- Eventuele aanvullende noodoverstorten bepalen (bij platte daken).
- Eventuele versterkingen (ravelingen, etc.) of aanpassingen aan draagconstructie berekend en aangetoond. Analytische controle of een globale stabiliteitsberekening (vergelijking).

5.3.3 Uitwerking door opdrachtnemer/ leverancier

- (Controle)berekening montageconstructie
 - i) Mechanica-schema bevestiging PV-element op montageconstructie en
 - ii) Mechanica-schema montageconstructie op/aan dakconstructie; zijn de gebruiksgrenzen duidelijk?
- Evenwichtsberekening (neerwaartse belasting, opwaaien, kantelen en schuiven) van de montageconstructie is aantoonbaar, navolgbaar en compleet volgens de geldende wet, regelgeving en normeringen. Indien deze berekeningen gebaseerd zijn op windtunnelonderzoek dan dient dit ook inzichtelijk te worden gemaakt, en verifieerbaar zijn.
- Detailberekeningen montageconstructie inclusief toetsing van bevestigingsmiddelen
- Controle belastbaarheid/ drukvastheid isolatie/ dakbedekking (indien van toepassing)
- Controle hoofddraagconstructie incl. eventuele versterkingen uitvoeringsfase
- Op hellende daken: de montageconstructie door-en-door bevestigen aan de dakconstructie. Indien noodzakelijk een hulpconstructie en/of extra ravelingen of klossen aanbrengen. Een geballast systeem is bij daken met een helling groter dan 4° niet toegestaan.
- gemaaktvoerde overzichtstekeningen, aanzichten en doorsnedes.
- Tekening(-en) montageconstructie en details.
- Tekening(-en) eventuele versterkingen draagconstructie; overzicht en details.
- Tekening(-en) eventuele aanvullende noodoverstorten (bij platte daken).

6 Brandveiligheid

Aangezien steeds meer PV-panelen op daken worden geïnstalleerd neemt ook de kans op het ontstaan van brand op een dak toe. Echter, de vraag is uiteraard hoe groot dit brandveiligheidsrisico is en hoe de gevolgen van brand in een PV-installatie zijn te beperken tot een acceptabel niveau. Dit hoofdstuk behandelt de voornaamste brandoorzaken en geeft een handreiking om de gevolgschade aan een bouwwerk tot een acceptabel niveau te beperken.

6.1 Onderzoek naar brandoorzaken

Hoewel inmiddels de nodige problemen (waaronder branden) zich hebben voorgedaan met PV-installaties, is de ervaring beperkt. Daarnaast wordt in brandweerstatistieken nog niet consequent vermeld dat PV-panelen een rol speelden bij brand. Een deel van de problematiek is bekend en zowel uit eigen gelederen binnen het Rijksvastgoedbedrijf als vanuit het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV) kunnen deze op hoofdlijnen worden benoemd. Probleem blijft echter dat lang niet alle brandveiligheidsrisico's en nadelen nu al overzien en ingeschat kunnen worden (ontbreken statistiek en beperkte ervaring). Voor zover deze al wel bekend zijn kunnen daarbij oplossingen worden geformuleerd die het gevaar wegnemen of beperken. Dit overzicht kan worden uitgebreid en verfijnd naar mate er meer kennis en ervaring beschikbaar komt.

Recentelijk heeft TNO onderzoek³ gedaan naar de brandoorzaken in PV-installaties. Het onderzoek betreft een eerste inventarisatie naar branden in PV-panelen en heeft uitgewezen dat de kans op brand in een PV-paneel in 2018 ca. 0,014% bedraagt (residentiële installatie). De kans op brand in een in-dak systeem blijkt zelfs 20x hoger dan voor een op-dak systeem. De onderzochte branden in PV-panelen hebben tot nu toe alleen geleid tot economische schade en niet tot letselschade. Uit de literatuur zijn meerdere oorzaken bekend die tot een brand in een PV-paneel kunnen leiden, immers er zijn diverse elektrische componenten aanwezig in het PV-systeem die als brandoorzaak kunnen dienen. Uit het TNO-onderzoek blijkt onder andere dat ondeugdelijke verbindingen, zoals bijvoorbeeld connectoren, een veel voorkomend euvel te zijn in PV-installaties.

TNO vermoedt dat de problemen ontstaan wanneer een stekker (connector) van het ene merk verbonden wordt met een contrastekker van het andere merk (cross-matching). Dit kan leiden tot overgangsweerstanden, interne vlambogen, warmteontwikkeling en uiteindelijk brand. Cross matching 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, (micro-) omvormer of optimizer. Het onvakkundig monteren van stekkers kan tot soortgelijke problemen

³ TNO-rapport: TNO 2019 P10287 d.d.13 maart 2019

leiden⁴. Schade-experts schatten dat brand als gevolg van slecht/foutief verbonden connectoren in 80-99% van de branden in PV-systemen de brandoorzaak is.



Figuur 2 - Voorbeeld connectoren PV-paneel

6.2 Beperking schade door brand

Zoals TNO reeds opmerkt, hebben branden in PV-installaties in 2018 louter geleid tot economische schade. Dit komt vermoedelijk doordat de panelen aan de bovenzijde van het dak (buitenschil zonder bovenbouw) zijn aangebracht. Veel van de vrijkomende warmte bij verbranding vloeit dan af naar de omgeving, waar het niet meer in staat is andere constructie-onderdelen te laten ontbranden.

LET OP! Dit kan anders zijn indien de panelen verticaal in de gevel worden gemonteerd of indien boven het dak met PV-panelen een opgaande gevel aanwezig is. Raadpleeg in dat geval altijd een brandveiligheidsexpert van de afdeling A&T of ECT.

6.2.1 Invloed van de ondergrond op de branduitbreidingssnelheid

De verwachting is dat ontstekingsbronnen in de vorm van op-dak PV-systemen op een traditioneel pannendak niet per se leiden tot branddoorslag naar binnen vanwege de brandwerende werking van dakpannen. De schade aan het gebouw kan, bij op-dak systemen op schuine daken met dakpannen, dan ook worden beperkt tot de PV-installatie. Ook een snelle branduitbreiding is in beginsel niet te verwachten vanwege o.a. het grote warmte-accumulerende vermogen van de steenachtige materialen. Bij schuine daken met zinken of andere metalen dakafwerkingen kan er mogelijk schade aan het dakvlak optreden als gevolg van warmtestraling en convectieve warmteoverdracht. De mate van gevolgschade buiten de PV-installatie is onder andere afhankelijk van de hellingshoek van het dak, het soort dakisolatie, de afstand van de panelen tot het dak en de aanwezigheid van een geventileerde luchtspouw aan de

⁴ Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization, TÜV Rheinland, juni 2018

achterzijde van de dakbedekking. De exacte schadeomvang is vanwege de vele factoren moeilijk te voorspellen. Mogelijk is de branduitbreidingssnelheid onder invloed van de metalen dakafwerkingen groter dan bij steenachtige dakafwerkingen. Echter, hiernaar zal meer onderzoek moeten plaatsvinden.

Voor platte daken geldt dat vanwege de veelal brandbare dakbedekking een grotere gevolgschade te verwachten is. Het samenstel van het dak en PV-panelen moeten goed op elkaar zijn afgestemd om ongewenste effecten te voorkomen. Aan de Universiteit Gent is onderzoek⁵ gedaan of PV-panelen als katalysator kunnen dienen voor een versnelde branduitbreiding in geval van een brandbare dakbedekking (bijv. EPDM, bitumen, PVC). Het gaat hierbij dus om een dakvlak dat als gevolg van bijvoorbeeld een vonkenregen of een PV-paneel vlam heeft gevat. Het doel van dit onderzoek is om te bepalen vanaf welke afstand tussen dak en PV-paneel, de invloed van het PV-paneel op de branduitbreidingssnelheid verwaarloosbaar is. Naarmate het PV-paneel dichter op het dakvlak wordt geplaatst zal de warmteoverdracht tussen paneel en de dakbedekking toenemen onder invloed van warmtestraling. Indien de afstand voldoende groot is, dan is de warmteoverdracht tussen beiden verwaarloosbaar en ontstaat een relatief gecontroleerde (d.w.z. relatief trage) brand. Bij een afstand van meer dan 200 mm mag worden aangenomen dat een PV-paneel geen noemenswaardige bijdrage levert aan de branduitbreidingssnelheid ten opzichte van een dak zonder PV-panelen.

NB Voor de constructieve aspecten zoals wind- en sneeuwbelasting wordt verwezen naar hoofdstuk 5.

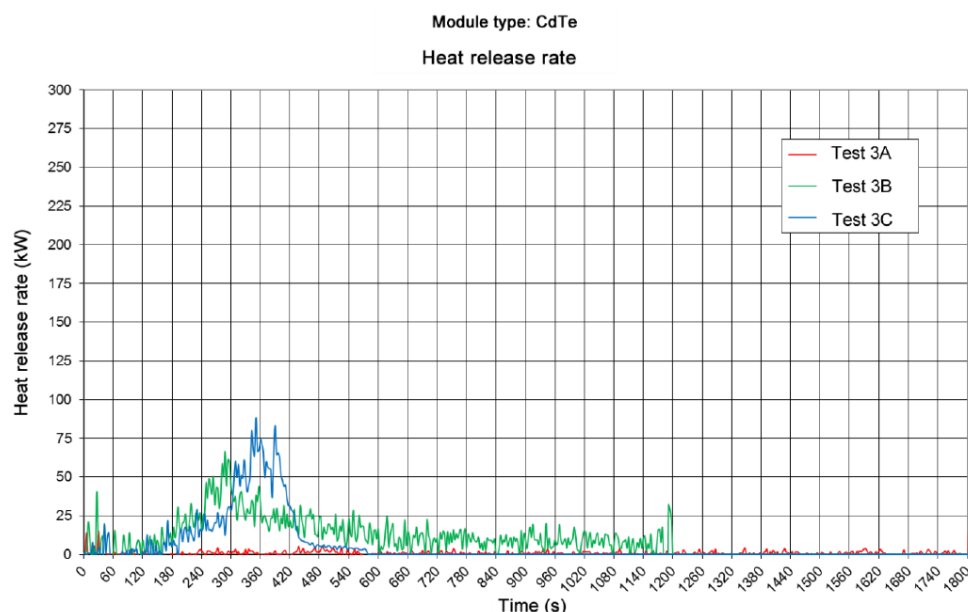
6.2.2 Materiaal bodemplaat

Naast de afstand tussen een PV-paneel en het dakvlak, maakt het ook uit welk soort PV-paneel wordt toegepast. Zo zijn er panelen op de markt met een brandbare (kunststof) bodemplaat en met een glazen bodemplaat (zie paragraaf 3.2). Door TÜV Rheinland⁶ is met behulp van diverse partners een vergelijkend onderzoek gedaan naar de brandbaarheid van PV-panelen, waarbij zowel gekeken is naar PV-panelen met brandbare en onbrandbare bodems. Uit het onderzoek komt naar voren dat de bodemplaat bij kleine branden (25 kW = prullenbakbrand) van invloed is. Een glazen bodem zal in dat geval niet deelnemen aan de brand waar een brandbare bodem zorgt voor een bijdrage aan een snelle ongecontroleerde brand. Met andere woorden, bij relatief kleine/kortstondige elektrische vlambogen, zal het PV-paneel met een glazen bodem niet deelnemen aan brand. Indien de ontstekingsbron groter wordt, zal ook een paneel met een glazen bodemplaat deelnemen aan de brand. Dit als gevolg van brandbare rubbers, kitten, e.d. De bijdrage aan brand (warmteafgifte) van een paneel met een glazen bodem blijkt wel een factor 3 à 4 kleiner dan die van een PV-paneel met een brandbare bodem (vergelijk Figuur 3 en Figuur 4). Vanwege de lagere

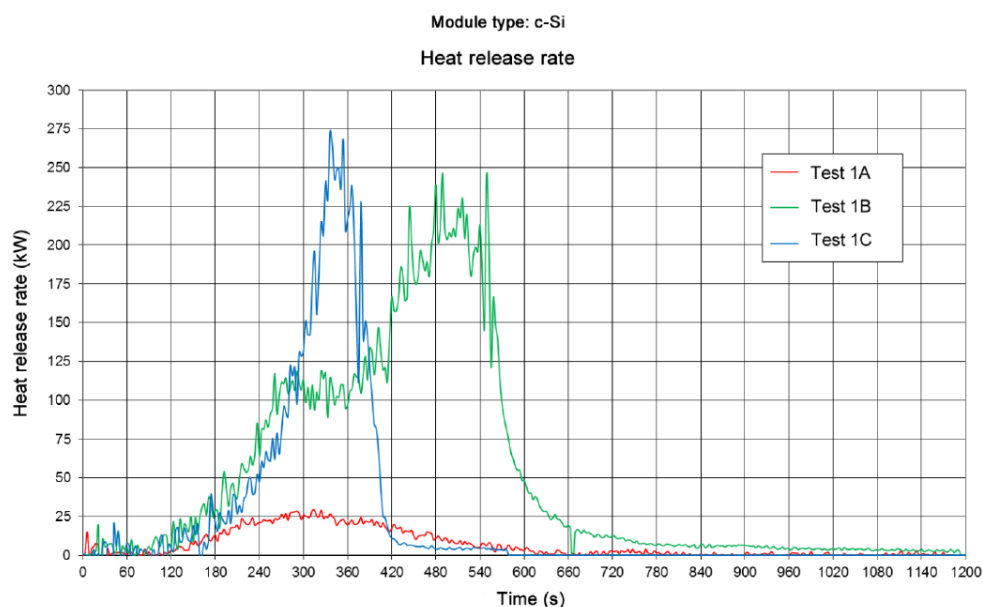
⁵ Flame Propagation Between Flat Roofing and Photovoltaic Installations, Farah Faudzi, 2019

⁶ Assessing Fire Risks in Photovoltaic Systems and Developing Safety Concepts for Risk Minimization, TÜV Rheinland, juni 2018

warmteafgifte bij verbranding van een glazen paneel is een geringere schade aan het bouwwerk te verwachten. In algemene zin geldt dat een PV-paneel van het type glas-folie vatbaarder is voor brand dan een glas-glas paneel.



Figuur 3 - Indicatie heat release rate glas-glas paneel



Figuur 4 - Indicatie heat release rate glas-folie paneel

6.2.3 Milieu

TÜV Rheinland heeft tevens onderzocht of de gassen en deeltjes die vrijkomen bij verbranding gevaarlijk zijn voor de gezondheid. Voor wat betreft roetdeeltjes, CO en CO₂ die vrijkomt bij verbranding presteert een glas-glas paneel beter dan een glas-folie paneel doordat er eenvoudigweg minder materiaal voor handen is dat kan branden. Gebleken is dat de concentratie zware metalen (in het bijzonder lood, cadmium en arsenicum) die vrijkomen relatief gering zijn en dat enkel

brandweerpersoneel zich op adequate wijze hoeft te beschermen tegen deze zware materialen. Wel wijst TÜV in haar onderzoek op de gevaren van vervuilde grond en bluswater met lood en cadmium. Afhankelijk van het type paneel kunnen lood en cadmium in de grond dusdanig hoog zijn dat dit schadelijk is voor de gezondheid. Met name nabij kwetsbare objecten (woningen, speeltuinen) wordt geadviseerd de grond in de omgeving te analyseren na brand in PV-panelen en bij ernstig vervuilde grond deze af te graven. Bluswater blijkt globaal genomen niet dusdanig vervuild dat kritieke waarden worden overschreden. Enkel onder worst-case situaties bij toepassing van CdTe-panelen (Cadmium Telluride) kan het cadmium gehalte in de grond de kritieke drempels overschrijden, bijvoorbeeld doordat alle bluswater aan één zijde het dak verlaat. Een bodemanalyse na de brand op dergelijke kritieke plekken is aan te bevelen.

6.3 Brandveiligheidseisen aan PV-installaties

In de voorgaande paragrafen zijn de brandveiligheidsrisico's, bevindingen en gevolgen van brand in PV-panelen op basis van een literatuurstudie uiteengezet. In deze paragraaf gaan we in op een praktische eisen voor het toepassen van PV-panelen op rijks panden en defensieobjecten.

Hierbij wordt onderscheid gemaakt in drie mogelijke schadeniveaus, te weten:

1. *Schade beperkt tot PV-panelen;*
2. *Schade beperkt tot PV-panelen en dakvlak;*
3. *Schade beperkt tot PV-panelen, dakvlak en ondergelegen brandcompartiment.*

De inschaling van gebouwtypen naar risicocategorieën zoals aangegeven in Tabel 2 geeft een richting welke gevolgschade wordt geaccepteerd. Bij de afweging van een risicocategorie zijn zaken als imagoschade, hersteltijd van schade en bedrijfscontinuïteit van belang. De in Tabel 2 opgenomen risicocategorieën dienen gezien te worden als minimum.

Tabel 2 - Risico-categorieën gebouwtypen o.b.v. schadebeeld

Soort bouwwerk	Risicocategorie ⁷
Monument onder lokaal belang ⁸	3 ⁹
Monument lokaal belang ⁸	2 ⁹
Monument boven lokaal of regionaal belang ⁸	1 ⁹
Monument boven regionaal of nationaal belang ⁸	1 ⁹
Monument boven nationaal belang ⁸	1 ⁹
Kantoor algemeen	3
Kantoor ministerie	1
Kantoor specialty	n.t.b.
Rechtbank	2
Gevangenis	2 ¹⁰
Logiesgebouw	2
Paleis	2
Overige specialty	n.t.b.
Industrie defensie, wel van belang slagkracht	n.t.b. (1)
Industrie defensie, niet van belang slagkracht	n.t.b. (3)
Datacenter	Geen PV-panelen op dak toepassen

Er zijn uiteenlopende oplossingsrichtingen om te voldoen aan de risico categorieën zoals genoemd in Tabel 2. Deze oplossingsrichtingen zijn vastgelegd in BIJLAGE B – Matrix – Toegelaten oplossingsrichtingen.

De matrix geeft uitsluitel over de risicocategorie voor alle mogelijke combinaties van de relevante variabelen. De relevante variabelen zijn:

Paneel soort:
Glas/folie
Glas/glas

⁷ Naast bovenstaande inschaling waarbij uitgegaan wordt van de aanwezigheid van PV-panelen is het bij sommige gebouwen wellicht aan te bevelen om in het kader van brandveiligheid helemaal geen PV-panelen aan te brengen. Dit is een politieke/bestuurlijke afweging waar deze handreiking geen invulling aan geeft.

⁸ Benaming conform Memo Brandveiligheid en Monumenten van de sectie Monumenten en Kunst; Marlotte van den Tol, et al.

⁹ Zoals afgestemd met ECT sectie monumenten en kunst. Hierbij per geval rekening houden met de extra risico's, zoals vermeld in het advies van Royal HaskoningDHV in de paragraaf "Toepassingsgebied".

¹⁰ Zoals afgestemd met DJI FHI. Hierbij per geval rekening houden met de extra risico's, zoals vermeld in het advies van Royal HaskoningDHV in de paragraaf "Toepassingsgebied".

Onbrandbare laag (brandklasse A1):
Aanwezig
Niet aanwezig

Brandklasse isolatie (naakt product) volgens NEN-EN13501-1:
Brandklasse A
Brandklasse B
Brandklasse C of lager

Dakconstructie:
Beton
Hout
Staal

Doorvoeringen door dakconstructie:*
Brandwerend
Niet brandwerend

* V voorkomen moet worden dat bijvoorbeeld brandend plastic zich via dakdoorvoeringen naar binnen kan werken en daar secundaire branden kan stichten.

Met behulp van de matrix uit bijlage B kan worden bepaald hoe kan worden voldaan aan de risicocategorie van een gebouw.

In aanvulling gelden de volgende eisen:

- Om te voorkomen dat PV-panelen op grote dakvlakken oneindig lang aaneengesloten worden, geldt ten behoeve van de bestrijdbaarheid voor de brandweer dat tussen de ondersteuningsconstructies een gangpad van ten minste 1 meter breed moeten worden aangelegd. Hierbij is ervan uitgegaan dat de toegepaste ondersteuningsconstructies een maximale afmeting van 20 meter hebben. Deze looppaden zijn eveneens bestemd voor onderhoud-, inspectie- en/of schoonmaakwerkzaamheden.
- Houdt bij het inrichten van PV-installaties op daken rekening met de voldoende snelle bereikbaarheid voor de brandweer. De interventie van de brandweer moet plaats kunnen vinden binnen de tijd die beschikbaar is volgens de betreffende risicocategorie. Afstemming en akkoord van de lokale (bedrijfs)brandweer en/of veiligheidsregio is hiertoe noodzakelijk.
- Wanneer branddoorslag naar het ondergelegen brand compartiment geaccepteerd wordt (risicoklasse 3), is het niet toegestaan dat zonnepanelen over compartimenteringswanden heen geplaatst worden. Branddoorslag en

brandoverslag kunnen worden voorkomen door het naleven van afstandscriteria. Er wordt tenslotte in maximaal één brandcompartiment schade geaccepteerd.

- Een brand die vanaf het dak naar beneden doorslaat kan door een sprinklerinstallatie niet meer gecontroleerd worden. Daarom is risicocategorie 3 niet toegestaan, indien een sprinklerinstallatie aanwezig is.

7 Elektrische veiligheid

7.1 Achtergronden en toelichting

In eerder vermelde brandonderzoeken (TNO/TÜV Rheinland) naar een brand bij of met PV-panelen is de oorzaak (zowel direct als indirect) grotendeels te herleiden tot dezelfde ontstekingsbron, namelijk elektriciteit:

- In directe zin door slechte elektrische (stekker) verbindingen of door falende panelen (zoals microcracks) en soms door/bij omvormers.
- In indirecte zin kan het opgewekt elektrisch vermogen tot oververhitting in panelen/omvormers leiden als gevolg van slechte koeling.

7.2 Elektrische veiligheidseisen aan PV-installaties

De elektrotechnische veiligheidseisen zijn opgesteld voor PV-installaties op rijksdaken. Deze eisen zijn vastgelegd in de bijgaande BIJLAGE A – Uitvoeringseisen elektrische PV-installatie.

Daarbij wordt er vanuit gegaan dat een nooduit-systeem altijd toegepast dient te worden, tenzij in geval van gebouwen met een gevolgschadeniveaus '2' óf '3' (brandveiligheidseis) aantoonbaar gemaakt kan worden dat hiervan afgeweken kan worden middels een RI&E. Een expert/adviseur V&G beoordeelt deze RI&E en wordt daarbij ondersteund door een expert/adviseur Elektrotechniek. Dit betekent dat op basis van specifieke situaties, configuraties en/of uitzonderingen zoals in punt A6.40, het mogelijk achterwege laten van een nooduit-systeem te rechtvaardigen is en daarmee nog steeds voldoet aan ARBO-regelgeving.

8 Bouwkunde

Bij de hoofdcomponenten is het dakvlak, met het bredere gebruik ervan, toegelicht. Aangezien de levensduur van de bouwkundige dakafwerking relatief lang is, werken keuzes en bijbehorende (on)mogelijkheden lang door voor het gebruik van het dakvlak.

Binnen dit hoofdstuk worden de nadere bouwkundige randvoorwaarden aangegeven die aan een dakvlak worden gesteld om de randvoorwaarde van een wind- en waterdicht (of waterkerend) dakvlak te borgen bij het toevoegen van een PV-installatie op het dakvlak.

8.1 Invulling bouwkundige randvoorwaarden

Bij het plaatsen van PV-panelen op een bestaand dak wordt extra gebruiksbelasting toegevoegd. Hier is met het ontwerp van het dak meestal geen rekening gehouden, waardoor deze wijziging tot problemen kan leiden.

Het grootste bouwkundige risico wat er kan optreden is dat er lekkage aan het dak optreedt. Een lekkage in het gebouw is meestal het eerste signaal dat het dak niet voldoet aan datgene waarvoor het ontworpen is. Het achterhalen van een schadeplek op het dak is vaak al lastig, omdat het vocht/water eerst via de isolatielaag gaat. Om de lekkage op adequate wijze te verhelpen zit men eigenlijk, deels, op 'slopershoogte'. Door toevoegen van extra functies aan het dak door bijvoorbeeld de plaatsing PV-panelen daarop wordt de impact in m.n. (herstel)kosten van een mogelijke lekkage of andere gebreken alleen maar groter. Het belang van een goede dakbedekkingsconstructie is daarmee dus nog belangrijker geworden. Om mogelijke problemen hiermee voortijdig inzichtelijk te krijgen dient de dakbedekkingsconstructie beoordeeld te worden. Dit aan de hand van:

- Wat is er nu aanwezig?
- Welke kwaliteiten kunnen daaraan worden toegekend?
- Wat is de verwachte resterende levensduur?

8.1.1 Opname aanwezige elementen in de dakbedekkingsconstructie

Om deze beoordeling uniform uit te voeren is door het RVB een productinformatie blad PIB 33.00.60.01 opnamelijst dakbedekking opgesteld. Hierbij zijn voor de bouwkundige beoordeling de volgende aspecten uit het PIB van belang:

- Dampremmende laag;
- Isolatie;
- Toplaag/ dakbedekking;
- Afwerking.

Op basis van deze opname kan de begaanbaarheid van het dakvlak en algehele kwaliteit van de dakbedekkingsconstructie in algemene zin worden vastgesteld. Uiteraard kan het zo zijn dat deze gegevens reeds uit eerdere opnames voorhanden zijn in het gebouwdossier.

8.1.2 Bepaling restlevensduur aanwezige toplaag/dakbedekking

De resterende levensduur van de toplaag/ dakbedekking is van belang om vast te stellen voordat PV-panelen worden geplaatst. Dit is vooral om te voorkomen dat er een desinvestering gedaan wordt door PV-panelen te plaatsen op een dak dat over een paar jaar zijn einde levensduur bereikt. Om dit te bepalen dient de onderhoudsstaat te worden vastgesteld/achterhaald. Dit dient te gebeuren aan de hand van een inventarisatie van gebreken op basis waarvan de conditie van de toplaag/ dakbedekking wordt/is vastgesteld en/of informatie vanuit het uitgevoerde (periodiek) onderhoud. Hiermee wordt een veroudering bepaald/vastgesteld die resulteert in een verwachte resterende levensduur.

8.1.3 Criteria vervanging dakbedekkingsconstructie in relatie tot plaatsing PV-panelen

Wanneer eenmaal bekend is wat de resterende levensduur is van de toplaag/ dakbedekking volgt een afweging voor een integrale aanpak voor plaatsing van PV-panelen in samenhang met het uit te voeren (vervangings)onderhoud. Hiervoor hanteren we de navolgende criteria:

Tabel 3- Bouwkundige fasering PV-installaties op daken

Restlevensduur	Actie
Tussen 0 en 5 jaar	Uitvoeren (vervangings)onderhoud conform planning en gelijktijdig plaatsen PV-panelen
Tussen 6 en 9 jaar	(Vervangings)onderhoud naar voren halen en op dat moment tevens plaatsen PV-panelen.
Tussen 10 en 20 jaar	Dak komt (nog) niet in aanmerking voor PV-panelen.
20 jaar en verder	Dit betekent dat het dak recentelijk onderhoud heeft gehad. Na controle geschiktheid dakbedekkingsconstructie plaatsen PV-panelen op zo kort mogelijke termijn.

Met het bovenstaande schema wordt ervan uitgegaan dat een beperkte desinvestering op de dakbedekkingsconstructie door een vroegtijdige vervanging van 3-4 jaar acceptabel is. Dit geldt zeker wanneer ook extra duurzaamheidsmaatregelen genomen kunnen worden als extra isoleren.

De relatie met de planning van de uitvoering van de verschillende aspectprogramma's (asbest, brandveiligheid, VWOH) moet in bovenstaande fasering onderzocht- en geïntegreerd worden. Dit geldt met name voor afstemming van hetgeen op de daken dient te gebeuren.

8.2 Bouwkundige eisen aan PV-installaties

De volgende eisen zijn randvoorwaardelijk vanuit bouwkunde geformuleerd:

- Dakbedekkingsconstructie

De begaanbaarheidsklasse van de dakisolatie bij platte daken dient te zijn

afgestemd op de type toplaag/ dakbedekking. Hierbij geldt minimaal Klasse C volgens BRL1309, afhankelijk van de type toplaag/ dakbedekking.

- Het moment van plaatsing van de PV-panelen dient afgestemd te worden op de resterende levensduur van de toplaag/ dakbedekking conform de daarvoor opgenomen criteria.

8.3 Aandachtspunten expliciet voor schuine daken

Schuine daken bestaan al veel langer dan platte daken, waarbij de afwerkingen zeer gevarieerd zijn: pannen, zink, koper enz. Bouwkundige risico's bij hellende daken zijn redelijk specifiek, afhankelijk van de soort afwerking. Onderstaand een aantal extra aandachtspunten aanvullend op eisen die gelden voor platte daken;

- Vuilsporen op een metalen dak door de afwatering vanaf zonnepanelen.
- Een aantal metalen gaat niet goed met elkaar samen; deze reageren op elkaar (contactcorrosie).
- Kans op schade/deuken door het belopen van metalen daken.
- Een aandachtspunt zijn asbesthoudende materialen die nog verwerkt zitten in de hellende dakbedekkingsconstructies. De in dat geval te treffen maatregelen dienen te worden afgestemd met het programma asbest.
- Voor de constructieve aspecten wordt verwezen naar hoofdstuk 5. Indien PV-systemen op schuine daken door en door aan de achterliggende constructie moeten worden gekoppeld moet er aandacht zijn voor het voorkomen van koudebruggen.

9 Bouwfysica

Voor wat betreft het aspect 'bouwfysica' kunnen PV-panelen slechts op twee manieren op een dakvlak worden aangebracht, namelijk:

- Op een constructie die door middel van ballasten op het dak wordt gehouden;
- Op een constructie die mechanisch wordt bevestigd met bevestigingsmiddelen aan de onderliggende dakconstructie.

Bij de eerste optie (ballasten) zijn er bouwfysisch gezien geen aandachtspunten voor het gebouw.

Bij het door-en-door bevestigen aan de onderliggende dakconstructie zijn wel een aantal bouwfysische risico's te benoemen, namelijk:

- *Invloed op de warmteweerstand van de dakbedekkingsconstructie*

Het bevestigen van de draagconstructie van de PV-panelen met bouten door het dak en de isolatielaag heeft invloed op de warmteweerstand van de dakconstructie. De invloed op de warmteweerstand is zowel afhankelijk van de dakopbouw als het aantal bevestigingselementen die erdoorheen gaan. Bij het aanbrengen van nieuwe dakisolatie, voordat de zonnepanelen worden geplaatst, moet hier rekening mee gehouden worden.

- *Waterdichtheid van de dakbedekkingsconstructie*

Iedere doorbreking van de waterkerende laag levert een bijdrage aan het risico op lekkage. Dak-doorbrekingen moeten zorgvuldig en op de juiste wijze afgedicht te worden.

- *Inwendige condensatie door koudebrug*

Wanneer bouten door een isolatielaag heen prikken en door de dakconstructie worden bevestigd zorgt dat voor een potentiële koudebrug, met potentieel oppervlaktecondensatie in de winterperiode op de bout aan de binnenzijde. Bij verankering in bijvoorbeeld een betonnen dak is dat geen probleem aangezien de bout niet door de constructie heen gaat. Voor metalen en houten daken waar de bevestiging door het totale dakpakket heen steekt is dit anders. De grootte van dit condensatie-risico is afhankelijk van de dakopbouw en de vochtproductie en binnentemperatuur behorende bij de gebruiksfunctie van de ruimte onder het dak met de bevestiging.

9.1 Eisen bouwfysica

Voor die situaties waarbij er wel een verankering aan de onderconstructie plaatsvindt en daarmee de thermische schil wordt doorbroken op meerdere punten dient het verankeringsplan de goedkeuring van een bouwfysicus vanuit het RVB.

Vanuit bouwfysica zijn er geen eisen als de PV-panelen (geballast) op het dak worden geplaatst zonder verankering aan de onderconstructie waarmee de thermische schil in stand blijft op doorvoering van bekabeling na.

BIJLAGE A – Uitvoeringseisen elektrische PV-installatie

Afkortingen en definities:

AC	Alternate Current. Dit staat voor wisselstroom, meestal wordt hierbij de netspanning bedoeld.
DC	Direct Current. Dit staat voor gelijkstroom.
EBI	Eerste of bijzondere inspectie.
IP	Ingress protection; Dit geeft een mate van bescherming aan.
kWh	Een kilowatt uur.
LPS	Bliksembeveiligingsinstallatie.
MC4	Multi-Contact connector van 4 mm, enkelpolige connector voor PV-installaties ontworpen door Stäubli.
MPPT	Maximum Power Point Tracking. Dit is een techniek die steeds het beste rendement van het PV-paneel op zoekt bij de op dat moment betreffende zoninstraling.
NSA	Noodstroom aggregaat.
PV	Photo Voltaic. Dit staat voor licht en spanning, en is de technische benaming voor een zonnepaneel.
RVB	Rijksvastgoedbedrijf
SPD	Overspanningsbeveiliging.
(DC/PV-) String	Een string is een elektrisch dc-circuit waarin tenminste twee PV-panelen via een omvormer/optimizer in serie met elkaar gekoppeld zijn.
Transiënt	Betekend letterlijk tijdelijke aard. Een spanningsverhoging van tijdelijke aard zoals bij een blikseminslag op of nabij het object.
UV	Ultraviolet, Ultraviolette straling (niet zichtbaar licht wat bij zonlicht voorkomt).

A.1 Eisen panelen

- Glas-glas panelen dienen (conform de betreffende datasheet van het paneel) tenminste aan de volgende eisen te voldoen. PV-panelen:
 - zijn gekwalificeerd volgens de normen: IEC 61215¹¹ | IEC 61730¹² | IEC 61701¹³ | IEC 62804¹⁴, IEC 62716¹⁵ en;
 - hebben een beschermingsklasse van tenminste IP67, en;
 - dienen een standaard productgarantie van ≥ 10 jaar¹⁶, af fabriek te hebben, en;
 - dienen een standaard vermogens garantie van 80% na 20 jaar te hebben, en,

¹¹ Norm: Fotovoltaïsche (PV) modules ... Ontwerpclassificatie en typegoedkeuring.

¹² Norm: Veiligheidskwalificatie van fotovoltaïsche (PV) modules.

¹³ Norm: Zoutnevel-corrosieproef van fotovoltaïsche (PV) modules.

¹⁴ Norm: Fotovoltaïsche (PV) modules – Testmethoden voor detectie van maximaal-geïnduceerde afbraak.

¹⁵ Norm: Fotovoltaïsche (PV) modules – Corrosieproef met ammoniak.

¹⁶ Op basis van duurzaamheidsambities kunnen hogere productgaranties en mogelijk vermogensgaranties worden gevraagd in een aanbestedingstraject. E.e.a. ter beoordeling aan de bij het project betrokken expert duurzaamheid.

- zijn zowel zoutnevelbestendig als ammoniakbestendig.
2. Glas-folie panelen, dienen (conform de betreffende datasheet van het paneel) tenminste aan de volgende eisen te voldoen. PV-panelen:
 - zijn gekwalificeerd volgens de normen: IEC 61215 | IEC 61730 | IEC 61701 | IEC 62804, IEC 62716 en;
 - hebben een beschermingsklasse van tenminste IP67, en;
 - dienen een standaard productgarantie van ≥ 10 jaar¹⁶, af fabriek te hebben, en;
 - dienen een standaard vermogens garantie van 80% na 20 jaar te hebben, en,
 - zijn zowel zoutnevelbestendig als ammoniakbestendig.
 3. De fabrikant product en vermogen garantie dient overdraagbaar zijn te zijn, en voor/bij oplevering overgedragen te worden aan het Rijksvastgoedbedrijf(RVB).
 4. De Inschrijver levert panelen aan met één standaardafmeting per paneelsoort en type per locatie.
 5. De inschrijver levert panelen met een vermogen van minimaal 340 Wp voor 60-cells zonnepanelen (of 120 cells uitvoering in het geval van half-cell technologie).
Deze waarden kunnen jaarlijks op basis van de marktstandaard (net er boven gaan zitten) worden verhoogd¹⁶.

A.2 Eisen omvormers

Van navolgend beschreven apparatuur dienen de gestelde eisen uit de betreffende datasheet en/of handleiding te herleiden zijn.

6. Omvormers en (power-)optimizers dienen een productgarantie van tenminste 10 jaar¹⁶, af fabriek te hebben. Micro-omvormers dienen een productgarantie van tenminste 10 jaar¹⁶, af fabriek te hebben; De fabrikant product garantie dient overdraagbaar zijn te zijn, en voor/bij oplevering overgedragen te worden aan het Rijksvastgoedbedrijf.
7. Omvormers dienen een beschermingsklasse van tenminste IP65 te hebben, en micro-omvormers als (power) optimizers dienen een beschermingsklasse van tenminste IP67 te hebben.
8. PV-string omvormers dienen buiten onder een afdak aan de kopse zijde (oost/west of noord/zuid opstelling) of nabij de PV-panelen onder een afdak geplaatst te worden opdat deze goede bereikbaar zijn en niet bloot staan aan weersomstandigheden, waarbij het afdak en de achtergrond onbrandbaar dienen te zijn.
9. PV-string omvormers dienen op een toegankelijke plaats gemonteerd te worden zodat deze veilig, zonder extra gereedschap en/of veiligheidsmaatregelen bereikbaar zijn voor onderhoud en/of inspectie.

10. PV-micro omvormers/(power-)optimizers, dienen aan de onderzijde van het PV-paneel (of onder één per twee/vier bij dubbele/ Quattro input) gemonteerd te worden.
11. Alleen PV-omvormers en Micro-omvormers die van DC naar AC omvormen mogen toegepast worden.
12. In elke DC-string (zie definitie) wordt vlamboogdetectie toegepast en deze is geactiveerd. Een vlamboogdetector schakelt na detectie de betreffende string direct naar een veilige toestand (zie nooduit circuit). Een afgeschakelde string kan uitsluitend handmatig gereset worden alvorens weer in bedrijf te kunnen komen. Indien slechts één PV-paneel is aangesloten op één ingang van een micro omvormer/(power-)optimizer dan mag vlamboogdetectie in dit circuit achterwege blijven.
13. Elke string dient te beschikken over een onafhankelijke MPPT (Maximum Power Point Tracking) of per paneel een eigen (power-) optimizer en/of micro omvormer.
14. Elke PV-string (zie definitie) dient veilig afgeschakeld en gescheiden te kunnen worden door een externe DC-lastscheider¹⁷ welke binnen handbereik van de omvormer is geplaatst.
15. Elke PV-omvormer dient veilig afgeschakeld en gescheiden te kunnen worden door een externe AC-lastscheider¹⁷ welke binnen handbereik van de omvormer is geplaatst. Elke voedende kabel die naar een set Micro- omvormers gaat dient veilig afgeschakeld en gescheiden te kunnen worden door een externe AC-lastscheider¹⁷ welke binnen handbereik van de eerste omvormer is geplaatst.
16. De omvormer heeft een efficiency van minimaal 98%.

A.3 Eisen elektra bekabeling en montage

17. DC kabels naar componenten worden niet in lussen gelegd, plus en min liggen altijd bij elkaar in hetzelfde kabeltracé (Dit ter voorkomen van EMC interferentie, zie advies Agentschap Telecom^{19F 18}). Eveneens dient voldoende afstand tussen plus en min bekabeling te worden aangebracht ter voorkoming van parallelle vlambogen. Plaats daarom de plus en de min bekabeling in gescheiden kabelgoten. Houd ten minste 10 cm afstand of breng een tussenschot aan tussen de plus en min bekabeling.

¹⁷ Een lastscheider moet per definitie in staat zijn de nominale stroom in het desbetreffende circuit veilig te onderbreken. De norm voor een lastscheider (NEN-EN-IEC 60947-3 voor industriële toepassingen en NEN-EN-IEC 60669-2-4 voor huishoudelijk en soortgelijk gebruik) schrijft voor dat er sprake moet zijn van een mechanische scheiding. Een elektronische (last)scheider of schakelaar in de omvormer voldoet dus niet als lastscheider aan DC-zijde.

¹⁸ <https://www.agentschaptelecom.nl/onderwerpen/tips/voorkom-storingen-door-zonnepanelen>.

18. Elektra kabels, stekkers en overige elektrische componenten hebben een beschermingsklasse van tenminste IP67, zijn UV bestendig en kabels worden (qua isolatie) dubbel geïsoleerd uitgevoerd. Voor kabels welke in de grond gelegd worden gelden de reguliere eisen uit de NEN1010.
19. DC bekabeling is voldoende (max. 30 cm) ondersteund en gemonteerd aan/in kabeldraagconstructies vrij van scherpe randen/voorwerpen aangelegd en vastgezet.
20. DC kabels mogen niet meer dan 30 cm vrije ruimte overspannen.
21. Kabel doorvoeren en kabelwegen zijn vrij van scherpe randen. Voor kabelwegen mogen alleen draadgoten van tenminste 150 mm breed toegepast worden. Kabelwegen bevinden zich tenminste 8 cm boven de dakbedekking.
22. Voer de kabels op een veilige wijze door het dak, houd hiermee vooral rekening met afscherming naar brandbaar (isolatie)materiaal en scherpe dakdelen en/of randen.
23. Elektra kabels dienen zo aangelegd te zijn dat zij nergens in (een plas) water kunnen komen te liggen.
24. Kabelbinders (zoals Uv-bestendige Tie-wrap) mogen de isolatie van DC kabels niet vervormen.
25. Kabels dienen zoveel mogelijk op kabelwegen gemonteerd te worden. Op kabelwegen dienen kabels met voldoende overlengte aangelegd te worden zodat temperatuur wijzigingen niet kunnen leiden tot (te) strakke kabels.
26. Kabels, wartels, connectoren, bouten/schroeven en overige componenten zijn, vakbekwaam en volgens voorschriften fabrikant, bevestigd, vastgezet en en op het juiste door fabrikant voorgeschreven manier gemonteerd en op moment aangedraaid. (Ook onder de panelen).
27. Voor alle AC-kabels geldt: Elke stroomketen moet een beschermingsleiding hebben die met de relevante aardklem is verbonden. (NEN1010:2015 art. 411.3.1.1) of het gehele systeem is voorzien van dubbel isolatie³ of versterkte isolatie (rubriek 412). (Let op: niet alle aangeboden systemen voldoen hieraan.)
28. Alle bovengrondse AC- en DC-kabels dienen tenminste in brandklasse Cca-s1,d1,a1 te zijn uitgevoerd.

A.4 Eisen connectoren

29. Connectoren hebben (afgemonteerd) een beschermingsklasse van tenminste IP67, zijn UV bestendig en vergrendelbaar en zijn na montage daadwerkelijk vergrendeld.

30. Alleen stekker/contrastekker verbindingen van hetzelfde fabricaat/type mogen in het DC deel toegepast worden^{20F19} (lees: geen cross matching). Dit geldt voor zowel kabels tussen: PV-panelen; string kabels; schakelaars; zekeringhouders; (micro) omvormers als naar optimizers.
31. Een combinatie is toegestaan wanneer van de specifieke combinatie van stekker en contrastekker is aangetoond dat deze:
 - voldoet aan NEN EN IEC 62852 middels tests en;
 - door een notified body vastgesteld is dat de materialen en de verbindingen dezelfde eigenschappen hebben.
32. Connectoren dienen met het door de fabrikant voorgeschreven gereedschap (zoals voor krimpen, strippen, op moment aandraaien, ontgrendelen etc) gemonteerd en/of gedemonteerd te worden.

A.5 Eisen bliksembeveiliging en aarding

33. Wanneer een PV-installatie wordt geïnstalleerd op een dak, dient een risicobeoordeling volgens IEC 62305-2 te worden uitgevoerd. Het ontwerp van de bliksembeveiliging, overspanningsbeveiliging en het legplan van de PV-installatie dient op elkaar te worden afgestemd. Hierbij dient rekening te worden gehouden met directe en indirecte blikseminslag, aarding, overspanningsbeveiliging en schaduwwerking van nabij gelegen objecten. De maatregelen die volgen uit deze risicobeoordeling en afstemming behoren tot de omvang van het werk. Hieronder wordt onder andere verstaan: (Her-)ontwerpen, (laten) toetsen, plaatsen, uitbreiden en/of aanpassingen aan de opstelling van de PV-installaties, de bliksembeveiligingsinstallatie en overspanningsbeveiligingen volgens de geldende normen.
34. Alle metalen delen (zoals draagconstructies en goten) dienen verbonden te worden met een veiligheidsaarding (beschermende vereffening sleiding) en de relevante aardklem (hoofdaardrail/-klem). De relevante aardklem is een SAR (sub-aardrail) geplaatst bij de omvormer. De SAR is rechtstreeks verbonden met de HAR (hoofd-aardrail). De veiligheidsaarding is ten minste uitgevoerd in vertind koper van ten minste 6 mm².
35. Indien er op een bouwwerk géén bliksembeveiligingsinstallatie(LPS) aanwezig is dan dient elke AC kabel van/naar de PV-installatie voorzien te worden van een (transiënte) overspanningsbeveiliging(SPD) tenminste type II SPD (volgens NEN-EN-IEC 62305). Deze SPD dient bij de overgang van buiten naar binnen in pandig geplaatst te worden.

¹⁹ Het afknippen van bestaande stekkers kan een oplossing zijn, het argument "vervallen van garantie" is een niet valide argument om het te laten.

36. Indien er op een bouwwerk (te beschermen object) een bliksembeveiligingsinstallatie (LPS) is aangebracht en de afstand tussen de LPS en de PV constructie/paneel is groter dan 50 cm, dan dient elke AC-kabel van/naar de PV installatie voorzien te worden van een (transiënte) overspanningsbeveiliging (SPD) tenminste type II SPD (volgens NEN-EN-IEC 62305). Deze SPD(s) dient(en) bij de overgang van buiten naar binnen in pandig geplaatst te worden.
37. Indien er op een bouwwerk (te beschermen object) een bliksembeveiligingsinstallatie (LPS) is aangebracht en de afstand tot de LPS en de PV constructie/paneel is minder dan of gelijk aan 50 cm, dan dient elke AC-kabel van/naar de PV installatie voorzien te worden van een (transiënte) overspanningsbeveiliging (SPD) tenminste type I+II SPD (volgens NEN-EN-IEC 62305). Deze SPD(s) dient(en) bij de overgang van buiten naar binnen in pandig geplaatst te worden. Een DC-string dient voorzien te zijn van een DC type I+II overspanningsbeveiliging. Vanwege de resulterende mogelijke bliksemstroombelasting dienen alle potentiaalvereffeningsleidingen in dat geval minimaal 16mm² te zijn.

A.6 Eisen nooduit-systeem / Brandweerschakelaar

38. Leken en/of hulpverleners dienen een PV-installatie veilig te kunnen stellen bij onmiddellijk gevaar, conform Arbeidsomstandighedenwet artikel 3 lid f. Bij de navolgende PV-installaties dient daarom een nooduit-systeem volgens vermelde eisen aangebracht te worden.
39. Een nooduit-systeem dient altijd toegepast te worden, tenzij in geval van gebouwen met een gevolgschadeniveaus '2' óf '3' (brandveiligheidseis), bij woningen, of bij gebouwen met schuine daken aantoonbaar is dat hiervan afgeweken kan worden middels een RI&E. Een expert/adviseur V&G beoordeelt deze RI&E en wordt daarbij ondersteund door een expert/adviseur Elektrotechniek. Dit betekent dat op basis van specifieke situaties, configuraties en/of uitzonderingen het mogelijk achterwege laten van een nooduit-systeem te rechtvaardigen is, om te kunnen voldoen aan de ARBO-regelgeving.
40. Middels op afstand geplaatste nooduit knoppen dient de gehele installatie dubbelpolig, zowel AC-zijdig, DC-zijdig evenals elke DC string (zie definitie) naar een brand- en aanrakingsveilige (<50V bij AC, <120V bij DC) toestand gebracht te worden. Deze nooduit knoppen dienen binnen zichtbaar en bereikbaar geplaatst te worden nabij de (hoofd) ingang van elk gebouw evenals bij alle toegangen tot het dak(vlak) of nabij stallingsplaatsen waar zich PV-installaties bevinden. Een nooduitknop is uitgevoerd in de kleur rood, heeft een draaiontgrendeling en is voorzien van duidelijk herkenbaar gemarkeerd (zie figuur 712.1 van de NEN1010) dat het om PV-panelen gaat. In de directe nabijheid van de nooduitknop bij de (hoofd)ingang dienen twee signaal(led)lampen geplaatst te worden waarbij de witte LED's aangeven dat de PV-installatie in bedrijf is en rood knipperende LED's aangeven dat het nooduit-circuit geactiveerd is.

41. Mogelijke systeem uitvoeringen om de aanrakingsveilige toestand te bereiken:
- Het AC circuit als het DC circuit afschakelen waarbij de DC spanning lokaal, direct achter het PV paneel afgeschakeld wordt dmv een remote DC switch via een stuursignaal vanuit het nooduit systeem.
 - Het toepassen van een omvormer system (zoals een omvormer combinatie met poweroptimizers) welke een ingebouwde, automatische en (software) geactiveerde afschakeling bevat waardoor de DC zijde automatisch mee schakelt naar het gestelde veilige spanningsniveau. Hier volstaat met het afschakelen van enkel het AC deel
 - Het toepassen van een omvormer systeem (zoals een micro omvormer) waarbij de DC spanning achter een PV paneel nooit boven de spanningslimiet uitkomt. Hier volstaat met het afschakelen van enkel het AC deel.
42. Bij een bouwwerk kan een brandweerschakelaar buiten aan de gevel nabij de ingang op de begane grond gewenst zijn. (De objectmanager van het RVB bepaalt dit in overleg met gebruiker en/of bedrijfsbrandweer).

A.7 Noodstroomaggregaat

43. Indien een PV-installatie op een installatie met een noodstroomaggregaat(NSA) aangesloten wordt, dient de gehele PV-installatie automatisch afgeschakeld/afgekoppeld te worden zodra een NSA start. (Een PV-installatie mag nooit invoeden/actief zijn tijdens NSA bedrijf). Indien een nooduit-systeem aanwezig is dient deze NSA schakeling geïntegreerd te worden met het nooduit-systeem.

A.8 Eisen opbrengstregistratie

44. Ten behoeve van de monitoring en controle van de correcte werking van de systemen moet een uitgebreid en automatisch systeem geïnstalleerd worden waarmee via internet de opbrengst per omvormer en de totale opbrengst van het systeem gemeten en gevolgd kan worden. Hierdoor kunnen kleine storingen en productieverminderingen in het PV systeem onmiddellijk gedetecteerd worden. Internettoegang geldt niet op een bouwwerk van defensie.
45. De werkelijke opbrengst wordt gemeten met bruto productiemeters. Deze dienen MID (of gelijkwaardig) gecertificeerd te zijn.
46. De inschrijver dient de metingen te verzorgen en op te nemen in de aanbidding.

A.9 Inspectie

47. Voor elk op te leveren PV-installatie is een EBI keuring verplicht conform SCIOS Scope 12 "Inspecties van Zonnestroominstallaties". Het SCIOS Scope 12 rapport, zonder restpunten en met positieve conclusie, is onderdeel van de opleverdocumenten.

A.10 Ontwerp eisen

- a. Bij opstelling van een PV-installatie op een gebouw moet - vanwege toegankelijkheid, onderhoudbaarheid, mogelijkheid tot inspectie evenals reiniging - rekening worden gehouden met de eisen die volgen uit het aspectprogramma Veilig Werken op Hoogte, zoals beschreven in hoofdstuk 3.
- b. Voor aan te leggen PV-installaties worden de eisen uit de NEN1010 en de NPR5310 gehanteerd welke geldt voor Nieuwbouw. (Lees: De laatst geldende versie van de NEN1010 dient toegepast te worden, oudere versies bevatten namelijk geen eisen).
- c. Eventueel benodigde aanpassingen aan de hoofdverdeelinrichting en de wijze van aansluiting op de hoofdverdeelinrichting worden per project afgestemd tussen het RvB en de opdrachtnemer.
- d. Een PV-installatie is bereikbaar, onderhoudbaar en toegankelijk.
- e. Een PV-installatie mag overige installaties op het dak niet belemmeren, deze blijven voldoende vrij, bereikbaar, bruikbaar, onderhoudbaar en toegankelijk.
- f. De PV-installatie is afgestemd op mogelijke schaduwwerkingen. Puntbelasting door schaduwwerking dient zoveel mogelijk vermeden of anders geminimaliseerd te worden. (Denk aan gebouwdelen, ornamenten, op-/uitbouw, bliksembeveiliging, schoorstenen, etc).
- g. PV panelen dienen zo opgesteld te worden dat de warmteafvoer van onder de PV-panelen als van de (micro) omvormers/optimizers ruim voldoende geborgd is. Dit moet in het ontwerp worden aangetoond.

BIJLAGE B – Matrix – Toegelaten oplossingsrichtingen

Er zijn uiteenlopende oplossingsrichtingen om te voldoen aan de geaccepteerde schadeniveaus (risicoklasse) zoals genoemd in Tabel 2. Deze oplossingsrichtingen zijn vastgelegd in onderstaande matrix.

Variant nr.	Paneel soort	Onbrandbare laag (brandklasse A1)	Brandklasse isolatie (naakt product) volgens NEN-EN13501-1	Dakconstructie	Doorvoeringen door dakconstructie	Toepasbaar in risicoklasse...
1	glas/glas	Ja	Brandklasse A	Staal	Brandwerend	1
2	glas/glas	Ja	Brandklasse A	Staal	Niet-brandwerend	1
3	glas/glas	Ja	Brandklasse A	Hout	Brandwerend	1
4	glas/glas	Ja	Brandklasse A	Hout	Niet-brandwerend	1
5	glas/glas	Ja	Brandklasse A	Beton	Brandwerend	1
6	glas/glas	Ja	Brandklasse A	Beton	Niet-brandwerend	1
7	glas/glas	Ja	Brandklasse B	Staal	Brandwerend	1
8	glas/glas	Ja	Brandklasse B	Staal	Niet-brandwerend	3
9	glas/glas	Ja	Brandklasse B	Hout	Brandwerend	1
10	glas/glas	Ja	Brandklasse B	Hout	Niet-brandwerend	3
11	glas/glas	Ja	Brandklasse B	Beton	Brandwerend	1
12	glas/glas	Ja	Brandklasse B	Beton	Niet-brandwerend	3
13	glas/glas	Ja	Brandklasse C of lager	Staal	Brandwerend	2
14	glas/glas	Ja	Brandklasse C of lager	Staal	Niet-brandwerend	3
15	glas/glas	Ja	Brandklasse C of lager	Hout	Brandwerend	2
16	glas/glas	Ja	Brandklasse C of lager	Hout	Niet-brandwerend	3
17	glas/glas	Ja	Brandklasse C of lager	Beton	Brandwerend	2
18	glas/glas	Ja	Brandklasse C of lager	Beton	Niet-brandwerend	3
19	glas/glas	Niet aanwezig	Brandklasse A	Staal	Brandwerend	2
20	glas/glas	Niet aanwezig	Brandklasse A	Staal	Niet-brandwerend	2
21	glas/glas	Niet aanwezig	Brandklasse A	Hout	Brandwerend	2
22	glas/glas	Niet aanwezig	Brandklasse A	Hout	Niet-brandwerend	2
23	glas/glas	Niet aanwezig	Brandklasse A	Beton	Brandwerend	2
24	glas/glas	Niet aanwezig	Brandklasse A	Beton	Niet-brandwerend	2
25	glas/glas	Niet aanwezig	Brandklasse B	Staal	Brandwerend	3
26	glas/glas	Niet aanwezig	Brandklasse B	Staal	Niet-brandwerend	N.T.
27	glas/glas	Niet aanwezig	Brandklasse B	Hout	Brandwerend	3
28	glas/glas	Niet aanwezig	Brandklasse B	Hout	Niet-brandwerend	N.T.
29	glas/glas	Niet aanwezig	Brandklasse B	Beton	Brandwerend	2
30	glas/glas	Niet aanwezig	Brandklasse B	Beton	Niet-brandwerend	3
31	glas/glas	Niet aanwezig	Brandklasse C of lager	Staal	Brandwerend	N.T.

Variant nr.	Paneel soort	Onbrandbare laag (brandklasse A1)	Brandklasse isolatie (naakt product) volgens NEN-EN13501-1	Dakconstructie	Doorvoeringen door dakconstructie	Toepasbaar in risicoklasse...
32	glas/glas	Niet aanwezig	Brandklasse C of lager	Staal	Niet-brandwerend	N.T.
33	glas/glas	Niet aanwezig	Brandklasse C of lager	Hout	Brandwerend	N.T.
34	glas/glas	Niet aanwezig	Brandklasse C of lager	Hout	Niet-brandwerend	N.T.
35	glas/glas	Niet aanwezig	Brandklasse C of lager	Beton	Brandwerend	2
36	glas/glas	Niet aanwezig	Brandklasse C of lager	Beton	Niet-brandwerend	N.T.
37	glas/folie	Ja	Brandklasse A	Staal	Brandwerend	1
38	glas/folie	Ja	Brandklasse A	Staal	Niet-brandwerend	1
39	glas/folie	Ja	Brandklasse A	Hout	Brandwerend	1
40	glas/folie	Ja	Brandklasse A	Hout	Niet-brandwerend	1
41	glas/folie	Ja	Brandklasse A	Beton	Brandwerend	1
42	glas/folie	Ja	Brandklasse A	Beton	Niet-brandwerend	1
43	glas/folie	Ja	Brandklasse B	Staal	Brandwerend	1
44	glas/folie	Ja	Brandklasse B	Staal	Niet-brandwerend	3
45	glas/folie	Ja	Brandklasse B	Hout	Brandwerend	1
46	glas/folie	Ja	Brandklasse B	Hout	Niet-brandwerend	3
47	glas/folie	Ja	Brandklasse B	Beton	Brandwerend	1
48	glas/folie	Ja	Brandklasse B	Beton	Niet-brandwerend	3
49	glas/folie	Ja	Brandklasse C of lager	Staal	Brandwerend	2
50	glas/folie	Ja	Brandklasse C of lager	Staal	Niet-brandwerend	N.T.
51	glas/folie	Ja	Brandklasse C of lager	Hout	Brandwerend	2
52	glas/folie	Ja	Brandklasse C of lager	Hout	Niet-brandwerend	N.T.
53	glas/folie	Ja	Brandklasse C of lager	Beton	Brandwerend	2
54	glas/folie	Ja	Brandklasse C of lager	Beton	Niet-brandwerend	3
55	glas/folie	Niet aanwezig	Brandklasse A	Staal	Brandwerend	2
56	glas/folie	Niet aanwezig	Brandklasse A	Staal	Niet-brandwerend	3
57	glas/folie	Niet aanwezig	Brandklasse A	Hout	Brandwerend	2
58	glas/folie	Niet aanwezig	Brandklasse A	Hout	Niet-brandwerend	3
59	glas/folie	Niet aanwezig	Brandklasse A	Beton	Brandwerend	2
60	glas/folie	Niet aanwezig	Brandklasse A	Beton	Niet-brandwerend	3
61	glas/folie	Niet aanwezig	Brandklasse B	Staal	Brandwerend	3
62	glas/folie	Niet aanwezig	Brandklasse B	Staal	Niet-brandwerend	N.T.
63	glas/folie	Niet aanwezig	Brandklasse B	Hout	Brandwerend	3
64	glas/folie	Niet aanwezig	Brandklasse B	Hout	Niet-brandwerend	N.T.
65	glas/folie	Niet aanwezig	Brandklasse B	Beton	Brandwerend	2
66	glas/folie	Niet aanwezig	Brandklasse B	Beton	Niet-brandwerend	3
67	glas/folie	Niet aanwezig	Brandklasse C of lager	Staal	Brandwerend	N.T.

Variant nr.	Paneel soort	Onbrandbare laag (brandklasse A1)	Brandklasse isolatie (naakt product) volgens NEN-EN13501-1	Dakconstructie	Doorvoeringen door dakconstructie	Toepasbaar in risicoklasse...
68	glas/folie	Niet aanwezig	Brandklasse C of lager	Staal	Niet-brandwerend	N.T.
69	glas/folie	Niet aanwezig	Brandklasse C of lager	Hout	Brandwerend	N.T.
70	glas/folie	Niet aanwezig	Brandklasse C of lager	Hout	Niet-brandwerend	N.T.
71	glas/folie	Niet aanwezig	Brandklasse C of lager	Beton	Brandwerend	2
72	glas/folie	Niet aanwezig	Brandklasse C of lager	Beton	Niet-brandwerend	N.T.