

Reflectieonderzoek Zonnepark Hemmen

Onderzoek naar mogelijke verblinding van trein- en
autoverkeer door reflectie veroorzaakt door
zonnepanelen

Reflectieonderzoek

Zonnepark Hemmen

Onderzoek naar mogelijke verblinding van treinen
en autoverkeer door reflectie veroorzaakt door
zonnepanelen

Colofon

Opdrachtgever:

OverMorgen

Uitgevoerd door

ROM3D

ir. Bram van Rooij
www.rom3d.nl

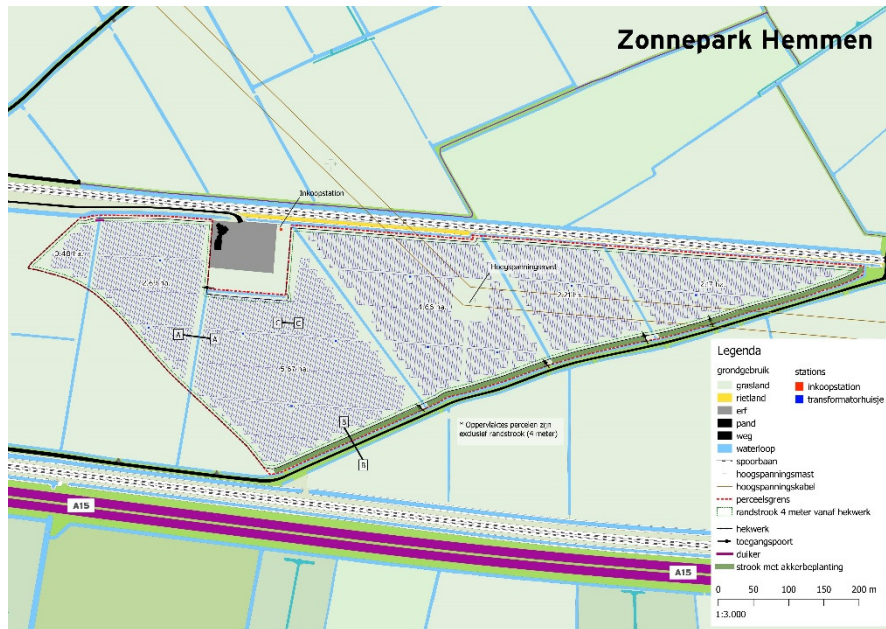
Harfsen, juli 2018

Inhoud

Aanleiding	3
Beleid, regelgeving en overige kaders reflectie	3
Treinverkeer.....	3
Wegverkeer (ter toelichting)	3
Methode van onderzoek	6
De GlareGauze Tool.....	6
Werking van GlareGauze	6
Wat betekenen de resultaten van de GlareGauze.....	7
Resultaten GlareGauze.....	9
Uitgangspunten	9
Invoer GlareGauze	9
Resultaten	11
Hoofdconclusie.....	14
Bijlagen Uitvoer van de GlareGauze	15

Aanleiding

Initiatiefnemers zijn voornemens een zonnepark in Hemmen te realiseren. Het zonnepark ligt op percelen die wordt begrensd door spoorlijn Tiel-Elst aan de noordzijde, en de Betuwelijn en A15 aan de zuidzijde. Vanwege de ligging langs het spoor en snelweg is onderzocht of reflectiehinder met mogelijke verblindingseffecten zal optreden. In de voorliggende rapportage wordt ingegaan op dit aspect.



Beleid, regelgeving en overige kaders reflectie

Treinverkeer

Voor treinverkeer zijn géén landelijk vastgestelde richtlijnen ten aanzien van eventuele hinder door reflectie. Voor dit onderzoek is contact geweest met ProRail afdeling vergunningen (e-mail dd 13 december 2017). ProRail geeft aan dat de machinist niet verblind mag worden ten gevolge van schittering door de zonnepanelen. Voor wegverkeer op rijkswegen zijn wel landelijke kaders vastgesteld. Om het aspect reflectie toe te lichten wordt hieronder het kader voor wegverkeer uitgelegd. Overigens wordt in deze rapportage niet ingegaan op reflectiehinder op het overige wegverkeer rond het zonnepark Hemmen. De direct aangrenzende wegen kennen zijn geen rijkswegen en kennen een lage verkeersintensiteit waardoor reflectie op weggebruikers niet relevant is.

Wegverkeer (ter toelichting)

Rijkswaterstaat heeft in samenwerking met TNO onderzocht wanneer en in welke mate reflectie hinder of verblinding voor de weggebruiker kan opleveren, met name veroorzaakt door geluidsschermen. Relevante documenten zijn: Richtlijnen geluidbeperkende constructies langs wegen (GCW-2011) over reflectie en flikkering en Beoordeling van Objecten langs Auto(snel)wegen (2011) over verblinding.

Lichtreflectie

Bij de materiaalkeuze en opstelling van zonneparken langs snelwegen moet rekening worden gehouden met mogelijke hinder door lichtreflecties van zonlicht (voertuigverlichting en wegverlichting wordt niet meegenomen). Toepassing van gladde materialen en bepaalde typen coatings kan onder specifieke condities leiden tot hinderlijke optische reflecties voor verkeersdeelnemers. Er is een risico dat verkeersdeelnemers worden verblind door gereflecteerd zonlicht of dat relevante informatie wordt 'overstraald'.

Reflectie kan in bepaalde gevallen leiden tot verblinding. Bij TNO Defensie en Veiligheid is een rekenmodel ontwikkeld dat de verblinding kwantificeert aan de hand van de parameters:

- verblindings/verlichtingssterkte,
- verblindingshoek,
- achtergrondluminantie en
- dynamische eigenschappen, zoals duur en knipperfrequentie.

Verblinding wordt omschreven als een witte waas in de ogen waardoor de omgeving niet meer kan worden waargenomen.

Bij geluidscherm lengtes korter dan circa 50 m met een verblindingsstijd van maximaal 1,5 seconden, is het risico op verblinding door lichtreflectie acceptabel, zowel uit het oogpunt van verkeersveiligheid als uit het oogpunt van doorstroming van het verkeer.

In het onderzoek van TNO naar zonlichtreflectie wordt gesproken van een verblindingshoek (hoek tussen rechthoek en de lichtbron) van 5, 10 en 20°. Bij 20° is de hinder drie keer minder dan bij 10°. Bij 5° is de hinder het grootst. Boven de 20° is van hinder geen sprake.

In onderstaande afbeelding is weergegeven hoe de kijkhoek van 10° en 20° van een weggebruiker er van bovenaf uitziet.



Figuur 1 Visualisatie van de kijkrichting van de doorgaande weg (groene lijn), met kijkhoek van 10 graden (gele lijnen) en kijkhoek van 20 graden (rode lijnen).

In het kort komt het erop neer dat wanneer de reflectie korter duurt dan 1,5 seconden of de bron van de reflectie bevindt zich buiten de kijkhoek van 20 graden er geen sprake kan zijn van verblinding van de weggebruiker. In dit onderzoek is bij het bepalen van de positie van de observatiepunten rekening gehouden met de kijkhoek van 20 graden.

Flikkering

Als gevolg van een frequente flikkering van licht met een constante lichtsterkte door (spleetvormige) openingen is er kans op epileptische verschijnselen bij de weggebruiker. Als een dergelijke ritmische slagschaduw een frequentie heeft van 3,5 tot 15 maal per seconde, kan bij weggebruikers het zogenoemde flikkereffect optreden. Dit is het sterkst bij 6,5 tot 8,5 pulsen per seconde. Het effect kan vooral ontstaan bij constructies uitgevoerd in transparant materiaal, die zodanig zijn geplaatst dat de schaduw van de stijlen de lichtflikkering versterkt. Ook halfopen constructies of constructies met zogenoemde doorgetrokken stijlen moeten op dit punt worden getoetst.

Eventuele maatregelen tegen flikkering zijn:

- een andere hart-op-hartafstand van de stijlen kiezen om de frequentie aan te passen;
- de vormgeving aanpassen, bijvoorbeeld door afwisseling opstellingen;
- geen optisch reflecterende materialen gebruiken, zoals matglas of coatings.

Verblinding

Verblinding treedt op als er zich in het gezichtsveld van de waarnemer een felle lichtbron bevindt die een veel hogere luminantie heeft dan de omgeving. Als de hoek tussen de lichtbron en de blikrichting klein is dan is de verblinding groot. De relatie met afleiding is dat een felle lichtbron afhankelijk van de context (met name of het licht of donker is) meestal

erg opvallend is en de aandacht kan trekken (los van het feit dat verblinding op zichzelf al onveiligheidsverhogend is).

Er zijn twee soorten verblinding: maskerende verblinding (disability glare) en oncomfortabele verblinding (discomfort glare). Maskerende verblinding werpt een sluier (sluierluminantie) over het beeld waardoor het waarneembare contrast en daarmee de zichtbaarheid van objecten vermindert. Voor maskerende verblinding bestaat een aanbevolen formule van de CIE (2002). Voor oncomfortabele verblinding bestaat een model als het gaat om zonreflecties op geluidsschermen (Alferdinck et al., 2008).

De Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (NSVV) heeft een aantal aanbevelingen uitgegeven betreffende lichthinder in de Richtlijnen Lichthinder van de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde. In de context van dit kader zijn met name deel 2 over terreinverlichting en deel 4 over reclameverlichting relevant. Een van de aanbevelingen gaat over reclameverlichting (NSVV, 2004). Ten aanzien van verkeersdeelnemers worden de volgende aanbevelingen gedaan: Voorkom hinderlijke en maskerende verblinding ten gevolge van felle lichtbronnen. Deze verblinding treedt op als de hoek tussen de blikrichting en de lichtbron klein is en het verlichtingsniveau van de omgeving laag.

Methode van onderzoek

De methode van onderzoek bestaat uit de volgende stappen:

1. Vaststellen van de variabelen voor reflectie onderzoek:
 - De observatiepunten (locatie en hoogte) op de rijbanen worden bepaald met afstand tot en zicht op het zonnepark;
 - Vaststellen van de specificaties van het zonnepark, het type PV-panelen, de hellingshoek, de ligging, de hoogte en oriëntatie;
2. Analyse op reflectie en verblinding met de tool GlareGauge (voorheen Solar Glare Hazard Analysis Tool) met de kans op voorkomen (grafiek dag/seizoen) van reflectie en kans op verblinding

De GlareGauze Tool

ROM3D heeft voor de analyse van reflectie een speciaal voor dit doeleinde ontwikkeld model gebruikt: GlareGauge van ForgeSolar. Dit was voorheen de Solar Glare Hazard Analysis Tool van Sandia National Laboratories uit de VS. De relevante informatie is te vinden op de website www.forgesolar.com. Bij een vergelijkbaar onderzoek (reflectieonderzoek zonnepark A1 bij Eemnes) is met Rijkswaterstaat overleg gevoerd over de interpretatie van het model en resultaten. Daarin was van belang dat partijen hetzelfde beeld hebben over wat reflectie is en welke mate van reflectie ook daadwerkelijk hinder en of verblinding veroorzaakt. Rijkswaterstaat heeft het gebruik van de GlareGauze geaccepteerd als methode om de mogelijkheid van reflectie op weggebruikers te onderzoeken. Ook TNO ziet de GlareGauze als een methode om

reflectiehinder te onderzoeken (TNO 2016 R10690, Lichthinder zonreflectie voor weggebruikers).

Werking van GlareGauze

De reflectie tool GlareGauze houdt geen rekening met de kijkrichting van de weggebruiker. Ook reflectie 'op de rug' van de weggebruiker wordt meegenomen. Omdat in dit geval het verkeer (zowel trein als auto) in beide richtingen beweegt (oost-west en west-oost) is dit niet relevant. Er zijn vrijwel alleen observatiepunten gekozen waar bij er daadwerkelijk zicht is op het zonnepark binnen een kijkhoek van 20 graden (links en rechts van de kijkrichting).

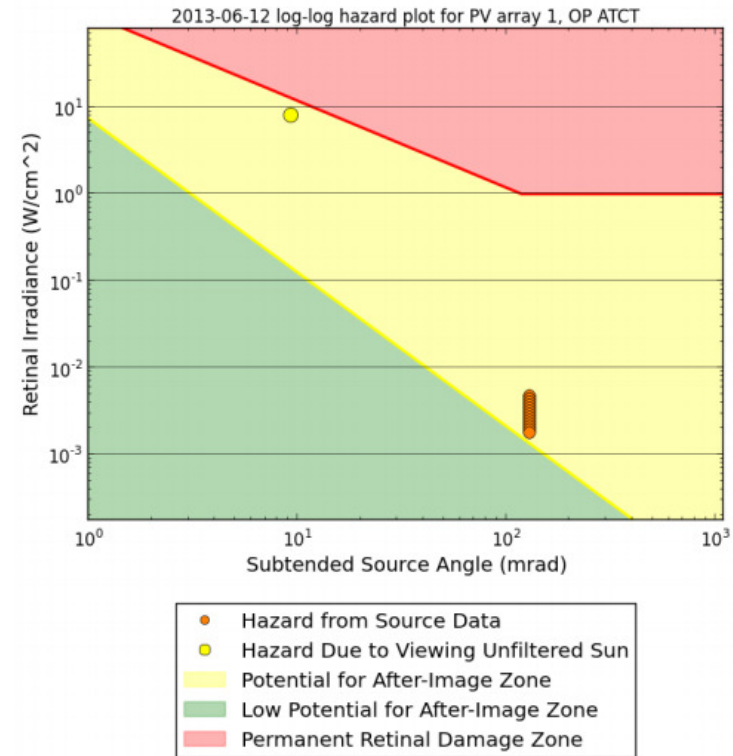
Over de opbouw van het model met aannames en berekeningswijze verwijzen wij naar de achtergronddocumentatie die op de website kan worden gevonden (www.forgesolar.com). Het model wordt in de VS standaard en met een verplicht karakter ingezet voor de ontwikkeling van zonneparken of andere reflecterende elementen dichtbij vliegvelden.

De tool werkt samengevat met de volgende stappen:

1. Invoeren van de geografische afbakening van het zonnepark door een polygoon te tekenen in Google maps. In deze referentie zitten direct vele data gekoppeld zoals de opkomst, ondergang en loopbaan van de zon en zonnesterkte in de seizoenen, en ook topografische hoogte in het landschap. Begroeiing, bebouwing en landschapselementen worden niet meegenomen.

2. Keuze van specifieke karakteristieken van het zonnenveld: oriëntatie van het park (zuid of oost-west), vaste opstelling of meedraaiend met de zon, hoogte en hellingshoek van de panelen, helling in het landschap, ruwheid van het zon-PV glas met of zonder anti reflectie coatings;
3. Markeren van posities rond het park (op de weg in deze analyse) waarop de potentiële reflectie wordt berekend;
4. Instellen van de hoogte van posities gezien gezichtspunt van de automobilist (1,1 meter boven het wegdek), de vrachtwagenchauffeur (2,5 meter boven het wegdek), en de machinist (2 en 4 meter boven rails vanwege verschillende hoogtes trein)
5. Daarna wordt het model doorerekend met als uitkomst een gevaar/risico figuur waarin verwachte reflectie wordt geplot gedurende het jaar in drie kleuren:
 - a. Groen: Kleine kans op reflectie met nabeelden op het netvlies;
 - b. Geel: Reële kans op nabeelden zonder oogschade;
 - c. Rood: Sterke reflectie met kans op permanente oogschade.

Wat betekenen de resultaten van de GlareGauze



Figuur 2 Tweedimensionaal voorbeeldplot van het effect van reflectie op het oog op basis van twee variabelen: de kracht van de straling op het oog in W/cm^2 (retinal irradiance) en de grootte van de gezichtshoek van de lichtbron (subtended source angle)

De GlareGauze tool bepaalt het effect op het oog uit twee aspecten (de assen van bovenstaande grafiek): de kracht van de straling op het oog in W/cm^2 (retinal irradiance) en de grootte van de gezichtshoek van de lichtbron (subtended source angle). Dit betekent dat als de lichtbron sterker wordt, maar een kleine (punt) lichtbron wordt waargenomen, de kans op nabeelden in het oog kan ontstaan bij ongeveer $10 \text{ W}/\text{cm}^2$. Dat is een lichtbron zo sterk als de zon. Naarmate de lichtbron groter wordt in het gezichtsveld en een hoek heeft van 144 graden is de kans op nabeelden bij een zwakke lichtbron ($< 0.001 \text{ W}/\text{cm}^2$) aanwezig (omslag naar geel) .

Schade aan het oog ontstaat als de lichtbron sterker is dan de zon ($10 \text{ W}/\text{cm}^2$) of de hoek in het gezichtsveld groter is dan van de zon (3,6 graden). Uiteraard speelt dan ook mee hoe lang de lichtbron zichtbaar is voor het oog.

TNO bepaalt maskerende verblinding (disability glare) verblinding op basis van enkele variabelen:

- verblindings/verlichtingssterkte,
- verblindingshoek,
- achtergrondluminantie en
- dynamische eigenschappen, zoals duur en knipperfrequentie.

De eerste twee vormen ook de basis in het GlareGauze tool.

Achtergrondluminantie en knipperfrequentie worden niet meegenomen. Maskerende verblinding werpt volgens TNO een sluier (sluierluminantie) over het beeld waardoor het waarneembare contrast en daarmee de zichtbaarheid van objecten vermindert. De GlareGauze geeft de kans op

nabeelden (after image) en oogschade (retinal damage) aan. Dit zijn graadmeters voor het inschatten van de kans op verblinding. Maskerende verblinding kan gaan optreden in het gele gebied van de GlareGauze-plot en zal vrijwel zeker optreden in het rode gebied. Indien de reflectieresultaten in het groene gebied liggen zal geen reflectie met kans op maskerende verblinding optreden. Als geen enkele reflectie optreedt is er uiteraard ook geen kans op (maskerende) verblinding.

In het kort

In dit onderzoek wordt reflectiehinder beschouwd als maskerende verblinding. De GlareGauze geeft een goede indicatie van kans op maskerende verblinding door te bepalen of er sprake is van kans op nabeelden (after image). Een waarde 'in het geel' (zie figuur 2) wordt gezien als norm overschrijdend.

Resultaten GlareGauze

Uitgangspunten

Voor de analyse van het zonnepark Hemmen is uitgegaan van de volgende eigenschappen van het park:

- Het zonnepark is oost-west georiënteerd
- De panelen worden gebouwd met een hoek van 15 graden
- De panelen worden op 74 cm (onderkant) en 150 cm (bovenkant) boven het maaiveld geplaatst. In eerdere analyses zijn nauwelijks verschillen in de uitkomst gevonden (onder- vs. bovenkant), dus we nemen het middelpunt van de panelen, 112 cm.

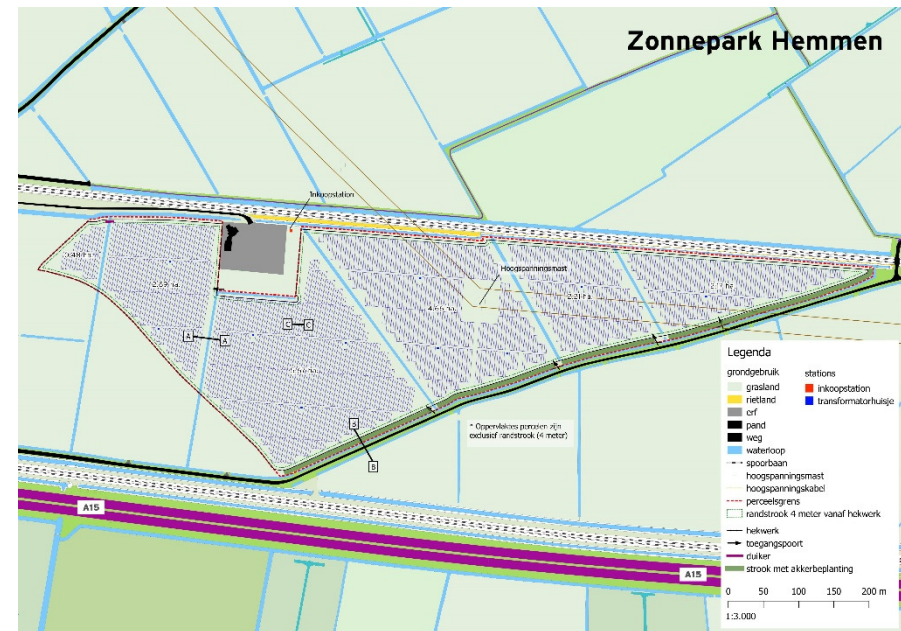
Voor de analyse van de reflectie op het verkeer gelden de onderstaande uitgangspunten:

- Er rijden treinen over dit traject met verschillende hoogtes. De reflectie wordt onderzocht op 2 meter en op 4 meter hoogte.
- Op de snelweg rijden zowel auto's als vrachtwagens. Als gemiddelde hoogte voor autobestuurders houden we 1.1 meter aan, voor vrachtwagenchauffeurs rekenen we met 2.5 meter.

Overige uitgangspunten:

- Voor de GlareGauze bestaat de opstelling van het zonneveld in feite uit twee opstellingen. Één oostgericht en één westgericht. De GlareGauze is dan ook tweemaal uitgevoerd éénmaal voor de oostgerichte panelen en éénmaal voor de westgerichte panelen.

Invoer GlareGauze



Figuur 3 Ligging van het zonnepark

Observatiepunten

In onderstaande afbeelding, afkomstig uit de GlareGauze is het zonnepark ingetekend en zijn de observatiepunten opgenomen. De observatiepunten 1 en 8 zijn op de direct aanliggende erven geplaatst. Punt 2 t/m 7 zijn op de spoorbaan geplaatst, waarbij punt 7 bij het station Hemmen-Dodewaard staat. Punt 9 en 15 zijn op de Betuwelijn geplaatst. Aangezien de snelweg en de Betuwelijn zo dicht bij elkaar liggen, is de verwachting is dat hier niet apart voor gerekend hoeft te worden. De overige punten (10 t/m 14) zijn op de A15 geplaatst.



Figuur 4 zonnepark en observatiepunten zoals ingetekend in de GlareGauze

Voor punt 1 en 8 houden we 1.7 meter aan (ooghoogte). Bij het spoor (punt 2 t/m 7, 9 en 15) houden we rekening met verschillende hoogtes: 2 en 4 meter. De overige punten zijn op de snelweg, hier houden we rekening met automobilisten - 1.1 meter - en vrachtwagenchauffeurs - 2.5 meter-.

In de navolgende paragrafen worden de uitkomsten uit de GlareGauze kort weergegeven. De volledige uitvoer van de GlareGauze is opgenomen in de bijlage.

Resultaten

In onderstaande figuren wordt een samenvatting van de GlareGauze gegeven.

Receptor	Green Glare (min)	Yellow Glare (min)
OP 1	0	0
OP 2	0	0
OP 3	0	0
OP 4	0	5693
OP 5	0	7921
OP 6	0	2708
OP 7	0	908
OP 8	0	276
OP 9	0	337
OP 10	0	0
OP 11	0	0
OP 12	0	0
OP 13	0	0
OP 14	0	0
OP 15	0	0

Figuur 5 samenvatting GlareGauze westgerichte panelen op 2 en 2.5 meter hoogte

Receptor	Green Glare (min)	Yellow Glare (min)
OP 1	0	0
OP 2	0	0
OP 3	0	0
OP 4	0	13724
OP 5	0	14745
OP 6	0	7922
OP 7	0	1925
OP 8	0	252
OP 9	0	338
OP 10	0	0
OP 11	0	0
OP 12	0	0
OP 13	0	0
OP 14	0	0
OP 15	0	0

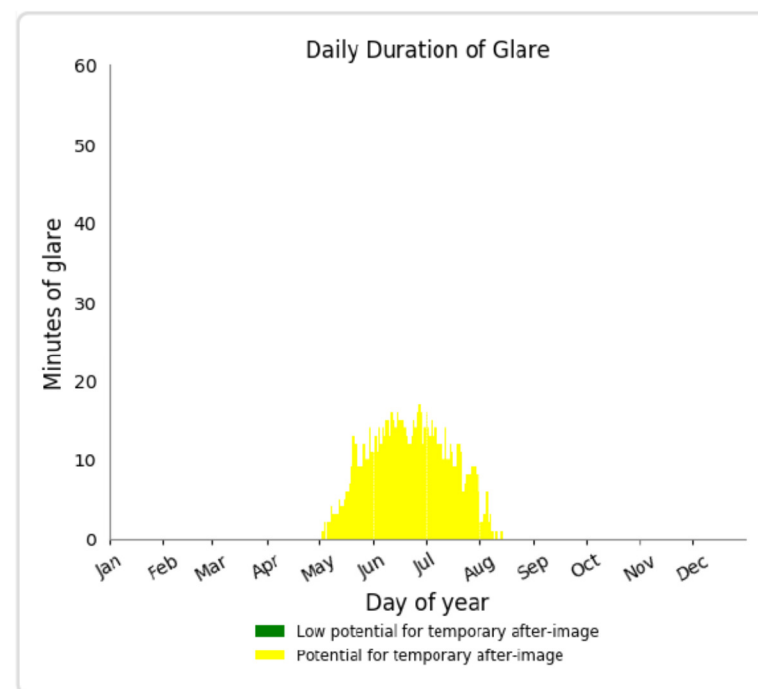
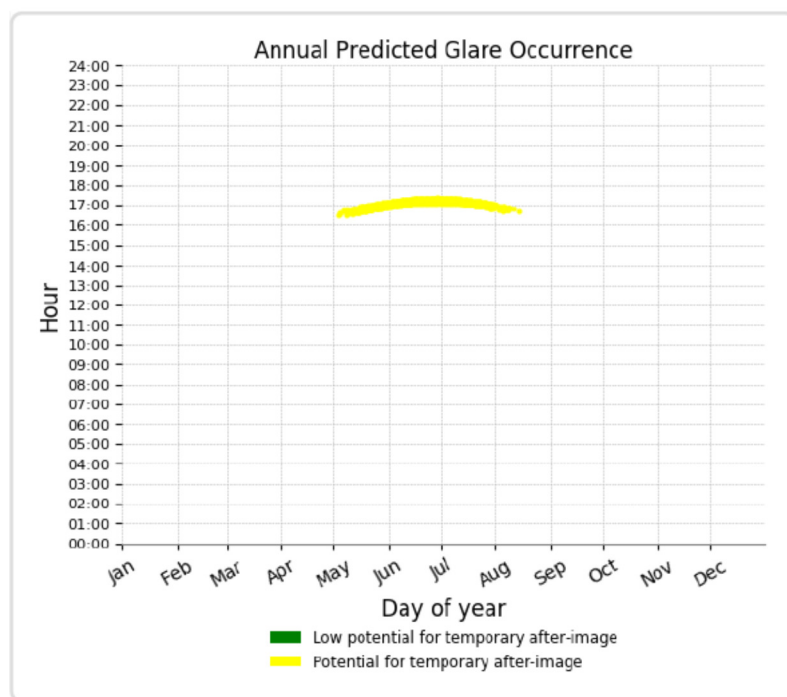
Figuur 6 samenvatting GlareGauze westgerichte panelen op 1.1 en 4 meter hoogte

Receptor	Green Glare (min)	Yellow Glare (min)
OP 1	0	973
OP 2	0	692
OP 3	0	1246
OP 4	0	7467
OP 5	0	9259
OP 6	0	1938
OP 7	0	0
OP 8	0	0
OP 9	0	0
OP 10	0	0
OP 11	0	0
OP 12	0	0
OP 13	0	0
OP 14	0	0
OP 15	0	0

Figuur 7 samenvatting GlareGauze oostgerichte panelen op 2 en 2.5 meter hoogte

Receptor	Green Glare (min)	Yellow Glare (min)
OP 1	0	698
OP 2	0	925
OP 3	0	2072
OP 4	0	17058
OP 5	0	17746
OP 6	0	6120
OP 7	0	0
OP 8	0	0
OP 9	0	0
OP 10	0	0
OP 11	0	0
OP 12	0	0
OP 13	0	0
OP 14	0	0
OP 15	0	0

Figuur 8 samenvatting GlareGauze oostgerichte panelen op 1.1 en 4 meter hoogte



Figuur 9 en 10: voorbeeld van de voorspelde reflectie op punt 1 bij oostgerichte panelen op 2 en 2.5 meter hoogte

Conclusie

Ten gevolge van de westgerichte panelen ontstaat reflectie op de observatiepunten 4 t/m 9. De punten 4 t/m 7 zijn van het treinspoor. Hierbij valt op dat hoe hoger de machinist zit, hoe vaker reflectie voorkomt. De reflectie valt ook binnen het relevante blikveld. Door het aanbrengen van bijvoorbeeld dichte beplanting of een scherm kan de reflectie worden weggenomen. Punt 8 is vanaf het erf van Kerkstraat 32. De reflectie komt in dit geval hoofdzakelijk uit het noord-westelijke gedeelte van het zonnepark. Of dit als hinderlijk wordt ervaren is vooral afhankelijk van hoe de woning is gesitueerd ten opzichte van het zonnepark. Wel is het maar een relatief korte periode op de dag en in het jaar. Eventueel kan met beplanting dit eenvoudig gemaskeerd worden. Punt 9 is het punt op de Betuwelijn net na de overgang van de Dodewaardsestraat. Ten westen van dit punt is geen reflectie meer te verwachten vanwege het viaduct en de beplanting. De reflectie komt in het geval van punt 9 uit de zuidelijkste punt van het park. Het ligt zeker binnen het relevante blikveld. Gezien het kleine oppervlakte van het park wat reflectie geeft, zal dit naar alle waarschijnlijkheid niet lang genoeg in beeld zijn om hinderlijke reflectie te veroorzaken. Bovendien zijn er geen spoorwegovergangen, waardoor de risico's ook zeer klein of verwaarloosbaar zijn.

Ten gevolge van de oostgerichte panelen zien we een nagenoeg gelijk beeld. Hoofdzakelijk zien we reflectie bij de punten op het spoor. Vanwege de oostgerichte panelen zien we bij de oostelijke punten op het spoor vooral reflectie optreden. Dit zijn de punten 1 t/m 6. Punt 1 is de

woning aan de Leigraafseweg 1. Kijkend naar Google Streeview lijkt het huis op het oostelijke deel van het perceel te staan, met gebouwen (schuren?) tussen de woning en het zonnepark. Waarschijnlijk biedt dit al voldoende obstakel om vanuit de woning geen last van reflectie te hebben. De overige punten zijn allemaal op het spoor gelegen. Gezien dat vanaf punt 2 t/m 6 overal reflectie voor komt, de reflectie zich binnen het relevante blikveld bevindt en dat er een spoorwegovergang en een station is, is het nodig om hier ervoor te zorgen dat de reflectie niet optreedt. Dit zou met dichte beplanting of scherm kunnen (minimaal 4 meter hoog). De overige punten hebben geen last van reflectie.

Hoofdconclusie

Het onderzoek naar reflectie met behulp van de GlareGauze heeft als uitkomst dat het zonnepark Hemmen de kans heeft om maskerende verblinding te veroorzaken op treinverkeer. Dit geldt voor treinverkeer dat op het spoor Tiel-Elst rijdt. De reflectie kan worden weggenomen door het aanbrengen van dichte begroeiing van voldoende hoogte (minimaal 4 meter) of een scherm. Op de Betuwelijn is nauwelijks last van reflectie, is de tijd dat reflectie voor een machinist optreedt zeer kort en gecombineerd met het feit dat er geen overgangen zijn, lijken mitigerende maatregelen niet noodzakelijk. De aanliggende woningen hebben met weinig reflectie te maken. Of dit hinderlijk is, is vooral afhankelijk van de situering van de woning ten opzichte van andere gebouwen en erfbeplanting en de plek van de ramen in de woning.

Bijlagen Uitvoer van de GlareGauze