

Westerduinweg 3  
1755 LE Petten  
Postbus 15  
1755 ZG Petten

www.tno.nl

T +31 88 866 50 65

## -TNO-rapport

### TNO 2021 R12624

## Veiligheid van zonneparken in bermen en knooppunten van rijkswegen

### Beperken van verkeershinder bij onderhoud van zonneparken



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

Datum	9 december 2021
Auteur(s)	Corry de Keizer, Minne de Jong, Ashish Binani, Josco Kester
Aantal pagina's	23 (incl. bijlagen)
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat: Ivo Booijink, King Tse, Tim Olsthoorn, Jan Timmerman

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>Onderhoud van zonneparken en van bermen en knooppunten .....</b>	<b>5</b>
2.1	Inleiding .....	5
2.2	Bermen, knooppunten en onderhoud .....	5
2.3	Onderhoud van grondgebonden zonneparken .....	7
<b>3</b>	<b>Normatieve eisen en richtlijnen met betrekking tot onderhoud van zonneparken .....</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>Preventiemaatregelen voor het beperken van verkeershinder .....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Samenvatting van de eisen en aanbevelingen .....</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Literatuur .....</b>	<b>20</b>

## **Bijlage(n)**

A. Algemene beschrijving zonnepark

# 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 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 gezamenlijke programma heeft RWS aan TNO opdracht gegeven om te inventariseren welke veiligheidseisen RWS aan zonneparken langs rijkswegen moet stellen. Dit is gericht op de volgende 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.

De onderzoeksvraag van dit rapport is: ‘Hoe minimaliseer je de verkeershinder bij onderhoud van zonneparken in bermen en knooppunten’? Daarbij stelt RWS eisen aan de veiligheid van een zonnepark langs een weg vanwege het maatschappelijk belang van de veiligheid op en langs wegen. Daarnaast wil RWS het werk rondom wegen graag tot een minimum beperken, om de doorstroming van het verkeer zo min mogelijk te hinderen en omdat elke uitvoering van werkzaamheden via de autosnelweg voor een verhoogd risico zorgt.

Bij het beantwoorden van de vragen besteden we aandacht aan de volgende aspecten:

- Wat zijn op dit moment de onderdelen van een zonnepark die het meeste geplande en ongeplande onderhoud vergen? (hoofdstuk 2)
- Welke normen en richtlijnen zijn er voor onderhoud van zonneparken? (hoofdstuk 3)
- Welke maatregelen (mogelijke eisen die RWS kan stellen) zijn er beschikbaar om de verkeershinder door onderhoud van zonneparken tot een minimum te beperken? (hoofdstuk 4)

### 1.3 Methode

TNO heeft om de onderzoeksvragen te beantwoorden de eisen uit 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, en medewerkers en onderhoudsaannemers van Rijkswaterstaat. 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 door TNO geformuleerde veiligheidseisen nog actueel zijn.

### 1.4 Leeswijzer

Dit rapport is onderverdeeld in 5 hoofdstukken:

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

Hoofdstuk 2 Onderhoud van zonneparken en van bermen en knooppunten: dit hoofdstuk geeft achtergrondinformatie over het onderhoud dat regelmatig in bermen en op knooppunten plaatsvindt en geeft achtergrondinformatie over onderhoud bij zonneparken.

Hoofdstuk 3 Normatieve eisen en richtlijnen met betrekking tot onderhoud van zonneparken: hier worden relevante normen en richtlijnen voor het onderhoud van zonneparken beschreven.

Hoofdstuk 4 Preventiemaatregelen voor het beperken van de verkeershinder vanwege onderhoud van zonne-energiesystemen in bermen en knooppunten: hier staat de onderbouwing voor eisen en aanbevelingen.

Hoofdstuk 5 Samenvatting van eisen en aanbevelingen

## 2 Onderhoud van zonneparken en van bermen en knooppunten

### 2.1 Inleiding

Zonneparken dienen op een veilige manier te worden ingepast in het areaal van RWS. Hiervoor wordt het zonnepark gebouwd volgens de geldende normen en eisen. Daarnaast wordt periodiek onderhoud geadviseerd. Rijkswaterstaat wil het werk rondom wegen graag tot een minimum beperken om de doorstroming van het verkeer zo min mogelijk te hinderen. In dit hoofdstuk beschrijven we achtergrondinformatie voor zowel het onderhoud dat regulier plaatsvindt bij bermen en knooppunten als bij grondgebonden zonnestroomsystemen.

### 2.2 Bermen, knooppunten en onderhoud

Rijkswaterstaat heeft veel landoppervlakte in beheer in de buurt van wegen, zoals bijvoorbeeld buitenbermen, middenbermen en ingesloten gebied in klaverbladen of verkeersoksels. Deze gebieden hebben periodiek onderhoud nodig. Daarnaast wordt onderhoud gepleegd aan installaties in de buurt van wegen, zoals verkeersborden, verlichting, elektrotechnische kasten en detectielussen. In het algemeen geldt dat werkzaamheden in de buurt van wegen zo min mogelijk mogen leiden tot belemmering van het verkeer. Door inzicht te krijgen in hoe dit onderhoud door RWS is ingericht in de huidige praktijk, kunnen we een inschatting maken hoe het toekomstig onderhoud aan zonneparken (ook wel “PV-systemen”) kan worden georganiseerd om zo dicht mogelijk aan te sluiten bij de huidige RWS-praktijk, om zo additionele hinder tot een minimum te beperken. In deze paragraaf beschrijven we welk onderhoud nodig is in de buurt van wegen, en hoe dat onderhoud nu wordt uitgevoerd. Deze informatie is afkomstig uit gesprekken met verschillende Rijkswaterstaatmedewerkers (o.a. van de RWS-afdeling PPO).

Dit hoofdstuk behandelt onderhoud van en bij de hoofdnetwerken van wegen (HWN) en niet van het onderliggend wegennetwerk (OWN).

Onderhoud van de grasbermen wordt meestal vanaf de weg uitgevoerd, dan is toegang tot de berm met materieel niet noodzakelijk. Bij bredere bermen of binnenterreinen, zoals binnen klaverbladen, is er altijd een mogelijkheid om materieel op het terrein te krijgen. Vaak is dat een opening in de geleiderail waar materieel het terrein kan worden opgereden. Oksels van snelwegen zijn meestal bereikbaar via het secundaire wegennetwerk. Binnenterreinen van klaverbladen zijn dat doorgaans niet.

Bij verschillende typen onderhoud moeten één of meerdere rijstroken worden afgezet. Hoe vaak dat mag gebeuren en hoeveel rijstroken hierbij worden afgezet, wordt vastgesteld in het onderhoudscontract of prestatiecontract. Het afsluiten van rijstroken wordt bepaald aan de hand van de werkbare uren (WBU). Deze worden jaarlijks bepaald door o.a. het verkeersloket van het RWS-district op basis van o.a. de verkeersintensiteiten. Deze WBU is een harde eis die voor iedereen geldt die aan de rijkswegen wil werken. Indien hiervan afgeweken wordt, moet dit worden aangevraagd bij het RWS-verkeersloket. Hiervoor zijn bepaalde termijnen vastgelegd. Bij middenbermen wordt vaak gewerkt met een rijdende afzetting. Wanneer er buiten de overeengekomen tijdslots/WBU bijkomende momenten zijn waarop rijstroken moeten worden afgesloten, dan vraagt Rijkswaterstaat daar een vergoeding voor. De kosten

hiervoor zijn altijd voor rekening van de veroorzaker. Op deze manier wordt aangemoedigd om overlast tot een minimum te beperken.

### **Wegen**

Wegen worden zo aangelegd dat, indien er geen incidenten plaatsvinden, er aan de deklaag in de eerste 10 tot 12 jaar geen groot onderhoud plaatsvindt. Onderhoud geeft overlast voor het verkeer en kan maanden duren. Hierbij wordt een wegvak afgezet. Jaarlijks wordt wel klein onderhoud gepleegd aan de deklaag, zoals het vullen van gaten.

### **Portalen en verkeersborden**

Portalen, verkeersborden en andere constructies moeten worden gebouwd met een minimale levensduur van 20 jaar. Indien nodig zal er wel worden gereinigd en onderdelen worden vervangen.

### **Bermen**

Het onderhoud aan bermen met de meeste impact op de verkeersdoorstroming is maaien. Bermen worden over het algemeen één of twee keer per jaar gemaaid. De eerste keer tussen 15 juni en 15 juli en in ieder geval de bebakeningsstrook. Dit is de strook waar onder meer de hectometerbordjes staan, meestal 1,5 m breed. Dit is een functionele eis, waardoor de mogelijkheid bestaat dat de aannemers eerder beginnen met maaien dan 15 juni. Dit kan komen doordat als het erg groeizaam weer is het gras dusdanig hoog staat dat de hectometer-bordjes niet meer te lezen zijn. De tweede keer onderhoud vindt plaats tussen 25 augustus en 22 september. De middenberm wordt één keer per jaar gemaaid. Wanneer er een geleiderail aanwezig is zal de berm vanaf de wegzijde van de geleiderail gemaaid worden met een arm. Bij brede bermen achter geleiderails wordt het materieel door een opening in de geleiderail achter de geleiderail gebracht. Soms is de buitenberm bereikbaar via het onderliggend wegennetwerk (OWN) of over land van derden, zoals boerenland, en zo kan grotendeels zonder hinder voor het verkeer bermonderhoud worden gepleegd. In de huidige praktijk is het maaien van bermen een functionele eis. Dat betekent dat er wordt gemaaid wanneer de situatie daarom vraagt, en niet met vaste intervallen. In zichthoeken mag het gras nooit hoger dan 40 cm zijn. Op 15 juli en 22 september dient het gras tussen de 10 en 20 cm hoog te zijn. Specifieke eisen met betrekking tot groenbeheer staan in het Kader Beheer Groenvoorzieningen; Eisen en beheervisie groenbeheer Rijkswaterstaat (2013).

### **Sloten, greppels en duikers**

Om de afwatering van sloten te waarborgen worden sloten vrijgehouden van vegetatie. Soms gebeurt dit vanaf de weg met grote tractoren. Een typisch onderhoudsinterval is éénmaal per jaar (15 september tot eind oktober). De bereikbaarheid is bij deze actie van cruciaal belang: een onderhoudspad van minimaal 4 meter breed langs de sloot is noodzakelijk, met een voorkeur voor 5 meter, ter voorkoming van schades. Daarnaast moet rekening worden gehouden met bereikbaarheid voor een vrachtwagen die het slootmaaisel komt ophalen. Daarmee is een doorsteek vanaf de vluchtstrook tot aan sloot meestal noodzakelijk.

### **Faunarasters en faunavoorzieningen**

Vast onderhoud voor faunarasters betreft het jaarlijks inspecteren van de faunarasters en op basis daarvan het vervangen van palen en/of delen van het gaas en eventueel het opnieuw spannen van de spandraden. Daarnaast worden de rasters jaarlijks met hand uitgemaaid ter voorkoming van het ontwikkelen van boom- en struikvormers. Het vervangen van een compleet faunaraster wordt meestal gedaan op basis van de toestandinspectie. De levensduur van een faunaraster is gemiddeld 20 jaar.

Overige faunavoorzieningen, zoals duikers en loopplanken worden jaarlijks geïnspecteerd. Op basis van de inspecties wordt correctief onderhoud uitgevoerd. Tevens worden de uiteinden van duikers handmatig uitgemaaid. Het vervangingsmoment van deze voorzieningen in deze categorie is niet generiek te maken. De keuze voor vervanging zal op basis van de toestandsinspectie worden genomen.

### **Onderhoudscontracten**

Onderhoudscontracten worden gegund per RWS-regio of per werksoort. In het eerste geval betekent dat, dat alle typen onderhoud in een bepaalde RWS-regio in handen zijn van één partij. In het tweede betekent dit, dat er één aannemer is voor bijvoorbeeld het onderhoud van asfalt, kunstwerken, groen en calamiteiten. Een andere aannemer is dan verantwoordelijk voor bijvoorbeeld het onderhoud van beweegbare bruggen, openbare verlichting, aquaducten, pompgemalen etc.

## **2.3 Onderhoud van grondgebonden zonneparken**

Het onderhoud van een zonnestroomsysteem is belangrijk voor het goed en veilig functioneren. Voor de exploitant van een zonnepark is het belangrijk dat het systeem goed onderhouden wordt, zodat minder storingen optreden en de energieopbrengst optimaal is. Daarnaast is het belangrijk dat de energieopbrengst gemaximaliseerd wordt en dat uitgaven voor exploitatie en onderhoud laag gehouden worden. Onderhoud wordt met onderhoudsbusjes uitgevoerd, niet met groter materieel. Een monitoringsysteem is standaard in de huidige zonneparken. Het monitoren van enkele belangrijke parameters van een zonnepark, zoals stringspanningen, omvormerstatus, uitgangsvermogen van de omvormer en totale energieopbrengst zoals gerapporteerd door een energiemeter, geeft het nodige inzicht in de prestaties van het zonnepark. Door de opbrengst te vergelijken met lokale zoninstraling of zoninstraling van een weerstation in de buurt, kan het functioneren van het systeem beoordeeld worden. Met een goede monitoring kunnen storingen snel opgespoord worden en snel gerepareerd.

Onderhoud van zonneparken kan in vier categorieën worden onderverdeeld:

1. Ongepland storingsonderhoud (of correctief onderhoud): Correctief onderhoud wordt uitgevoerd om fouten, storingen en beschadigingen van een deel van het zonnestroomsysteem op te lossen. Grote storingen kennen een typische reactietijd van 4 tot 36 uur.
2. Gepland preventief onderhoud: Om het zonnepark goed te laten functioneren vindt onderhoud op locatie plaats op basis van de eisen van de producenten van de componenten van het zonnepark.
3. Gepland storingsonderhoud: Als met behulp van de monitoringdata blijkt dat er een degradatie van componenten plaatsvindt, kan onderhoud ingepland worden om een inspectie en de benodigde reparaties/vervangingen uit te voeren.
4. Voorspellend onderhoud ('predictive maintenance'): Op basis van geavanceerde technieken, machine learning en logische criteria, kunnen problemen mogelijk vroegtijdig worden opgespoord, waardoor deze bij preventief onderhoud kunnen worden meegenomen. Voorspellend onderhoud wordt veel in andere domeinen gebruikt, maar is voor zonnestroomsystemen nog in ontwikkeling (zie bijvoorbeeld DNV GL, 2021 & Manmohan Sane, 2020). Het wordt door sommige onderhoudsbedrijven voor zonneparken gebruikt, maar altijd samen met kennis van experts bij de bedrijven op basis van ervaring. Mogelijk biedt dit in de toekomst opties om met name correctief onderhoud te verminderen. Om de algoritmes te trainen is veel data nodig. In de ontwikkelfase is het belangrijk dat aankomende fouten wel

geïdentificeerd worden, maar dat er niet te veel onterechte storingsmeldingen worden gegeven. Het is in dit stadium nog te vroeg om RWS te adviseren om hieromtrent eisen op te nemen; het zou wel goed zijn deze ontwikkelingen in de gaten te houden. Als een onderhoudsbedrijf hier ervaring mee heeft is dit een pré.

Naar aanleiding van een enquête van TNO gaven verschillende zonneparkontwikkelaars inzicht in hun activiteiten met betrekking tot onderhoud en exploitatie van een zonnepark. De deelnemers voeren momenteel preventief onderhoud uit volgens de richtlijnen van de fabrikant.

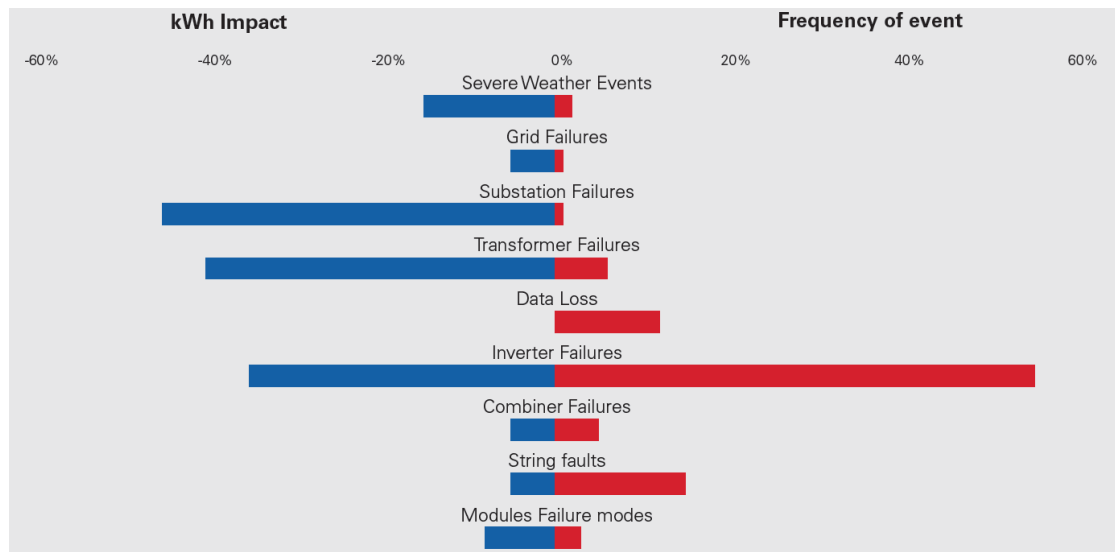
Een gedetailleerde versie van de best practices voor effectief onderhoud van zonneparken is vastgelegd in het rapport “O&M Best Practice Guidelines Version 4.0” van Solar Power Europe (2019). Solar Power Europe (2019) raadt aan periodiek onderhoud van het zonnepark elk jaar uit te voeren. Voor de verschillende componenten raden zij de volgende onderhoudsintervallen aan:

- De omvormer, zonnepanelen, elektrische kasten en schakelborden, kabels, transformatoren en hoogspanningschakelapparatuur dienen één keer per jaar gecontroleerd te worden.

Figuur 1 geeft een inschatting van de relatieve frequentie en de impact op de energieopbrengst van een aantal storingen (Kiwa, 2021). Het voorkomen van storingen is uiteraard verschillend voor verschillende zonneparken en hangt mede af van de kwaliteit van het installatiewerk, de kwaliteit van de componenten, weersomstandigheden of lokale omstandigheden.

De resultaten van de studie van KIWA, zoals weergegeven in figuur 1, laten zien dat de grootste impact op de energieopbrengst (blauwe balken) is te wijten aan problemen met transformatorstations (substation), transformatoren (transformer) en omvormers (inverter). Bij omvormers vinden het vaakst storingen plaats (rode balk bij inverter).

Voor zonneparken die langs de snelwegen worden aangelegd, is een belangrijk aandachtspunt het minimaliseren van verkeershinder door onderhoud. Rijkswaterstaat is in dit geval niet zelf de exploitant van het zonnepark. Daarom is voor RWS de impact op energieopbrengst als zodanig minder van belang. Wel zal een exploitant van een zonnepark eerder correctief onderhoud uitvoeren bij storingen met veel opbrengstverlies dan bij storingen met weinig opbrengstverlies.



Figuur 1 Overzicht van fouten en storingen en hun impact die kunnen optreden bij een zonnepark. (Kiwa, 2021)

### 3 Normatieve eisen en richtlijnen met betrekking tot onderhoud van zonneparken

Een zonnepark (ook wel PV-systeem genoemd) is een elektrische installatie waarvoor de nodige eisen zijn vastgelegd in normen en regelgeving. PV-systemen moeten voldoen aan de NEN 1010 'Elektrische installaties voor laagspanning'. De geldende versie bij het schrijven van dit rapport is NEN1010:2020, die in het voorjaar van 2021 is verschenen.

NEN 1010:2020 Deel 34 beschrijft dat voldoende aandacht besteed moet worden aan de frequentie en de mate van onderhoud. Daarbij gelden de volgende aandachtspunten:

- Elke periodieke inspectie, beproeving, onderhoud of reparatie die naar alle waarschijnlijkheid nodig is tijdens de beoogde gebruiksduur van de installatie moet gemakkelijk en veilig kunnen worden uitgevoerd.
- De doeltreffendheid van de beschermingsmaatregelen moet zijn gewaarborgd gedurende de beoogde gebruiksduur.
- De betrouwbaarheid van het materieel dat nodig is voor het goed functioneren van de installatie is in overeenstemming met de beoogde gebruiksduur.

NEN 1010:2020 Deel 6 specificeert de eisen voor de eerste inspectie en voor de periodieke inspecties van een elektrische installatie.

NEN-EN-IEC 62446-1:2016+A1: 2018 beschrijft de eisen voor documentatie, inbedrijfnametesten en inspectie voor netgekoppelde systemen. NEN-EN-IEC 62446-2:2020 specificeert het minimaal benodigde en aanbevolen onderhoud. De NEN 1010 verwijst naar deze norm.

Scope12 is een SCIOS-Certificatieregeling voor de inspectie van zonnestroominstallaties. De inspectie is door SCIOS 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 inspectie (EBI) en periodieke vervolgininspecties (PI). Hiervoor gelden verschillende werkzaamheden. 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 2020). Bedrijven en inspecteurs die Scope12-inspecties uitvoeren dienen door SCIOS gecertificeerd te zijn. Scope12 wordt sinds april 2020 gebruikt en wordt door steeds meer verzekeraars als een voorwaarde gesteld voor het verzekeren van een zonnestroominstallatie. Techniek Nederland stelt dat nadat een zonnestroomsysteem conform Scope12 geïnspecteerd is, men er met "een gerechtvaardigd vertrouwen" vanuit kan gaan dat het gerealiseerde zonnestroomsysteem aan de minimale veiligheidseisen voldoet (Techniek Nederland, 2020). De basis voor de Scope12 is de NEN-EN-IEC 62446-1. De PV-installatie wordt geïnspecteerd op de eisen uit NEN1010. Daarnaast wordt er geïnspecteerd op NEN-EN-61439-1 'Laagspanningsschakel-en-verdeelinrichtingen' en NEN-EN-62305 over bliksembeveiliging. Bij de inspectie wordt ook het wisselstroomgedeelte meegenomen.

Voor de frequentie van de periodieke inspectie in Scope12 geldt dat de door derden vereiste termijn voor de inspectie leidend is wanneer deze is opgenomen in een overeenkomst die betrekking heeft op de zonnestroominstallatie, zoals een verzekeringspolis of huurcontract. Als er door derden geen termijn voor de frequentie van de inspectie is vastgelegd bedraagt

de inspectietermijn 5 jaar (SCIOS 2020). TNO adviseert RWS om na 1 jaar een eerste periodieke inspectie te vereisen en om daarna de inspectietermijn op maximaal 3 jaar te zetten; zie voor onderbouwing hiervan het volgende hoofdstuk.

Solar Power Europe, de Europese brancheorganisatie voor de zonne-energie-sector, heeft een document opgesteld met best practice guidelines voor beheer en onderhoud, waarin in meer detail een checklist voor onderhoud staat met een aanbeveling voor de frequenties (Solar Power Europe, 2019). Er moet minimaal jaarlijks op locatie onderhoud plaatsvinden. Daarbij is ook onderhoud voor zogenoemde ‘middenspanningssystemen’<sup>2</sup> weergegeven.

Daarnaast is het van belang dat de gebruikte componenten een Europees CE-keurmerk hebben en voldoen aan de Europese normen en regelgeving.

De NEN1010 en andere genoemde normen gelden voor laagspanningsinstallaties, met een gelijkspanning tot 1500 Vdc of een wisselspanning tot 1000 Vac. Indien er in het zonnepark hoogspanningsinstallaties aanwezig zijn (bijvoorbeeld een transformator of een ‘middenspanningsaansluiting’<sup>1</sup>) dienen deze te voldoen aan de geldende normen voor hoogspanningsinstallaties, waaronder NEN3840.

---

<sup>1</sup> In de Nederlandse normen wordt de term ‘middenspanning’ niet gebruikt. In de praktijk wordt de term toch vaak gebruikt om een onderscheid te maken tussen de spanning in het distributienet voor elektriciteit (‘middenspanning’, typisch tot 35 kV) en de spanning in het transmissienet voor elektriciteit (het hoogspanningsnet (50 tot 380 kV). Een transformator en een verdeelstation bij een zonnepark zijn normaal gesproken aangesloten op het distributienet (‘middenspanning’)

## 4 Preventiemaatregelen voor het beperken van verkeershinder

### Onderhoud van zonne-energie systemen

Onderhoud kan volgens het Handboek Zonne-energie (ISSO 2019) onderverdeeld worden in vier aspecten: inspecties, periodiek onderhoud, monitoring en storingsonderhoud. Omdat storingsonderhoud beperkt planbaar is, zal met name het storingsonderhoud (en de bijbehorende storingsen) leiden tot overlast voor de weggebruiker. De hoeveelheid storingsen en storingsonderhoud kunnen beperkt worden door op juiste wijze inspecties, periodiek onderhoud en monitoring toe te passen.

In dit hoofdstuk doet TNO aanbevelingen voor eisen die RWS kan stellen aan het onderhoud van zonneparken in bermen en knooppunten. Daarbij maken wij onderscheid in enerzijds eisen die gelden voor *alle* zonneparken en anderzijds eisen die specifiek gelden voor zonneparken die niet voor onderhoud bereikbaar zijn via het onderliggend wegennet. Immers wanneer het onderhoud niet via het onderliggend wegennet kan worden uitgevoerd, kan er extra verkeershinder optreden. Daarnaast is er een onderscheid in door TNO voorgestelde eisen en overige aanbevelingen.

### Generieke eisen aan het onderhoud

PV-systemen moeten voldoen aan de NEN 1010 en de NEN-EN-IEC 62446. Deze normen beschrijven dat voldoende aandacht moet worden besteed aan de frequentie en uitvoerbaarheid van onderhoud en stellen eisen met betrekking tot de documentatie en inspectie.

TNO adviseert RWS de volgende eisen te stellen:

- Het onderhoud van zonnestroomsystemen moet voldoen aan de eisen in NEN 1010 en NEN-EN-IEC 62446.
- In NEN 1010 deel 6 staat de inspectie beschreven

Er dient speciale aandacht te zijn voor de volgende zaken:

- De NEN1010 deel 34 adviseert dat voldoende aandacht besteed wordt aan de frequentie en uitvoerbaarheid van onderhoud.
- De NEN-EN-IEC 62446 geeft aanvullende eisen voor documentatie, testprocedures en eerste inspectie.

### Het beperken van verkeershinder

#### *Kwaliteit van de installatie en een eerste inspectie*

Het verzoek van Rijkswaterstaat was om te onderzoeken hoe verkeershinder (en wegafzettingen) bij onderhoud van zonneparken tot een minimum beperkt kunnen worden. Het minimaliseren van regulier periodiek onderhoud is niet verstandig. De kans op onverwachte storingsen neemt af met het gebruik van de juiste materialen. Daarom adviseren wij een eis op te nemen over dat materialen en componenten voldoen aan de geldende regelgeving en dus een CE-markering hebben. Daarnaast kan de kwaliteit van de installatie gecontroleerd worden door een goede eerste inspectie na inbedrijfname.

TNO adviseert daarom om de volgende eisen te stellen:

- De materialen en componenten die gebruikt worden hebben, zoals wettelijk vereist, een CE-markering.
- Vóór inbedrijfstelling van het zonnepark dient een eerste inspectie (EBI) conform Scope12 uitgevoerd te worden door een daartoe bevoegd inspecteur (SCIOS, 2020).

### *Maaibeheer*

Het maaibeheer wordt één of twee keer per jaar uitgevoerd. Bij het zonnepark zal de exploitant van het zonnepark waarschijnlijk verantwoordelijk zijn voor het maaien van het gras rond en onder de zonnepanelen. Voor het maaien in de buitenberm of middenberm wordt of gewerkt met een rijdende afzetting of wordt een rijbaan afgesloten. Het gras moet worden afgevoerd. Dit kan leiden tot verkeershinder. Het maaibeheer onder en naast de zonnepanelen kan uitgevoerd worden met maairobots, daarvoor moeten de panelen op een minimale hoogte van 40cm worden geplaatst.

Bij maaibeheer of slootonderhoud bestaat een relatief grote kans op schade aan zonnepanelen of andere apparatuur. RWS kiest welke partij, de zonneparkexploitant of de RWS-prestatie-aannemer, verantwoordelijk wordt voor het maaibeheer en schoonmaken van de sloten. TNO adviseert om beheer in de buurt van het zonnepark door de exploitant van het zonnepark uit te laten voeren, om schade aan de installaties te voorkomen.

Daarnaast kan onderhoud van de zonnepanelen mogelijk met het maaibeheer onder de zonnepanelen gecombineerd worden, dat sowieso minimaal jaarlijks uitgevoerd dient te worden. Hierdoor vindt er minder verstoring van wegverkeer plaats.

Dit leidt tot het volgende aandachtspunt:

- Om schade aan de zonnepanelen of andere apparatuur te voorkomen raden we RWS aan het maa- en slotenbeheer in de buurt van het zonnepark door de exploitant van dat zonnepark te laten uitvoeren.
- Indien een zonnepark niet toegankelijk is via het onderliggende wegennet, ontstaat mogelijk verkeershinder voor het maaibeheer. In dat geval kan de exploitant van het zonnepark het onderhoud van het zonnepark combineren met het jaarlijkse maaionderhoud om zo min mogelijk verkeershinder te veroorzaken.

RWS heeft een aantal opties om te sturen op het vermijden van verkeershinder. Eén daarvan is dat ze een prijs kunnen stellen voor het veroorzaken van tijdelijke verkeershinder. Idealiter zorgt dit ervoor dat de exploitant van het zonnepark voor de optimale (onderhouds-)oplossing kiest. Een andere optie is om eisen te stellen.

### **Periodieke inspecties**

Zoals in Hoofdstuk 3 beschreven is door SCIOS een certificatieregeling 'Scope12' opgesteld voor het uitvoeren van onafhankelijke periodieke inspecties en inspecties na oplevering van zonnestroomsystemen. Met betrekking tot de termijn voor inspecties adviseert TNO om 1 jaar na inbedrijfstelling een eerste periodieke inspectie volgens Scope12 te vereisen en hierna minimaal elke 3 jaar een periodieke inspectie te eisen. De eerste inspectie na 1 jaar, die meerdere zonneparkexploitanten reeds laten uitvoeren, dient om de kinderziekten op te sporen en op te lossen. De maximumtermijn van 3 jaar voor de inspecties hierna is in navolging van de standaardclausule van verzekeraars (VNAB, 2020). TNO adviseert deze termijnen vanwege een hoger risico met zonneparken naast de weg met betrekking tot overlast voor de weggebruiker. De inspectie wordt geregistreerd in het SCIOS. In Scope12 wordt omschreven welke vervolgcacties dienen te worden uitgevoerd indien onvolkomenheden worden geconstateerd en op welke termijn deze vervolgcacties dienen te worden uitgevoerd.

TNO adviseert de volgende eis te stellen:

- Er dienen periodieke inspecties te worden uitgevoerd door een daartoe bevoegd inspecteur (SCIOS, 2020). De door derden (zoals de verzekeraar) vereiste termijn voor

de inspectie is leidend. Als er door derden geen kortere termijn voor de frequentie van de inspectie is vastgelegd, bedraagt de inspectietermijn 3 jaar. De eerste periodieke inspectie vindt één jaar na inbedrijfname plaats om eventuele gebreken te ontdekken.

### **Periodiek regulier onderhoud zonneparken**

Er dient minimaal jaarlijks regulier onderhoud uitgevoerd te worden op locatie. Dit wordt aanbevolen door Solar Power Europe (2019) in het rapport over 'best practices' met betrekking tot onderhoud. Ook uit gesprekken met ontwikkelaars en exploitanten van zonneparken blijkt dat dit de standaard is. Preventief onderhoud richt zich op acties om fouten en storingen te voorkomen zodat het zonnestroomsysteem optimaal functioneert. Voorbeelden van onderhoudschecklists kunnen gevonden in onder meer het rapport van Solar Power Europe. Daar wordt een verschil gemaakt tussen aanbevolen (recommendation) en verplichte (minimum requirement) aspecten.

TNO adviseert RWS om de volgende eisen te stellen:

- Aansluitend bij de huidige 'best practices' dient er minimaal elk jaar regulier periodiek onderhoud op locatie te worden uitgevoerd.
- Met betrekking tot de frequentie en het type onderhoud van de verschillende componenten moeten de richtlijnen voor onderhoud van de fabrikant gevolgd worden.
- Voor het onderhoud dienen de richtlijnen voor jaarlijks onderhoud van Solar Power Europe gevolgd te worden, voor zover van toepassing (Solar Power Europe, 2019, bijlage E). De 'minimal requirements' zijn verplicht, de 'recommendations' aanbevolen. Een van de aanbevelingen is om periodiek een thermografische inspectie van de gehele installatie uit te voeren. Deze thermografische inspectie kan na één jaar en vervolgens iedere drie jaar bij de Scope12 inspectie meegenomen worden.

### **Monitoring van het zonnepark**

Een monitoringsysteem bestaat uit de hardware en software die nodig is om de energieopbrengst en het functioneren van een zonnepark goed te kunnen beoordelen. Een goed monitoringsysteem maakt het mogelijk om het onderhoud beter in te plannen. Hiermee kan de exploitant het aantal onderhoudsmomenten verminderen. Dit leidt tot minder verkeershinder. De exploitant kan hiermee ook de kosten voor onderhoud beperken en de energieopbrengst optimaliseren. Een minimum aan monitoring bestaat uit het door de omvormer gerapporteerd vermogen, (string)spanningen en -stromen en de energieopbrengst. Een uitgebreider monitoringsysteem verkrijgt ook de zoninstraling (van een lokale sensor, satellietdata of een systeem in de buurt). Slimme omvormers kunnen zelf bepaalde diagnostiek toepassen. Daarnaast kan de onderhoudspartij ook algoritmes toepassen in de monitoringsoftware om fouten op te sporen.

TNO adviseert RWS om de volgende eis te stellen:

- Ten behoeve van de monitoring en controle van de correcte werking van de systemen moet een automatisch systeem geïnstalleerd worden waarmee op afstand, bijvoorbeeld via internet, de opbrengst per omvormer en de totale energieopbrengst van het PV-systeem gemeten en gevolgd kan worden. Hierdoor kunnen storingen en productieverminderingen in het zonnestroomsysteem gedetecteerd worden (afgeleid van RVB, 2021).

Verder heeft TNO de volgende aanbeveling:

- Het is een pré als er omvormers toegepast worden met voldoende diagnostiek voor het opsporen van storingen van de omvormer. Daarnaast is het verstandig dat er aandacht is

voor een 'slim' monitoringsysteem dat helpt om storingen in een vroeg stadium op te sporen.

### **Correctief onderhoud**

Correctief of storingsonderhoud vindt plaats om fouten, storingen en beschadigingen van een deel van het zonnestroomsysteem op te lossen, wanneer deze fouten zijn opgespoord tijdens inspecties of met monitoring. Een best practice is als de verhouding preventief versus correctief onderhoud ongeveer 80/20 is (Solar Power Europe, 2019<sup>2</sup>). Correctief onderhoud vindt met name plaats in de beginfase (montagefouten, fouten in apparatuur) en aan het einde van de levensduur van de omvormers en het project<sup>2</sup>. Indien de exploitant het onderhoud uitbesteedt, worden in het onderhoudscontract afspraken gemaakt over binnen welke tijdsduur een fout of storing verholpen moet zijn.

Een speciaal geval bij zonneparken naast een snelweg is als er een incident of ongeluk heeft plaatsgevonden waardoor een deel van het zonnepark beschadigd of onveilig geworden is. Na een dergelijk incident moet er, vóór het inbedrijfstellen van het zonnepark, opnieuw een Eerste Bijzondere Inspectie (EBI) conform Scios Scope12 uitgevoerd worden.

Zoals nader beschreven in “TNO-rapport 1. Elektrische veiligheid en EMC” adviseert TNO om de volgende eisen te stellen:

- De exploitant dient te zorgen dat het zonnepark bij een calamiteit snel veilig geschakeld kan worden
- Na een incident waarbij schade is opgetreden aan de installatie van het zonnepark moet er, vóór het inbedrijfstellen van het zonnepark, opnieuw een Eerste Bijzondere Inspectie (EBI) conform Scope12 uitgevoerd worden, behalve op onderdelen van het zonnepark waarop het incident of aanpassingen na het incident geen invloed hebben.

TNO geeft de volgende aanbeveling:

- Indien een zonnepark niet toegankelijk is voor onderhoud via het onderliggende wegennet, waardoor mogelijk verkeershinder ontstaat, dient correctief onderhoud geminimaliseerd te worden. RWS kan overwegen dit te optimaliseren door tarieven te rekenen voor verkeershinder zoals een wegafsluiting.

### **Overige aspecten:**

Hieronder geeft TNO een aantal aanbevelingen voor eisen die belangrijk zijn voor het onderhoud. Hierin noemen we ook enkele eisen die uit de overige deelrapporten van dit project komen, maar ook voor onderhoud belangrijk zijn. Deze eisen verwijzen naar de toegankelijkheid voor onderhoud voor omvormers en transformatoren en over ruimte voor onderhoudsvoertuigen op een veilige plek.

Met betrekking tot de partij die het onderhoud uitvoert, adviseert TNO om het onderhoud te laten uitvoeren door een ervaren partij.

TNO adviseert de volgende eisen te stellen:

---

<sup>2</sup> Een verhouding tussen preventief en correctief onderhoud van 80 / 20 werd grotendeels herkend door marktpartijen bij de consultatieronde. Eén van de partijen schatte dit in op 90 / 10. Met name in de beginfase wordt correctief onderhoud gepleegd bijvoorbeeld door montagefouten of apparatuurfalen (binnen de garantietermijn). Daarnaast is er correctief onderhoud bij het einde van de levensduur van de omvormers en aan het einde van het project.

- Elektrotechnische apparatuur zoals transformatoren en omvormers dient zo geplaatst te zijn dat deze bij calamiteiten goed bereikbaar zijn voor de brandweer en zo dat er tegelijkertijd een lage kans is op een aanrijding door een voertuig. Dit laatste kan bijvoorbeeld door de apparatuur op afstand van de snelweg te plaatsen en niet in het verlengde van de baan van een voertuig. (Uit “TNO-rapport 1. Elektrische veiligheid en EMC”)
- Het onderhoud aan een zonnepark dient uitgevoerd te worden door een partij met voldoende ervaring met het onderhoud van zonneparken. Voldoende ervaring kan bijvoorbeeld bepaald worden aan de hand van een minimaal cumulatief onderhouden vermogen van zonneparken door de betreffende partij en/of een bepaald aantal systemen van een minimaal bepaald vermogen dat onderhouden wordt.
- RWS kan ervoor kiezen om te eisen dat inschrijvers van een tender een plan voor onderhoud mee sturen met de bieding. De inschrijver dient in dit onderhoudsplan te omschrijven hoe de overlast voor de weggebruiker wordt beperkt.

RWS brengt in sommige gevallen kosten in rekening wanneer een partij activiteiten uitvoert die tot verkeershinder leiden. Onduidelijk is nog hoe deze extra kosten voor beheerders van zonneparken leiden tot een minimalisering van verkeershinder. Experimenteren met verschillende tarieven kan inzicht geven in de effectiviteit van verschillende tarieven of voorwaarden. Daarom geeft TNO de volgende aanbeveling:

- RWS heeft de optie om te experimenteren met tarieven of voorwaarden voor extra onderhoudswerkzaamheden die tot verkeershinder leiden, zodat een zonneparkontwikkelaar de onderhoudsstrategie kan optimaliseren en inzicht wordt verkregen in de uitwerking van verschillende tarieven of voorwaarden.

## 5 Samenvatting van de eisen en aanbevelingen

In dit hoofdstuk zijn de eisen en aanbevelingen met betrekking tot het minimaliseren van verkeershinder door onderhoud van zonneparken langs bermen en in knooppunten samengevat. TNO adviseert RWS om deze eisen te stellen aan exploitanten van zonneparken in de berm van snelwegen.

### Onderhoud algemeen

- Het onderhoud van zonnestroomsystemen moet voldoen aan de eisen in NEN 1010 en NEN-EN-IEC 62446.
- In NEN 1010 deel 6 staat de inspectie beschreven.

Er dient speciale aandacht te zijn voor de volgende zaken:

- De NEN1010 deel 34 adviseert dat voldoende aandacht besteed wordt aan de frequentie en uitvoerbaarheid van onderhoud.
- De NEN-EN-IEC 62446 geeft aanvullende eisen voor documentatie, testprocedure en eerste inspectie.

### Kwaliteit van de installatie en een eerste inspectie:

Het gebruik van goede materialen en een goede installatie is zeer belangrijk voor het goed functioneren van het systeem en het voorkomen van een deel van het storingsonderhoud. De eerste inspectie leidt tot een betere uitgangssituatie voor onderhoud.

- De materialen en componenten die gebruikt worden hebben, zoals wettelijk vereist, een CE-markering.
- Vóór inbedrijfstelling van het zonnepark dient een eerste inspectie (EBI) conform Scope12 uitgevoerd te worden door een daartoe bevoegd inspecteur (SCIOS, 2020).

### Periodieke inspectie

- Er dienen periodieke inspecties te worden uitgevoerd door een daartoe bevoegd inspecteur (SCIOS, 2020). De door derden (zoals de verzekeraar) vereiste termijn voor de inspectie is leidend. Als er door derden geen kortere termijn voor de frequentie van de inspectie is vastgelegd, dient er 1 jaar na inbedrijfstelling een eerste periodieke inspectie plaats te vinden en vervolgens minimaal elke 3 jaar.

### Periodiek regulier onderhoud

- Aansluitend bij de huidige 'best practices' dient er minimaal elk jaar regulier periodiek onderhoud op locatie te worden uitgevoerd.
- Met betrekking tot de frequentie en het type onderhoud van de verschillende componenten moeten de richtlijnen voor onderhoud van de fabrikant gevolgd worden.
- Voor het onderhoud dienen de richtlijnen voor jaarlijks onderhoud van Solar Power Europe gevolgd te worden, voor zover van toepassing (Solar Power Europe, 2019, bijlage E). De 'minimal requirements' zijn verplicht, de 'recommendations' aanbevolen. Een van de aanbevelingen is om periodiek een thermografische inspectie van de gehele installatie uit te voeren. Deze thermografische inspectie kan na één jaar en vervolgens iedere drie jaar bij de Scope12 inspectie meegenomen worden.

### **Onderhoud combineren met maaibeheer**

Het onderhoud van het zonnepark kan mogelijk met het maaibeheer onder de zonnepanelen gecombineerd worden, wat sowieso minimaal jaarlijks uitgevoerd dient te worden. Hierdoor vindt er minder verstoring van wegverkeer plaats.

Dit leidt tot het volgende aandachtspunt:

- Om schade aan de zonnepanelen of andere apparatuur te voorkomen raden we RWS aan het maai- en slotenbeheer in de buurt van het zonnepark door de exploitant van dat zonnepark te laten uitvoeren.
- Indien een zonnepark niet toegankelijk is via het onderliggende wegennet, ontstaat mogelijk verkeershinder door het maaibeheer. In dat geval kan de exploitant van het zonnepark het onderhoud van het zonnepark combineren met het jaarlijkse maaionderhoud om zo min mogelijk verkeershinder te veroorzaken.

### **Monitoring**

- Ten behoeve van de monitoring en controle van de correcte werking van de systemen moet een automatisch systeem geïnstalleerd worden waarmee op afstand, bijvoorbeeld via internet, de opbrengst per omvormer en de totale energieopbrengst van het PV-systeem gemeten en gevolgd kan worden. Hierdoor kunnen storingen en productieverminderingen in het zonnestroomsysteem gedetecteerd worden (afgeleid van RVB, 2021).

Verder heeft TNO de volgende aanbeveling:

- Het is een pré als er omvormers toegepast worden met voldoende diagnostiek voor het opsporen van storingen van de omvormer. Daarnaast is het verstandig dat er aandacht is voor een 'slim' monitoringsysteem dat helpt om storingen in een vroeg stadium op te sporen.

### **Correctief onderhoud**

De eisen op dit gebied zijn nader omschreven in TNO-rapport 1. 'Elektrische Veiligheid en EMC'.

- Als een onveilige situatie is ontstaan dient het systeem snel veilig geschakeld te worden.
- Na een dergelijk incident moet er, vóór het inbedrijfstellen van het zonnepark, opnieuw een Eerste Bijzondere Inspectie (EBI) conform Scope 12 uitgevoerd worden.

TNO geeft de volgende aanbevelingen:

- Indien een zonnepark niet toegankelijk is voor onderhoud via het onderliggende wegennet, waardoor mogelijk verkeershinder ontstaat, dient correctief onderhoud geminimaliseerd te worden. RWS kan overwegen dit te optimaliseren door tarieven te rekenen voor verkeershinder.

### **Overige aspecten**

- Elektrotechnische apparatuur zoals transformatoren en omvormers dient zo geplaatst te zijn dat deze bij calamiteiten goed bereikbaar zijn voor de brandweer en zo dat er tegelijkertijd een lage kans is op een aanrijding door een voertuig. Dit laatste kan bijvoorbeeld door de apparatuur op afstand van de snelweg te plaatsen en niet in het verlengde van de baan van een voertuig. (Uit TNO-rapport 1. Elektrische veiligheid en EMC)
- Het onderhoud aan een zonnepark dient uitgevoerd te worden door een partij met voldoende ervaring heeft met het onderhoud van zonneparken. Voldoende ervaring kan bijvoorbeeld bepaald worden aan de hand van een minimaal cumulatief onderhouden

vermogen van zonneparken door de betreffende partij en/of een bepaald aantal systemen van een minimaal bepaald vermogen dat onderhouden wordt.

- RWS kan ervoor kiezen om te eisen dat inschrijvers van een tender een plan voor onderhoud meesturen met de bieding. De inschrijver dient in dit onderhoudsplan te omschrijven hoe de overlast voor de weggebruiker wordt beperkt.
- RWS heeft de optie om te experimenteren met tarieven of voorwaarden voor extra onderhoudswerkzaamheden die tot verkeershinder leiden, zodat een zonneparkontwikkelaar de onderhoudsstrategie kan optimaliseren en inzicht wordt verkregen in de uitwerking van verschillende tarieven of voorwaarden.

## 6 Literatuur

- DNV GL, 2021. Predictive maintenance of Solar PV Plants: the time is now. A DNV GL group technology & Research and GreenPowerMonitor Position Paper
- ISSO, 2019. Handboek Zonne-energie; Bouwkundige- en installatietechnische richtlijnen voor zonne-energiesystemen, ISBN: 978-90-5044-338-8
- KIWA, 2021, Safeguarding solar PV revenues .  
<https://www.kiwa.com/nl/en/themes/renewable-energy-transition/solar-energy/safeguarding-solar-pv-revenues/>
- Manmohan Sane, O., 2020, Abstract: Predictive maintenance for utility scale solar parks: A machine learning approach towards early fault detection for PV inverters, TU Delft, <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Ac20e0a4f-1237-4ab7-8851-691db891caad>
- NEN 1010:2020 'Elektrische installaties voor laagspanning'.
- NEN-EN-61439-1:2021 'Laagspanningsschakel-en-verdeelinrichtingen'
- NEN-EN-IEC 62446-1:2016+A1: 2018 'Fotovoltaïsche (PV) systemen - Eisen voor beproeving, documentatie en onderhoud'
- NEN-EN-IEC 62446-2:2020 Photovoltaic (PV) systems - Requirements for testing, documentation and maintenance - Part 2: Grid connected systems - Maintenance of PV systems
- NEN-EN-62305:2011, 'Bliksembeveiliging'
- RVB, Rijksvastgoedbedrijf, 2021, Richtlijn Veiligheid PV-Systemen op daken
- Rijkswaterstaat, 2013, Kader Beheer Groenvoorzieningen; Eisen en beheervisie groenbeheer Rijkswaterstaat
- SCIOS Scope 12, 2020, Technisch Document 18: Inspectie van zonnestroominstallaties
- Solar Power Europe, 2019, O&M Best Practice Guidelines Version 4.0, ISBN 9789463965941
- Techniek Nederland, 2020, Kwalitatief en veilig installeren van zonnestroomsystemen, <https://www.technieknederland.nl/stream/info-kwaliteit-en-veiligheid-in-de-zonnestroombranche-versie-1.2-holland-solar-en-tn>
- VNAB, Voorbeeld clause zonnepaneleninstallaties met een vermogen van meer dan 5kVA (garantie) 2020, [link](#)

## 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.

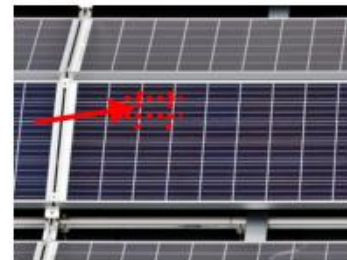
Een vlamboog kan ontstaan door het verbreken van een contact bij een gelijkstroom of bij een wisselstroom. Als een vlamboog met een *gelijkstroom* eenmaal is ontstaan is deze moeilijk te doven. Daarom is een vlamboog met een gelijkstroom gevaarlijker dan een vlamboog met een wisselstroom.



1. zonnepark



2. zonnepaneel



3. zonnecel



4. omvormer



5. power optimizer



6. transformator



7. DC-stekker

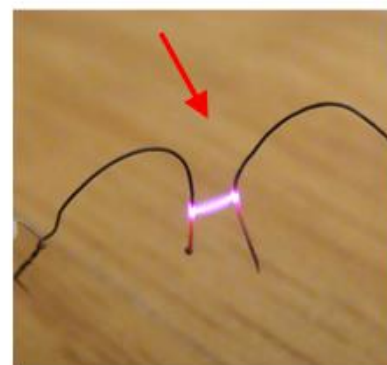
8. DC-kabel



9. AC-kabel



10. monitoringssysteem



11. vlamboog