



Reflectie onderzoek Zonnepark Kijfhoek

Onderzoek naar reflectiehinder op het spoor en het rangeerterrein Kijfhoek, afkomstig van het beoogde zonnepark Kijfhoek

8 maart 2024

Reflectie onderzoek Zonnepark Kijfhoek

Onderzoek naar reflectiehinder op het spoor en
het rangeerterrein Kijfhoek, afkomstig van het
beoogde zonnepark Kijfhoek

Opdrachtgever:

Novar

Anneloes Koppelaar

Uitgevoerd door:

ROM₃D

Dillen Bruil, MSc

Dit is een aanpassing op de versie van 18 september 2023

8 maart 2024

ROM₃D

Dorshorst 1a

7217 PH Harfsen

T 0573 46 06 34

E info@rom3d.nl

W www.rom3d.nl

Inhoud

1	Introductie.....	4
2	Beleid, regelgeving en kaders inzake reflectie	5
2.1	Lichtreflectie	5
2.2	Verblinding.....	5
2.3	Perspectief	6
3	Methode van onderzoek.....	7
3.1	ForgeSolar Tool.....	7
	Werking van de ForgeSolar tool	7
	Reflectieprofielen	8
	Wat betekenen de resultaten van de tool	9
4	Resultaten	11
4.1	Uitgangspunten	11
	Rangeerterrein Kijfhoek	12
4.2	Uitkomst Reflectieonderzoek Spoor	16
	Machinisten, hoge kijkhoogte	16
	Machinisten, lage kijkhoogte	19
4.3	Mitigerende maatregelen	19
5	Conclusie.....	21
6	Referenties.....	22
7	Bijlagen	23
	Bijlage 1 – modelresultaten reflectieonderzoek mrt 24:	23

1 Introductie

Novar werkt aan een zonnepark ten noorden van rangeerterrein Kijfhoek. Eventuele reflectiehinder veroorzaakt door dit park kan inzichtelijk worden gemaakt met een reflectiestudie. Er is gevraagd om een dergelijke studie uit te voeren om de schittering te bepalen voor machinisten op het naastgelegen spoor en het rangeerterrein. In de voorliggende rapportage wordt hierop ingegaan. Het te realiseren zonnepark bestaat uit drie delen en is omsloten door het spoor/rangeerterrein in het zuiden, de Langeweg in het noorden en de Munnikensteeg in het oosten. Rondom de zonnenvelden liggen weilanden, zie ook Figuur 1.1. Voor het reflectieonderzoek zal ROM_{3D} uitgaan van eigenschappen zoals aangeleverd door de opdrachtgever.



Figuur 1.1: Links: grofweg de drie delen van het Zonnepark Kijfhoek, rechts: de locatie van het zonnepark aangeduid met de ster. Bron: Google Earth / Novar

2 **Beleid, regelgeving en kaders inzake reflectie**

Voor hinder ten gevolge van reflectie bestaat géén specifiek beleid of regelgeving. Wel houdt ProRail als randvoorwaarde dat een sein een waarneembaarheid (zichtlengte) heeft van 425m (dus vanaf 425 voor het sein tot het sein zelf) dient het sein waargenomen te moeten kunnen worden. Eventuele overschijning of verblinding mag in deze 425m slechts zeer kort bestaan (max 15% van de zichtlengte). Een machinist zit met zijn zichtveld 2,5m tot 4m boven de spoorstaven.

2.1 **LICHTREFLECTIE**

Reflectie kan in bepaalde gevallen leiden tot – tijdelijke - 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.

2.2 **VERBLINDING**

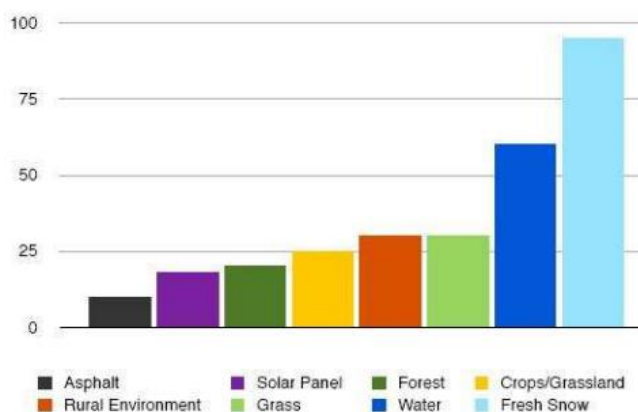
Verblinding treedt op als er zich in het gezichtsveld van de waarnemer een felle lichtbron bevindt die een veel hogere luminantie heeft dan de omgeving. De relatie met afleiding van personen is dat een felle lichtbron afhankelijk van de context (met name of het licht of donker is) meestal erg opvallend 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. Oncomfortabele verblinding veroorzaakt ongemak zonder daadwerkelijk het zicht te belemmeren. Rijkswaterstaat heeft een voorkeur voor het hanteren van maskerende verblinding als toetsingscriterium. In dit reflectieonderzoek wordt oncomfortabele verblinding daarom niet verder behandeld.

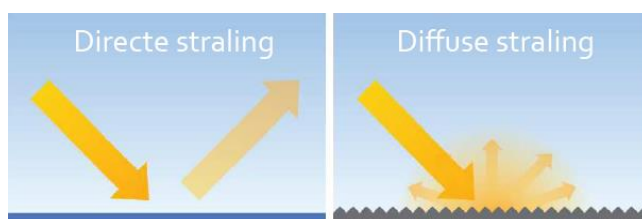
2.3 PERSPECTIEF

Zonnepanelen zijn niet de enige objecten waar reflectie kan optreden. Overal waar zonlicht op valt kan het zonlicht reflecteren. In Figuur 2.1 zijn resultaten van een reflectieanalyse weergegeven. Hieruit is op te maken dat bij onder andere vegetatie zoals gras en bos een groter percentage van het licht wordt gereflecteerd dan bij zonnepanelen. In de praktijk leidt dit niet vaak tot hinder. Of de reflectie hinderlijk is, is onder andere afhankelijk van de intensiteit van het gereflecteerde zonlicht. Bij een ruwere textuur, zoals bijvoorbeeld een grasland, is de intensiteit van het gereflecteerde licht veel lager (zie Figuur 2.2). Dit komt omdat alle grassprietjes het licht in verschillende richtingen reflecteren (diffuse straling). Bij een glad, spiegelend, oppervlakte wordt dezelfde hoeveelheid licht één richting op weerkaatst (directe straling). Dit leidt tot een hogere intensiteit en dus fellere reflectie van licht (FAA, 2018).

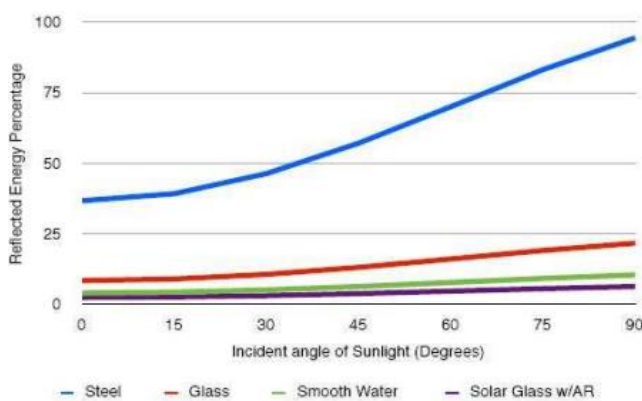
De hoeveelheid licht die van een zonnepaneel af komt is ook afhankelijk van de oppervlaktereflectie, bewolgingsgraad, geografische locatie, opstellingsvariant (grootte, hellingshoek, hoogte en oriëntatie) en tijd (jaar en dag). Met de tijd verandert de invalshoek van het zonlicht. In Figuur 2.3 is de reflectiviteit van diverse materialen uitgezet tegen de invalshoek van het zonlicht. Onderzoek heeft aangetoond dat zonnepanelen minder reflectief zijn dan stilstaand water, houten dakspanen, gras, wegen, sneeuw, staal en glas (Slana, 2018). De paarse lijn in Figuur 2.3 geeft de reflectiviteit van zonnepanelen met antireflectiecoating weer, het is daarmee minder reflectief dan bijvoorbeeld stilstaand water. Open, stilstaand water is grofweg equivalent aan zonnepanelen zonder anti-reflectiecoating (Slana, 2018).



Figuur 2.1: Vergelijkende reflectie analyse (Spaven Consulting, 2011).



Figuur 2.2: Directe en diffuse straling (FAA, 2018)



Figuur 2.3: Analyse van reflectiviteit van typische materialen versus de invalshoek van het zonlicht (Spaven Consulting, 2011).

3 Methode van onderzoek

De methode bestaat uit twee stappen:

1. Vaststellen van de variabelen voor de reflectiestudie:
 - Vaststellen van de specificaties van het zonnepark:
 - het type materiaal van de panelen,
 - wel of geen anti-reflectiecoating,
 - de hellingshoek,
 - de ligging,
 - de hoogte van de opstellingen,
 - de oriëntatie van de opstellingen.
 - Definiëren van observatiepunten langs de opstellingen van zonnepanelen,
2. Analyse op reflectie en verblinding met ForgeSolar model met de kans op voorkomen (op basis van berekende grafieken van dag en seizoen) van reflectie en kans op verblinding.

3.1 FORGESOLAR TOOL

Voor reflectiestudies maakt ROM3D gebruik van een speciaal hiervoor ontwikkelde tool: ForgeSolar. Deze tool maakt gebruik van de Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT) van Sandia National Laboratories uit de VS. Het model wordt in de VS standaard en met een verplicht karakter ingezet voor de ontwikkeling van zonneparken of andere reflecterende elementen dichtbij vliegvelden. Rijkswaterstaat heeft het gebruik van de SGHAT geaccepteerd als methode om de mogelijkheid van reflectie op weggebruikers te onderzoeken. Ook TNO ziet de SGHAT als een valide methode om reflectiehinder te onderzoeken (TNO, 2016).

Werking van de ForgeSolar tool

Over de opbouw van het model met aannames en berekeningswijze verwijzen wij naar de achtergrond documentatie die op de website kan worden gevonden (<https://www.forgesolar.com/>). De hinder wordt alleen berekend voor een situatie waarin reflectie maximaal is. Dat wil zeggen: geen atmosferische verstrooiing, geen bewolking en geen objecten tussen bron (zonnepark) en observatiepunt (bijvoorbeeld voertuig of gevel). Objecten in deze kunnen onder andere beplanting of andere bebouwing zijn. Als deze er wel zijn, wordt hier met de interpretatie en conclusie wel rekening mee gehouden.

De tool werkt samengevat met de volgende stappen:

1. Invoeren van de geografische afbakening van de opstellingen door polygoenen te tekenen ter grootte van het oppervlak van de panelen in de ForgeSolar editor. 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 zonneveld: oriëntatie van de panelen (in graden), 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-reflectiecoating.
3. Markeren van posities (observatie punten) rond de panelen waarvoor de potentiële reflectie per zonnepanelen opstelling, in perfecte condities¹, wordt berekend.
4. Instellen van kijkhoogte van de observant.
5. Daarna wordt het model doorgerekend met als uitkomst een gevaar/risicofiguur (hazard plot) waarin verwachte reflectie wordt geplot gedurende het jaar in drie kleuren:
 - Groen: Kleine kans op reflectie met nabebelden op het netvlies (niet hinderlijk), vergelijkbaar met oncomfortabele verblinding,
 - Geel: Reële kans op nabebelden zonder oogschade (hinderlijk), vergelijkbaar met maskerende verblinding,
 - Rood: Sterke reflectie met kans op permanente oogschade (gevaarlijk).

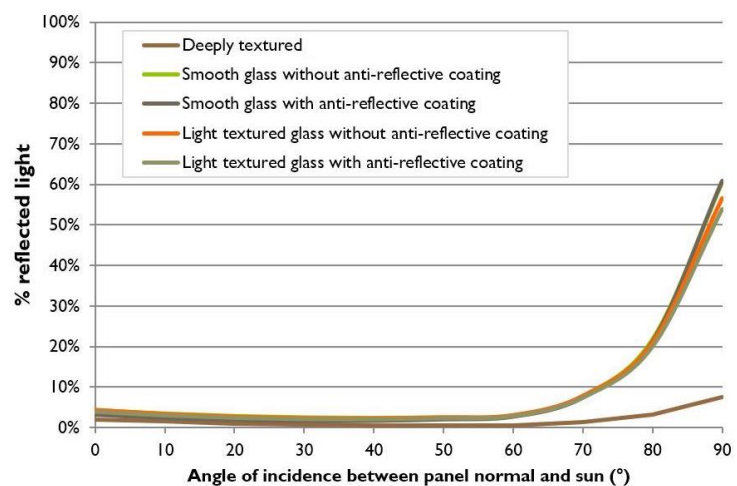
Reflectieprofielen²

Sandia National Laboratories heeft vijf generieke reflectie profielen ontwikkeld voor PV modules:

- *Smooth glass* (met en zonder anti-reflectiecoating)
- *Light textured glass* (met en zonder anti-reflectiecoating)
- *Deeply textured glass*

Deze profielen zijn tot stand gekomen door meer dan 20 bestaande PV modules te analyseren. Figuur 3.1 laat de reflectiviteit zien van elk ontwikkelde profiel als functie van de invalshoek van het zonlicht. Een hoek van 0° betekent hierin dat de panelen direct op de zon gericht staan. Een invalshoek van 90° komt voor als de panelen horizontaal liggen (helling van 0°) op moment dat de zon op komt en onder gaat.

Anti-reflectiecoatings (ARC) en oppervlakte textuur kunnen de reflectiviteit van panelen verminderen, maar dit is doorgaans minder dan 8%. Daar komt bij dat een ruwere textuur de grootte van de gezichtshoek van



Figuur 3.1: Reflectiviteit ten opzichte van de invalshoek van het zonlicht voor de vijf generieke reflectie profielen (ForgeSolar, 2020).

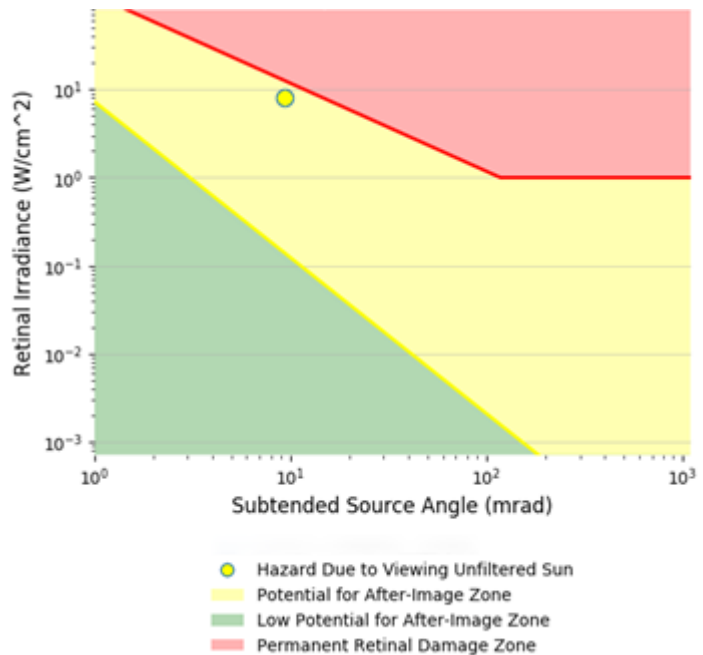
¹ Perfecte condities: Geen atmosferische blokkade van zon instraling door bijvoorbeeld atmosferische verstrooiing (bijvoorbeeld smog) of wolken en geen tussenobjecten die reflectie of straling kunnen blokkeren zoals gebouwen of beplanting.

² Bron voor deze hele sectie: www.forgesolar.com (ForgeSolar, 2020)

lichtbron kan vergroten (zie ook het hoofdstuk "Wat betekenen de resultaten van de tool"). Dit laatste komt omdat een ruwere textuur meer diffuse reflectie veroorzaakt.

Wat betekenen de resultaten van de tool

De ForgeSolar tool bepaalt het effect op het oog uit twee aspecten (de assen van de grafiek in Figuur 3.2): 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*). Een sterke lichtbron staat hoger op de verticale as in de grafiek dan een zwakke lichtbron. Op de horizontale as is de grootte van de hoek van de lichtbron weergegeven. Een kleine (punt) lichtbron staat verder naar links op de horizontale as dan een groot reflecterend vlak. De hoek van het oog naar de lichtbron is aangeduid in miliradialen. Een groter vlak zal sneller bij een lagere instralingskracht tot hinder leiden dan een kleiner vlak. De gele lijn tussen de groene en gele zone duidt de omslag tussen geen en wel kans op nabeelden. Permanente schade aan het oog ontstaat als de lichtbron in het rode gebied terecht komt. De gele stip in de gele zone geeft het gevaar/risico weer van het met het blote oog naar de zon kijken op een heldere dag.



Figuur 3.2: Tweedimensionaal ForgeSolar-plot 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 kleuren geven het soort reflectie aan en de gele stip duidt ter referentie het gevaar/risico aan van het kijken naar de zon op een heldere dag met het blote oog. Als het onderzoek uitgevoerd is zal met oranje stippen het gevaar/risico op een observatiepunt aangeduid worden.

TNO (TNO, 2016) bepaalt maskerende verblinding (*disability glare*) op basis van enkele variabelen:

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

De eerste twee variabelen vormen ook de basis in de ForgeSolar tool. Achtergrondluminantie en knipperfrequentie worden niet meegenomen.

De uitkomsten van de ForgeSolar tool worden strenger beoordeeld dan de uitkomsten van de TNO disability glare methode. De duur van de overschrijding van de lichthinder volgens de TNO disability beoordelingsmethode is gemiddeld 64% van de ForgeSolar tool. Maskerende verblinding werpt volgens TNO een sluier (sluierluminantie) over het beeld waardoor het waarneembare contrast en daarmee de

zichtbaarheid van objecten vermindert. De ForgeSolar tool 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 ForgeSolar-plot en zal vrijwel zeker optreden in het rode gebied. Indien de reflectieresultaten in het groene gebied liggen zal er geen reflectie met kans op maskerende verblinding optreden. Als geen enkele reflectie optreedt is er uiteraard ook geen kans op (maskerende) verblinding. In dit onderzoek wordt gesproken van hinder als de reflectie in het gele of rode gebied ligt.

Hinder

In dit onderzoek wordt gesproken van reflectiehinder in geval van maskerende verblinding. ForgeSolar geeft een goede indicatie van kans op maskerende verblinding door te bepalen of er sprake is van zogenoemde "gele" of "rode" reflectie, die in de uitkomsten van de figuren respectievelijk geel en rood gemarkeerd zijn.

4 Resultaten

4.1 UITGANGSPUNTEN

Zonnepark Kijfhoek bestaat uit drie delen. Van west naar oost zijn deze aangeduid als deel 1 t/m deel 3. Zie ook Figuur 4.1. Voor de analyse van eventuele reflectie afkomstig van het Zonnepark Kijfhoek is uitgegaan van de volgende eigenschappen:

— Gemiddelde hoogte panelen ³ :	1.45 meter ⁴
— Hellingshoek panelen:	10°
— Meedraaiend met de zon:	Nee
— Oriëntatie panelen:	
○ Deel 1:	213°
○ Deel 2:	214°
○ Deel 3:	215°
— Panelen materiaal:	Smooth glass met anti-reflectiecoating (ARC)
○ Bijbehorende 'slope error' ⁵ :	Correleert met materiaal ⁶
— Ooghoogte machinisten:	2,50 en 4 meter ⁷
— Kijkhoek machinisten voor routes ⁸ :	50°
— Tijdzone:	UTC +1 (wintertijd)

Er zijn 5 routes ingetekend, zie hiervoor ook Figuur 4.1.

- Route 1. Rangeerterrein midden (groen), 2 richtingen.
- Route 2. Rangeerterrein noord (geel), 2 richtingen.
- Route 3. Rangeerterrein zuid (donkerblauw), 2 richtingen.
- Route 4. Spoorlijn richting Dordrecht (oranje).
- Route 5. Spoorlijn richting Rotterdam (rood).

In dit onderzoek worden de resultaten voor Route 4 en Route 5 uitgewerkt.

³ Boven topografische hoogte van het maaiveld.

⁴ Gemiddelde hoogte van de hellende panelen. Voor de berekeningen is deze hoogte voor de zonnepanelen gebruikt..

⁵ De 'slope error' is verantwoordelijk voor de lichtbundelverstrooiing op de zonnepanelen (grotere verstrooiing zorgt voor minder hinderlijke reflectie).

⁶ Voor meer informatie zie achtergronddocumentatie op de website van de tool (www.forgesolar.com)

⁷ Geschatte hoogte op basis van maximale hoogtes van diverse types treinen en informatie ProRail

⁸ Kijkhoek van de waarnemer in graden naar links en naar rechts ten opzichte van de rijrichting. FAA (Federal Aviation Administration) onderzoek heeft uitgewezen dat er buiten 50° geen impact is van schittering is op de ontvanger (ForgeSolar, 2021).



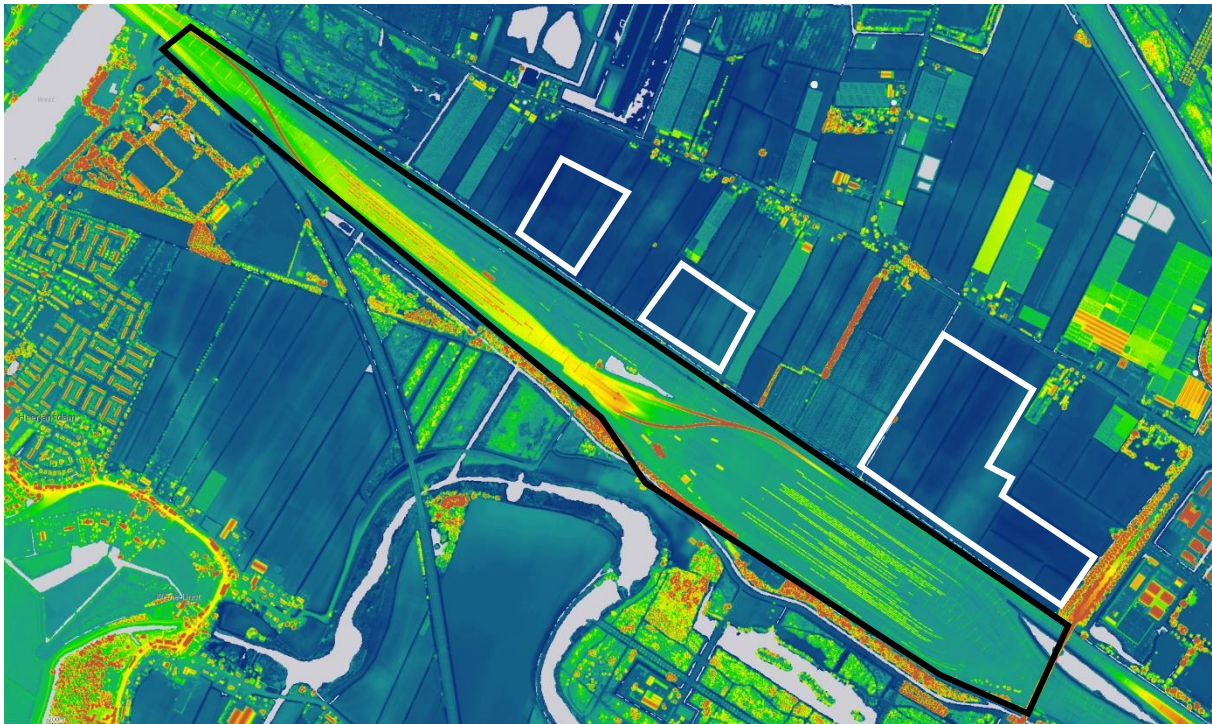
Figuur 4.1: Ingetekende zonnepark (transparant blauwe vlak) met daarbij de vijf routes waarvoor de reflectie berekend wordt.

Het hoogtemodel waar de ForgeSolar tool gebruik van maakt bleek niet toereikend/nauwkeurig genoeg. Daarom zijn de hoogtes herbepaald via het AHN₄ (Actueel Hoogtebestand Nederland, www.ahn.nl). De gebruikte maaiveldhoogtes van de spoorlijnen en de zonnepanelen kunnen gevonden worden in de bijlage.

Rangeerterrain Kijfhoek

Het rangeerterrain Kijfhoek is een groot rangeerterrain met veel verschillende sporen in verschillende rijrichtingen. Op het rangeerterrain is naar de 'extremen' gekeken, oftewel het meest noordelijke spoor en meest zuidelijke spoor. Resultaten tussen deze sporen kunnen als het ware geïnterpoleerd worden. Daartussen is ook een spoorlijn berekend die middendoor loopt. Deze route is ingetekend om rijbewegingen in het midden van het spoor te analyseren. Op het rangeerterrain zijn veel hoogteverschillen, zie ook Figuur 4.2. Deze hoogteverschillen hebben invloed op het zicht op de zonnepanelen en daarmee ook op eventuele reflectie. Als een machinist zich hoger op het spoor bevindt zijn de zonnepanelen beter te zien en is er, tot zekere hoogte, over het algemeen een grotere kans op hinder van de reflectie.

Uit contact met ProRail is gebleken dat Kijfhoek een rangeerterrain met een zogenoemd Heuvelsysteem is: *"een specifieke systeem alleen in gebruik op Kijfhoek waarbij treinen worden samengesteld door wagons een heuvel af te laten rollen naar het juiste spoor. Seingeving is zeer specifiek en beperkt tot het proces rondom de heuvel, de rest van het terrein is in essentie NCBG."* NCBG staat voor niet centraal bediend gebied: *"hier staan alleen de op de grens met centraal beveiligd gebied (CBG), borden die borgen dat een trein via contact van de mcn met de verantwoordelijke treindienstleider/procesleider de overdracht tussen deze gebieden veilig verloopt. In NCBG staan verder geen borden en/of lichtseinen. Wel heb je veelal andere risico's, zoals mensen langs het spoor, werkperren, wasstraten (die vaak wel lokaal een soort van stoplicht hebben)."*



Figuur 4.2: Hoogtekaart van het rangeerterrein (zwart omlijnd) en het zonnepark (wit omlijnd). De laagste gebieden zijn blauw gekleurd. Via groen en geel worden de hoogste delen rood gekleurd (Bron: AHN4, DSM dynamische opmaak). De hoogste delen zijn veelal boomtoppen en de rechte lijnen op het rangeerterrein zijn opgestelde treinen, water is uitgesloten (lichtgrijs). Goed te zien is het hoogteverschil op het rangeerterrein en het lager gelegen zonnepark.

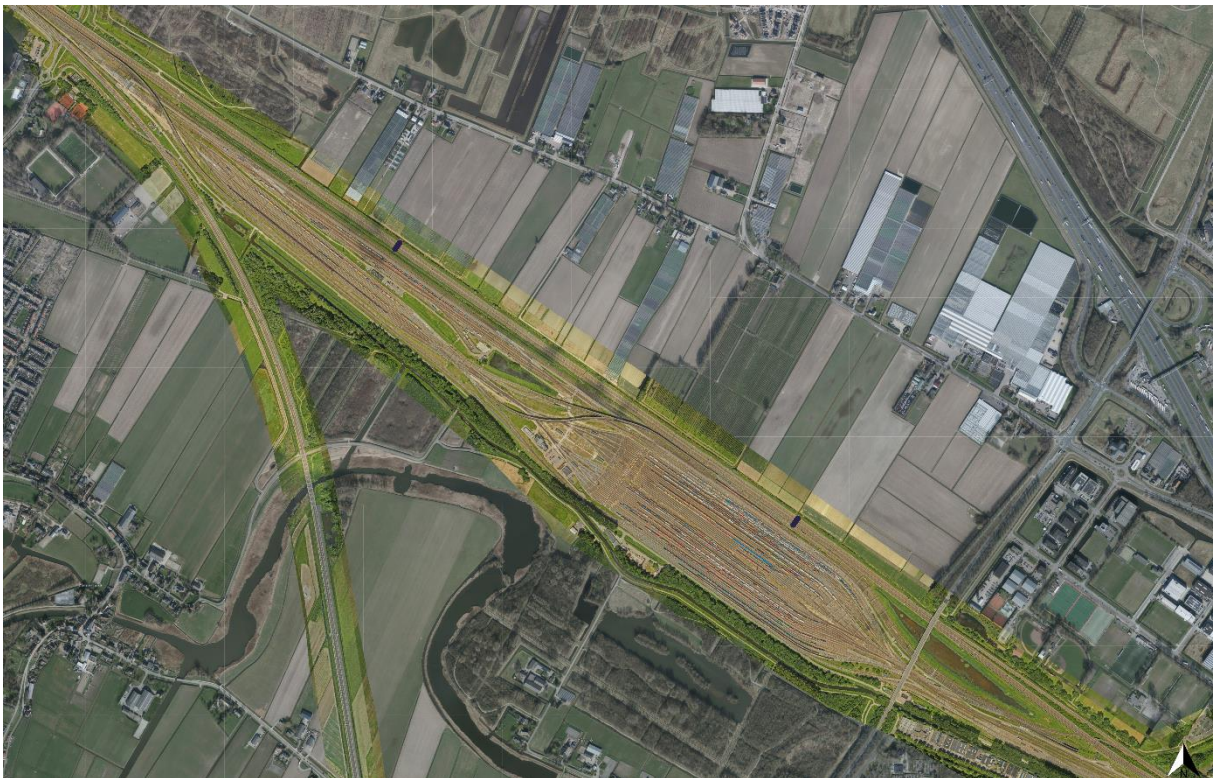
Naar aanleiding van het reflectieonderzoek kan het zijn dat er extra onderzoek vanuit ProRail verwacht wordt. ProRail heeft aangegeven dat het per situatie verschillend kan zijn en er geen eenduidige richtlijn opgesteld kan worden waaraan ROM3D kan toetsen. In dit reflectieonderzoek zal alleen naar de reflectie van de spoorlijnen ten noorden van het rangeerterrein gekeken worden (route 4 en 5) en zal de eventuele reflectie getoetst worden aan de door ProRail opgestelde randvoorwaarde: *“een sein moet een waarneembaarheid (zichtlengte) hebben van 425m (dus vanaf 425m voor het sein tot het sein zelf) dient het sein waargenomen te moeten kunnen worden. Eventuele overschijning of verblinding mag in deze 425m slechts zeer kort bestaan (max 15% van de zichtlengte). Een machinist zit met zijn zichtveld 2,5m tot 4m boven de spoorstaven.”*

Langs de onderzochte trajecten en op het rangeerterrein staan een aantal seinen. Met behulp van de Basisbeheerkaart viewer van ProRail (ProRail, 2023) zijn deze vastgesteld. In Figuur 4.3 tot en met Figuur 4.6 kunnen de seinposities gevonden worden. De donkerblauwe markeringen duiden de locaties van lichtseinen aan en de lichtblauwe markeringen duiden de locaties bordseinen/snelheidsborden aan. Oranje zijn locaties van onbekende borden (ProRail, 2023). In de figuren is rekening gehouden met de rijrichting wanneer een bord wel of niet zichtbaar is.

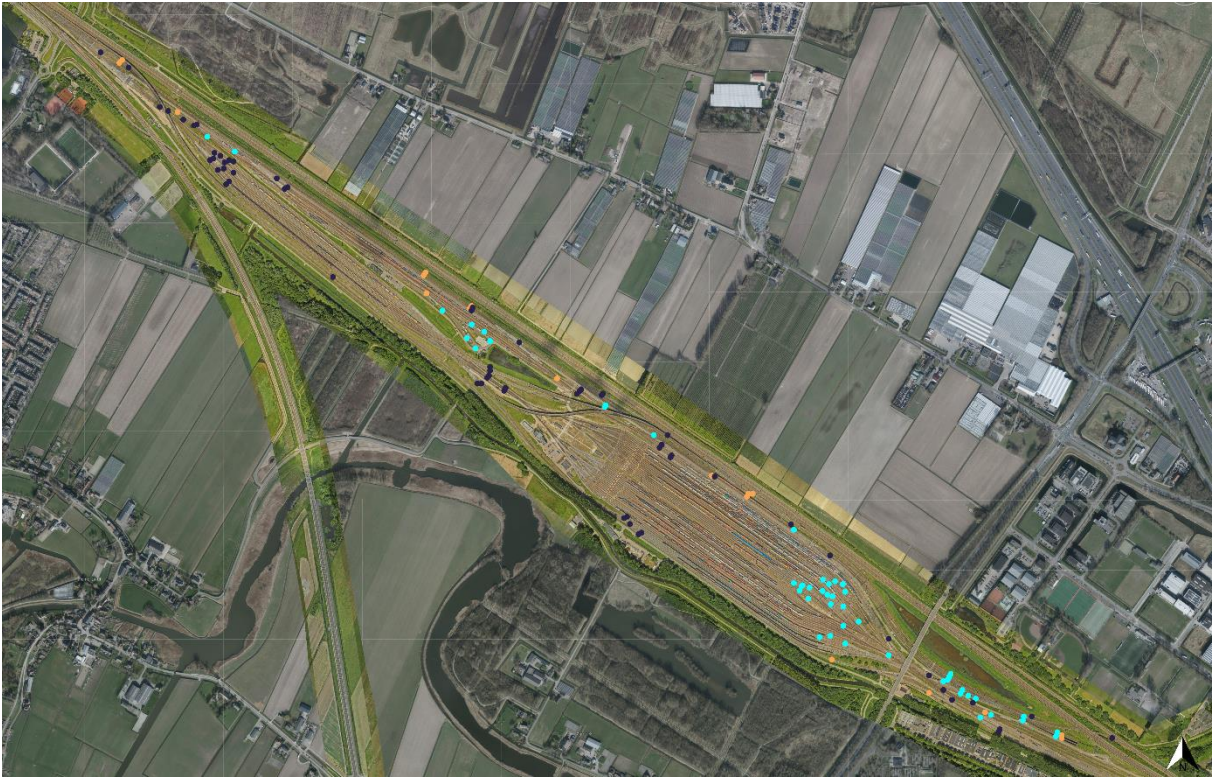
Navraag bij ProRail heeft bevestigd dat het zicht op gubela's (reflectorposten) met name van belang is bij slechte weersomstandigheden. Overdag (als de zon schijnt) is het zicht op de seinen goed en heeft de machinist de gubela functionaliteit niet nodig. 's Avonds, ten tijde van schemering of als het donker is en bij regen of mist zal er geen reflectie optreden, dit gebeurt alleen als de zon schijnt. Om deze reden worden de gubela's buiten beschouwing gelaten in dit onderzoek en zijn ze ook niet meegenomen in de figuren.



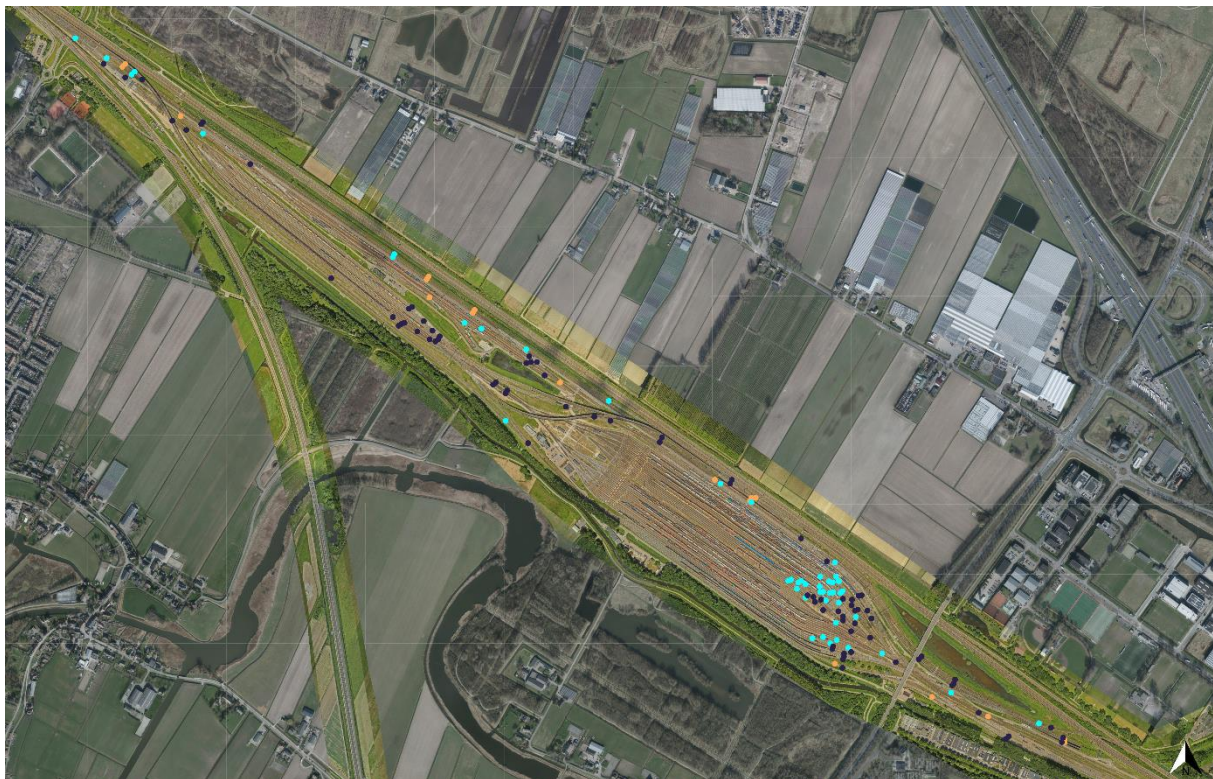
Figuur 4.3: Seinposities op het spoor, zichtbaar rijdend richting Rotterdam. In donkerblauw zijn de lichtseinen weergegeven en in lichtblauw de (snelheids)bordseinen (ProRail, 2023).



Figuur 4.4: Seinposities op het spoor, zichtbaar rijdend richting Dordrecht. In donkerblauw zijn de lichtseinen weergegeven (ProRail, 2023).



Figuur 4.5: Seinposities op het rangeerterrein, zichtbaar rijdend richting Rotterdam. In donkerblauw zijn de lichtseinen weergegeven, in lichtblauw de (snelheids)bordseinen en in oranje onbekende borden (ProRail, 2023).



Figuur 4.6: Seinposities op het rangeerterrein, zichtbaar rijdend richting Dordrecht. In donkerblauw zijn de lichtseinen weergegeven, in lichtblauw de (snelheids)bordseinen en in oranje onbekende borden (ProRail, 2023).

4.2 UITKOMST REFLECTIEONDERZOEK SPOOR

De berekende reflectietijden in de ForgeSolar tool zijn niet gecompenseerd voor wolken en filtering door autoruiten. TNO (TNO, 2016) beschrijft dat de totale reflectietijd door drie gedeeld kan worden om tot een realistische reflectie tijd te komen; in Nederland is er voor 2/3 deel van het jaar sprake van bewolkte omstandigheden. De schittering is berekend met panelen die van glad glas gemaakt zijn, met anti-reflectiecoating, die niet meedraaien met de zon.

Machinisten, hoge kijkhoogte

De resultaten van het reflectieonderzoek: de reflectietijden in uren per jaar die wel gecompenseerd zijn voor bewolking en filtering door autoruiten, kunnen in Tabel 4.1 gevonden worden. Groene reflectie wil zeggen dat er wel reflectie te zien is, maar dat deze niet hinderlijk is. Gele reflectie wil zeggen dat de reflectie die te zien is hinderlijk kan zijn.

Tabel 4.1: Gecompenseerde groene en gele reflecties voor machinisten met een hoge kijkhoogte in uren per jaar.

Route	Deel 1		Deel 2		Deel 3	
	Groene reflectie	Gele reflectie	Groene reflectie	Gele reflectie	Groene reflectie	Gele reflectie
4 – spoor richting Dordrecht	6,2	36,5	3,3	22,5	7,2	27,1
5 – spoor richting Rotterdam	2,8	0,1	0,9	0,0	2,2	1,1

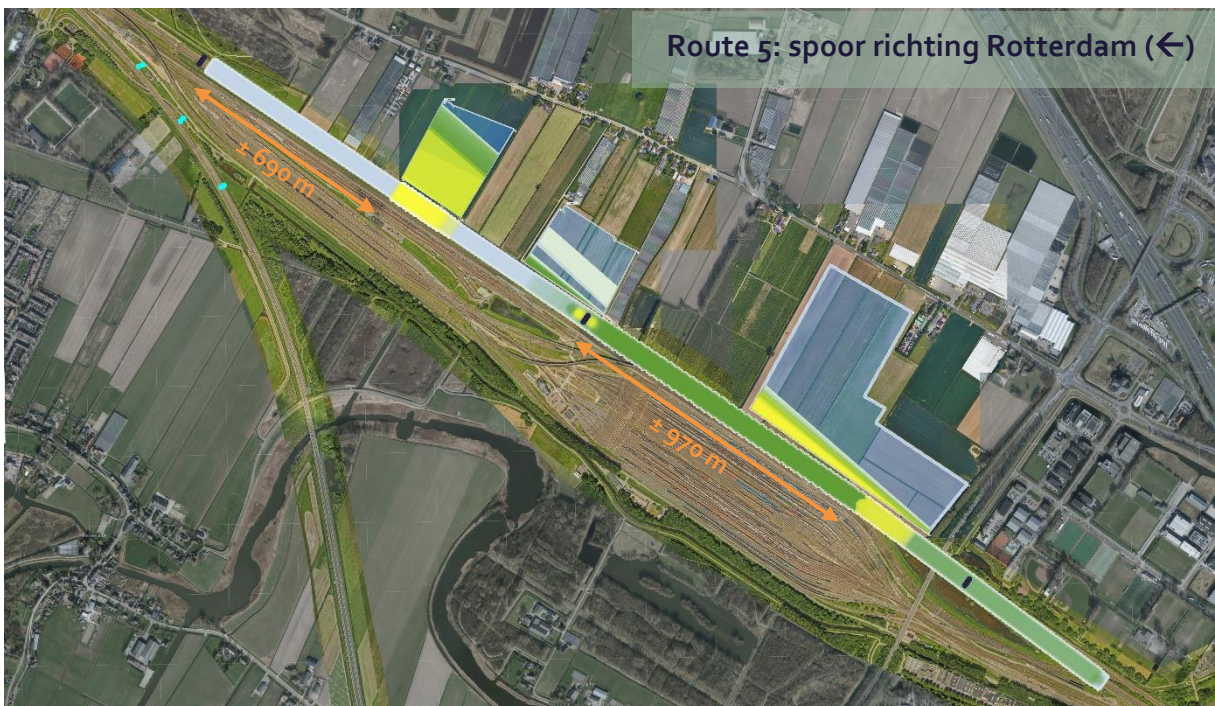
Zoals te zien kunnen machinisten, afhankelijk van waar ze rijden, hinder ondervinden van de reflecties. Op beide routes wordt gele, maskerende, reflectie waargenomen. Alleen op het spoor rijdend langs het rangeerterrein richting Rotterdam is dit minimaal. Op de andere route is het in totaal een tiental uur per jaar. De tijden kunnen niet bij elkaar opgeteld worden, want de reflectie van de verschillende delen kunnen tegelijkertijd waargenomen worden.

Figuur 4.7a en b laten de bron zien van waar op de routes schittering is waar te nemen en waar deze vandaan komt van het zonnepark. Bij de berekening van de reflectie op de routes is rekening gehouden met een beoordelingsveld van 50 graden naar links en naar rechts ten opzichte van de rijrichting. Onderzoek heeft uitgewezen dat reflectie zichtbaar buiten dit beoordelingsveld geen impact heeft op de ontvanger (ForgeSolar, 2021) en zal daardoor niet tot hinderende verblinding leiden. In de figuur zijn de drie delen van het zonnepark gecombineerd en per route uitgerekend. Ook de relevante seinen zijn weergegeven.

Uit de figuren blijkt dat op het spoor ten noorden van het rangeerterrein er richting Dordrecht wel hinder te ondervinden is van de reflectie. Dit valt buiten de randvoorwaarde die ProRail heeft gesteld. Richting Rotterdam is er ook hinderlijke reflectie waar te nemen. De duur van deze reflectie is veel korter en de locatie waar de reflectie niet meer hinderlijk is, is voor het meest westelijke sein op ongeveer 690 meter en voor het middelste sein op ongeveer 970 meter. Daarmee voldoet deze route wel aan de randvoorwaarden van ProRail.



Figuur 4.7a: Schitterende delen van de zonnepanelen, zichtbaar vanaf de routes en de plekken op de route waar de reflectie tot hinder leidt. Hoe geleer de kleur, hoe meer hinderlijke reflectie. Hoe groener de kleur, hoe meer niet hinderlijke reflectie. Per route zijn de relevante lichtseinen weergegeven (in donkerblauw). De route geeft de reflectie in één rijrichtingen weer.

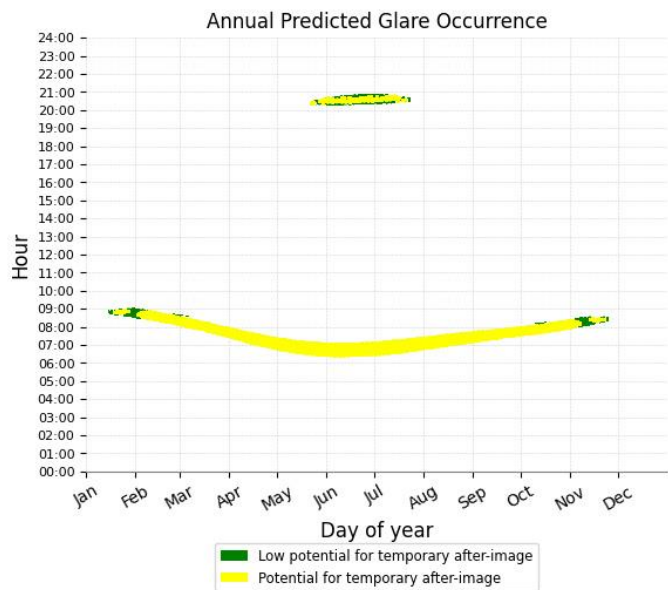


Figuur 4.7b: Schitterende delen van de zonnepanelen, zichtbaar vanaf de routes en de plekken op de route waar de reflectie tot hinder leidt. Hoe geleer de kleur, hoe meer hinderlijke reflectie. Hoe groener de kleur, hoe meer niet hinderlijke reflectie. Per route zijn de relevante lichtseinen weergegeven. In donkerblauw zijn de lichtseinen weergegeven, in lichtblauw de (snelheids)bordseinen. De route geeft de reflectie in één rijrichtingen weer.

De tijd en duur van de reflectie zijn zichtbaar in Figuur 4.8. Hierin is de totale tijd van (hinderlijke) schittering voor de route 4 en 5 gecombineerd weergegeven.

Richting Rotterdam is er alleen 's avonds reflectie. Er is hinderlijke schittering waarneembaar van eind mei tot eind juli, tussen 21.00 en 22.00 uur (zomertijd).

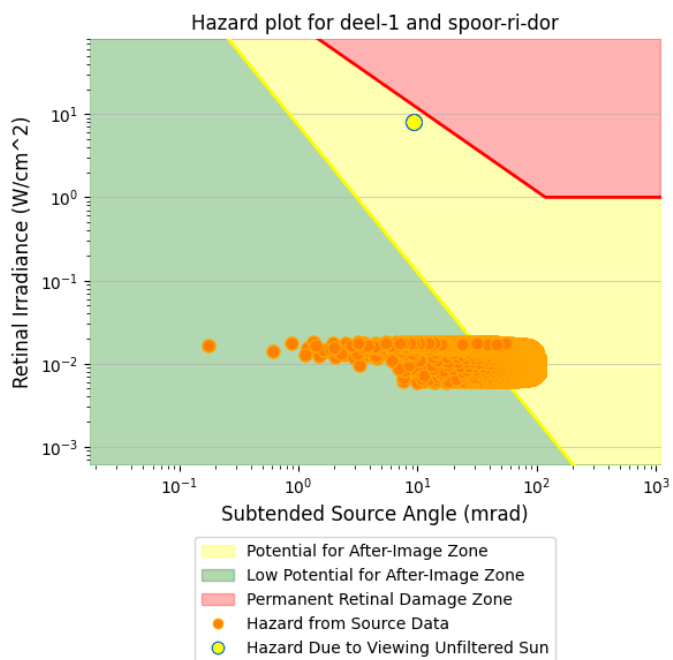
Richting Dordrecht is de schittering alleen 's ochtends waarneembaar, van half januari tot eind november, tussen 7.30 uur en 9 uur (rekening houdend met zomer/wintertijd) en duurt maximaal een uur per dag.



Figuur 4.8: Totale tijd wanneer schittering wordt waargenomen voor route 4 en 5. Op een tijd (wintertijd) en dag waar de figuur geel is zal op minimaal één van de routes hinderlijke schittering worden waargenomen.

De mate van hinder wordt duidelijk uit Figuur 4.9, waarin te zien is dat bijna alle reflectie in het gele gebied ligt. Dit is de gevaarplot van deel 1 op route 4 (spoor richting Dordrecht). De andere gevaarplots van route 4 zijn vergelijkbaar met deze. De gevaarplots van route 5 geven een lagere mate van hinder aan.

Waar er in Tabel 4.1 rekening is gehouden met bewolking is dat niet het geval in Figuur 4.7, Figuur 4.8 en Figuur 4.9. Door bewolking en atmosferische verstrooiing (bijvoorbeeld nevel) kan de retinal irradiance afnemen. De mate van hinder zal hierdoor afnemen en verschuiven van geel naar groen. In de praktijk zal er dan ook minder hinderlijke reflectie plaatsvinden dan in deze figuren geschetst is. Daarnaast is er ook sprake van verzachtende omstandigheden, omdat op het moment dat de machinist reflectie kan verwachten, hij richting de zon kijkt.



Figuur 4.9: Gevaarplot van deel 1 van het zonnepark op route 4 (spoor richting Dordrecht).

In Figuur 4.7 en Figuur 4.8 zijn resultaten samengevoegd. De exacte schitteringsduur per dag, tijd op de dag en in het jaar, de mate van hinder en de bron per deel per route kan gevonden worden in de bijlage.

Machinisten, lage kijkhoogte

Het reflectieonderzoek is ook uitgevoerd voor machinisten die lager zitten. Niet in alle treinen zit de machinist op 4 meter boven de spoorstaven. Gemiddeld zit een machinist tussen de 2,5 en 4 meter boven de spoorstaven. De uitgangspunten voor dit deel van het onderzoek zijn niet veranderd, met uitzondering van de ooghoogte. Voor machinisten met een lage kijkhoogte is uitgegaan van een gemiddelde ooghoogte van 2,50 meter. De totale gecompenseerde reflectietijden in uren per jaar zijn te vinden in Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Gecompenseerde groene en gele reflecties voor machinisten met een lage kijkhoogte in uren per jaar.

Route	Deel 1		Deel 2		Deel 3	
	Groene reflectie	Gele reflectie	Groene reflectie	Gele reflectie	Groene reflectie	Gele reflectie
4 – spoor richting Dordrecht	10,6	23,9	4,7	23,6	4	22,9
5 – spoor richting Rotterdam	1,0	0,1	0,0	0,0	1,9	0,9

Ten opzichte van machinisten met een hoge kijkhoogte is de reflectie vergelijkbaar, alleen is de totale tijd waarvoor hinder wordt ondervonden groter voor machinisten met een hoge kijkhoogte. De tijd in het jaar, de richting en mate van hinder zijn wel vergelijkbaar met hinder die machinisten met een hoge kijkhoogte ondervinden. De resultaten per deel per route zijn te vinden in de bijlage. Geconcludeerd kan worden dat hoe lager de kijkhoogte is, hoe minder lang er hinder ondervonden kan worden.

4.3 MITIGERENDE MAATREGELEN

Qua mitigerende maatregelen zijn er een aantal oplossingen te bedenken. Deze hebben echter wel invloed op de businesscase. Er zou gedacht kunnen worden aan het inpassen van het zonnepark middels beplanting. De beplanting moet dan aan de zuidkant van het zonnepark geplaatst worden en zou tot ooghoogte van de machinist moeten groeien. De beplanting moet of het hele jaar bladdicht zijn of het moet een wat bredere beplantingsrand worden. In dat laatste geval wordt niet de volledige reflectie geblokkeerd, maar zullen de takken er wel voor zorgen dat de *retinal irradiance* afneemt waardoor de reflectie niet meer hinderlijk zal zijn. Deze maatregel biedt voornamelijk een oplossing voor de spoorlijn richting Dordrecht. Een deel van het rangeerterrein ligt aanzienlijk hoger dan het zonnepark, waardoor de beplanting ook zo hoog zou moeten worden om alles te blokkeren.

Een tweede mogelijkheid is het aanpassen van de opstelling. Het draaien van de oriëntatie of het meer of minder hellen van de zonnepanelen is een mogelijkheid om de weerkaatste reflectie te beïnvloeden. Of het daarmee helemaal voorkomen wordt is op voorhand niet te zeggen, daar zouden extra berekeningen voor uitgevoerd moeten worden. Het gegeven dat er vrij veel hoogteverschil is, er veel seinen zijn en er in totaal een vrij lange strook is waar zonnepanelen geplaatst worden zorgen er voor dat ook dan een kans op reflectie aannemelijk is.

Als laatste kan het materiaal van de panelen ook nog uitmaken. Er zijn fabrikanten die claimen geen reflectie te hebben. Praktijkervaring heeft uitgewezen dat er altijd wel een vorm van reflectie is, maar dat deze niet

hinderlijk hoeft te zijn. Nadeel aan deze methode is dat het moeilijk gecontroleerd kan worden of het type paneel inderdaad niet tot hinderlijke reflectie leidt. Het model heeft een bepaald aantal profielen die geselecteerd kunnen worden. Specifieke panelen zijn daarom niet beschikbaar. Het laten invoeren van een bepaald type paneel is een kostbaar en gecompliceerd proces waarbij bepaalde eigenschappen van een paneel via een specifieke methode opgemeten moeten worden.

Als dezelfde berekeningen worden uitgevoerd met een *deeply textured* profiel dan volgt er geen hinderlijke schittering uit de berekeningen. De resultaten hiervan kunnen gevonden worden in de bijlage en de gecompenseerde reflectietijd kan gevonden worden in Tabel 4.3. Er is geen gele reflectie meer, maar wel veel meer groen. Het zonlicht wordt bij dit profiel veel diffuser weerkaatst waardoor de intensiteit op één plek lager is maar er op meer plekken de reflectie te zien is. Deze methode is eerder door Rijkswaterstaat geaccepteerd als valide methode voor een specifiek zonnepaneel van het merk Energyra. Een opstelling van zonnepanelen langs een snelweg met hinderlijke reflectie bij alle profielen behalve het bij het *deeply textured* profiel werd goedgekeurd als voor dit type zonnepaneel werd gekozen.

Tabel 4.3: Gecompenseerde groene en gele reflecties voor machinisten met een lage en hoge kijkhoogte in uren per jaar bij een *deeply textured* reflectieprofiel.

Route	Deel 1		Deel 2		Deel 3	
	Groene reflectie	Gele reflectie	Groene reflectie	Gele reflectie	Groene reflectie	Gele reflectie
Lage kijkhoogte						
4 – spoor richting Dordrecht	161,7	0,0	25,7	0,0	184,5	0,0
5 – spoor richting Rotterdam	17,6	0,0	0,0	0,0	36,7	0,0
Hoge kijkhoogte						
4 – spoor richting Dordrecht	203,6	0,0	97,2	0,0	214,4	0,0
5 – spoor richting Rotterdam	30,7	0,0	15	0,0	47,5	0,0

5 Conclusie

In dit onderzoek is de impact van reflectie van zonnepark Kijfhoek op het spoor personenvervoer onderzocht. In het onderzoek is geen rekening gehouden met obstakels die de reflectie kunnen blokkeren zoals bijvoorbeeld bomen, opgaande landschappelijke elementen en de inpassing van het beoogde zonnepark. Ook is er geen rekening gehouden met atmosferische effecten zoals nevel en wolken. Door atmosferische effecten verminderd de kracht van de instraling op het oog en daarmee wordt de mate van hinder lager.

Machinisten die over het spoor richting Dordrecht rijden, kunnen reflectie verwachten. Dit is maximaal één uur per dag, alleen in de ochtenduren variërend tussen 7.30 uur en 9 uur (rekening houdend met zomer/wintertijd) en loopt van begin februari tot eind november. Gedurende deze tijdsperiode staat de zon in het blikveld van de machinist. Omdat de zon een sterkere lichtbron is dan de weerspiegeling hiervan via het zonnepark kan zijn, zal er meer hinder ondervonden worden van de zon dan van de reflectie van het zonnepark. In verhouding tot hinder veroorzaakt door direct zonlicht zal de 'hinderlijke reflectie' als gevolg van reflectie van het zonnepark niet hinderlijk zijn.

Rijdend richting Rotterdam voldoet het zonnepark aan de door ProRail gestelde eisen. Er is hinderlijke schittering op de route waar te nemen, maar deze is niet zichtbaar daar waar seinen staan en ook niet 425 meter voor het spoor.”

6 Referenties

- FAA. (2018). *Technical Guidance for Evaluating Selected Solar Technologies on Airports*. Washington.
- ForgeSolar. (2020). *Module Reflectance Profiles*, Release 2020.04. Opgeroepen op 10 mei, 2020, van ForgeSolar Help: <https://www.forgesolar.com/help/#reflectivity>
- ForgeSolar. (2021). *Route Parameters*. Opgeroepen op 7 april, 2021, van ForgeSolar Help: <https://www.forgesolar.com/help/#route>
- ProRail. (2023). *Basisbeheerkaart (BBK)*. Opgeroepen op 7 maart, 2023, van <https://maps.prorail.nl/portal/apps/webappviewer/index.html?id=b27bc5d895da4d1b8d7fb5503a223a9e>
- Slana, J. (2018). *Solar Glare Catalogue Development For Solar Photovoltaic Project Proposals*. Calgary, AB: University of Calgary.
- Spaven Consulting. (2011). *Solar Photovoltaic energy facilities: assessment of potential for impact on aviation*. Report No.10/344/RPS/1.
- TNO. (2016). *Lichthinder zonreflectie voor weggebruikers – ontwikkeling beoordelingsmethode op basis van disability glare*. TNO 2016 R10690.

7 Bijlagen

In de bijlage zijn de modeluitkomsten van het reflectieonderzoek bijgevoegd. Deze zijn bijgevoegd als afzonderlijke pdf. In deze PDF rapporten is niet gecompenseerd voor de situatie met een wolkendek. Er wordt dus overal uitgegaan van perfecte – dat wil zeggen zonnige en heldere - condities voor reflectie. In de praktijk zullen bewolking en atmosferische verstrooiing zorgen voor minder schittering.

Bijlage 1 – modelresultaten reflectieonderzoek mrt 24:

- ForgeSolar Analysis Report – machinisten hoog.pdf
- ForgeSolar Analysis Report – machinisten hoog, deeptexture.pdf
- ForgeSolar Analysis Report – machinisten laag.pdf
- ForgeSolar Analysis Report – machinisten laag, deeptexture.pdf