

Westerduinweg 3
1755 LE Petten
Postbus 15
1755 ZG Petten

www.tno.nl

T +31 88 866 50 65

–TNO-rapport

TNO 2021 R12622

Veiligheid van zonneparken in bermen en knooppunten van rijkswegen

Elektrische veiligheid en EMC



Visualisatie van groen gekleurde zonnepanelen langs de A37 door The Imagineers / Rijkswaterstaat

Datum	9 december 2021
Auteur(s)	Josco Kester, Gertjan de Graaff, Nico Dekker
Aantal pagina's	28 (incl. bijlagen)
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat: Ivo Booijsink en Maarten Bresjer

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

1	Inleiding	3
1.1	Aanleiding.....	3
1.2	Onderzoeksvragen.....	3
1.3	Methode	3
1.4	Leeswijzer	4
2	Elektrische veiligheid en EMC	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Elektrische veiligheid	5
2.3	Elektro Magnetische Compatibiliteit (EMC)	5
3	Normatieve eisen en richtlijnen	7
3.1	Elektrische veiligheid	7
3.2	EMC en zwervstromen	9
4	Preventiemaatregelen	10
4.1	Elektrische veiligheid	10
4.2	EMC en zwervstromen	14
5	Samenvatting van de eisen	17
5.1	Elektrische veiligheid	17
5.2	EMC en zwervstromen	21
6	Literatuur	22
	Bijlage(n)	
	A Algemene beschrijving zonnepark	
	B Zonnepanelen installeren: de tips (Agentschap Telecom)	

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Nederland heeft in het Klimaatakkoord vastgelegd dat de Nederlandse CO₂-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 langs de snelweg of op water dat in beheer is 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 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)
- ‘Brandveiligheid bij zonnepanelen’ (TNO-rapport 2)
- ‘Beperken van verkeershinder bij onderhoud van zonneparken’ (TNO rapport 3)
- ‘Aanbevelingen voor constructies voor zonnepanelen’ (TNO-rapport 4).

Eén van de doelen van RWS is om meer te leren over hoe ze het RWS-areaal op een veilige manier beschikbaar kan stellen voor het plaatsen van zonneparken langs de snelweg en op RWS-water. 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 (bijvoorbeeld in de vorm van eisen) 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 beschrijft de door TNO geadviseerde veiligheidseisen op het gebied van Elektrische veiligheid en EMC en de achtergrond van deze eisen.

1.3 Methode

TNO heeft om de onderzoeksvragen te beantwoorden de eisen uit het Bouwbesluit en de NEN-normen voor zonneparken geïnventariseerd (zoals deze golden per 1 juli 2021). Daarbij heeft TNO gebruik gemaakt van een literatuurstudie, aangevuld met interviews met medewerkers van onder meer

Brandweer Nederland, Instituut voor Fysieke Veiligheid (IFV), exploitanten van zonneparken, medewerkers en onderhoudsaannemers van Rijkswaterstaat. Uitgangspunt in de literatuurstudie op het gebied van elektrische veiligheid en EMC was een rapport van DNV GL in opdracht van Rijkswaterstaat (DNV GL 2020). De aanbevolen eisen uit dat rapport zijn beoordeeld door TNO en waar nodig aangevuld. Lezers zullen veel van de in dat rapport geformuleerde eisen herkennen. Waar er verschillen zijn, komen deze enerzijds door een nieuwe beoordeling van de relevantie en toepasbaarheid in de praktijk, onder meer op basis van de uitgevoerde interviews. Anderzijds zijn er verschillen doordat er gebruik gemaakt is van aanvullende literatuur, zoals het ISSO Handboek Zonne-energie (ISSO, 2019) en de Scope12 richtlijnen voor certificering van inspecties (SCIOS, 2020). Ook is in het voorjaar van 2021 de NEN1010:2020 verschenen, een volledig herschreven versie van deze norm. Bij het schrijven van onderhavig TNO-rapport is deze nieuwe NEN1010:2020 gebruikt.

TNO heeft bij de totstandkoming van dit rapport intensief samengewerkt met opdrachtgever Rijkswaterstaat, onder meer via een aantal commentaarrondes. Ook zijn de door TNO voorgestelde eisen aan zonneparken voorgelegd aan leden van Holland Solar.

Het onderwerp veiligheid van zonneparken is momenteel sterk in ontwikkeling, zoals onder meer blijkt uit de vele publicaties van betrokken partijen. De auteurs raden opdrachtgever Rijkswaterstaat daarom aan om na verschijning van dit rapport periodiek te beoordelen of de hier geformuleerde veiligheidseisen nog actueel zijn.

1.4 Leeswijzer

Het rapport is onderverdeeld in 5 hoofdstukken:

Hoofdstuk 1 ‘Inleiding’: Hierin komt de aanleiding van het schrijven van dit rapport aan bod, samen met de onderzoeksvragen die gesteld zijn en de methode waarmee de vragen worden beantwoord.

Hoofdstuk 2 ‘Elektrische veiligheid en EMC’: Dit hoofdstuk geeft een korte inleiding op de aspecten elektrische veiligheid en EMC van zonneparken, als achtergrondinformatie voor lezers van buiten deze vakgebieden.

Hoofdstuk 3 ‘Normatieve eisen en richtlijnen’: Dit hoofdstuk noemt de eisen en richtlijnen die van toepassing zijn, inclusief de eisen die bij plaatsing van zonneparken langs snelwegen noodzakelijk zijn om de veiligheid van weggebruikers te waarborgen.

Hoofdstuk 4 ‘Preventiemaatregelen’: In dit hoofdstuk zijn de veiligheidseisen die TNO adviseert aan Rijkswaterstaat beschreven, met waar nodig een korte toelichting.

Hoofdstuk 5 ‘Samenvatting van de eisen’: In dit hoofdstuk staat een samenvatting van alle geadviseerde veiligheidseisen.

Een lezer die zich snel een beeld wil vormen van de in dit document geadviseerde eisen stellen wij voor om te beginnen met Hoofdstuk 5 ‘Samenvatting van de eisen’. De onderbouwing van deze eisen staat vervolgens in Hoofdstuk 3 ‘Normatieve eisen en richtlijnen’ en Hoofdstuk 4 ‘Preventiemaatregelen’.

2 Elektrische veiligheid en EMC

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een korte inleiding op de aspecten elektrische veiligheid en EMC van zonneparken, met name als achtergrondinformatie voor lezers met beperkte kennis van deze aspecten.

2.2 Elektrische veiligheid

Overal om ons heen maken we gebruik van elektrische apparaten. Toch brengt dit ook risico's met zich mee. Men kan onderscheid maken in de volgende risico's van elektriciteit (DNV GL 2020):

- Directe risico's van elektriciteit:
 - stroom door het menselijk lichaam
 - verbranding door vlambogen bij kortsluiting
 - statische elektriciteit
 - elektromagnetische velden.
- Indirecte risico's van elektriciteit:
 - brand en explosie
 - het vrijkomen van schadelijke stoffen
 - vallen en stoten door schrikreacties en spiersamentrekkingen.

Belangrijke risico's bij zonneparken langs snelwegen zijn stroom door het menselijk lichaam en brand door kortsluiting.

Om deze risico's te beperken zijn er eisen voor alle elektrische apparaten en systemen en specifieke eisen voor zonnepanelen en zonneparken. Paragraaf 3.1 'Elektrische veiligheid' beschrijft deze eisen op het gebied van elektrische veiligheid.

2.3 Elektro Magnetische Compatibiliteit (EMC)

Elektrische systemen die bij elkaar in de buurt zijn, kunnen elkaar elektrisch of magnetisch beïnvloeden. Dit wordt elektromagnetische interferentie (onderlinge beïnvloeding) genoemd. Dit kan in een aantal gevallen leiden tot verstoring van de functie van een apparaat of systeem. Een voorbeeld van elektromagnetisch interferentie is het krakende geluid dat soms uit een luidspreker komt als er vlakbij een mobiele telefoon afgaat. Een ander voorbeeld is het verstoren van de FM-ontvangst door een lader van een mobiele telefoon dichtbij de radioantenne. Het vakgebied 'elektromagnetische compatibiliteit' (EMC) richt zich op het voorkomen van deze storingen. Om dit soort problemen te voorkomen gelden er eisen voor alle elektrische apparatuur. Deze eisen begrenzen enerzijds de hoeveelheid stoorsignalen die een apparaat mag uitzenden. Anderzijds gelden er grenzen voor de gevoeligheid van een apparaat voor stoorsignalen uit de omgeving. Het motto is: 'stoort niet en wordt niet gestoord'.

De hoeveelheid stoorsignalen die een apparaat uitzendt, hangt samen met een aantal factoren waaronder de grootte en de frequentie van elektrische stromen en spanningen. Ook de opbouw van een elektrisch circuit heeft hier invloed op. Als er

lussen in het elektrische circuit aanwezig zijn, kunnen deze als zendantenne optreden en een stoorsignaal verspreiden.

EMC-verstoring door zonneparken kwam medio 2021 in het nieuws naar aanleiding van een bericht van het Agentschap Telecom. Het Agentschap Telecom is een agentschap van het ministerie van Economische Zaken dat toezicht houdt op de veiligheid en betrouwbaarheid van telecommunicatie- en IT-netwerken in Nederland.¹ Het agentschap berichtte dat zonneparken die niet aan de regels voldoen de ontvangst van het C2000-systeem kunnen verstoren. Om die reden is het agentschap een zaak gestart tegen een (niet met naam genoemde) leverancier van omvormers.

Bij een steekproefsgewijs onderzoek van Europese toezichthouders in 2019 bleek dat slechts 25% van de 12 onderzochte omvormers voor zonnepanelen voldoen aan de Europese regels voor het uitzenden van elektromagnetische stoorsignalen (EMC ADCO, 2020). Op alle onderzochte omvormers was een CE-markering aangebracht, ook op degene die niet aan de eisen voldoen.

Paragraaf 3.2 'EMC en zwervstroom' beschrijft de regels op het gebied van EMC. Het Agentschap Telecom heeft op haar website tips geplaatst voor het voorkomen van storingen door zonnepanelen. Deze zijn opgenomen als bijlage 0 van dit rapport.

¹ Solar Magazine, 3 juni 2021, 'Omvormer zonnepanelen verstoort communicatie hulpdiensten: Agentschap Telecom start zaak tegen fabrikant', <https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i24568/omvormer-zonnepanelen-verstoort-communicatie-hulpdiensten-agentschap-telecom-start-zaak-tegen-fabrikant>

3 Normatieve eisen en richtlijnen

3.1 Elektrische veiligheid

Voor zonneparken en de onderdelen daarvan gelden de wettelijke eisen op grond van het Bouwbesluit. Deze verwijst voor elektrische veiligheid naar NEN 1010 Elektrische installaties voor laagspanning. Verder dienen alle installaties die op het elektriciteitsnet aangesloten zijn te voldoen aan de Netcode Elektriciteit van de Energiekamer van de NMA. Ook gelden de Europese regels zoals de eis dat producten voorzien zijn van CE-markering met bijbehorende conformiteitsverklaring (onderbouwd door meetrapporten) en de Nederlandse uitwerking van de Laagspanningsrichtlijn en de Machinerichtlijn.

Om de veiligheid van weggebruikers en de doorstroming van het verkeer te garanderen moeten zonneparken langs snelwegen aan hoge veiligheidseisen voldoen. Daarom is het van belang dat de zonneparken volgens de regels van vakmanschap worden ontworpen, uitgevoerd en onderhouden. Om deze reden adviseert TNO aan Rijkswaterstaat om te eisen dat de zonneparken voldoen aan de eisen uit ISSO Handboek Zonne-energie (HBZE) (ISSO, 2019), ook waar die uitgaan boven de bovengenoemde wettelijke eisen. Meer specifiek dienen de zonneparken en hun onderdelen te voldoen aan de eisen uit de volgende onderdelen van ISSO 2019:

- Paragraaf 1.5.2 Zonnestroom normen
- Paragraaf 3.2 Ontwerp van een netgekoppelde PV-installatie
- Paragraaf 6.4 Engineering zonnestroom
- Paragraaf 7.5 DC-bekabeling
- Paragraaf 7.7 Aarding
- Paragraaf 7.9 Veilig werken met PV-systemen
- Specificatieblad² II.3-1 tot en met II.3-4
- Specificatieblad³ III.3-2

In deze onderdelen van het Handboek Zonne-energie is een groot aantal normen vermeld voor zonnepanelen en zonneparken. Belangrijke normen waaraan het zonnepark op grond hiervan dient te voldoen zijn:

Normen voor zonnepanelen

- EN 50380 Technische beschrijving en naamplaatgegevens voor fotovoltaïsche modules
- IEC 61646 Dunne-film fotovoltaïsche modules voor aardse toepassingen
- NEN-EN-IEC 61215 Fotovoltaïsche (PV) modules voor aardse toepassingen
- NEN-EN-IEC 61730 Veiligheidskwalificatie van fotovoltaïsche (PV) modules
- NEN-EN-IEC 62446-1 Fotovoltaïsche (PV) systemen - Eisen voor beproeving, documentatie en onderhoud

² De installaties dienen te voldoen aan alle in de specificatiebladen vermelde eisen ('Wettelijke eisen', 'Kwaliteitseisen' en 'Aanvullende kwaliteitseisen').

³ Zie voorgaande voetnoot.

Normen voor omvormers

- NEN-EN 50524 Informatieblad en naamplaatje voor fotonvoltaïsche omvormers
- NEN-EN 50530 Algemene efficiëntie van fotonvoltaïsche omvormers
- NEN-EN-IEC 62109-1 Veiligheid van vermogensomzetters gebruikt in foto-elektrische vermogenssystemen - Deel 1: Algemene eisen

Normen voor stekkers

- NEN-EN-IEC 62852:2015 Connectoren voor gelijkstroom in fotonvoltaïsche systemen - Veiligheidseisen en -proeven

Normen voor installatiewerk

- NEN 1010 Elektrische installaties voor laagspanning - Nederlandse implementatie van de HD-IEC 60364-reeks (gehele norm en deel 7-712 in het bijzonder)
- NEN 3140 Bedrijfsvoering van elektrische installaties - Laagspanning
- NEN 3840 Bedrijfsvoering van elektrische installaties – Hoogspanning
- NPR 5310 Nederlandse praktijkrichtlijn bij NEN 1010
- NEN-EN 50549-1 Requirements for generating plants to be connected in parallel with distribution networks - Part 1: Connection to a LV distribution network - Generating plants up to and including Type B
- NEN-en-61439-1 Laagspanningsschakel- en verdeelinrichtingen - Deel 1: Algemene regels
- NEN-EN-IEC-62305 Bliksembeveiliging
- NEN-EN-IEC 62852 Connectors voor gelijkstroom in fotonvoltaïsche systemen - Veiligheidseisen en -proeven

Inspectie bij inbedrijfstelling

Het is belangrijk dat een onafhankelijke, gecertificeerde partij voor inbedrijfstelling controleert of het zonnepark inderdaad aan deze eisen voldoet. Voor dergelijke inspecties is in 2020 de SCIOS Scope12-certificatieregeling voor de inspectie van zonnestroominstallaties ontwikkeld, op initiatief van het Verbond van Verzekeraars, Holland Solar en inspectiebedrijven (vanuit de brancheorganisaties iKeur en Techniek Nederland). De Scope12-inspectie kent een onderscheid in een eerste bedrijfsinspectie (EBI) en periodieke vervolgininspecties (PI). De EBI is vooral gericht op de kwaliteit van de installatie en of deze voldoet aan de geldende normen en aan de instructies van de fabrikant. De eisen aan inspectie en rapportage en documentatie worden beschreven in het Technisch Document 18 'Inspectie van zonnestroominstallaties' (SCIOS, 2021). In dit document staat ook per type afwijking de risicoklasse vermeld en de bijbehorende termijn waarbinnen de afwijking verholpen moet zijn. Ernstige afwijkingen dienen direct verholpen te worden vóórdat de installatie in bedrijf gesteld wordt. Bedrijven en de inspecteur die Scope12-inspecties uitvoeren dienen door het SCIOS gecertificeerd te zijn. Veel verzekeraars stellen inspectie volgens Scope12 als voorwaarde voor het verzekeren van een zonnepark. TNO adviseert aan Rijkswaterstaat om hierbij aan te sluiten en bij inbedrijfstelling een inspectie volgens Scope12 te eisen. Ook tijdens de periode van bedrijf dienen periodieke inspecties plaats te vinden volgens de richtlijnen van Scope12. Voor deze en andere eisen aan beheer en onderhoud verwijzen we naar TNO-rapport 3 'Beperken van verkeershinder bij onderhoud van zonneparken'.

3.2 EMC en zwerfstromen

Om te voorkomen dat elektrische apparaten elkaar negatief beïnvloeden via elektromagnetische interferentie geldt in de Europese Unie de EMC-richtlijn (2014/30/EU). Alle elektrische apparaten die in de EU op de markt gebracht worden, dienen hieraan te voldoen. In zonneparken geldt dit onder meer voor de transformatoren, omvormers en optimizers. Toezichthouder hierop in Nederland is het Agentschap Telecom.

Uit onderzoek van Agentschap Telecom is gebleken dat ondanks de geldende regelgeving een aantal zonneparken in de praktijk wel elektromagnetische interferentie veroorzaakt. Dit komt door ondeugdelijke omvormers of optimizers, die niet aan de EMC-richtlijn voldoen, en/of een ondeugdelijke elektrotechnische installatie, met zogenaamde ‘inductielussen’. Eén van de consequenties kan zijn dat het C2000-systeem, waarmee de hulpdiensten communiceren, verstoord raakt. Op snelwegen zou op soortgelijke wijze hinder kunnen ontstaan in elektrische installaties van Rijkswaterstaat of in draadloze communicatiesystemen van voertuigen. Om dergelijke verstoringen te voorkomen heeft Agentschap Telecom een reeks aanbevelingen geformuleerd (zie bijlage C Aanbevelingen voor het installeren van zonnepanelen). TNO adviseert Rijkswaterstaat om te eisen dat de zonneparken ontworpen en gebouwd zijn volgens de aanbevelingen van Agentschap Telecom.

4 Preventiemaatregelen

4.1 Elektrische veiligheid

Zoals beschreven in hoofdstuk 3 dient de elektrische installatie van het zonnepark te voldoen aan het Bouwbesluit, NEN1010, de Netcode Elektriciteit, de eisen op het gebied van CE-markering en de Nederlandse uitwerking van de Laagspanningsrichtlijn en de Machinerichtlijn. Daarnaast adviseert TNO aan RWS om te eisen dat de zonneparken voldoen aan de eisen uit de in hoofdstuk 3 genoemde onderdelen van het Handboek Zonne-energie (ISSO, 2019). Verder dienen opleverings- en periodieke onderhoudsinspecties conform Scope12 uitgevoerd te worden.

Indien het geleidende pad van de gelijkstroom onderbroken wordt, kan een permanente vlamboog ontstaan, met oververhitting of brand tot gevolg. Daarom worden, zoals beschreven in het Handboek Zonne-energie, extra eisen gesteld aan de gelijkstroom-bekabeling en aan vlamboogdetectie. Verder is er speciale aandacht nodig voor andere factoren die tot ongewenste storingen kunnen leiden, namelijk binnendringen van vocht, schade aan kabels of leidingen en blikseminslag.

Hieruit volgen de volgende eisen:

- De elektrische installatie van het zonnepark voldoet aan de geldende versies van het Bouwbesluit, NEN1010, de Netcode Elektriciteit, de eisen op het gebied van CE-markering en de Nederlandse uitwerking van de Laagspanningsrichtlijn en de Machinerichtlijn.
- De elektrische installatie van het zonnepark voldoet aan de norm NEN1010, in het bijzonder aan Deel 712 met als titel “Fotovoltaïsche systemen (PV-systemen)” en, voor zover niet in strijd met de geldende versie van NEN1010, aan de toelichting hierop in NPR5310.
- Enkele *aanbevelingen* uit NEN1010 worden vervangen door de volgende *eisen*:
 - Elke combinatie van stekker en contrastekker moet van hetzelfde fabricaat zijn (NEN1010, Deel 712.526). Uit onderzoek is gebleken dat er een verhoogd gevaar is op brand in PV-systemen als stekkers en contrastekkers niet van hetzelfde fabricaat zijn – ook al zijn de stekkers compatibel.⁴
 - Connectoren dienen goed aan kabels bevestigd te zijn met behulp van daarvoor bedoeld gereedschap (Handboek Zonne-energie, paragraaf 7.5).
 - Er dienen bijzondere maatregelen te worden genomen ter bescherming tegen de effecten van vlambogen, door gebruikmaking van toestellen voor vlamboogdetectie (NEN1010, Deel 421.7) Deze functie kan ook opgenomen zijn in de omvormer.
 - Op de DC-ingang van de omvormer wordt vlamboogdetectie toegepast en deze is geactiveerd. Een vlamboogdetector schakelt na detectie de betreffende omvormer direct naar een veilige toestand, zodat de vlamboog

⁴ Zie het TNO-rapport uit 2019 ‘Brandincidenten met fotovoltaïsche (PV) systemen in Nederland. Een inventarisatie’ (Bende et.al., 2019).

dooft.⁵ Een afgeschakelde omvormer kan uitsluitend handmatig gereset worden alvorens weer in bedrijf te kunnen komen. Deze vlamboog detectie is tegenwoordig veelal in de omvormer ingebouwd. Indien slechts één zonnepaneel is aangesloten op één ingang van een micro-omvormer dan mag vlamboogdetectie in dit circuit achterwege blijven (afgeleid van RVB, 2021).

Er is verder speciale aandacht nodig voor de volgende eisen uit de NEN 1010:

- Regelmatig onderhoud van de PV-installatie (zie Deel 34). Eisen aan het onderhoud worden nader beschreven in TNO-rapport 3 ‘Beperken van verkeershinder bij onderhoud van zonneparken’.
- Bij de keuze en installatie van het materieel moet rekening gehouden worden met de uitwendige invloeden, zoals van het weer en de aanwezigheid van water en resten van strooizout (zie NEN1010, Deel 512.2). Bijlage 51.A en 51.B van NEN1010 vullen dit verder in.
- Leidingsystemen moeten zo zijn gekozen en geïnstalleerd dat schade aan kabels en geïsoleerde geleiders en hun aansluitingen tijdens installatie, gebruik of onderhoud wordt voorkomen (zie NEN1010, Deel 522.8.).
- Het zonnepark moet afdoende zijn beschermd tegen blikseminslag, rekening houdend met de dichtheid van het aantal bliksemontladingen ter plaatse (zie NEN1010, Deel 443 en 712.44).
- Als verbindingconnectoren toegankelijk zijn voor leken dan moeten ze van een type zijn dat alleen met een sleutel of met gereedschap kan worden losgekoppeld, of zij moeten in een omhulsel worden geplaatst dat alleen met een sleutel of met gereedschap kan worden geopend (zie NEN1010, Deel 712.526.101).
- Conform de eisen uit Scope12 zijn de volgende normen waarnaar NEN1010 verwijst van toepassing voor de Scope12-inspecties:
 - NEN 3140 Bedrijfsvoering van elektrische installaties - Laagspanning
 - NEN 3840 Bedrijfsvoering van elektrische installaties – Hoogspanning
 - NEN-EN-IEC 62446-1 Fotovoltaïsche (PV) systemen - Eisen voor beproeving, documentatie en onderhoud - Deel 1: Netgekoppelde systemen - Documentatie, inbedrijfnametesten en inspectie
 - NEN-en-61439-1 Laagspanningsschakel- en verdeelinrichtingen - Deel 1: Algemene regels
 - NEN-EN-IEC-62305 Bliksembeveiliging.

De elektrische installatie van het zonnepark voldoet aan de eisen uit het Handboek Zonne-energie (HBZE) (ISSO, 2019). Dit betreft de eisen uit de paragrafen 1.5.2, 3.2, 6.4, 7.5, 7.7 en 7.9. Tevens betreft dit de eisen uit de specificatiebladen II.3-1, II.3-2, II.3-3 en II.3-4, dat wil zeggen de daarin vermelde ‘Wettelijke eisen’, ‘Kwaliteitseisen’ en ‘Aanvullende kwaliteitseisen’.

Conform de genoemde onderdelen van het Handboek Zonne-energie (ISSO 2019) zijn de volgende normen van toepassing:

⁵ Het afschakelen van de omvormer leidt ertoe dat de vlamboog dooft, waardoor de kans op het ontstaan van brand afneemt. Het leidt er NIET toe dat het systeem aanraakveilig is. Immers, er kan nog steeds een onveilige spanning aanwezig zijn vanuit de zonnepanelen. Zie hiervoor ook de onderzoeksaanbeveling aan het eind van deze paragraaf.

Normen voor zonnepanelen

- EN 50380 Technische beschrijving en naamplaatgegevens voor fofovoltaïsche modules
- IEC 61646 Dunne-film fofovoltaïsche modules voor aardse toepassingen
- NEN-EN-IEC 61215 Fofovoltaïsche (PV) modules voor aardse toepassingen
- NEN-EN-IEC 61730 Veiligheidskwalificatie van fofovoltaïsche (PV) modules
- NEN-EN-IEC 62446-1 Fofovoltaïsche (PV) systemen - Eisen voor beproeving, documentatie en onderhoud

Normen voor omvormers

- NEN-EN 50524 Informatieblad en naamplaatje voor fofovoltaïsche omvormers
- NEN-EN 50530 Algemene efficiëntie van fofovoltaïsche omvormers
- NEN-EN-IEC 62109-1 Veiligheid van vermogensomzetters gebruikt in fofoelektrische vermogenssystemen - Deel 1: Algemene eisen

Normen voor stekkers

- NEN-EN-IEC 62852:2015 Connectoren voor gelijkstroom in fofovoltaïsche systemen - Veiligheidseisen en -proeven

Normen voor installatiewerk

- NEN 1010 Elektrische installaties voor laagspanning - Nederlandse implementatie van de HD-IEC 60364-reeks (gehele norm en deel 7-712 in het bijzonder)
- NEN 3140 Bedrijfsvoering van elektrische installaties - Laagspanning
- NEN 3840 Bedrijfsvoering van elektrische installaties – Hoogspanning
- NPR 5310 Nederlandse praktijkrichtlijn bij NEN 1010
- NEN-EN 50549-1 Requirements for generating plants to be connected in parallel with distribution networks - Part 1: Connection to a LV distribution network - Generating plants up to and including Type B
- NEN-en-61439-1 Laagspanningsschakel- en verdeelinrichtingen - Deel 1: Algemene regels
- NEN-EN-IEC-62305 Bliksembeveiliging
- NEN-EN-IEC 62852 Connectors voor gelijkstroom in fofovoltaïsche systemen - Veiligheidseisen en -proeven

- Vóór inbedrijfstelling van het zonnepark dient een eerste bedrijfsinspectie (EBI) conform Scope12 uitgevoerd te worden door een daartoe bevoegd inspecteur (SCIOS, 2021). Op deze wijze wordt gewaarborgd dat een onafhankelijke externe partij toeziet op de juiste toepassing van de diverse voorwaarden uit NEN1010 en andere normen door de exploitant van het zonnepark. Zoals gebruikelijk is bij Scope12 keuringen kan de Scope12-inspecteur door de betreffende marktpartij worden ingehuurd. De kwaliteit van de keuring wordt gewaarborgd door de certificering van de Scope12-inspecteurs.
- Overige eisen op het gebied van onderhoud en inspectie staan beschreven in TNO-rapport 3 'Beperken van verkeershinder bij onderhoud van zonneparken'.

Het is gebruikelijk dat verzekeringsmaatschappijen eisen dat zonneparken niet vrij toegankelijk zijn voor onbevoegden; dit wordt dan bijvoorbeeld geregeld door middel van een sloot of hek rondom het zonnepark. Dit dient om diefstal of vernieling te voorkomen. Tevens voorkomt dit dat omstanders die het zonnepark inlopen (bijvoorbeeld inzittenden van een auto met pech) bij schade aan de zonnestroominstallatie in aanraking kunnen komen met een gevaarlijke spanning. Om deze reden adviseert TNO om de volgende eis te stellen als dat mogelijk is op de betreffende RWS-locatie:

- Waar mogelijk dient het zonnepark niet vrij toegankelijk te zijn voor onbevoegden, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van een sloot of het plaatsen van een hek rondom de installatie.

In of nabij het zonnepark kunnen calamiteiten optreden zoals brand of stormschade, of er kan verkeer in het zonnepark terecht komen. Bij dergelijke calamiteiten dienen personen veilig de plaats van het ongeval te kunnen verlaten. Ook dienen de brandweer en andere hulpdiensten hun werk veilig uit te kunnen voeren. Dit betekent dat het belangrijk is dat een zonnestroomsysteem snel veilig wordt geschakeld⁶. Op grond van de informatie van Brandweer Nederland adviseert TNO aan RWS voor wat betreft elektrische veiligheid bij calamiteiten de volgende eisen te stellen:

- Bekabeling dient vlamdovend conform NEN-EN (IEC) 60332-1-2:2005 uitgevoerd te worden (CPZ, 2020).
- Met name de transformator kent vanwege de aanwezigheid van olie een brandrisico. De transformator dient daarom goed bereikbaar te zijn (bij voorkeur vanaf het onderliggende wegennet) en op minimaal 5 m afstand tot andere componenten en de zonnepanelen te staan (bij voorkeur bij de toegang van het zonnepark, maar niet in de baan van het verkeer). 5 meter rondom de transformator dient de ondergrond voorzien te zijn van steenachtig materiaal zoals grint of tegels. Indien de transformator niet bereikbaar is vanaf het onderliggend wegennet, dient een doorgang door de geleiderail aanwezig te zijn, plus een opstelplaats voor de brandweer (informatie Brandweer Nederland) De concrete uitwerking van deze eis dient in de ontwerpfase samen met de Veiligheidsregio ingevuld te worden.

Verder adviseert TNO op grond van informatie van Brandweer Nederland om de volgende eis te stellen:

- Onder de omvormer dient een steenachtig materiaal aanwezig te zijn in een zone van circa 1 meter om verspreiding van een eventuele brand in een omvormer te voorkomen.

Veiligstellen van de installatie en opvolging bij calamiteiten

In of nabij het zonnepark kunnen calamiteiten optreden zoals brand of stormschade, of er kan verkeer in het zonnepark terecht komen. Bij dergelijke calamiteiten dienen personen veilig de plaats van het ongeval te kunnen verlaten. Ook dienen de brandweer en andere hulpdiensten hun werk veilig uit te kunnen

⁶ Met veilig schakelen wordt bedoeld dat er geen onveilige spanningen zijn in de directe omgeving waar de hulpdiensten optreden. Onveilige spanningen zijn spanningen die hoger zijn dan het niveau van veilige spanning zoals gedefinieerd in NEN1010. In een normale, niet-vochtige omgeving is de grenswaarde hiervoor 120V_{DC} of 50 V_{AC}.

voeren. Dit betekent dat het belangrijk is dat een systeem snel naar een veilige toestand kan worden geschakeld.

TNO adviseert op grond van overleg met Brandweer Nederland om de volgende eisen te stellen:

- De exploitant dient te zorgen dat het zonnepark bij een calamiteit snel veilig geschakeld kan worden en zorgt dat er binnen een vooraf vastgestelde tijd een bedrijfsdeskundige aanwezig kan zijn. De reactietijden dienen in de ontwerpfase met de Veiligheidsregio afgestemd te worden.
- De zonnepark-exploitant of een partij die de exploitant daarvoor ingeschakeld heeft moet 24/7 telefonisch bereikbaar zijn om de brandweer te kunnen voorzien van de noodzakelijke informatie.
- Bij calamiteiten moet de zonnepark-exploitant direct contact opnemen met RWS en met de meldkamer van de brandweer.
- Na een incident waarbij schade is opgetreden aan de installatie van het zonnepark moet er, vóór het inbedrijfstellen van het zonnepark, opnieuw een Eerste Bedrijfsinspectie (EBI) conform Scope12 uitgevoerd worden, behalve op onderdelen van het zonnepark waarop het incident of aanpassingen na het incident geen invloed hebben.

TNO adviseert verder om onderzoek uit te voeren naar mogelijkheden om zonneparken snel veilig te schakelen:

- TNO adviseert aanvullend onderzoek hoe zonnestroomsystemen na een incident het beste teruggeschakeld kunnen worden tot een veilige aanraakspanning. Dit betreft mogelijke geautomatiseerde veiligheidssystemen op basis van incidentdetectie, of bepaalde ‘inherent veilige’ ontwerpen. Op dit moment is van deze veiligheidssystemen of ‘inherent veilige’ ontwerpen nog niet bekend of ze voldoende goed functioneren en wat de hierbij benodigde snelheid van afschakeling is⁷. Zodra er bekend is welke mogelijkheden effectief zijn, is het verstandig om een eis te stellen dat na een incident de spanning in het zonnepark automatisch terugschakelt naar een veilige aanraakspanning.

4.2 EMC en zwerfstromen

Zoals beschreven in hoofdstuk 3 dienen de zonneparken te voldoen aan de eisen uit de EMC-richtlijn (2014/30/EU) en dienen alle ‘tips’ van Agentschap Telecom volledig opgevolgd te worden (Agentschap Telecom 2021) (zie bijlage 0).

Als er in de praktijk EMC-problemen optreden, zijn de meest voorkomende oorzaken ‘inductielussen’ in de gelijkstroom-bekabeling en/of het gebruik van onderdelen, zoals omvormers of optimizers, die niet voldoen aan de EMC-richtlijn. Bij een steekproef door Europese toezichthouders bleek dat slechts 25% van de onderzochte omvormers of optimizers aan deze EMC-richtlijn voldoen. Op alle onderzochte omvormers was een CE-markering aangebracht, ook op degene die niet aan de eisen voldoen (zie paragraaf 2.3 ‘Elektro Magnetische Compatibiliteit

⁷ De Amerikaanse normen NEC 2014 en NEC 2017 schrijven in bepaalde installaties een ‘rapid shutdown’ voor binnen 30 seconden na uitschakeling van de AC netspanning. Het is onbekend of dit ook bij calamiteiten de juiste afschakeltijd is.

(EMC)'). Het is daarom belangrijk om ook de conformiteitsverklaring en bijbehorende meetrapporten van (micro)omvormers en optimizers te controleren.

Hieruit volgen de volgende eisen:

- De onderdelen van het zonnepark en het zonnepark als geheel voldoen aan de EMC-richtlijn (2014/30/EU) en voldoen aan de 'tips' van Agentschap Telecom (Agentschap Telecom 2021) (zie bijlage 0).
- De onderdelen van het zonnepark zijn voorzien van een CE-keur en bijbehorende conformiteitsverklaring, onderbouwd door een meetrapport. De Scope12-inspecteur dient deze documenten te controleren als onderdeel van de EBI-inspectie. Dit is een uitbreiding op de scope van een standaard EBI-inspectie.
- De plus- en min-kabels voor DC worden zo dicht mogelijk naast elkaar gelegd (met inachtneming van minimaal 10 cm tussenruimte voor het tegengaan van vlambogen.) Er mogen geen grote lussen in de bekabeling worden toegepast (i.v.m. mogelijke EMC-problemen).

Een bijzondere vorm van EMC-problemen is de verstoring die kan ontstaan bij een nabijgelegen systeem voor kathodische bescherming als er in het zonnepark een langdurige gelijkstroom naar de aarde optreedt. Kathodische bescherming is een systeem om metalen buizen door middel van een kleine elektrische stroom tegen corrosie te beschermen. Het wordt gebruikt bij metalen hogedruk-transportleidingen voor vloeistoffen en gassen. In het zonnepark zou een gelijkstroom naar aarde bijvoorbeeld kunnen ontstaan door een kortsluiting naar aarde die niet snel gedetecteerd wordt, of door een systeem om zogenaamde 'light induced degradation' in zonnepanelen te compenseren. Volgens mondelinge informatie van Gasunie kan een gelijkstroom naar aarde een effect hebben op metalen gas- of waterleidingen tot op een afstand van 100 m van het zonnepark. Deze afstand is onder andere afhankelijk van de elektrische geleidbaarheid van de bodem, van de sterkte van de gelijkstroom naar aarde en van de instelling van het systeem voor kathodische bescherming.

Als de werking van de kathodische bescherming aangetast wordt, kan er corrosie van de leidingen optreden. Uiteindelijk kan dit tot lekkages leiden. Hoewel dit ongewenst is, is niet te verwachten dat dit directe gevolgen heeft voor de veiligheid van de weggebruikers. In theorie zou het overigens tot verminderde doorstroming van verkeer kunnen leiden, als er een weg afgezet moet worden door een grote lekkage in een hogedruk gasleiding, of een leiding met chemicaliën. Rijkswaterstaat schat in dat dit onvoldoende grond is om hierover op grond van de Wbr-vergunning eisen te stellen aan de exploitant van het zonnepark. Daarom stellen wij voor om de volgende suggestie aan de exploitant van het zonnepark mee te geven:

- Als er in de nabijheid van het zonnepark een gas- of watertransportleiding is met een systeem voor kathodische bescherming, is het verstandig dat de zonnepark-exploitant contact opneemt met de leidingbeheerder en dat de exploitant in overleg met deze leidingbeheerder maatregelen treft om beïnvloeding van het systeem voor kathodische bescherming te voorkomen. Zonder deze maatregelen zou er in het zonnepark een aardstroom kunnen

optreden (bijvoorbeeld als gevolg van een kortsluiting naar de aarde) die de werking van de kathodische bescherming belemmert. Als dat zou gebeuren, is de betreffende leiding niet meer optimaal tegen corrosie beschermd. Informatie over de aanwezigheid van deze leidingen is onder meer verkrijgbaar bij het Kadaster⁸.

⁸ Dit kan door middel van een zogenoemde KLIC-melding of oriëntatieverzoek, zie <https://www.kadaster.nl/zakelijk/producten/graafwerk/orientatieverzoek>.

5 Samenvatting van de eisen

In dit hoofdstuk zijn de door TNO geïnterviewde eisen op het gebied van elektrische veiligheid en EMC samengevat. TNO adviseert RWS om de onderstaande eisen te stellen aan exploitanten van zonneparken in bermen en knooppunten van snelwegen. De eisen zijn zo geformuleerd dat RWS deze desgewenst rechtstreeks op kan nemen in de tekst van een tender of bij een RWS-vergunning.

5.1 Elektrische veiligheid

- De elektrische installatie van het zonnepark dient te voldoen aan de geldende versies van het Bouwbesluit, NEN1010, de Netcode Elektriciteit, de eisen op het gebied van CE-markering en de Nederlandse uitwerking van de Laagspanningsrichtlijn en de Machinerichtlijn.
- De elektrische installatie van het zonnepark voldoet aan de norm NEN1010, in het bijzonder aan Deel 712 met als titel “Fotovoltaïsche systemen (PV-systemen)” en aan de toelichting hierop in NPR5310, voor zover dit niet in strijd is met de geldende versie van NEN1010.

Enkele *aanbevelingen* uit NEN1010 worden vervangen door de volgende *eisen*:

- Elke combinatie van stekker en contrastekker moet van hetzelfde fabricaat zijn (NEN1010, Deel 712.526).
- Connectoren dienen goed aan kabels bevestigd te zijn, met behulp van daarvoor bedoeld gereedschap (Handboek Zonne-energie, paragraaf 7.5).
- Er dienen bijzondere maatregelen te worden genomen ter bescherming tegen de effecten van vlambogen, door gebruikmaking van toestellen voor vlamboogdetectie (NEN1010, Deel 421.7) Deze functie kan ook opgenomen zijn in de omvormer.
- Op de DC-ingang van de omvormer wordt vlamboogdetectie toegepast en deze is geactiveerd. Een vlamboogdetector schakelt na detectie de betreffende omvormer direct naar een veilige toestand, zodat de vlamboog dooft.⁹ Een afgeschakelde omvormer kan uitsluitend handmatig gereset worden alvorens weer in bedrijf te kunnen komen. Deze vlamboogdetectie is tegenwoordig veelal in de omvormer ingebouwd. Indien slechts één zonnepaneel is aangesloten op één ingang van een micro-omvormer dan mag vlamboogdetectie in dit circuit achterwege blijven (afgeleid van RVB, 2021).

Er is verder speciale aandacht nodig voor de volgende eisen uit de NEN 1010:

- Regelmatig onderhoud van de PV-installatie (zie Deel 34). Eisen aan het onderhoud worden nader beschreven in TNO-rapport 3 ‘Beperken van verkeershinder bij onderhoud van zonneparken’.

⁹ Het afschakelen van de omvormer leidt ertoe dat de vlamboog dooft, waardoor de kans op het ontstaan van brand afneemt. Het leidt er NIET toe dat het systeem aanraakveilig is. Immers, er kan nog steeds een onveilige spanning aanwezig zijn vanuit de zonnepanelen. Zie hiervoor ook de onderzoeksaanbeveling aan het eind van deze paragraaf.

- Bij de keuze en installatie van het materieel moet rekening gehouden worden met de uitwendige invloeden, zoals van het weer en de aanwezigheid van water en resten van strooizout (zie NEN1010, Deel 512.2). Bijlage 51.A en 51.B van NEN1010 vullen dit verder in.
- Leidingsystemen moeten zo zijn gekozen en geïnstalleerd dat schade aan kabels en geïsoleerde geleiders en hun aansluitingen tijdens installatie, gebruik of onderhoud wordt voorkomen (zie NEN1010, Deel 522.8.).
- Het zonnepark moet afdoende zijn beschermd tegen blikseminslag, rekening houdend met de dichtheid van het aantal bliksemontladingen ter plaatse (zie NEN1010, Deel 443 en 712.44).
- Als verbindingconnectoren toegankelijk zijn voor leken dan moeten ze van een type zijn dat alleen met een sleutel of met gereedschap kan worden losgekoppeld, of zij moeten in een omhulsel worden geplaatst dat alleen met een sleutel of met gereedschap kan worden geopend (zie NEN1010, Deel 712.526.101).

De elektrische installatie van het zonnepark voldoet aan de eisen uit het Handboek Zonne-energie (HBZE) (ISSO, 2019). Dit betreft de eisen uit de paragrafen 1.5.2, 3.2, 6.4, 7.5, 7.7 en 7.9. Tevens betreft dit de eisen uit de specificatiebladen II.3-1, II.3-2, II.3-3 en II.3-4, dat wil zeggen de daarin vermelde 'Wettelijke eisen', 'Kwaliteitseisen' en 'Aanvullende kwaliteitseisen'.

Conform de genoemde onderdelen van het Handboek Zonne-energie (ISSO 2019) zijn de volgende normen van toepassing:

Normen voor zonnepanelen

- EN 50380 Technische beschrijving en naamplaatgegevens voor fotonvoltaïsche modules
- IEC 61646 Dunne-film fotonvoltaïsche modules voor aardse toepassingen
- NEN-EN-IEC 61215 Fotonvoltaïsche (PV) modules voor aardse toepassingen
- NEN-EN-IEC 61730 Veiligheidskwalificatie van fotonvoltaïsche (PV) modules
- NEN-EN-IEC 62446-1 Fotonvoltaïsche (PV) systemen - Eisen voor beproeving, documentatie en onderhoud

Normen voor omvormers

- NEN-EN 50524 Informatieblad en naamplaatje voor fotonvoltaïsche omvormers
- NEN-EN 50530 Algemene efficiëntie van fotonvoltaïsche omvormers
- NEN-EN-IEC 62109-1 Veiligheid van vermogensomzetters gebruikt in foton-elektrische vermogenssystemen - Deel 1: Algemene eisen

Normen voor stekkers

- NEN-EN-IEC 62852:2015 Connectoren voor gelijkstroom in fotonvoltaïsche systemen - Veiligheidseisen en -proeven

Normen voor installatiewerk

- NEN 1010 Elektrische installaties voor laagspanning - Nederlandse implementatie van de HD-IEC 60364-reeks (gehele norm en deel 7-712 in het bijzonder)

- NEN 3140 Bedrijfsvoering van elektrische installaties - Laagspanning
 - NEN 3840 Bedrijfsvoering van elektrische installaties – Hoogspanning
 - NPR 5310 Nederlandse praktijkrichtlijn bij NEN 1010
 - NEN-EN 50549-1 Requirements for generating plants to be connected in parallel with distribution networks - Part 1: Connection to a LV distribution network - Generating plants up to and including Type B
 - NEN-en-61439-1 Laagspanningsschakel- en verdeelinrichtingen - Deel 1: Algemene regels
 - NEN-EN-IEC-62305 Bliksembeveiliging
 - NEN-EN-IEC 62852 Connectors voor gelijkstroom in fotonvoltaïsche systemen - Veiligheidseisen en -proeven
- Vóór inbedrijfstelling van het zonnepark dient een eerste bedrijfsinspectie (EBI) conform Scope12 uitgevoerd te worden door een daartoe bevoegd inspecteur (SCIOS, 2021). Op deze wijze wordt gewaarborgd dat een onafhankelijke externe partij toeziet op de juiste toepassing van de diverse voorwaarden uit NEN1010 en andere normen door de exploitant van het zonnepark. Zoals gebruikelijk is bij Scope12 keuringen kan de Scope12-inspecteur door de betreffende marktpartij worden ingehuurd. De kwaliteit van de keuring wordt gewaarborgd door de certificering van de Scope12-inspecteurs.
 - Overige eisen op het gebied van onderhoud en inspectie staan beschreven in TNO-rapport 3 'Beperken van verkeershinder bij onderhoud van zonneparken'.

Conform de eisen uit Scope12 zijn de volgende normen waarnaar NEN1010 verwijst van toepassing voor de Scope12 inspecties:

- NEN 3140 Bedrijfsvoering van elektrische installaties - Laagspanning
 - NEN 3840 Bedrijfsvoering van elektrische installaties – Hoogspanning
 - NEN-EN-IEC 62446-1 Fotonvoltaïsche (PV) systemen - Eisen voor beproeving, documentatie en onderhoud - Deel 1: Netgekoppelde systemen - Documentatie, inbedrijfnametesten en inspectie
 - NEN-en-61439-1 Laagspanningsschakel- en verdeelinrichtingen - Deel 1: Algemene regels
 - NEN-EN-IEC-62305 Bliksembeveiliging.
- Waar mogelijk dient het park niet vrij toegankelijk te zijn voor onbevoegden, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van een sloot of het plaatsen van een hek rondom de installatie.

Op grond van de informatie van Brandweer Nederland adviseert TNO aan RWS voor wat betreft elektrische veiligheid bij calamiteiten de volgende eisen te stellen:

- Bekabeling dient vlamdovend conform NEN-EN (IEC) 60332-1-2:2005 uitgevoerd te worden (CPZ, 2020).
- Met name de transformator kent vanwege de aanwezigheid van olie een brandrisico. De transformator dient daarom goed bereikbaar te zijn (bij voorkeur vanaf het onderliggende wegennet) en op minimaal 5 m afstand tot andere componenten en de zonnepanelen te staan (bij voorkeur bij de toegang van het zonnepark, maar niet in de baan van het verkeer). 5 meter rondom de

transformator dient de ondergrond voorzien te zijn van steenachtig materiaal zoals grint of tegels. Indien de transformator niet bereikbaar is vanaf het onderliggend wegnnet, dient een doorgang door de geleiderail aanwezig te zijn, plus een opstelplaats voor de brandweer (informatie Brandweer Nederland) De concrete uitwerking van deze eis dient in de ontwerpfase samen met de Veiligheidsregio ingevuld te worden.

Verder adviseert TNO op grond van informatie van Brandweer Nederland om de volgende eis te stellen:

- Onder de omvormer dient een steenachtig materiaal aanwezig te zijn in een zone van circa 1 meter om verspreiding van een eventuele brand in een omvormer te voorkomen.

Veiligstellen van de installatie en opvolging bij calamiteiten

In of nabij het zonnepark kunnen calamiteiten optreden zoals brand of stormschade, of er kan verkeer in het zonnepark terecht komen. Bij dergelijke calamiteiten dienen personen veilig de plaats van het ongeval te kunnen verlaten. Ook dienen de brandweer en andere hulpdiensten hun werk veilig uit te kunnen voeren. Dit betekent dat het belangrijk is dat een systeem snel naar een veilige toestand kan worden geschakeld.

TNO adviseert op grond van overleg met Brandweer Nederland om de volgende eisen te stellen:

- De exploitant dient te zorgen dat het zonnepark bij een calamiteit snel veilig geschakeld kan worden en zorgt dat er binnen een vooraf vastgestelde tijd een bedrijfsdeskundige aanwezig kan zijn. De reactietijden dienen in de ontwerpfase met de Veiligheidsregio afgestemd te worden.
- De zonnepark-exploitant of een partij die de exploitant daarvoor ingeschakeld heeft moet 24/7 telefonisch bereikbaar zijn om de brandweer te kunnen voorzien van de noodzakelijke informatie.
- Bij calamiteiten moet de zonnepark-exploitant direct contact opnemen met RWS en met de meldkamer van de brandweer.
- Na een incident waarbij schade is opgetreden aan de installatie van het zonnepark moet er, vóór het inbedrijfstellen van het zonnepark, opnieuw een Eerste Bedrijfsinspectie (EBI) conform Scope12 uitgevoerd worden, behalve op onderdelen van het zonnepark waarop het incident of aanpassingen na het incident geen invloed hebben.

TNO adviseert verder om onderzoek uit te voeren naar mogelijkheden om zonneparken snel veilig te schakelen:

- TNO adviseert aanvullend onderzoek hoe zonnestroomsystemen na een incident het beste teruggeschakeld kunnen worden tot een veilige aanraakspanning. Dit betreft mogelijke geautomatiseerde veiligheidssystemen op basis van incidentdetectie, of bepaalde ‘inherent veilige’ ontwerpen. Op dit moment is van deze veiligheidssystemen of ‘inherent veilige’ ontwerpen nog niet bekend of ze voldoende goed functioneren en wat de hierbij benodigde

snelheid van afschakeling is¹⁰. Zodra er bekend is welke mogelijkheden effectief zijn, is het verstandig om een eis te stellen dat na een incident de spanning in het zonnepark automatisch terugschakelt naar een veilige aanraakspanning.

5.2 EMC en zwelfstromen

- De onderdelen van het zonnepark en het zonnepark als geheel voldoen aan de EMC-richtlijn (2014/30/EU) en voldoen aan de ‘tips’ van Agentschap Telecom (Agentschap Telecom 2021) (zie bijlage 0).
- De onderdelen van het zonnepark zijn voorzien van een CE-keur en bijbehorende conformiteitsverklaring, onderbouwd door een meetrapport. De Scope12- inspecteur dient deze documenten te controleren als onderdeel van de EBI- inspectie. Dit is een uitbreiding op de scope van een standaard EBI-inspectie.
- De plus- en min-kabels voor DC worden zo dicht mogelijk naast elkaar gelegd (met inachtneming van minimaal 10 cm tussenruimte voor het tegengaan van vlambogen.) Er mogen geen grote lussen in de bekabeling worden toegepast (i.v.m. mogelijke EMC-problemen).

Het onderstaande is waarschijnlijk niet een eis die Rijkswaterstaat op grond van de Wbr-vergunningverlening kan stellen, maar is een suggestie in het kader van goed nabuurschap van Rijkswaterstaat richting Gasunie en andere leidingbeheerders:

- Als er in de nabijheid van het zonnepark een gas- of watertransportleiding is met een systeem voor kathodische bescherming, is het verstandig dat de zonnepark-exploitant contact opneemt met de leidingbeheerder en dat de exploitant in overleg met deze leidingbeheerder maatregelen treft om beïnvloeding van het systeem voor kathodische bescherming te voorkomen. Zonder deze maatregelen zou er in het zonnepark een aardstroom kunnen optreden (bijvoorbeeld als gevolg van een kortsluiting naar de aarde) die de werking van de kathodische bescherming belemmert. Als dat zou gebeuren, is de betreffende leiding niet meer optimaal tegen corrosie beschermd. Informatie over de aanwezigheid van deze leidingen is onder meer verkrijgbaar bij het Kadaster¹¹.

¹⁰ De Amerikaanse normen NEC 2014 en NEC 2017 schrijven in bepaalde installaties een ‘rapid shutdown’ voor binnen 30 seconden na uitschakeling van de AC netspanning. Het is onbekend of dit ook bij calamiteiten de juiste afschakeltijd is.

¹¹ Dit kan door middel van een zogenoemde KLIC-melding of oriëntatieverzoek, zie <https://www.kadaster.nl/zakelijk/producten/graafwerk/orientatieverzoek>.

6 Literatuur

NEN 1010 Elektrische installaties voor laagspanning - Nederlandse implementatie van de HD-IEC 60364-reeks

NEN 3140 Bedrijfsvoering van elektrische installaties - Laagspanning

NEN 3840 Bedrijfsvoering van elektrische installaties – Hoogspanning

NEN-EN-IEC 62446-1 Fotovoltaïsche (PV) systemen - Eisen voor beproeving, documentatie en onderhoud - Deel 1: Netgekoppelde systemen - Documentatie, inbedrijfnametesten en inspectie

NEN-EN-61439-1 Laagspanningsschakel- en verdeelinrichtingen - Deel 1: Algemene regels

NEN-EN-IEC-62305 Bliksembeveiliging

NEN-EN-IEC 61215 Fotovoltaïsche (PV) modules voor aardse toepassingen

NEN-EN-IEC 61730 Veiligheidskwalificatie van fotovoltaïsche (PV) modules - Deel 1: Eisen voor constructie

NEN-EN-IEC 62759 Fotovoltaïsche (PV) modules - Vervoerstesten

NEN-EN-IEC 62852 Connectors voor gelijkstroom in fotovoltaïsche systemen - Veiligheidseisen en -proeven.

Agentschap Telecom (2021), *Voorkom storingen door zonnepanelen, Tips voor veilig gebruik van apparaten*,
<https://www.agentschaptelecom.nl/onderwerpen/tips/voorkom-storingen-door-zonnepanelen>

Bende et.al. (2019), *Brandincidenten met fotovoltaïsche (PV) systemen in Nederland. Een inventarisatie*, TNO-2019-P10287.

CPZ (2020), *Community of Practice zonnepanelen (Brandweer Nederland en IFV), Handreiking Risicobeheersing; Advies veilige PV Systemen*.

DNV GL. (2020), *Elektrische veiligheid en EMC van zon-PV op eigen areaal*, Arnhem: DNV GL.

EMC ADCO (2020), *Report on the 11th Joint Cross-border EMC Market Surveillance Campaign (2019), SOLAR PANEL INVERTERS*,
<https://ec.europa.eu/docsroom/documents/45506/attachments/1/translations/en/renditions/native>

ISSO (2019), *Handboek Zonne-energie (HBZE), Bouwkundige- en
installatietechnische richtlijnen voor zonne-energiesystemen*,
Rotterdam: ISSO.

RVB (2021), Rijksvastgoedbedrijf, *Richtlijn Veiligheid PV-Systemen op daken*.

SCIOS (2021), *Technisch Document 18 Inspectie van zonnestroominstallaties*,
Deelregeling voor elektrisch materieel, Versie 1.2: 2021-01.

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 vóórdat 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.

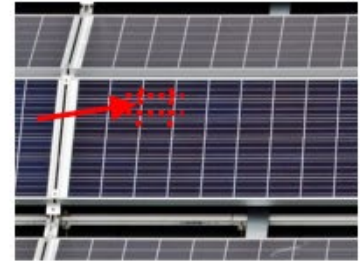
Een vlamboog kan ontstaan door het verbreken van een contact bij een gelijkstroom of bij een wisselstroom. Als een vlamboog met een *gelijkstroom* eenmaal is ontstaan is deze moeilijk te doven. Daarom is een vlamboog met een gelijkstroom gevaarlijker dan een vlamboog met een wisselstroom.



1. zonnepark



2. zonnepaneel



3. zonnecel



4. omvormer



5. power optimizer



6. transformator



7. DC-stekker

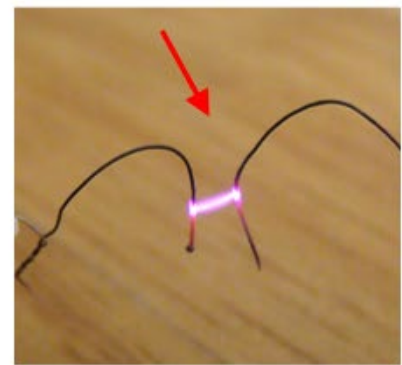
8. DC-kabel



9. AC-kabel



10. monitoringssysteem



11. vlamboog

B Zonnepanelen installeren: de tips (Agentschap Telecom)

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

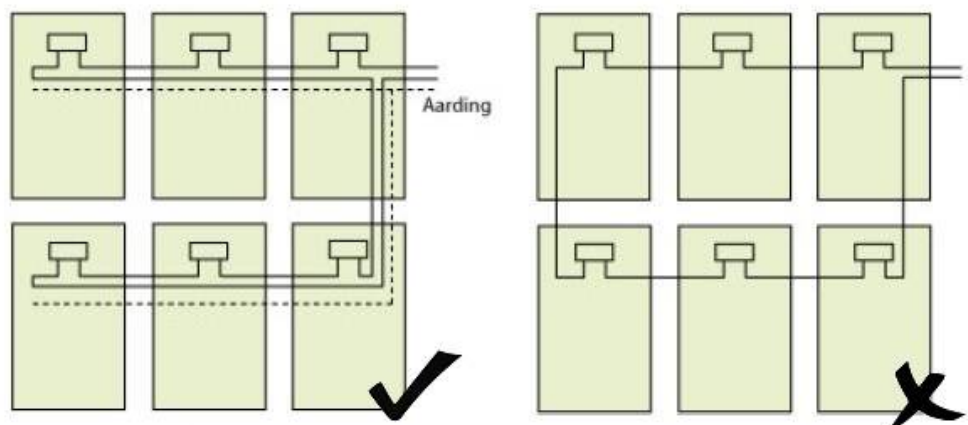
Hieronder volgt de letterlijke tekst die Agentschap Telecom heeft opgesteld:

Met een aantal tips kan de kans op storing door zonnepanelen verkleind worden. Bespreek de tips met uw deskundige leverancier en installateur. Zo zorgt u samen voor een veilige installatie, om optimaal rendement te behalen.

1. Gebruik alleen PV-apparatuur met een CE-markering. Staat dit niet op de apparatuur, dan mag het niet op de Europese markt worden gebracht, en dus ook niet op uw dak worden geplaatst.



2. Vraag uw installateur of hij de installatievoorschriften volgt bij het aanleggen van de apparatuur; zowel van de fabrikant als vanuit richtlijnen en normen. Dit verkleint het stoort potentieel. In het bijzonder dient de installateur op de aardinginstructies te letten.
3. Laat de kabels zo dicht mogelijk naast elkaar (met enige tussenruimte i.v.m. vlambogen) leggen en laat deze zolang mogelijk parallel aan elkaar lopen.
4. Voorkom 'lussen' in de bekabeling, waarbij de kabels in een rondje over het dak lopen. Dit veroorzaakt namelijk verstoringen op andere apparaten. Daarnaast worden de zonnepanelen zelf ook gevoeliger voor storing van buitenaf, waardoor ze bijvoorbeeld een foutmelding laten zien.



©ISSO Handboek Zonne-Energie 2016

5. Neem aanvullende maatregelen wanneer nodig. Zo zorgt het leggen van kabels in metalen buizen/goten voor een goede afscherming. En verder:

Ferriet

Direct bij in- en uitgangen van apparatuur ferrietkralen aan te brengen over de gelijkstroom (DC) kabels. Wel moet ferriet voor het juiste frequentiegebied

worden toegepast (HF-band). Hoe groter het raakvlak tussen ferriet en bedrading, hoe beter de werking is.

Filters

Ook bestaat de mogelijkheid om extra EMC/EMI-filters te plaatsen. Er zijn verschillende filters verkrijgbaar, mede afhankelijk van de stroom.