

Reflectieonderzoek Zonnepark Overbetuwe

Onderzoek naar mogelijke verblinding van
weggebruikers door reflectie veroorzaakt door
zonnepanelen

Reflectieonderzoek Zonnepark Overbetuwe

Onderzoek naar mogelijke verblinding van
weggebruikers door reflectie veroorzaakt door
zonnepanelen

Colofon

Opdrachtgever:

GreenGiraffe

Uitgevoerd door

ROM3D

Ir. Bram van Rooij

www.rom3d.nl

Harfsen, oktober 2018

Inhoud

Aanleiding	3
Beleid, regelgeving en overige kaders reflectie	3
Lichtreflectie	3
Flikkering.....	5
Verblinding.....	5
Methode van onderzoek	6
De ForgeSolar tool.....	7
Werking van de ForgeSolar	7
Wat betekenen de resultaten van ForgeSolar	8
Resultaten	10
Uitgangspunten reflectieonderzoek	10
Hoofdconclusie.....	13
Bijlagen Uitvoer van ForgeSolar	14

Aanleiding

Sunvest ontwikkelt Zonnepark Overbetuwe in de strook grond tussen de A15 en de Betuweroute, van knooppunt Valburg tot knooppunt Ressen. Het park ligt grotendeels langs de snelweg. De reflectie van het zonlicht op de panelen kan mogelijk hinder veroorzaken op weggebruikers. Om de mate van hinder te bepalen en eventuele mitigerende maatregelen te bepalen is een reflectieonderzoek uitgevoerd.

De voorliggende rapportage geeft de uitkomsten van het reflectieonderzoek weer. Voor de te hanteren criteria bij de beoordeling van de mate van hinder veroorzaakt door reflectie wordt aangesloten bij de uitgangspunten die Rijkswaterstaat hanteert.

Beleid, regelgeving en overige kaders reflectie

Voor hinder ten gevolge van reflectie bestaat géén specifiek beleid of regelgeving. Voor hinder voor omwonenden geldt echter dat in het kader van een goede ruimtelijke ordening en het in standhouden van een goed woonklimaat alle relevante aspecten moeten worden meegenomen. Reflectiehinder kan in dit kader worden beschouwd. Er zijn wel richtlijnen voor het wegverkeer opgesteld. 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 geluidschermlengtes 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 rechttuitkijken 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 uit ziet.



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 zoveel mogelijk 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.

Voor flikkering geldt dat er pas sprake is van hinder indien het voorkomt binnen het relevante blikveld van de weggebruiker. Indien er binnen het blikveld geen verblindende reflectie is, kan er vanuit worden gegaan dat er ook geen hinderlijke flikkering aanwezig is. Een onderzoek naar de aanwezigheid van verblindende reflectie binnen het blikveld is dan ook

voldoende om het aspect reflectiehinder beschrijven. Een nader onderzoek naar hinder door flikkering is niet nodig.

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). 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.

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 rekening houdend met de kijkhoek van 20 graden;
 - 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 ForgeSolar tool met de kans op voorkomen (grafiek dag/seizoen) van reflectie en kans op verblinding

De ForgeSolar tool

ROM3D heeft voor de analyse van reflectie een speciaal voor dit doeleinde ontwikkeld model gebruikt: ForgeSolar (voorheen Solar Glare Hazard Analysis Tool (kortweg: SGHAT) van Sandia National Laboratories) uit de VS. De relevante informatie is te vinden op de website <https://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 SGHAT geaccepteerd als methode om de mogelijkheid van reflectie op weggebruikers te onderzoeken. Ook TNO ziet de SGHAT als een methode om reflectiehinder te onderzoeken (TNO 2016 R10690, Lichthinder zonreflectie voor weggebruikers).

Werking van de ForgeSolar

De reflectie tool ForgeSolar houdt geen rekening met de kijkrichting van de weggebruiker. Ook reflectie afkomstig van een punt buiten de kijkrichting van de weggebruiker wordt door de ForgeSolar meegeteld als zijnde reflectie op het observatiepunt. Reflectie op het observatiepunt afkomstig van een bron buiten de kijkrichting levert echter geen hinder op voor de weggebruiker. Bij het bepalen van de observatiepunten dient hiermee rekening te worden gehouden. Bij het interpreteren van de

uitkomsten zal alleen de reflectie op het observatiepunt die binnen de kijkrichting valt worden meegenomen.

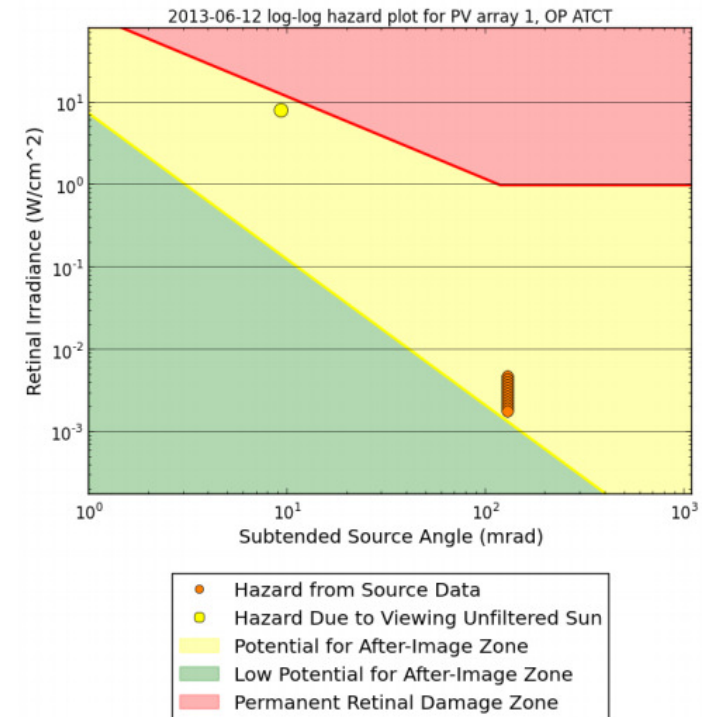
ForgeSolar houdt géén rekening met de achtergrondluminantie. Dit betekent in feite dat ForgeSolar voor dit aspect uitgaat van een worst-case situatie. Indien er namelijk achtergrondluminantie aanwezig is, zal de reflectiehinder minder zijn. Het contrast wordt dan minder groot. Over de verdere opbouw van het model met aannames en berekeningswijze verwijzen wij naar de achtergronddocumentatie die op de website kan worden gevonden. 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) of de vrachtwagenchauffeur (2,5 meter boven het wegdek)
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 ForgeSolar



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 ForgeSolar 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 W/cm². 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 W/cm²) aanwezig (omslag naar geel) .

Schade aan het oog ontstaat als de lichtbron sterker is dan de zon (10 W/cm²) 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 de ForgeSolar 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. ForgeSolar 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 geen reflectie met kans op maskerende verblinding optreden. Als geen enkele reflectie optreedt is er uiteraard ook geen kans op (maskerende) verblinding.

Resultaten

Uitgangspunten reflectieonderzoek

In eerste instantie was het de bedoeling om de panelen op 2 meter te zetten. Uit deze analyse bleek dat dit teveel reflectie opleverde. In de nieuwe analyse is uitgegaan van 1,5 meter.

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

- Het park bestaat uit meerdere delen. Deze kunnen we niet volledig doorrekenen, dus hebben we voor 3 representatieve delen gekozen. In de afbeelding hiernaast weergegeven als blauwe vlakken (PV1, PV2 en PV3). De verschillende delen van het park hebben verschillen in hoogte van de panelen en de oriëntatie:
 - PV1: hoogte van de reflectiebron boven maaiveld: 1,5 meter, oriëntatie van de panelen: 85 en 265 graden
 - PV2: hoogte van de reflectiebron boven maaiveld: 1,5 meter, oriëntatie van de panelen: 130 en 310 graden
 - PV3: hoogte van de reflectiebron boven maaiveld: 1,5 meter, oriëntatie van de panelen: 130 en 310 graden

Waarbij 0 graden het noorden is, 90 het oosten, 180 het zuiden, etc.

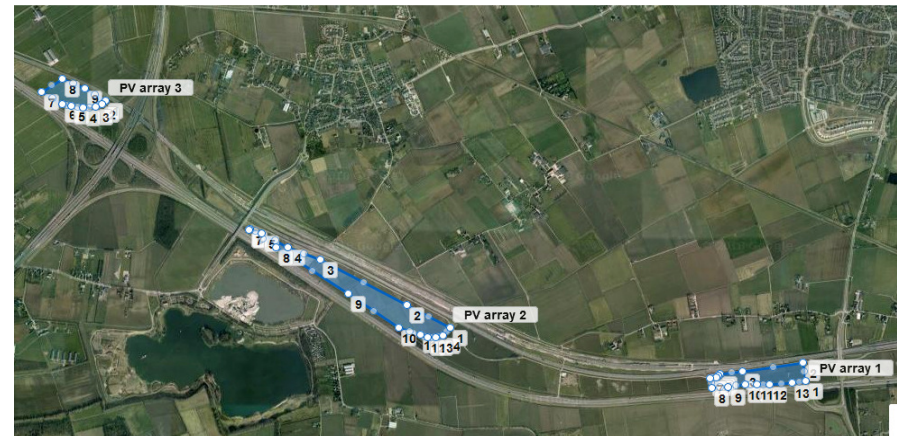
In eerder gedane studies werden onderkant en bovenkant van het paneel doorgerekend, maar dit leverde nauwelijks

verschillen op. Vandaar dat er nu gekozen wordt voor de hoogte van de bovenkant.

- De panelen worden gebouwd met een hoek van 10 graden
- Er wordt anti-reflectiecoating op de panelen aangebracht.
- De panelen hebben een glad oppervlak (smooth glass). *
- Elke positie is doorgerekend op twee hoogtes van de bestuurders: 1,10 m. boven het wegdek voor automobilisten en 2,5 m. voor vrachtwagenbestuurders.

*In de praktijk hebben panelen steeds vaker een ruw oppervlak op anti-reflectiecoating waardoor het paneel meer licht kan vangen en reflectie afneemt. Voor deze studie wordt echter uitgegaan van een glad oppervlak (Smooth Glass) waarmee een worst case scenario wordt gehanteerd.

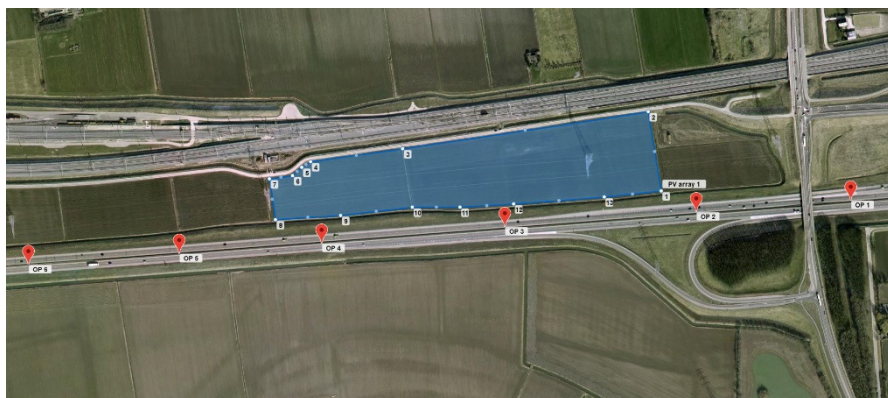
In onderstaande afbeelding, afkomstig uit ForgeSolar is het zonnepark ingetekend en zijn de observatiepunten opgenomen.



Figuur 3: Ingetekende parken in ForgeSolar. 1 t/m 3 loopt hierin van oost naar west.

De meest oostelijk geplande percelen liggen in de oksel van knooppunt Ressen. Tussen snelweg en de percelen staan behoorlijk dichte houtwallen/beplanting. Verblinding is hier niet relevant en deze percelen zijn dan ook niet meegenomen in het onderzoek. In het middengedeelte is een representatief deel meegenomen. Het spreekt voor zich dat de conclusies van PV array 1 ook geldig zijn voor eventuele extra percelen in het middengedeelte van het zonnepark.

PV-array 1



Figuur 4: PV1, inclusief observatiepunten.

In dit gebied zien we voor automobilisten dat de oost gerichte panelen reflectie veroorzaken op de punten 1 t/m 3. Dit komt voor in de zomermaanden in het begin van de avond.

De west gerichte panelen veroorzaken ook glare, maar dan vroeg in de ochtend. Dit vooral op de punten 3 t/m 6. In de meeste gevallen komt dit niet boven de 10 minuten per dag uit (alleen bij punt 4 wel). Ook op

verdere punten wordt nog glare veroorzaakt, maar dit is verwaarloosbaar (weinig en allemaal in het groen).

Voor de vrachtwagenchauffeurs zien we hetzelfde beeld. De glare komt iets langer voor. Er zijn verschuivingen, maar nagenoeg hetzelfde beeld.

Zowel de oost gerichte als west gericht panelen veroorzaken op sommige plekken glare. In de meeste gevallen, qua 'gele' glare, komt dit niet boven de 10 minuten per dag. Doordat het een langgerekt perceel is, rijdt een snelweggebruiker vrij lang langs de panelen op. Dit zal meer dan de 1.5 seconden zijn die TNO hanteert als maximum.

PV-array 2

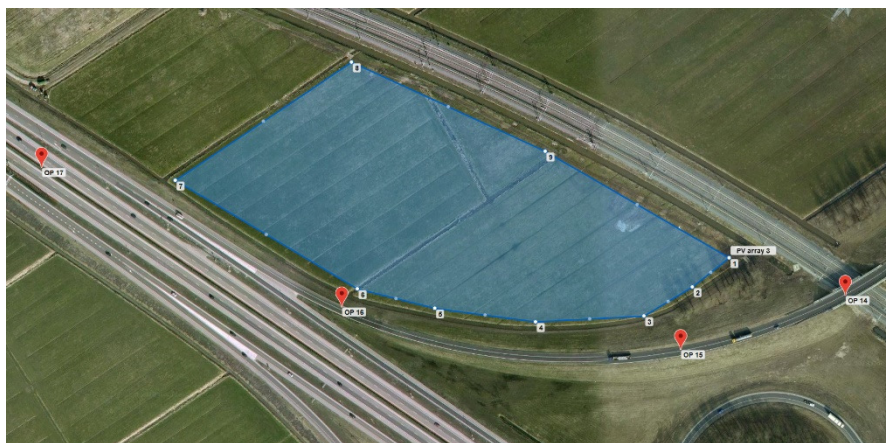


Figuur 5: PV2, inclusief observatiepunten.

In dit gebied zien we dat de panelen alleen nog 'groene glare' veroorzaken. Dit is niet schadelijk en zal dus voor veel minder hinder zorgen. Wel is het zo dat er lange periodes van de dag deze glare veroorzaakt. Het scheelt dat dit in veel gevallen voor of na de spits voorkomt. Tussen auto's en vrachtwagens zitten verschillen, maar die

PV-array 3

Zowel de oost- als west gerichte panelen in het derde gebied veroorzaken alleen groene glare. Dit zou dus geen problemen moeten geven. Dit geldt zowel voor auto's als vrachtwagens.



Figuur 6: PV3, inclusief observatiepunten.

Conclusie

Er bestaat kans op reflectie met nabeelden (yellow glare) op de observatiepunten. Dit kan voorkomen op de observatiepunten rondom plek 1. Zoals eerder in deze rapportage (pagina 7) vermeld houdt ForgeSolar géén rekening met de kijkrichting en eventueel tussenliggende obstakels. Doordat de weg grofweg in oost-westelijke richting ligt, liggen vrijwel alle punten binnen de hoek van 20 graden.

Maatregelen

Landschappelijke inpassing zou een optie kunnen zijn om glare te verminderen. Aangezien in alle gevallen waar glare optreedt dit in de zomermaanden is, betekent dit dat ook beplanting dan vol in het blad zit en dus een effectief middel kan zijn tegen glare. Door strategisch beplanting te plaatsen kan ervoor worden gezorgd dat de 1,5 seconden die TNO hanteert als maximum niet gehaald wordt.

Het aanpassen van de hoogte van de panelen is ook effectief, de eerste scenario's gingen nog uit van panelen met 2,5 meter hoogte. Door deze te verlagen naar 1,5m zien we de waarden van geel naar groen gaan.

Een andere optie is om de hellingshoek aan te passen. Hieronder is een doorgerekend wat het verschil tussen 10 en 15 graden is. Zoals in de tabellen hieronder is te zien, is er veel minder gele glare. Wel is er iets meer groene glare, maar dit geeft minder problemen dan geel. Qua business-case is dit wel veel minder interessant en dus ook minder realistisch om te doen.

Glare Analysis Summary		PV Array Results			
Summary of Results		Glare with potential for temporary after-image predicted			
PV name	Tilt deg	Orientation deg	"Green" Glare min	"Yellow" Glare min	Energy Produced kWh
PV array 1	10.0	265.0	205	1,643	-
PV array 2	10.0	310.0	9,804	20,650	-
PV array 3	10.0	310.0	8,230	0	-

Glare Analysis Summary		PV Array Results			
Summary of Results		Glare with potential for temporary after-image predicted			
PV name	Tilt deg	Orientation deg	"Green" Glare min	"Yellow" Glare min	Energy Produced kWh
PV array 1	15.0	265.0	274	22	-
PV array 2	15.0	310.0	18,740	5,874	-
PV array 3	15.0	310.0	10,867	0	-

Figuur 7: Periode van glare, boven een hellingshoek van 10 graden, onder 15.

Mogelijk is met het gebruik van (monokristallijn) zonnepanelen met optimale AR coating die minder zonlicht reflecteren minder hinder waardoor panelen toch wat hoger geplaatst kunnen worden. Hier wordt nog vervolgonderzoek naar gedaan en de detailengineering zal in afstemming met RWS worden afgestemd

Hoofdconclusie

Het onderzoek naar reflectie met behulp van ForgeSolar heeft als uitkomst dat het zonnepark Overbetuwe wel (maskerende) verblinding voor automobilisten en vrachtwagenchauffeurs tot gevolg kan hebben bij PV-array 1. Gezien de lengte waarlangs reflectie op kan treden (langer dan 1.5 seconden) en dat het binnen de kijkhoek van 20 graden valt, zouden hiervoor maatregelen genomen moeten worden die dit tegen gaan. Een aantal maatregelen die genomen zouden kunnen worden zijn beschreven op de voorgaande pagina.

De volledige uitvoer van ForgeSolar is opgenomen in de bijlage.

Bijlagen Uitvoer van ForgeSolar