

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 2021 R12625**

### Veiligheid van zonneparken in bermen en knooppunten van rijkswegen

#### Constructieve veiligheid



Datum	9 december 2021
Auteur(s)	Leo van der Knaap Josco Kester
Aantal pagina's	27 (incl. bijlagen)
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat: Ivo Booijink, Jan Timmerman en Kamiel Vreugdenhil

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.

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>3</b>
1.1	Aanleiding.....	3
1.2	Onderzoeksvragen.....	3
1.3	Methode .....	4
1.4	Leeswijzer .....	4
<b>2</b>	<b>Constructieve veiligheid .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Ontwerpeisen volgens de bouwregelgeving.....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Toelichting bij de ontwerpeisen.....</b>	<b>11</b>
4.1	Inzichten verkregen van geraadpleegde personen en bronnen .....	11
4.2	Belastingaannamen .....	12
4.3	Draagkracht van zonnepanelen.....	15
4.4	Montage en uitvoering.....	15
<b>5</b>	<b>Samenvatting van de eisen .....</b>	<b>17</b>
5.1	Belastingaannamen .....	17
5.2	Controle van het ontwerp .....	19
5.3	Montage en uitvoering.....	19
5.4	Periodieke inspecties.....	19
<b>6</b>	<b>Literatuur .....</b>	<b>21</b>
<b>A.</b>	<b>Algemene beschrijving zonnepark .....</b>	<b>23</b>
<b>B.</b>	<b>Geraadpleegde personen en bronnen.....</b>	<b>26</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Nederland heeft in het Klimaatakkoord vastgelegd dat de Nederlandse CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2030 met 49% moet zijn gedaald ten opzichte van 1990. Om dit te kunnen bereiken moet de opwekking van elektriciteit met zonnepanelen en windturbines fors stijgen. De komende jaren worden er dan ook veel zonneparken aangelegd. Gemeenten, provincies, energiebedrijven en andere partijen kloppen steeds vaker aan bij Rijkswaterstaat met de vraag om zonneparken te mogen plaatsen in bermen of knooppunten langs de snelwegen die in beheer zijn bij Rijkswaterstaat. Het kabinet, Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) waaronder Rijkswaterstaat staan ervoor open om dit te onderzoeken en pilots te doen. Hiervoor heeft het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) een opdracht gegeven aan Rijkswaterstaat (RWS), Rijksvastgoedbedrijf (RVB) en Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) om in een gezamenlijk programma te onderzoeken wat de beste manieren zijn om rijksgrond in te zetten voor het opwekken van zonne-energie.

## 1.2 Onderzoeksvragen

Binnen dit gezamenlijke programma heeft RWS aan TNO opdracht gegeven om te inventariseren welke veiligheidseisen RWS aan zonneparken langs rijkswegen moet stellen, gericht op vier aspecten. Per aspect heeft TNO een rapport geschreven:

- Elektrische veiligheid en EMC (TNO rapport 1)
- Brandpreventie en brandbestrijding (TNO rapport 2)
- Beperken van verkeershinder bij onderhoud van zonneparken (TNO rapport 3)
- Constructieve veiligheid (TNO rapport 4).

Eén van de doelen van RWS is om meer te leren over hoe ze het RWS-areaal langs rijkswegen op een veilige manier beschikbaar kan stellen voor het plaatsen van zonneparken. De rapporten met TNO-adviezen zijn daarom in nauw overleg met RWS opgesteld. RWS is van plan om, na een verdere interne evaluatie, de TNO-adviezen te gebruiken bij de tenders die RWS samen met RVB gaat uitschrijven om RWS-areaal uit te geven voor het plaatsen van zonneparken door derden, en/of deze TNO-adviezen te gebruiken bij de vergunningverlening van RWS voor een zonnepark.

Het voorliggende rapport geeft aanbevelingen over de constructieve veiligheid van zonneparken in bermen en knooppunten van rijkswegen. Het rapport gaat in op de volgende deelvragen:

- Aan welke Nederlandse normen moeten zonneparken in bermen en knooppunten voldoen?
- Welke aanvullende maatregelen adviseert TNO aan RWS om de kans dat er zonnepanelen op de weg terechtkomen verder te verkleinen?

### 1.3 Methode

Naast de eisen die gelden op grond van het Bouwbesluit en de NEN-normen voor zonneparken (zoals deze golden per 1 juli 2021) zijn een aantal adviezen opgenomen voor aanvullende maatregelen om de veiligheid van de weggebruikers en de doorstroming van het verkeer te waarborgen. Bij het formuleren van de adviezen is zoveel mogelijk rekening gehouden met de volgende criteria:

- De benodigde oplossingen zijn beschikbaar bij meerdere leveranciers.
- Het uitgangspunt voor de ontwerplevensduur in de berekening van de ondersteuningsconstructie met zonnepanelen (25 jaar) is gebaseerd op informatie die is aangeleverd door relevante partijen. Er is in dit verband gebruik gemaakt van documentatie van NREL (2018), Fraunhofer ISE (Kost 2018, 10) en International Energy Agency (Frischknecht 2020).
- Er is gebruik gemaakt van SCIOS Scope12, dat is bedoeld als ondersteuning bij het aantoonbaar maken van de veiligheid van zonnestroominstallaties. In dit rapport is gebruik gemaakt van aanwijzingen voor inspectie van constructies, zoals beschreven in SCIOS Technisch Document 18. Als toelichting op de toepassing van SCIOS Scope12 in de praktijk zijn verwijzingen opgenomen naar een tweetal artikelen in Solar Magazine.
- In het geval Bouwbesluit en de hieraan gelieerde NEN-normen niet voorzien in de nodige informatie over windbelasting op de zonnepanelen is gebruik gemaakt van informatie in de literatuur. In dit geval is gebruik gemaakt van de in aansluiting op NEN-EN 1991-1-4 opgestelde norm NEN 7250 en richtlijn GCW2012 voor de berekening van de windbelasting.
- Aandachtspunten voor de stormbestendigheid van draagconstructies voor zonnepanelen zijn verkregen tijdens interviews met een aantal partijen die bij dit thema betrokken zijn. Op basis van deze aandachtspunten zijn een aantal aanvullende maatregelen geformuleerd gericht op het aantoonbaar maken van het niveau van constructieve veiligheid. Deze interviews zijn gerapporteerd in bijlage B.
- Uit de testmethode voor CE-markering van zonnepanelen (zie IEC-normen) volgen grenzen aan de statische belastbaarheid van zonnepanelen. Deze informatie is gebruikt als toetsingscriterium in de beoordeling van de stormbestendigheid.

### 1.4 Leeswijzer

Het voorliggende rapport betreft deelvraag 4 van project “Veiligheid zonneparken langs infra”. Het beschrijft vrij gedetailleerd voor een aantal typen constructies hoe de constructieve veiligheid van zonneparken langs rijkswegen geborgd kan worden. Het is vooral gericht op constructeurs die als taak hebben om de constructieve veiligheid van zonneparken te borgen. Het veronderstelt daarom kennis van de in Nederland geldende bouwregelgeving en normen.

Dit rapport geeft een overzicht van de geldende eisen aan het niveau van constructieve veiligheid gedurende de levensduur van de draagconstructies voor zonnepanelen langs de snelweg en beschrijft de door TNO geadviseerde aanvullende maatregelen, gericht op het aantoonbaar voldoen aan deze eisen.

De uitgangspunten die op basis hiervan zijn vastgesteld voor het constructief ontwerp, worden toegelicht in hoofdstuk 2. De toe te passen normen in relatie tot de geldende veiligheidseisen staan in hoofdstuk 3.

Hoofdstuk 4 geeft een toelichting bij de ontwerpeisen. Er wordt gerefereerd naar eisen volgens het Bouwbesluit die zeker bij draagconstructies voor zonnepanelen aandacht vragen. Voor een aantal mogelijke vormen van de draagconstructie voor zonnepanelen bevat dit hoofdstuk verwijzingen naar de betreffende paragrafen in NEN-EN1991-1-4 voor de van toepassing zijnde windcoëfficiënten.

Aanvullend op de eisen volgend uit het Bouwbesluit worden in hoofdstuk 2 en hoofdstuk 4 een aantal aanvullende maatregelen voorgesteld om de kans op stormschade verder te verkleinen.

De eisen volgend uit het Bouwbesluit en de geadviseerde aanvullende eisen zijn beknopt samengevat in hoofdstuk 5.

Om aan te geven wat in dit project wordt bedoeld met een installatie met zonnepanelen, is in bijlage A een algemene beschrijving gegeven.

## 2 Constructieve veiligheid

Op locaties langs snelwegen kunnen zonnepanelen worden geplaatst op verschillende typen ondersteuningsconstructies. De ontwerpeisen hiervoor moeten zijn afgestemd op de verwachte levensduur van de zonnepanelen. Het Bouwbesluit en de hieraan gelieerde normen stellen de eisen aan de constructieve veiligheid, de duurzaamheid en de bruikbaarheid. In dit hoofdstuk leiden we af welke uitgangspunten hierbij gehanteerd dienen te worden over de levensduur en belasting van de constructie en over het niveau van constructieve veiligheid dat vereist is bij zonneparken langs rijkswegen.

De gemiddelde levensduur van “standaard” (glas-folie) zonnepanelen wordt door partijen als NREL (2018), Fraunhofer ISE (Kost 2018, 10) en International Energy Agency (Frischknecht 2020, 12) geraamd op 25 á 30 jaar. De ondersteuningsconstructie voor de zonnepanelen moet gedurende deze periode steeds aan alle eisen voor de constructieve veiligheid voldoen. Refererend naar het Bouwbesluit moeten in relatie tot de ontwerplevensduur de volgende uitgangspunten voor de karakteristieke belastingen in acht worden genomen:

- Ontwerplevensduur: minimaal 25 jaar
- De karakteristieke waarde van belastingen door weersinvloeden moet gebaseerd zijn op een herhalingstijd die gelijk is aan de ontwerplevensduur.
- Indien de ondersteuningsconstructie van de zonnepanelen langer gebruikt moet kunnen worden dan de verwachte levensduur van de zonnepanelen, bijvoorbeeld voor een volgende generatie zonnepanelen of voor zonnepanelen met een langere levensduur (glas-glas zonnepanelen), dan moet voor de ondersteuningsconstructie (exclusief de zonnepanelen en hun verbindingen) worden uitgegaan van een ontwerplevensduur van 50 jaar.

De uitgangspunten voor het constructief ontwerp zijn afgestemd op de specifieke situatie langs snelwegen, waarbij RWS de veiligheid van weggebruikers en de doorstroming van het verkeer dient te waarborgen. Het niveau van constructieve veiligheid moet worden afgestemd op de mogelijke gevolgen van stormschade in termen van letsel en economische schade. Voor locaties langs snelwegen moet er rekening mee worden gehouden dat bij storm een losgeraakt zonnepaneel mogelijk op de snelweg komt. Het is essentieel om het niveau van constructieve veiligheid zo te kiezen dat de kans daarop in overeenstemming met het Bouwbesluit acceptabel klein is.

Gelet op de functie van de snelweg en de kans op het verlies van mensenlevens in geval van stormschade aan zonnepanelen langs de snelweg is volgens tabel B.1 van NEN-EN 1990 voor het constructief ontwerp minimaal gevolgklasse CC2 van toepassing.

Ook moeten volgens RWS de mogelijke gevolgen voor de doorstroming van het verkeer in geval van stormschade aan zonnepanelen langs de snelweg als

aanzienlijke economische schade worden beschouwd. Op basis van deze duiding van de economische gevolgen is volgens tabel B.1 van NEN-EN 1990 voor het constructief ontwerp minimaal gevolgklasse CC2 van toepassing. Van de gevolgklassen die volgens deze systematiek van NEN-EN 1990 zijn gevonden, moet de hoogste gevolgklassen worden aangehouden voor het constructief ontwerp. Dat is in dit geval gevolgklasse CC2.

Op basis van gevolgklasse CC2 wordt een hoger niveau van constructieve veiligheid verkregen dan voor draagconstructies met zonnepanelen in een veldopstelling in agrarisch gebied (veelal volgens klasse CC1). Niettemin zullen benodigde constructieve oplossingen bij meerdere leveranciers beschikbaar zijn voor klasse CC2.

Zonnepanelen zelf hebben een CE-keurmerk. Classificatie van de impactbestendigheid, zoals hagelbestendigheid, van de zonnepanelen kan onderdeel zijn van de testen die in het kader van het CE-keurmerk zijn uitgevoerd. Voor overige weersinvloeden wordt er in het kader van het CE-keurmerk voor zonnepanelen géén niveau van constructieve veiligheid van de zonnepanelen vastgesteld.

#### Controle van de constructieve veiligheid

RWS geeft aan dat het vereiste niveau van constructieve veiligheid verifieerbaar moet worden aangetoond. Het advies van TNO is om in dit verband en aanvullend op de door het Bouwbesluit aangestuurde eisen gebruik te maken van SCIOS Technisch Document 18 “Inspectie van zonnestroominstallaties”<sup>1</sup>, en betreffende voorwaarden in bijlage 3 van deze richtlijn als volgt toe te passen:

- De beoordeling van de veiligheid van het constructief ontwerp en uitvoering moet worden uitgevoerd en gedocumenteerd door of onder verantwoordelijkheid van een registerconstructeur of gelijkwaardig. De controle moet door een registerconstructeur of gelijkwaardig worden uitgevoerd omdat gevolgklasse CC2 vraagt om een controle door andere personen dan die oorspronkelijk verantwoordelijk waren. Dit komt overeen met supervisieniveau DSL2 volgens NEN-EN1990.
- Om het niveau van constructieve veiligheid gedurende de levensduur te waarborgen worden één keer per 5 jaar conform SCIOS Technisch Document 18 “Inspectie van zonnestroominstallaties” inspecties uitgevoerd van de ondersteuningsconstructie en de verbindingen van de

---

<sup>1</sup> Scope 12 is een inspectieregeling voor zonnestroom-installaties die is opgesteld door SCIOS in samenwerking met vereniging iKeur, het Verbond van Verzekeraars, Techniek Nederland en Holland Solar. Voor de toepassing van Scope 12 in de praktijk is voor inspecties van zonnestroominstallaties Technisch Document 18 opgesteld. Meer uitgebreide informatie hierover kan worden gevonden in de volgende artikelen:

- Solar Magazine, 13 december 2019 – “Nieuwe inspectieregeling voor zonnepanelen: ‘Scope 12 gaat de markt niet kapot, maar juist beter maken.’”
- Solar Magazine, 1 maart 2021 – “23 bedrijven gecertificeerd voor Scope 12-inspecties van zonnepanelen.”
- Technea – “Bedrijven in de startblokken voor Scope 12: verzekeraars gaan inspectie zonnepanelen als harde eis stellen.”

Zie hoofdstuk 6 Literatuur voor weblinks naar deze artikelen.

zonnepanelen, en tevens na een storm met een uurgemiddelde windsnelheid hoger dan 90% van de basiswindsnelheid voor betreffende windregio volgens NEN-EN 1991-1-4 (voor beiden geldt een hoogte van 10 m boven maaiveld). Deze inspecties moeten worden uitgevoerd door of onder supervisie van een registertoetsers of gelijkwaardig.



### 3 Ontwerpeisen volgens de bouwregelgeving

In hoofdstuk 2 van dit rapport zijn aanwijzingen gegeven voor het niveau van constructieve veiligheid dat moet worden aangehouden in de ontwerpberekening van ondersteuningsconstructies van zonnepanelen. In dit hoofdstuk beschrijven we welke normen op grond van het Bouwbesluit relevant zijn voor deze ontwerpberekening. Voor bepaalde constructievormen van zonneparken langs snelwegen bieden de normen geen uitsluitel. Voor een aantal van die gevallen geven we aan in welke andere literatuurbronnen men informatie kan vinden.

Een ondersteuningsconstructie voor zonnepanelen is een bouwwerk waarvoor de eisen voor de constructieve veiligheid zijn omschreven in de Nederlandse bouwregelgeving. Kort samengevat stelt het Bouwbesluit dat de zonnepanelen en hun ondersteuningsconstructie gedurende de ontwerplevensduur zonder schade weerstand moeten kunnen bieden tegen de fundamentele belastingcombinaties uitgaande van de grenstoestanden STR/GEO volgens NEN-EN 1990.

NEN-EN 1990 wijst de volgende normen, inclusief Nationale Bijlagen, aan voor de bepaling van de karakteristieke waarden voor de belastingen:

- NEN-EN 1991-1-1, Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-1: Algemene belastingen – Volumieke gewichten, eigen gewicht en gebruiksbelastingen voor gebouwen
- NEN-EN 1991-1-3, Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-3: Algemene belastingen – Sneeuwbelastingen
- NEN-EN 1991-1-4, Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-4: Algemene belastingen – Windbelasting
- NEN-EN 1991-1-5, Eurocode 1: Belastingen op constructies – Deel 1-5: Algemene belastingen – Thermische belastingen

De methodiek voor bepaling van de windbelasting op bouwwerken is gegeven in NEN-EN 1991-1-4. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende vormen van bouwwerken. Niet voor alle vormen die relevant zijn voor zonnepanelen langs snelwegen is in NEN-EN 1991-1-4 de benodigde informatie gegeven. Daarom is voor wat betreft die vormen van bouwwerken (voor zonnepanelen langs snelwegen) geen definitief antwoord te geven op de vraag welke specifieke windcoëfficiënten moeten worden gebruikt bij de berekening van de windbelasting. Wel kan men in literatuur de nodige informatie vinden. In dit kader zouden de volgende bronnen de nodige handvatten kunnen geven:

- Voor de bepaling van de windbelasting op zonnepanelen aan gebouwen is in Nederland NEN 7250 “Zonne-energiesystemen - Integratie in daken en gevels - Bouwkundige aspecten” verschenen. Deze norm geeft in aanvulling op NEN-EN 1991-1-4 specifieke parameters voor het bepalen van de windbelasting op zonnepanelen. In NEN 7250 worden verschillende montagewijzen beschreven waarvoor de windbelasting wordt gespecificeerd (montagewijzen 1 tot en met 5). Voor de toepassing van zonnepanelen gemonteerd aan een wand of een scherm langs de snelweg kunnen de montagewijzen 1 en 2 van belang zijn, hoewel NEN 7250 alleen betrekking heeft op gebouwen.

- In GCW-2012 “Richtlijnen geluidbeperkende constructies langs wegen” is in aanvulling op NEN-EN 1991-1-4 een methodiek gegeven die kan worden gebruikt voor bepaling van de windbelasting op zonnepanelen, die zijn geïntegreerd in niet-verticale wanden of schermen langs snelwegen.

Voor de beoordeling van de draagkracht van de ondersteuningsconstructie voor zonnepanelen verwijst het Bouwbesluit naar de bepalingsmethode in:

- a. NEN-EN 1992 indien de constructie is vervaardigd van beton als bedoeld in die norm;
- b. NEN-EN 1993, indien de constructie is vervaardigd van staal als bedoeld in die norm;
- c. NEN-EN 1995, indien de constructie is vervaardigd van hout als bedoeld in die norm;
- d. NEN-EN 1997, voor geotechnisch ontwerp van constructies;
- e. NEN-EN 1999, indien de constructie is vervaardigd van aluminium als bedoeld in die norm;
- f. NEN 2608, indien de constructie is vervaardigd van glas als bedoeld in die norm

Eisen aan maattoleranties voor constructieve elementen van staal of aluminium inclusief hun verbindingen zijn gegeven in NEN-EN 1090.

Bij de beoordeling van de constructieve veiligheid moet rekening gehouden worden met de samenhang tussen de verschillende componenten van het constructief systeem met zonnepanelen in de omgeving waarin de draagconstructie wordt toegepast.

## 4 Toelichting bij de ontwerpisen

In dit hoofdstuk is een praktische uitwerking gegeven van normatieve eisen bij het constructief ontwerp, specifiek voor ondersteuningsconstructies met zonnepanelen. Van de hierna aangegeven aanwijzingen, aanbevelingen en uitwerkingen van de norm mag slechts worden afgeweken wanneer is aangetoond en gedocumenteerd dat het alternatief een minimaal gelijkwaardig niveau van constructieve veiligheid oplevert.

### 4.1 Inzichten verkregen van geraadpleegde personen en bronnen

Bij het voorbereiden van het schrijven van dit rapport hebben de auteurs interviews gehouden met medewerkers van bedrijven of instellingen die vanuit hun praktijkervaring inzichten hebben aangeleverd met betrekking tot een veilige toepassing van draagconstructies met zonnepanelen en ten aanzien van het belang hiervan. De interviews zijn gehouden met 2 leveranciers van verschillende typen bevestigingssystemen, met een schade-expert van een verzekeringsmaatschappij, en met een aantal medewerkers van Rijkswaterstaat. De auteurs willen hen hartelijk danken voor hun bijdrage aan dit rapport. Hieronder is een samenvatting gegeven van de informatie die deze partijen met betrekking tot het aspect “constructief ontwerp” hebben aangeleverd. In bijlage B is verslag gedaan van de interviews.

Uit de gevoerde gesprekken blijkt nadrukkelijk dat er bij de plaatsing van zonnepanelen naast een snelweg extra aandacht nodig is voor veiligheid en het aantoonbaar maken van het vereiste niveau van veiligheid. Om dit te kunnen bereiken is het nodig dat het constructief ontwerp ook in lijn is met de volgende uitgangspunten en werkwijzen:

- Wanneer in het geval van storm zonnepanelen op de snelweg terechtkomen, moeten de kosten van het opruimen en zeker ook van de hinder aan de doorstroming van het verkeer worden beschouwd als aanzienlijke economische schade. De constructieve veiligheid van installaties met zonnepanelen langs de snelweg moet volgens het Bouwbesluit mede op dit inzicht ten aanzien van het type gebruik worden afgestemd. De beoordeling van het constructief ontwerp moet zijn uitgevoerd op basis van een integrale benadering van de constructie in zijn omgeving.
- De robuustheid van de constructie zoals bedoeld in NEN-EN1990 moet tijdens de gehele gebruiksperiode voldoende zijn. Constructieve systemen (zoals sommige typen klemmen) die een hogere kans op schade leveren in een situatie dat één zonnepaneel is losgeraakt (door bijvoorbeeld storm of diefstal) voldoen daar in het algemeen niet aan en zijn daarom niet toegestaan tenzij het tegendeel expliciet is aangetoond.
- De eis van RWS dat het vereiste niveau van constructieve veiligheid verifieerbaar moet worden aangetoond en de werkwijze van het Verbond van Verzekeraars ten aanzien van preventie van schade aan installaties met zonnepanelen kunnen goed gecombineerd worden. Het advies van TNO is om in dit verband en aanvullend op de door het Bouwbesluit aangestuurde eisen gebruik te maken van SCIOS Technisch Document 18 “Inspectie van

zonnestroominstallaties”. Zie in dit verband ook hetgeen hierover is aangegeven in hoofdstuk 2.

## 4.2 Belastingaannamen

NEN-EN 1990 verwijst naar NEN-EN1991-1-3, NEN-EN1991-1-4 en NEN-EN1991-1-5, inclusief Nationale Bijlagen voor de bepaling van de karakteristieke waarden voor respectievelijk de sneeuwbelasting, windbelasting en de temperatuurbelasting.

### 4.2.1 Sneeuwbelasting

De berekening van de sneeuwbelasting op zonnepanelen moet zijn gebaseerd op NEN-EN1991-1-3. Voor opstellingen met zonnepanelen waar de sneeuw niet “normaal” van de panelen kan afwaaien, zoals bedoeld in tabel 5.1 van NEN-EN1991-1-3, moet de berekening van de sneeuwbelasting worden uitgevoerd met blootstellingscoëfficiënt  $C_e = 1,2$  uit deze tabel. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn bij zonnepanelen aaneengesloten in een veld of bij zonnepanelen die zo dicht op het maaiveld (onderkant paneel < 35 cm vanaf maaiveld) zijn aangebracht dat de sneeuw erop blijft liggen (er onvoldoende af kan waaien).

### 4.2.2 Windbelasting algemeen

De windbelasting op een constructie-element wordt volgens NEN EN 1991-1-4 als volgt berekend:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

waarin:

$c_s c_d$  is de bouwwerfactor volgens hoofdstuk 6 van NEN EN 1991-1-4

$c_f$  is de krachtcoëfficiënt volgens hoofdstuk 7 en 8 van NEN EN 1991-1-4

$q_p(z_e)$  is de extreme stuwdruk op referentiehoogte  $z_e$

$A_{ref}$  is de referentie-oppervlakte van het constructie-element

De onderdelen van de windbelasting zijn hierna toegelicht:

**A: de stuwdruk  $q_p(z_e)$ .** Deze hangt af van de geografische locatie en de ruwheid van de directe omgeving en de bouwwerkhoogte. In de Nationale Bijlage bij NEN-EN 1991-1-4 zijn tabellen gegeven met de waarden voor de windstuwdruk, gebaseerd op een herhalingstijd van 50 jaar. Specifiek voor zonnepanelen langs snelwegen moet in voorkomende gevallen bij het vaststellen van de stuwdruk rekening worden gehouden met de hoogte van nabij gelegen bouwwerken, bijvoorbeeld een viaduct. In A.4 van NEN-EN1991-1-4 is een rekenmodel gegeven om de referentiehoogte vast te stellen, waarmee de stuwdruk moet worden berekend. Vereenvoudigd kan de stuwdruk worden gebaseerd op een referentiehoogte  $z_e$  die overeenkomt met de hoogte van het viaduct boven het maaiveld. Bij aanwezigheid van een helling (bijvoorbeeld een talud) kan het effect van de helling op de windsnelheid worden bepaald conform A.3 van NEN-EN1991-1-4.

**B: de druk- of krachtcoëfficiënten  $c_f$ .** Deze worden ook wel vormfactoren genoemd, omdat deze coëfficiënten direct afhangen van de vorm en afmetingen van de beschouwde constructie (afmeting, oriëntatie ten opzichte van de

windrichting, gelaagdheid). In het vervolg van deze paragraaf is voor enkele typen opstellingen van zonnepanelen aangegeven hoe de in rekening te brengen druk- of krachtcoëfficiënten kunnen worden vastgesteld.

*C: de bouwwerkfactor  $c_s c_d$ .* Een correctiefactor voor de mate waarin de fluctuerende wind leidt tot een extreme belasting op de constructie. Deze factor verrekent twee effecten: Het ene is een reductie naarmate de constructie groter is en beter in staat is de windbelasting ‘uit te smeren’ over het oppervlak. Het andere is een vergroting als gevolg van dynamische opslinging door de wind. Het is praktisch om te voorkomen dat dynamische opslinging kan optreden door ervoor te zorgen dat de eigenfrequentie van het paneel en constructie hoger is dan 5 Hz. Dan kan volgens NEN-EN 1991-1-4 voor de bouwwerkfactor veilig  $c_s c_d = 1$  worden aangehouden en wordt voorkomen dat een complexe methode moet worden toegepast om de constructieve veiligheid aan te tonen.

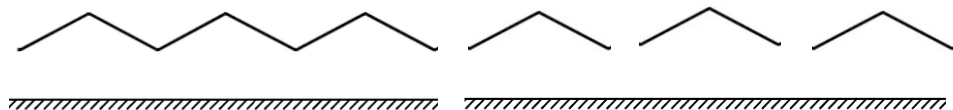
*D: de referentie-oppervlakte  $A_{ref}$ .* Door de wind aangeblazen oppervlak waarop de waarde van de druk- of krachtcoëfficiënten gebaseerd is. Lokale coëfficiënten zijn gebaseerd op een belast oppervlak van  $1 \text{ m}^2$ . Globale coëfficiënten zijn gebaseerd op een belast oppervlak van  $10 \text{ m}^2$ . Voor tussenliggende waarden geeft NEN-EN 1991-1-4 een interpellatiemethode.

#### 4.2.3 *Bepaling van de druk- en krachtcoëfficiënten*

Voor een aantal mogelijke varianten voor de ondersteuningsconstructie van zonnepanelen langs snelwegen is hierna aangegeven hoe de druk- en krachtcoëfficiënten voor berekening van de windbelasting op de zonnepanelen (inclusief hun verbindingen) en de ondersteuningsconstructie (inclusief fundatie) uit de aangewezen normen en richtlijnen kunnen worden afgeleid.

##### I. Zonnepanelen in een veldopstelling, oost-westoriëntatie

Voor de berekening van de windbelasting op zonnepanelen in een veldopstelling met oost-westoriëntatie kan worden aangesloten bij constructietype tweezijdig hellende overkappingen volgens par.7.3 van NEN-EN1991-1-4.



Figuur 1: Voorbeeld van zonnepanelen in een veldopstelling, oost-westoriëntatie.

De nettodrukcoëfficiënten (voor de windbelasting op de zonnepanelen en hun verbindingen) en de globale krachtcoëfficiënten (voor de ondersteuningsconstructie van de zonnepanelen) zijn gegeven in tabel 7.7 van NEN-EN 1991-1-4. Voor aaneengesloten tweezijdig hellende overkappingen zijn reductiefactoren voor de windcoëfficiënten gegeven in tabel 7.8 van NEN-EN 1991-1-4. Deze reductiefactoren kunnen ook worden toegepast bij relatief kleine openingen voor de waterafvoer. Bij grotere openingen – wanneer je tussen de panelen door kunt lopen - kan deze reductiefactor niet worden toegepast.

##### II. Zonnepanelen in een veldopstelling, zuidoriëntatie

Voor de berekening van de windbelasting op zonnepanelen in een veldopstelling met zuidoriëntatie kan worden aangesloten bij constructietype éézijdig hellende overkappingen volgens par.7.3 van NEN-EN1991-1-4.



Figuur 2: Voorbeeld van zonnepanelen in een veldopstelling, zuidoriëntatie

De nettodrukcoëfficiënten (voor de windbelasting op de zonnepanelen en hun verbindingen) en de globale krachtcoëfficiënten (voor de ondersteuningsconstructie van de zonnepanelen) zijn gegeven in tabel 7.6 van NEN-EN 1991-1-4.

### III. Zonnepanelen op de helling van een talud; $50 \leq \alpha \leq 750$

Indien de zonnepanelen worden aangebracht op een talud kan worden uitgegaan van de belasting op hellende overkappingen zoals aangegeven bij de varianten I en II voor de ondersteuningsconstructie. Tevens moet rekening worden gehouden met een versnelling van de windsnelheid. Deze wordt bepaald conform A.3 van EN 1991-1-4.

### IV. Zonnepanelen geïntegreerd in een vrijstaande wand

NEN-EN 1991-1-4 geeft de nettodrukcoëfficiënten voor de berekening van de windbelasting op de constructie en op constructie-elementen van verticaal geplaatste wanden. Dit kan bijvoorbeeld een verticaal opgestelde zonnepaneel zijn of een geluidsscherm met de zonnepanelen daarin geïntegreerd. De grootte van de nettodrukcoëfficiënt is afhankelijk van de zone in de wand. Zie in dit verband par. 7.4.1 van NEN-EN 1991-1-4.

Voor schuin geplaatste wanden zijn aanvullend op NEN-EN 1991-1-4 waarden voor de nettodrukcoëfficiënten gegeven in de paragraaf 4.1 van GCW-2012 (resultaat van door TNO uitgevoerd windtunnelonderzoek).

Wanneer een wand met zonnepanelen op korte afstand van de rijbaan wordt geplaatst, kan het nodig zijn om het effect van een drukgolf in rekening te brengen. Voor nadere informatie wordt verwezen naar par. 4.1.5 van GCW2012.

#### 4.2.4 *Temperatuurbelasting*

De temperatuurbelasting wordt berekend volgens NEN-EN 1991-1-5. Specifiek voor ondersteuningsconstructies van zonnepanelen moet uit oogpunt van temperatuurbelasting veelal rekening worden gehouden met de volgende aspecten:

- Bij toepassing van doorgaande liggers kan relatief grote thermische vervorming optreden. De toegepaste profielen en verbindingen moeten geschikt zijn om de krachten als gevolg van deze vervormingen op te nemen. Voorkomen moet worden, dat fundaties worden belast met opgelegde vervormingen ten gevolge van thermische uitzetting van de daarop steunende draagconstructie.
- Bij toepassing van klemverbindingen voor de montage van zonnepanelen, kunnen de panelen als gevolg van wisselende belasting, onder andere als gevolg van thermische uitzetting, verschuiven in de verbinding.

### 4.3 Draagkracht van zonnepanelen

Zonnepanelen worden in het algemeen geleverd met certificaten, waaraan kan worden herkend welke kwaliteit (klasse-indeling) het type paneel heeft uit oogpunt van verschillende zaken, die van belang zijn voor het langdurig op hoog niveau presteren (elektrisch vermogen) van het paneel. Zie in dit verband ook onderstaande normen, die standaard worden toegepast voor de Europese markt :

- EN 61215, *Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules — Design qualification and type approval (IEC 61215)*
- EN 61730-1, *Photovoltaic (PV) module safety qualification — Part 1: Requirements for construction (IEC 61730-1)*
- EN 61730-2, *Photovoltaic (PV) module safety qualification — Part 2: Requirements for testing (IEC 61730-2)*

Op basis van de testprocedures in EN 61215 moet een bovengrens voor de rekenwaarde van de gelijkmatig verdeelde belasting loodrecht op het paneel worden bepaald. Tenzij de fabrikant een hogere waarde heeft gespecificeerd kan hiervoor een waarde worden aangehouden van 1600 N/m<sup>2</sup>. Zie hiervoor artikel 4.16 van NEN-EN-IEC 61215-2. Bij de hier beschreven testprocedure is expliciet aangegeven, dat deze niet bedoeld om de draagkracht van het zonnepaneel als constructie-element aan te tonen. Het advies om een rekenwaarde voor de draagkracht van 1600 N/m<sup>2</sup> aan te houden is gebaseerd op een voor de test aan te houden gelijkmatig verdeelde belasting van 2400 N/m<sup>2</sup>, te reduceren met een veiligheidsfactor  $\gamma_M = 1,5$ . Uit oogpunt van een duurzame toepassing van de zonnepanelen is het van belang dat deze bovengrens ook wordt aangehouden in de beoordeling van de constructieve veiligheid van de zonnepanelen en hun ondersteuningsconstructie.

### 4.4 Montage en uitvoering

Een specifiek aandachtspunt in NEN-EN 1990 met betrekking tot de constructieve veiligheid is een goede weerstand tegen voortschrijdend bezwijken. Voor een bevestigingssysteem van de zonnepanelen wordt in dit verband als specifiek voorbeeld genoemd, dat het eventueel losraken van één zonnepaneel geen invloed mag hebben op de veiligheid van de ondersteuning van een ander zonnepaneel.

In aanvulling op eisen die zijn gesteld in door het Bouwbesluit aangewezen normen, adviseert TNO om ook de volgende randvoorwaarden op te nemen voor het constructief ontwerp van draagconstructies voor zonnepanelen langs de snelweg:

- Maattoleranties waarmee rekening moet worden gehouden zijn bijvoorbeeld de positie van ankers in de fundatie, de scheefstand van kolommen en de positie van boutgaten. Er moet rekening mee worden gehouden dat eisen aan maattoleranties zoals gesteld in NEN-EN 1090-2 bijlage D mogelijk niet toereikend zijn voor constructiesystemen voor zonnepanelen, omdat zonnepanelen (glasruiten) niet tolerant zijn voor vervormingen evenwijdig aan het vlak van de glasruit. Daarom is het van belang dat ook rekening wordt gehouden met effecten op de maatvoering die het gevolg zijn van tijdelijke of blijvende belastingsituaties (wind, temperatuur, zetting).

- Om onderhoud en reparatie aan de ondersteuningsconstructie en het vervangen van zonnepanelen snel uit te kunnen voeren, moet de ondersteuningsconstructie voor de zonnepanelen demontabel zijn. TNO adviseert om dit zodanig uit te voeren dat de kans op diefstal wordt beperkt.
- Bij toepassing van RVS-bouten is een voorziening tegen lostrillen nodig, zoals borgmoeren of borgringen. Bij de montage van aluminium profielen, zoals de kaderprofielen van de zonnepanelen, moeten bouten van een type roestvaststaal worden toegepast dat duurzaam kan worden gecombineerd in combinatie met aluminium profielen (voor de hand liggende keuze: RVS 304, klasse A2-70, ingevet).
- Als onderdeel van het constructief ontwerp is voorgeschreven in bijlage 3 van SCIOS Technisch Document 18 dat er een montage-instructie beschikbaar moet zijn en een handleiding voor onderhoud en reparatie. Hierbij moet ook rekening worden gehouden met de montage-instructies die door leveranciers van zonnepanelen in hun productdocumentatie zijn gegeven.



## 5 Samenvatting van de eisen

In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van de (volgens het Bouwbesluit wettelijke) eisen en aanbevelingen die moeten zorgen voor veilige draagconstructies voor zonnepanelen langs snelwegen. TNO adviseert RWS om dit geheel te beschouwen als de minimaal te stellen eisen aan exploitanten van zonneparken langs snelwegen. Deze adviezen betreffen onder andere de toepassing van normen/richtlijnen waar het Bouwbesluit geen oplossing geeft en het nemen van aanvullende maatregelen die erop gericht zijn om het vereiste niveau van constructieve veiligheid in het ontwerpstadium, tijdens de bouw en tijdens de gebruikperiode aan te tonen en te controleren.

### 5.1 Belastingaannamen

Bij de beoordeling van de constructieve veiligheid moet de nadruk gelegd worden op het rekenkundig aantonen van de stormbestendigheid van de draagconstructie voor zonnepanelen, inclusief de zonnepanelen en hun verbindingen. De eisen aan de constructieve veiligheid volgen uit het Bouwbesluit en de daaraan gelieerde normen. Voor de ontwerplevensduur moet worden uitgegaan van minimaal 25 jaar en het niveau van constructieve veiligheid moet overeenkomen met klasse CC2 van NEN-EN1990.

De robuustheid van de constructie zoals bedoeld in NEN-EN1990 moet tijdens de gehele gebruikperiode voldoende zijn. Constructieve systemen (zoals sommige typen klemmen) die een hogere kans op schade leveren in een situatie dat één zonnepaneel is losgeraakt (door bijvoorbeeld storm of diefstal) voldoen daar in het algemeen niet aan en zijn daarom niet toegestaan tenzij het tegendeel expliciet is aangetoond.

De methodiek voor bepaling van de windbelasting op bouwwerken is gegeven in NEN-EN 1991-1-4. Niet voor alle vormen die relevant zijn voor zonnepanelen langs snelwegen is in NEN-EN 1991-1-4 de benodigde informatie gegeven. Daarom is voor zonnepanelen langs snelwegen geen definitief antwoord te geven op de vraag welke specifieke windcoëfficiënten moeten worden aangenomen. Wel kan men in literatuur de nodige informatie vinden. In dit kader geven NEN7250 en GCW2012 de nodige handvatten.

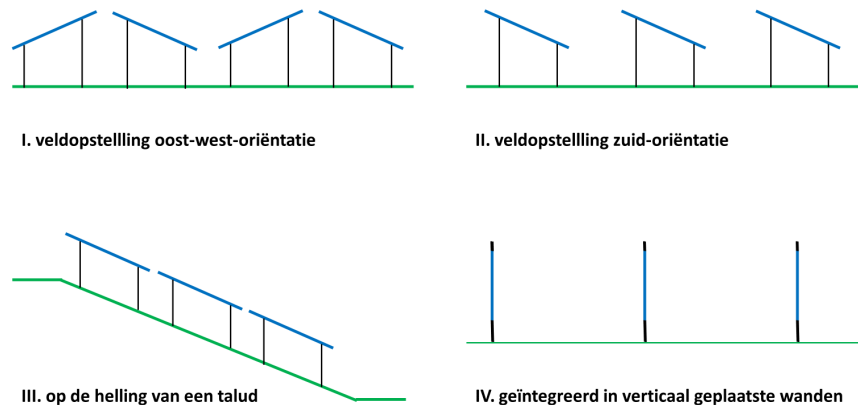
Specifiek voor zonnepanelen op daken en gevels is in Nederland de norm NEN 7250 opgesteld. Deze norm geeft in aanvulling op NEN-EN 1991-1-4 specifieke parameters voor het bepalen van de windbelasting op zonnepanelen. Voor de bepaling van windbelasting op zonnepanelen die zijn geïntegreerd in schuin geplaatste geluidsschermen kan gebruik worden gemaakt van GCW2012.

Voor een aantal andere typen ondersteuningsconstructies voor zonnepanelen langs snelwegen is in paragraaf 4.2.3 ‘Bepaling van de druk- en krachtcoëfficiënten’ aangegeven hoe uit de aangewezen normen en richtlijnen de druk- en krachtcoëfficiënten kunnen worden afgeleid voor berekening van de

windbelasting op de zonnepanelen (inclusief hun verbindingen) en de ondersteuningsconstructie (inclusief fundatie).

Dit betreft de volgende typen ondersteuningsconstructies (zie Figuur 3 hieronder):

- I. Zonnepanelen in een veldopstelling, oost-westoriëntatie ;
- II. Zonnepanelen in een veldopstelling, zuidoriëntatie ;
- III. Zonnepanelen op de helling van een talud;
- IV. Zonnepanelen geïntegreerd in verticaal geplaatste wanden (ook wel bekend als ‘zonnewanden’).



Figuur 3. Vier typen ondersteuningsconstructies waarvan is aangegeven hoe de windbelasting kan worden bepaald.

Van de aangegeven bepalingsmethode voor de windbelasting op de verschillende typen montagesystemen mag slechts worden afgeweken wanneer is aangetoond en gedocumenteerd dat het alternatief een minimaal gelijkwaardig niveau van constructieve veiligheid oplevert.

Voor opstellingen met zonnepanelen waar de sneeuw niet “normaal” van de panelen kan afwaaien zoals bedoeld in tabel 5.1 van NEN-EN1991-1-3, moet de berekening van de sneeuwbelasting worden uitgevoerd met blootstellingscoëfficiënt  $C_e = 1,2$  uit deze tabel. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn bij zonnepanelen aaneengesloten in een veld of bij zonnepanelen die zo dicht op het maaiveld (onderkant paneel < 35 cm vanaf maaiveld) zijn aangebracht dat de sneeuw erop blijft liggen (er onvoldoende af kan waaien).

Voor een constructief veilige toepassing van zonnepanelen moeten de montagevoorschriften van de leverancier worden aangehouden. Tenzij de fabrikant van de zonnepanelen een hogere waarde heeft gespecificeerd moet er een bovengrens voor de rekenwaarde van de gelijkmatig verdeelde belasting loodrecht op het paneel van  $1600 \text{ N/m}^2$  worden aangehouden.

## 5.2 Controle van het ontwerp

Zoals aangegeven in SCIOS Technisch Document 18 moet de beoordeling van de constructieve veiligheid en documentatie van het constructief ontwerp en uitvoering worden uitgevoerd door een constructiebureau. Dit bureau controleert in de ontwerpfase of het ontwerp aan de eisen voldoet en bij de oplevering de correcte uitvoering van het ontwerp, inclusief de kwaliteit van montage. Hierbij is een integrale aanpak vereist, gebaseerd op de toepassing van de constructie met zonnepanelen in zijn omgeving. TNO beveelt RWS aan om te eisen dat de exploitant van het zonnepark een onafhankelijk constructiebureau inhuurt voor bovenstaande controle. Als onderdeel van het constructief ontwerp moet er een montage-instructie beschikbaar zijn en een handleiding voor onderhoud en reparatie.

In aanvulling op wat geëist wordt in SCIOS Technisch Document 18 moeten de uitvoering en documentatie van het constructief ontwerp door of onder verantwoordelijkheid van een registerconstructeur of gelijkwaardig worden uitgevoerd.

## 5.3 Montage en uitvoering

Er moet rekening gehouden worden met maattoleranties zoals aangegeven in NEN-EN 1090. Dit gaat bijvoorbeeld om de positie van ankers in de fundatie, de scheefstand van kolommen en de positie van boutgaten.

De eisen aan maattoleranties zoals gesteld in NEN-EN 1090-2 bijlage D zijn mogelijk niet toereikend voor constructiesystemen voor zonnepanelen, omdat zonnepanelen (glasruiten) niet tolerant zijn voor vervormingen evenwijdig aan het vlak van de glasruit. Daarom is het van belang dat ook rekening wordt gehouden met effecten op de maatvoering, die het gevolg zijn van tijdelijke of blijvende belastingsituaties (wind, temperatuur, zetting).

De ondersteuningsconstructie voor de zonnepanelen moet demontabel zijn om onderhoud en reparatie aan de ondersteuningsconstructie en het vervangen van zonnepanelen snel uit te kunnen voeren. TNO adviseert om dit zodanig uit te voeren dat de kans op diefstal wordt beperkt.

Bij toepassing van RVS-bouten is een voorziening tegen lostrillen nodig zoals borgmoeren of borgringen. Bij de montage van aluminium profielen, zoals de kaderprofielen van de zonnepanelen, moeten bouten van een type roestvaststaal worden toegepast dat duurzaam kan worden gecombineerd in combinatie met aluminium profielen (voor de hand liggende keuze: RVS 304, klasse A2-70, ingevet).

## 5.4 Periodieke inspecties

Overeenkomstig de aanbeveling in SCIOS Technisch Document 18 moet om het niveau van constructieve veiligheid gedurende de levensduur te waarborgen, de veiligheid van de constructie één keer per 5 jaar worden gecontroleerd middels inspectie van de ondersteuningsconstructie en van de zonnepanelen en hun

verbindingen en tevens na een storm met een uurgemiddelde windsnelheid hoger dan 90% van de basiswindsnelheid voor betreffende windregio volgens NEN-EN 1991-1-4 (voor beiden geldt een hoogte van 10 m boven maaiveld). Deze inspecties moeten worden uitgevoerd door of onder supervisie van een registertoetser of gelijkwaardig. TNO beveelt RWS aan om te eisen dat de exploitant van het zonnepark deze registertoetser inhuurt.

## 6 Literatuur

NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2019 + NB:2019, *Eurocode - Basis of structural design*

NEN-EN 1991-1-1, *Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings*

NEN-EN 1991-1-3+C1+A1:2019 + NB:2019, *Eurocode 1 - Actions on structures - Part 1-3: General actions - Snow loads*

NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011 + NB:2019, *Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions*

NEN-EN 1991-1-5, *Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-5: General actions - Thermal actions*

NEN 7250:2014, *Zonne-energiesystemen - Integratie in daken en gevels - Bouwkundige aspecten*

NEN-EN 1992, *Eurocode 2: Design of concrete structures*

NEN-EN 1993, *Eurocode 3: Design of steel structures*

NEN-EN 1995, *Eurocode 5: Design of timber structures*

NEN-EN 1997, *Eurocode 7: Design of steel structures*

NEN-EN 1999, *Eurocode 9: Design of aluminum structures*

NEN-EN 1090-1, *Execution of steel structures and aluminium structures – Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components*

NEN-EN 1090-2, *Execution of steel structures and aluminium structures – Part 2: Technical requirements for steel structures*

NEN 2608, *Glass in building - Requirements and determination method*

NEN-EN 16612, *Glass in building - Determination of the lateral load resistance of glass panes by calculation*

NEN-EN 61215, *Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval (IEC 61215)*

NEN-EN 61730-1, Photovoltaic (PV) module safety qualification — Part 1:  
Requirements for construction (IEC 61730-1)

NEN-EN 61730-2, Photovoltaic (PV) module safety qualification — Part 2:  
Requirements for testing (IEC 61730-2)

Frischknecht, P. Stolz, G. Heath, M. Raugei, P. Sinha, M. de Wild-Scholten, 2020,  
*Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic  
Electricity, 4th edition*, IEA PVPS Task 12, International Energy Agency  
Photovoltaic Power Systems Programme.

GCW2012, Richtlijnen geluidbeperkende constructies langs wegen.

Kost e.a. (2018), *Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien, März 2018*,  
Fraunhofer ISE, Freiburg.  
[https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2018 ISE Studie Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien.pdf](https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/DE2018%20ISE%20Studie%20Stromgestehungskosten%20Erneuerbare%20Energien.pdf)

NREL (2018), [STAT FAQs Part 2: Lifetime of PV Panels | State, Local, and Tribal Governments | NREL](https://www.nrel.gov/state-local-tribal/blog/posts/stat-faqs-part2-lifetime-of-pv-panels.html), <https://www.nrel.gov/state-local-tribal/blog/posts/stat-faqs-part2-lifetime-of-pv-panels.html>

SCIOS, 2021, Technisch Document 18: Inspectie van zonnestroominstallaties,  
versie 1.2:2021-01

[Solar Magazine, 13 december 2019 – Nieuwe inspectieregeling voor zonnepanelen: ‘Scope 12 gaat de markt niet kapot, maar juist beter maken](#)

[Solar Magazine, 1 maart 2021: 23 bedrijven gecertificeerd voor Scope 12-inspecties van zonnepanelen](#)

[Technea, z.d., “Bedrijven in de startblokken voor Scope 12: verzekeraars gaan inspectie zonnepanelen als harde eis stellen.”](#)

Verbond van Verzekeraars, 2020: *Preventiebrochure voor PV-installaties*

## A. Algemene beschrijving zonnepark

Hieronder volgt een beschrijving van de onderdelen van een zonnepark. De cijfers verwijzen naar de afbeelding onder de beschrijvingen.

### **Zonnepark (1)**

Een zonnepark is een installatie die duurzame elektriciteit opwekt uit zonlicht. Een zonnepark bestaat uit een groot aantal zonnepanelen, een of meerdere omvormers, en DC-kabels en AC-kabels. Grote zonneparken hebben ook een eigen transformator of transformatoren.

### **Zonnepaneel (2)**

Een zonnepaneel is het basiselement van een zonnepark. Een zonnepaneel bestaat uit een groot aantal zonnecellen (meestal 60 of 72), die zijn verpakt tussen twee lagen. De voorkant van een zonnepaneel bestaat meestal uit glas. De achterkant van een zonnepaneel is ofwel van kunststof (**glas-folie-paneel**) ofwel van glas (**glas-glas-paneel**). Over het algemeen wordt er vanuit gegaan dat zonnepanelen 25 tot 30 jaar kunnen blijven functioneren. Wel gaat de opbrengst ieder jaar wat achteruit.

### **Zonnecel (3)**

Een zonnecel is het basiselement van een zonnepaneel. Een zonnecel zet zonlicht rechtstreeks om in gelijkstroom. Zonnecellen zijn meestal gemaakt van heel zuiver silicium en zijn maximaal 0,3 mm dik. Er bestaan ook zogenaamde **dunnefilm zonnecellen**. Deze zijn nog veel dunner en kunnen ook uit andere materialen bestaan.

### **Omvormer (4)**

Een omvormer is een elektronisch apparaat dat de gelijkstroom uit een aantal zonnepanelen omzet in een wisselstroom die in het elektriciteitsnet gebruikt kan worden. Een omvormer staat vaak onder of naast een rij met zonnepanelen en is vaak zo'n 40-100 cm hoog, 30-60 cm breed en 15-40 cm dik. Er zijn ook losstaande omvormers, zogenaamde 'centrale omvormers', deze zijn veel groter.

### **Power optimizer (5)**

Een power optimizer is een elektronisch apparaat dat de gelijkstroom van een of twee zonnepanelen kan aanpassen. Hierdoor wordt het mogelijk om zonnepanelen via dezelfde kabel op de omvormer aan te sluiten ook als ze een verschillende stroom hebben (bijvoorbeeld door schaduw). Power optimizers worden met name gebruikt bij zonnepanelen waarop soms schaduw valt. (Ook als de schaduw maar op een deel van het zonnepaneel valt.) Een power optimizer zit meestal achterop een zonnepaneel en is zo'n 15 x 15 cm groot en circa 5 cm dik. Power optimizers kunnen ook de stroom van een individueel zonnepaneel uitschakelen. Dit kan ook worden gebruikt voor veiligheidsfuncties, zoals het uitschakelen op commando.

### **Transformator (6)**

Een transformator is een elektrisch apparaat dat een wisselstroom met een lage spanning om kan zetten in een wisselstroom met een hoge spanning of

andersom. In grote zonneparken staan vaak een of meer transformatoren. Deze zorgen ervoor dat de wisselstroom uit de omvormers in het zonnepark (vaak 400 V of 800 V) wordt overgezet naar een wisselstroom met de spanning van het elektriciteitsnet (bij een grote netaansluiting vaak 10.000 V of hoger). Een transformator is in het algemeen een aantal meter breed en diep en 1,5 tot 3 meter hoog.

#### **DC-stekker (7)**

Een DC-stekker of **DC-connector** is een koppelstuk waarmee men een DC-kabel kan verbinden met een zonnepaneel, een omvormer, een power optimizer of een andere DC-kabel. Bij DC-stekkers is belangrijk is dat ze goed elektrisch contact blijven maken en waterdicht blijven gedurende de hele levensduur van 25 jaar of meer. Ook moeten ze vergrendeld zijn tegen loskoppelen. Zolang er een gelijkstroom loopt door de stekkers mogen ze namelijk niet losgekoppeld worden. Anders ontstaat er een vlamboog.

#### **DC-kabel (8)**

Een DC-kabel (of gelijkstroom-kabel) is een kabel voor gelijkstroom. Deze kabels verbinden de zonnepanelen met elkaar en met een optimizer of een omvormer.

#### **AC-kabel (9)**

Een AC kabel (of wisselstroom-kabel) is een kabel voor wisselstroom. Deze kabels verbinden omvormers met elkaar en met de aansluiting op het elektriciteitsnet.

#### **Monitoringssysteem (10)**

Een monitoringssysteem is een elektrisch systeem dat de toestand van het zonnepark meet en registreert. Het systeem legt op vaste tijdstippen (bijv. elke minuut, elke 10 seconden of elke seconde) vast hoeveel energie er is opgewekt en met welke spanningen en stromen. Vaak is het mogelijk om het monitoringssysteem op afstand uit te lezen. Dan kan een beheerder het zonnepark vanuit zijn kantoor in de gaten houden. Veel monitoringssystemen kunnen een automatische storingsmelding geven als er een storing in het zonnepark is. Dan kan een monteur als dat nodig is direct naar het zonnepark om de storing op te lossen. Er bestaan ook zogenaamde ‘slimme’ monitoringssystemen die een storing al vroeg kunnen opsporen. Dat maakt het mogelijk om de storing op te lossen vóóordat er schade of opbrengstverlies ontstaat.

#### **Vlamboog (11)**

Een vlamboog is een stroom die loopt door een opening met lucht (of een ander gas) daartussen. Een vlamboog kan ontstaan wanneer het elektrisch contact tussen twee voorwerpen wordt verbroken terwijl er een stroom door loopt. In een vlamboog kan in een kleine ruimte veel warmte vrijkomen. Hierdoor kan het voorwerp heel heet worden en ontstaat er gevaar voor brand. Om dit te voorkomen kan men een **vlamboog-detectiesysteem** gebruiken. Dat systeem kan een vlamboog opsporen en afschakelen.

Een vlamboog kan ontstaan door het verbreken van een contact bij een gelijkstroom of bij een wisselstroom. Als een vlamboog met een *gelijkstroom* eenmaal is ontstaan is deze moeilijk te doven. Daarom is een vlamboog met een gelijkstroom gevaarlijker dan een vlamboog met een wisselstroom.

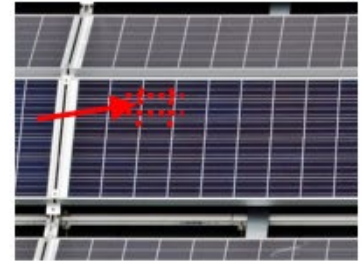




1. zonnepark



2. zonnepaneel



3. zonnecel



4. omvormer



5. power optimizer



6. transformator



7. DC-stekker

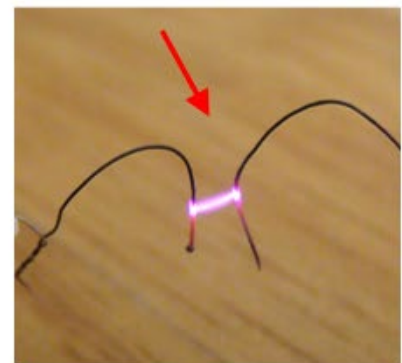
8. DC-kabel



9. AC-kabel



10. monitoringssysteem



11. vlamboog

## B. Geraadpleegde personen en bronnen

Bij het voorbereiden van dit rapport hebben de auteurs interviews gehouden met medewerkers van bedrijven of instellingen die vanuit hun praktijkervaring inzichten hebben aangeleverd met betrekking tot een veilige toepassing van systemen met zonnepanelen en ten aanzien van het belang hiervan. De interviews zijn gehouden met 2 leveranciers van verschillende typen bevestigingsystemen, met een schade-expert van een verzekeringsmaatschappij, en met een aantal medewerkers van Rijkswaterstaat. De auteurs willen hen hartelijk danken voor hun bijdrage aan dit rapport. Hieronder is een samenvatting gegeven van de informatie die deze partijen met betrekking tot het aspect “constructief ontwerp” hebben aangeleverd.

### 1 Uit het overleg met systeemleveranciers

Systeemleveranciers herkennen het beeld dat er met enige regelmaat stormschade ontstaat aan constructies met zonnepanelen. Vooral geballaste systemen op daken zijn in dit opzicht relatief kwetsbaar, maar ook in veldopstellingen zijn grote schades opgetreden. Voor alle draagconstructies geldt dat het type verbinding dat wordt gebruikt voor de bevestiging van de zonnepanelen zelf belangrijk is voor de robuustheid van het systeem. In dit verband zijn in het overleg tussen TNO en systeemleveranciers 3 typen verbindingen met elkaar vergeleken:

- Boutverbinding middels de boutgaten in het aluminium kaderprofiel

Dit type verbinding wordt door de fabrikant van zonnepanelen gefaciliteerd door middel van de boutgaten op de juiste positie(s) in het aluminium kaderprofiel, maar wordt in de praktijk relatief weinig toegepast. De verbinding met de toepassing van 4 bouten voor één paneel is zeker veilig, maar relatief bewerkelijk.

- Klemverbinding

Het is mogelijk om één paneel te bevestigen met 4 klemverbindingen. Maar in het geval van 2 of meer naast elkaar liggende panelen wordt algemeen een type klem toegepast waarmee aan beide zijden van de klem een paneel gefixeerd wordt. Wat als in zo'n systeem een paneel (bijvoorbeeld door storm of diefstal) ontbreekt? Een klem die bedoeld is om twee panelen tegelijk te klemmen is niet bedoeld om aan één zijde een paneel te klemmen. Met andere woorden, is een dergelijk systeem voldoende bestand tegen voortschrijdend bezwijken?

Systeemleveranciers geven aan dat weliswaar de klemkracht ontbreekt bij de klem met aan één zijde een paneel, maar dat daarmee het paneel aan de andere zijde van de klem niet direct ook losraakt. De stormbestendigheid van een dergelijke situatie is door hen echter niet aangetoond. Een dergelijke verbinding moet als ongeschikt worden beschouwd zolang niet is aangetoond dat dit type klem voldoet aan de eis uit NEN-EN1990 dat de robuustheid van de constructie tijdens de gehele gebruiksperiode voldoende is.

- Oplegging in sponningen

Er bestaan twee opties voor het opleggen van zonnepanelen in sponningen. In het ene geval worden de boven- en onderzijden van het zonnepaneel in dragende profielen aangebracht. Er is bij een dergelijk systeem aanvullend een borging nodig om te voorkomen dat het zonnepaneel eenvoudig kan worden uitgenomen of kan

losraken bij windbelasting. Bij het andere systeem worden de zijkanten van het zonnepaneel in dragende profielen aangebracht. Dit wordt ook wel een geschoven systeem genoemd. Een zonnepaneel kan daarbij slechts worden uitgenomen nadat dragende profielen zijn gedemonteerd.

## 2 Uit het overleg met een verzekeringsmaatschappij

De geconsulteerde verzekeringsmaatschappij stuit in de praktijk met grote regelmaat op het probleem dat de veiligheid niet is aangetoond (ook bij veldopstellingen). Dat geldt zowel voor de constructieve veiligheid als voor de brandveiligheid. Problemen met het aantonen van de constructieve veiligheid zijn vaak toe te wijzen aan het feit dat de opdrachtgever/eigenaar bij verschillende partijen “losse componenten” koopt. Men gaat er meer dan eens ten onrechte vanuit dat wanneer de losse componenten als stormbestendig zijn beoordeeld, dat dan ook de combinatie van deze drie elementen een stormbestendig systeem opleveren.

Verzekeringsmaatschappijen werken ook samen aan schadepreventie. Het Verbond van verzekeraars heeft bijvoorbeeld een Preventiebrochure voor PV-installaties uitgegeven<sup>2</sup> en heeft ook samen met de branche gewerkt aan de ontwikkeling van SCIOS Scope12. De verzekeringsmaatschappijen hebben de opleveringskeuring en de periodieke herkeuring op basis van SCIOS Scope12 tot één van de speerpunten gemaakt in hun Preventiebrochure voor PV-installaties.

## 3 Uit het overleg met Rijkswaterstaat

Voor Rijkswaterstaat is het belangrijk om inzicht te krijgen in de geschiktheid van terreinen langs snelwegen voor de aanleg van systemen voor zonnepanelen. Een zonnepark mag nadrukkelijk niet ten koste gaan van de veiligheid en doorstroming van het verkeer. Het is dus van belang dat er een methode beschikbaar is waarmee het vereiste veiligheidsniveau kan worden aangetoond.

Het is voor RWS van belang om inzicht te krijgen in de onderdelen die als gevolg van stormschade aan een zonnepark op de snelweg kunnen komen. En vooral om mogelijkheden te kennen om stormschade te voorkomen of te beperken. Het afsluiten en vrij maken van de snelweg kan aanzienlijke economische schade tot gevolg hebben (de werkzaamheden zelf en financiële schade door files). Het kan zo gezien aantrekkelijk zijn om te investeren in preventieve maatregelen.

Zonnepanelen op bestaande infrastructuur (geluidsschermen, viaducten, e.d.) zijn geen onderdeel van onderhavig rapport. Indien mogelijk is het aantrekkelijk om de bij RWS bekende richtlijn GCW2012 te betrekken bij de op te stellen veiligheidseisen voor zonneparken langs snelwegen.

In een WBR-vergunning (Wbr = Wet Beheer Rijkswaterstaatswerken) worden onder andere zaken geregeld met betrekking tot een veilige wijze waarop de aanleg, onderhoud en reparatie van constructies in de berm worden uitgevoerd. Het kunnen uitvoeren van onderhoud, zoals maaien, kan invloed hebben op de vorm van de draagconstructie voor de zonnepanelen. In principe heeft elk onderdeel langs de snelweg een eigen onderhoudsregiem, maar het is wel handig wanneer onderhoud kan worden gecombineerd. Ook moet het mogelijk zijn om incidenteel een inspectie uit te kunnen voeren, bijvoorbeeld na een storm.

---

<sup>2</sup> Deze brochure uit 2020 (23 pagina's) vervangt een eerdere brochure uit 2019 (16 pagina's) waarin nog niet in detail naar SCIOS Scope12 wordt verwezen.