

Reflectie rapport zonnepark Eemnes locatie A1-A27, Wakkerendijk en Eikenlaan

*door Tonnie Tekelenburg, Wouter Guliker en Bram van Rooij
versie 07-03-2016*

Aanleiding

De gemeente Eemnes werkt samen met haar burgers en bedrijven aan de realisatie van duurzame energie: het Actieplan 25% CO2 reductie per 2020 in relatie tot de nul-situatie 2009. Dat vraagt om serieuze maatregelen in energiebesparing en ook in de lokale opwek van hernieuwbare energie uit zon-PV installaties (zie ook Stand van zaken klimaatbeleid 2014). De gemeenteraad heeft op 11 januari een principebesluit genomen om (v.w.b. RO-deel) een zogenaamde gecoördineerde procedure te voeren voor de realisatie van een grondgebonden zonnepark in de driehoek A1, Wakkerendijk en Eikenlaan te Eemnes.

Samenwerking met Rijkswaterstaat is gewenst in zowel ontwerp van de installatie alsook de analyse op hinder van het park vanwege reflectie van de PV-panelen. Het aandachtspunt is verkeersveiligheid en doorstroming. Als reflectie een probleem vormt is het tweede aandachtspunt de ruimtelijke kwaliteit en groenbeheerplan vanwege het aanbrengen van een groenstrook of aarden wal die zicht op de panelen ontnemt. Objecten buiten het beheersgebied van RWS mogen niet verblinden of afleiden.

Hieronder volgt de rapportage van de analyse op reflectie van het beoogde zonnepark en verblinding van automobilisten op de A1.

Opdracht

De gemeente Eemnes vraagt ondersteuning in een aantal praktische stappen in de procedure voor de bestemmingsplanwijziging die het mogelijk maakt een zonnepark door initiatiefnemers te laten ontwikkelen. Zij onderkent dat dit moet worden gerealiseerd in een krap tijdsschema. De oplevering van de producten is op 8 maart 2016.

De gemeente Eemnes vraagt naast visualisering van het zonnepark in het kader van reflectie onderzoek concreet aan ROM3D:

- Een advies op de zorgpunten van Rijkswaterstaat ten aanzien van de weggebruikers op de A1 wat betreft zonweerskaatsing (reflectie) van de panelen en afleiding/verblinding door het zonnepark.

Samenvatting achtergrond informatie over reflectie en schittering

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. Vooral bij een oostwestgeoriënteerde transparante constructie is het gevaar aanwezig dat verkeersdeelnemers worden verblind door gereflecteerd zonlicht of dat relevante informatie wordt overstraald. Met dit verschijnsel moet rekening worden gehouden bij een oriëntatie van de weg tussen NO en ZO ($55^\circ - 140^\circ$) of tussen NW en ZW ($220^\circ - 305^\circ$).

Opstellingen mogen ook geen belemmering vormen voor het stopzicht, zicht op op- en afritten, in conflict zijn met het profiel van de vrije ruimte (PVR), zicht op en herkenning van kruisingen en een zuigende werking als verkeersgeleiding (bij afslagen). PVR is de ruimte die weggebruikers nodig hebben om ongehinderd te kunnen rijden en zonder objecten in de omgeving te raken. Het geeft de begrenzingen aan van het oppervlak waarbinnen geen andere objecten dan het verkeer mogen voorkomen, ook voor vervoer dat niet algemeen is toegestaan.

In hoeverre reflectie tot verblinding kan leiden, is nog de vraag. Voor het bepalen van de ernst van de situatie is bij TNO Defensie en Veiligheid een rekenmodel ontwikkeld dat de oncomfortabele 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 scherm lengtes korter dan circa 50 m met een verblindingstijd van maximaal 1,5 seconden, is het risico op verblinding door lichtreflectie acceptabel, zowel uit het oogpunt van verkeersveiligheid als uit het oogpunt van weggebruikers. Plaatsing van objecten in de middenberm is vrijwel nooit toegestaan tenzij een middenberm breder is dan 26 meter en mits wordt voldaan aan alle overige criteria. Volgens het derde slagboomcriterium mogen er geen objecten worden geplaatst binnen afstand van 13 meter vanaf de kantstreep.

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.

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

Vanwege het mogelijke effect op de verkeersveiligheid wordt 'verblinding' als objectkenmerk besproken. 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 rijbanen worden bepaald met afstand tot en zicht op het zonnepark;
 - Enkele scenario's met het type PV-panelen, de hellingshoek, de maximale hoogte en oriëntatie van het zonneveld worden bepaald;
 - De exacte positie boven het wegdek van de weggebruiker wordt bepaald;
 - Er worden enkele meetpunten op de rijroute gedefinieerd en de verblindingshoek bepaald;
2. Analyse op reflectie en verblinding met de Solar Glare Hazard Analysis Tool met de kans op voorkomen (grafiek dag/seizoen) van reflectie kans op verblinding (kleurtjes uit de tool) waarin meegenomen de kans dat de zon ook daadwerkelijk schijnt (33%)
3. Lengte van de reflectietijd bij rijden langs de vier punten per rijbaan
4. Als verblinding voorkomt boven de 1,5 s worden meer meetpunten toegevoegd tussen geanalyseerde posities op de weg:
5. En analyseer reflectie opnieuw maar nu met toevoeging landschapselementen zoals aardenwal of groenstrook langs de A1 (net hoog genoeg)

Uitwerking van de opdracht

ROM3d heeft voor de analyse van reflectie een speciaal voor dit doeleinde ontwikkeld open source model gebruikt: Solar Glare Hazard Analysis Tool van Sandia National Laboratories uit de VS. De relevante informatie en de website (<https://share.sandia.gov/phlux>) is tijdig aan de betrokken ambtenaren van de gemeente Eemnes en Rijkswaterstaat overhandigd (zie samenvatting werking van het model hieronder). Met Rijkswaterstaat is een 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.

Voor de analyse zijn enkele aannames gemaakt in samenspraak met betrokken partijen op 16 februari 2016:

- Auto's moeten kunnen weven tussen verkeer van Wakkerendijk richting A1 oosten A1 afslaand verkeer richting A27 noord; ontstaat hinder vanwege reflectie?
- We gaan uit van zuid opstelling, als teveel schittering, dan moet ook oost-west worden geanalyseerd
- Het doortrekken van de bomenrij aan de oost kan mag van RWS als oplossing als schittering te lang duurt

Werking van de Solar Glare Hazard Analysis Tool (SHGAT)

De reflectie tool werkt logische input variabelen die eenvoudig kunnen worden ingevuld. De uitkomsten zijn soms wat moeilijk te interpreteren. Waarom ontstaat toch reflectie als de zon opkomt en een automobilist naar het westen rijdt? Het antwoord daarop is dat de tool reflectie meet vanuit alle gezichtspunten, dus ook van zijaanzichten en van achteren. Voor een automobilist die vooral kijkt naar de rijbaan voor zich levert een lichtbron van de zijkanten of achteren uiteraard geen verblinding op. Daarom is het van belang de resultaten van de tool te combineren met de kijkrichting met een extra kleine hoek voor het normale gezichtsveld op de rijbaan en directe omgeving.

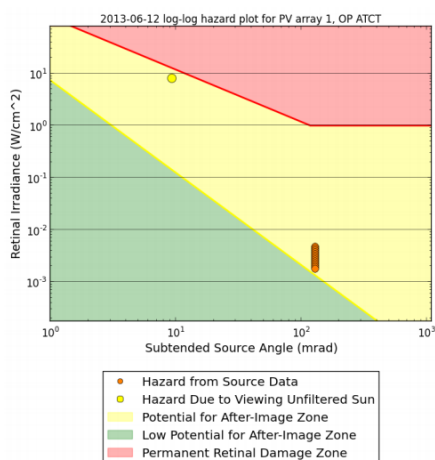
Over de opbouw van het model met aannames en berekeningswijze verwijzen wij naar de achtergronddocumentatie die op de website kan worden gevonden (<https://share.sandia.gov/phlux/>). Het technisch inhoudelijk reviewen van het model was geen onderdeel van de opdracht. Wel hebben we enkele referentieanalyses uitgevoerd om een beeld te krijgen van de gevoeligheid van het model. Hoewel ROM3D het model niet kan beoordelen op foute aannames en verkeerde berekeningswijzen, hebben wij geconcludeerd dat het model voldoet aan de eisen van een verkennende studie naar reflectie en verblinding van weggebruikers door zon-PV installaties. Het model wordt in de VS standaard en met een verplicht karakter ingezet voor de ontwikkeling van zonneparken of andere reflecterende elementen dichtbij vliegvelden. Daarmee is geconcludeerd dat de SGHAT een betrouwbare tool moet zijn.

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 zonneveld: 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 naast het park (op de weg of in de achteruit van omwonenden in deze analyse) waarop de potentiële reflectie wordt berekend;
4. Instellen van de hoogte van posities gezien gezichtspunt van de automobilist of de vrachtwagen chauffeur.
5. Daarna wordt het model doorgerekend met als uitkomst een gevaar/risico figuur waarin verwachte reflectie wordt geplot gedurende de dag in het seizoen 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.
6. Extra controle op de hoogte (meters boven zee niveau) van het zonnepark door vergelijking met het AHNL (actuele hoogtebestand NL) met een geaccepteerde foutmarge van 0,5 m.



Figuur 1: Tweedimensionaal 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 Solar Glare Hazard Analysis 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/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 ($< 0.001 \text{ W/cm}^2$) aanwezig (omslag naar geel) .

Schade aan het oog ontstaat als de lichtbron sterker is dan de zon (10 W/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. Wat niet duidelijk is geworden, is wat de omslag van geel naar rood betekent voor de exacte schade aan het oog.

TNO bepaalt maskerende (disability glare) en oncomfortabele (discomfort 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 SGWAT 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. In de studie is aangenomen dat de maskerende verblinding optreedt in het gele gebied van de SGHAT plot. Schade aan het oog (rode gebied) zou wellicht overeenkomen met oncomfortabele verblinding. Deze doorvertaling hebben we niet kunnen verifiëren in deze studie. Indien de reflectieresultaten in het groene gebied of net in het gele gebied liggen, gaan we ervanuit dat maskerende en oncomfortabele verblinding niet of nauwelijks optreedt.

Model invoer: Specifieke karakteristieken van het beoogde zonnepark aan de A1

Voor de analyse van het zonnepark aan de A1 te Eemnes is uitgegaan van de volgende eigenschappen van het park:

- Het zonnepark is ruim gesitueerd op de beoogde locatie, wel rekening houdend met een maar meter afstand van waterlopen (die niet worden gedempt) en minimaal 13 meter uit de rand van het A1 tracé;
- De oriëntatie van de panelen in het park is zuid gericht en als referentie hebben we ook een oost en een west opstelling geanalyseerd;
- Het zonnepark kan met twee typen zonnepanelen worden gerealiseerd. We zijn er echter vanuit gegaan dat zowel de monokristallijne als de polykristallijne panelen bestaan uit een glad glasoppervlak en dat er geen anti reflectie coatings zijn aangebracht. Dit kan gezien worden als een worst-case scenario;
- Er is geen rekening gehouden met een helling in het perceel(verwaarloosbaar);
- Da analyse is uitgevoerd zonder axis tracking, wat betekent dat het park niet meedraait met de zon en een vaste uitvoering kent:
 - o maximale hoogte van de panelen is 1,50 meter boven maaiveld, maar voor de analyse hebben wij 1 meter aangehouden en referentiepunten zijn 2 en 3 m hoogte;
 - o de hellingshoek van de panelen ligt tussen de 35 en 50 graden; en de scenario's zijn met deze extremen doorgerekend
- er zijn twee rijbanen geselecteerd: de ene oost-west en de andere andersom. De oost-west rijbaan ligt het dichtste bij het park en is de rijbaan voor de afslag vanuit oost naar noord. De west-oost rijbaan is de rechter rijbaan van de hoofdweg (kortste afstand tot het park). De rijbaan voor de afslag van zuid naar oost is niet in de analyse meegenomen vanwege de grotere afstand tot het park.
- Op de rijbanen zijn 9 posities geselecteerd: 4x van oost naar west en 5x van west naar oost. Het aantal punten zou kunnen worden uitgebreid als zou blijken dat verblinding optreedt en de precieze locatie/traject moet worden bepaald.
- Elke positie is doorgerekend op twee hoogtes van de bestuurders: 1,10 m. boven het wegdek voor automobilisten en 2,5 m. voor vrachtwagenbestuurders.
- Er zijn 5 posities geselecteerd in de achtertuinen van de bewoners aan de Wakkerendijk.

Schema modelruns:

De volgende modelruns werden uitgevoerd: in totaal 8 runs in het basisschema keer 9 posities op de weg zijn 72 analyses op reflectie en verblinding. Daarnaast zijn nog wat extra extreme varianten doorgerekend ter verificatie van de gevonden resultaten.

Aantal	Factor	Details	
2	Rijbaan	Richting west en richting oost	Respectievelijk de dichtstbijzijnde (richting west) rijbaan naast het zonnepark afslag richting Almere en De rechter hoofdbaan (richting oost)
4 a 5	Posities op rijbaan		Vanaf het moment dat het zonnepark goed te zien is tot passeermoment
1	Oriëntatie zonneveld	Zuid	Oost-west opstelling alleen analyseren als onoplosbaar verblindingsprobleem optreed bij zuid-opstelling
1	Type zonnepanelen	Glad glasoppervlak zonder anti reflectie coating	Het model maakt geen verschil tussen monokristallijne en polykristallijne panelen (worstcase scenario)
1	Hoogte panelen boven maaiveld	1,0 m	We hebben de gemiddelde hoogte genomen, gezien de maximale hoogte van 1,5 meter boven het maaiveld.
2	Hellingshoek panelen	35 en 50 graden	
2	Rijhoogte weggebruiker boven wegdek	1,10 en 2,50 meter	Voor respectievelijk personenauto's en vrachtwagens
5	Posities in achtertuinen	1,80 m hoogte	van bewoners aan de Wakkerendijk
	Extra varianten:		
1x	Een extra hellingshoek	42 graden	
1x	Oost opstelling		
1x	West opstelling		
1x	Variatie hoogte van de panelen	2 en 3 meter boven maaiveld	

Tabel 1 Schema van invoervariabelen voor de modelruns met SGHAT tool

Resultaten

Situering in het landschap

Het zonnepark is gesitueerd langs de A1 afslag noord vanaf oostelijke richting, de Wakkerendijk en de Eikenlaan. Dit is een gebied dat omsloten is tussen de A1 en wegen met laanbomen. Op de Wakkerendijk is ook lintbebouwing aanwezig, en aan de Eikenlaan is een groot bedrijf gevestigd. De landschapswaarde: extreem open landschap, die in de regio is opgelegd, is in het plangebied minder aan de orde.

De weg vanaf Oost start wat hoger en zakt in de bocht enkele meters om daarna weer te stijgen. Het plangebied ligt lager dan de weg. Met een paneelhoogte van 1,5 meter kan over het zonnepark heen gekeken worden. Vanaf oost kan niet het gehele zonnepark worden gezien vanwege een dichte bomenrij vanaf de Wakerendijk.



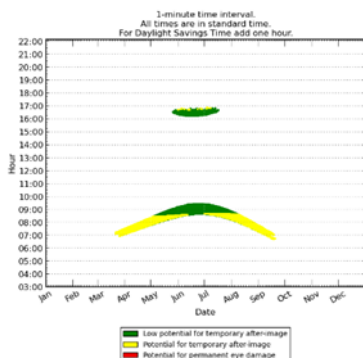
Figuur 2: Situering van het zonnepark langs de AI, Wakkerendijk en Eikenlaan te Eemnes voor rijrichting oost-west (links) en rijrichting west-oost (rechts)

Reflectie

Analyse op reflectie en verblinding is uitgevoerd met de Solar Glare Hazard Analysis Tool met als uitkomst de kans op voorkomen (grafiek dag/seizoen) van reflectie en kans op verblinding (kleurtjes uit de tool). We hebben niet meegenomen dat de kans op zon slechts 33% is vanwege bewolking en heilig weer. Ook gaat onderliggende analyse uit van het feit dat reflectie vanuit alle richtingen kan voorkomen, hoewel we beseffen dat de bestuurder vooral vooruit kijkt in de richting van de weg.

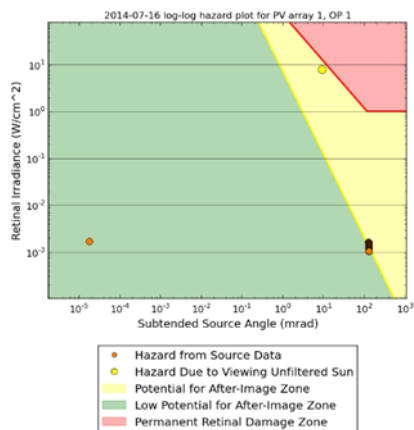
Nauwelijks kans op nabeelden en geen kans op oogschade

In de eerste plaats is van belang te weten of en wanneer er reflectie optreedt door het zonnepark met kans op nabeelden en oogschade. Over het algemeen is een uniform reflectiepatroon gevonden gedurende de dag en de seizoenen (zie Figuur 3). Afwijkingen op dit patroon zijn gevonden met een kleinere kans op reflectie, vooral reflectie in de avond neemt onder specifieke situaties af.



Figuur 3: Karakteristieke optredende reflectie met maximaal optredend reflectie impact gedurende de dag en seizoenen (punt 2 oost-west; 50 gr. hellingshoek voor automobilisten; 1,1 m rijhoogte)

Uit het de modelberekeningen kan worden afgeleid dat reflectie in de zomer meer voorkomt dan in de winter. Deze reflectie is van langere duur in de morgen tot een maximum van een uur. De reflectie veroorzaakt geen verblinding (groen en geel; zie figuur 4). Op momenten kunnen nabeelden op het netvlies ontstaan, maar veroorzaken geen oogschade (gele punten).



Figuur 4: Risicoplot op effect van reflectie voor een extreme situatie: reflectie leidt niet tot verblinding want valt in groene gebied of net daarbuiten in het gele gebied.

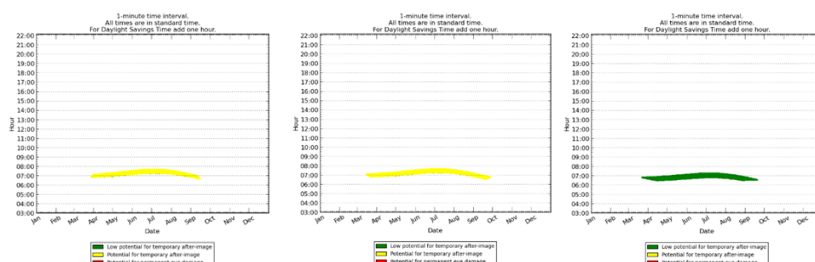
Onderzoek naar de achtergrondluminantie is niet nodig omdat verblinding niet voor komt. De dynamische eigenschappen, zoals duur en knipperfrequentie, die optreden door het plaatsingsprofiel van het zonnepark zijn niet nader onderzocht. Aan de projectontwikkelaar wordt aanbevolen de zonnepanelen strak naast elkaar te leggen in de rijrichting, zodat schittering niet optreedt.

Verandering van beeld rijdend van oost naar west

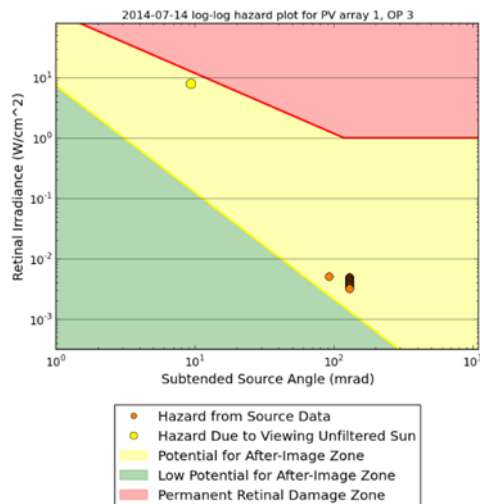
Voor de vier punten op de rijbaan vanuit het oosten geldt dat de reflectie periode en intensiteit afneemt naarmate de weggebruikers naar het westen rijdt. De volgende figuren laat zien op welke tijd van de dag gedurende de seizoenen reflectie van het zonnepark optreden en langzaam verschuift op de route langs het zonnepark. Er treed geen hinder of verblinding op tijdens het traject oost-west (groen of geel). Reflectie komt voor in de ochtend uren vanuit het oosten aanrijdend. Dus de reflectie wordt niet gezien vanuit de rijrichting maar komt van achteren.



Figuur 5: Vier posities voor SGHAT analyse op de oost-west rijbaan (afslag noord)



Figuur 6: Visualisaties van de reflectie (gedurende de dag en in de seizoenen) die optreedt als de automobilist van oost naar west (punten 2,3 en 4) langs het zonnepark rijdt, op punt 1 geen reflectie waargenomen (instellingen voor de automobilist en een zonnepark met hellingshoek 35 graden): er is geen hinder van reflectie want ligt niet in de kijkrichting, maar komt van achteren.



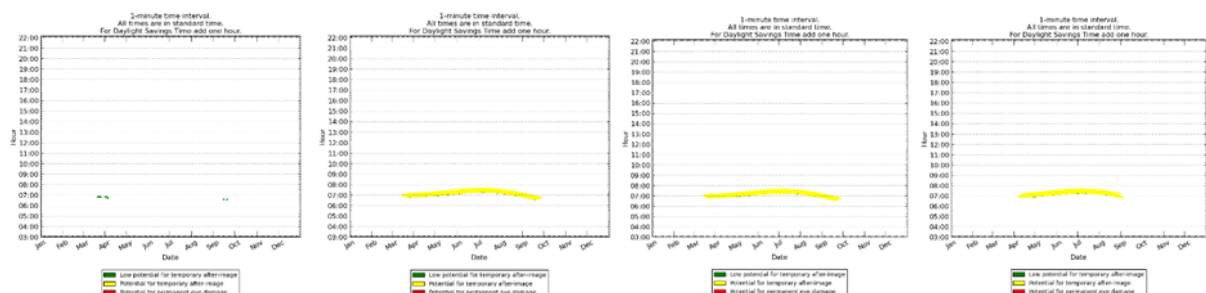
Figuur 7: risicoplot van effect op reflectie rijdend van oost-west (punt 3): reflectie ligt in gele gebied, dicht bij groene gebied en maskerende of oncomfortabele verblinding wordt niet verwacht

Verandering van beeld rijdend van west naar oost

Richting het oosten rijdend zijn 5 (nieuwe) posities op de bijbaan doorberekend (maar we laten de punten 1,2,3 en 4 hieronder zien). Een karakteristiek verloop van reflectie op deze route is gevisualiseerd in het volgende plaatjes. Vanwege de afstand tot het park ligt de reflectie wel lager dan bij de oost-west rijrichting. Wij zien hier dat reflectie tussen de punten toeneemt, maar is niet verblindend (geel) tot het uitdooft in punt 5. De weggebruiker zal op dit traject in de ochtend ook last van direct zonlicht hebben.



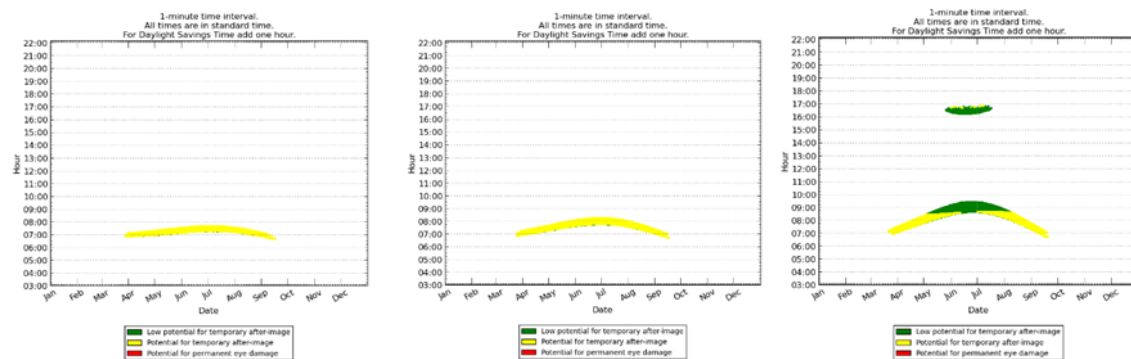
Figuur 8: Vijf posities voor SGHAT analyse op de west-oost rijbaan



Figuur 9: Visualisaties van de reflectie (gedurende de dag en in de seizoenen) die optreedt als de automobilist van west naar oost (punt 1 tot 4) langs het zonnepark rijdt (voor de automobilist en een zonnepark met hellingshoek 35 graden): bij punt 1 en punt 5 dooft de reflectie uit

Hellingshoek van de panelen

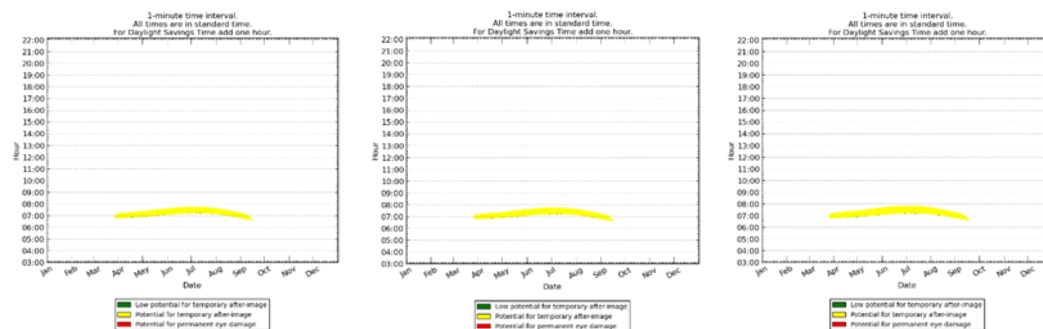
De reflectie neemt toe in de periode dat het optreedt naarmate de zonnepanelen meer rechtop worden geplaatst, maar de intensiteit zwakt af van geel naar groen. Een hellingshoek van 50 graden zorgt voor een kans op reflectie in zowel de morgen als in een lange periode in de zomer ook in de namiddag. Bij een hellingshoek van 35 graden observeren we het verdwijnen van reflectie in de middag en de reflectie treed minder dan een uur per dag op. Daarnaast is nog een onzekerheidsanalyse uitgevoerd op 48 graden, maar leverde geen afwijkend beeld op. Ook hier geldt weer dat alle reflectie geen oogschade oplevert (groen en geel).



Figuur 10: Visualisaties van de reflectie (gedurende de dag en in de seizoenen) bij een hellingshoek van respectievelijk 35 graden, 42 graden en 50 graden op de rijbaan oost west en berekend voor de automobilist: reflectie neemt toe in de periode dat het optreedt, maar de intensiteit neemt af (van geel naar groen)

Kijkhoogte van de bestuurder

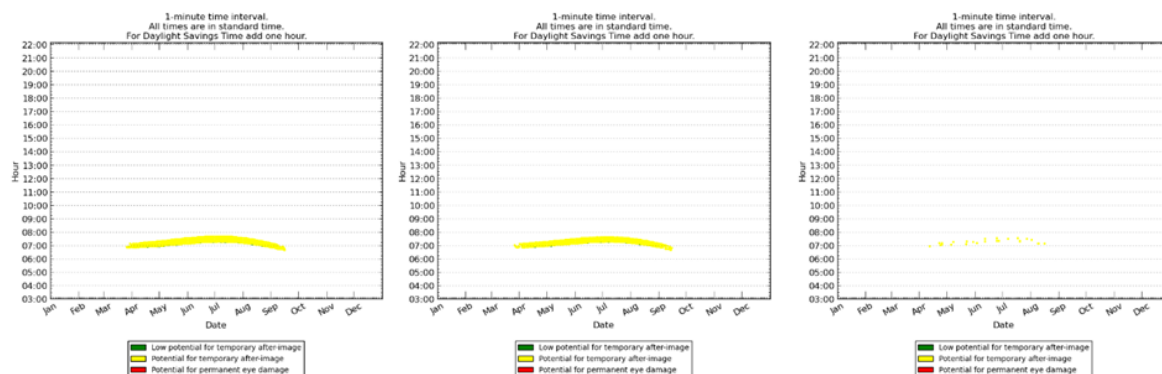
We vergelijken de karakteristieke optredende reflectie gedurende de dag en seizoenen voor de automobilist en de vrachtwagen chauffeur. De kans op reflectie neemt niet toe voor de vrachtwagenchauffeur in een hogere positie boven het wegdek. Er treed geen verblinding op gedurende het jaar (geel).



Figuur 11: Visualisaties van de reflectie (gedurende de dag en in de seizoenen) bij een 1.10 m rijhoogte voor automobilisten en 2.5 m. rijhoogte voor vrachtwagenchauffeur en extra hoogte 4,0 meter (observatiepunt 3 op de oost west rijbaan en een zonnepark met een hellingshoek van 35 graden): er zijn geen noemenswaardige verschillen gevonden

Hoogte van de panelen

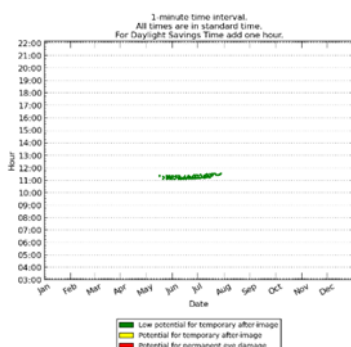
Naast de berekeningen van een zonnepark op 1.0 m hoogte is er een gevoeligheidsanalyse gedaan voor een hoogte van 2 of 3 meter. Het resultaat is dat de kans op reflectie afneemt met het toenemen van de hoogte van het park en een verhoogde kans op nabeelden is niet aangetroffen.



Figuur 12: Visualisaties van de reflectie (gedurende de dag en in de seizoenen) bij 1 meter, 2 en 3 meter hoogte van de zonnepanelen (voor de automobilist en een zonnepark met een hellingshoek van 35 graden): als de hoogte van de panelen toeneemt verdwijnt de kans op reflectie

Oost-west opstellingen

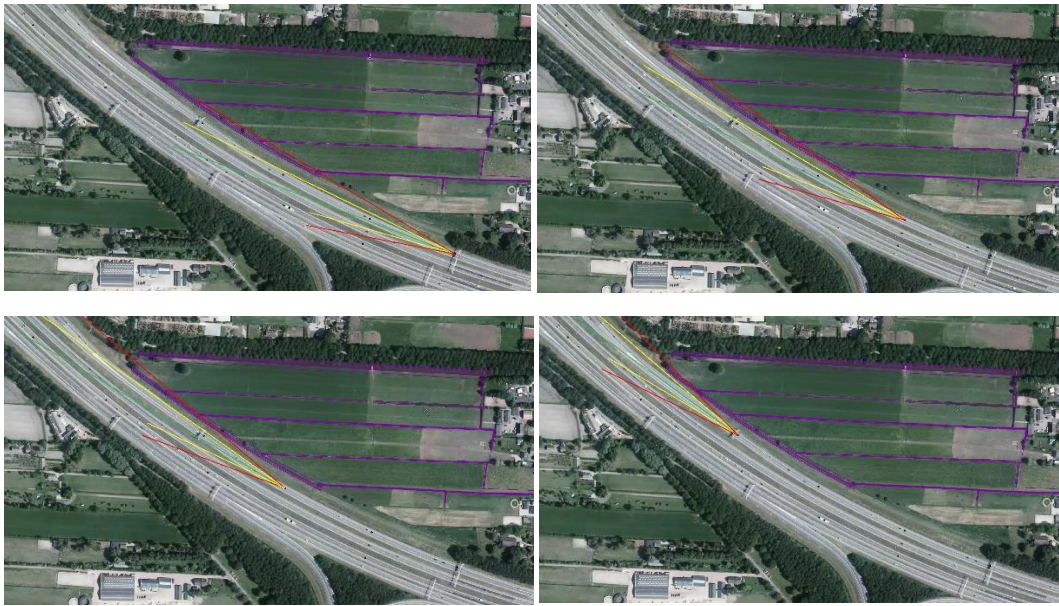
Gezien afwezigheid van kans op verblinding door het zonnepark is het niet nodig de optie van de oost-west opstelling uitgebreid te onderzoeken. Toch hebben we een oost en een west opstelling apart geanalyseerd voor een specifieke combinatie van uitgangspunten (hellingshoek 25 graden, hoogte 1 meter, etc.). In zo'n opstelling ziet het patroon van reflectie er uiteraard anders uit (zie onderstaande figuur). Belangrijk is dat er voor de oost opstelling in het geheel geen reflectie optreedt en voor de west opstelling alleen op punt 4 wel reflectie optreedt zonder nabeelden rond het middaguur.



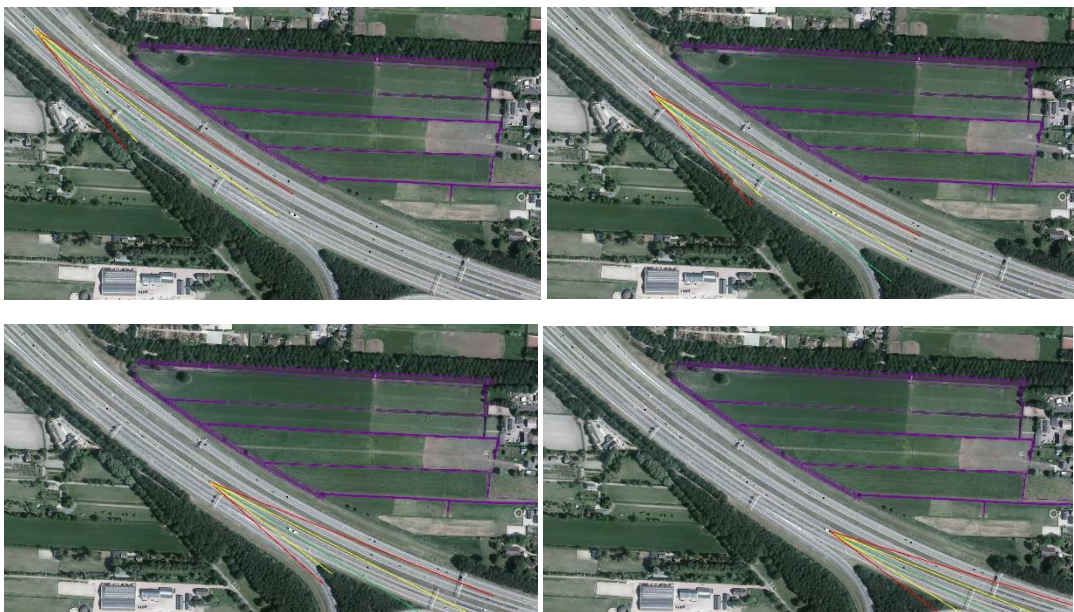
Figuur 13: Visualisaties van de reflectie (gedurende de dag en in de seizoenen) bij west oriëntatie (voor automobilisten bij een zonnepark met 35 graden hellingshoek)

Reflectie vanuit de rijrichting

Tot nu toe kon reflectie uit alle richtingen rondom de bestuurder van het voertuig komen. TNO en RWS hebben echter aangegeven dat reflectie van geluidsschermen niet hinderlijk is en geen verblinding oplevert als de lichtbron vanuit een grote hoek het oog binnenkomt en dus niet in de kijkrichting van de rijbaan plaats vindt. Reflectie uit een hoek van 5 graden heeft een storend effect en boven de 20 graden wordt reflectie niet meer als hinderlijk ervaren. De volgende plaatjes visualiseren de mate waarin het zonnepark wordt gezien als gekeken wordt in de rijrichting (groene lijn), met 5 graden afwijking van de rijrichting (tussen de gele lijnen) en met 10 graden afwijking van de rijrichting (tussen de rode lijnen).



Figuur 14: Visualisaties van de Kijkrichting van de doorgaande weg (groene lijn), met 5 graden afwijking (gele lijnen) en 10 graden afwijking (rode lijnen) voor vier posities op de rijbaan van oost naar west



Figuur 15: Visualisaties van de Kijkrichting van de doorgaande weg (groene lijn), met 5 graden afwijking (gele lijnen) en 10 graden afwijking (rode lijnen) voor vier posities op de rijbaan van west naar oost

Vanuit bovenstaande figuren kan geconcludeerd worden dat het zonnepark nauwelijks gezien kan worden als gekeken wordt in de rijrichting met een marge van een hoek van 5 graden. Verblinding werd al niet gevonden met de SGHAT, maar reflectie in de rijrichting wordt ook niet verwacht in een hoek binnen de 10 graden. Als 20 graden wordt aangehouden, ligt een gedeelte (25-40%) van het zonnepark wel in het gezichtsveld als van oost naar west wordt gereden. Van west naar oost rijdend ligt een kleiner gedeelte van het park in het blikveld van 20 graden.

Lengte van de reflectietijd

Een snelle berekening laat zien dat ruim 20 seconden langs het park wordt gereden met een snelheid van 100 km per uur. Het zonnepark is echter niet op alle momenten op het traject te zien en zeker

niet in de rijrichting van de weg. Daarnaast is vastgesteld dat er geen verblinding door reflectie optreedt. Hiermee kan geconcludeerd worden dat er geen reflectieproblemen te verwachten zijn bij het passeren van het zonnepark voor beide rijrichtingen.

Afstand van de weggebruiker tot het zonnepark

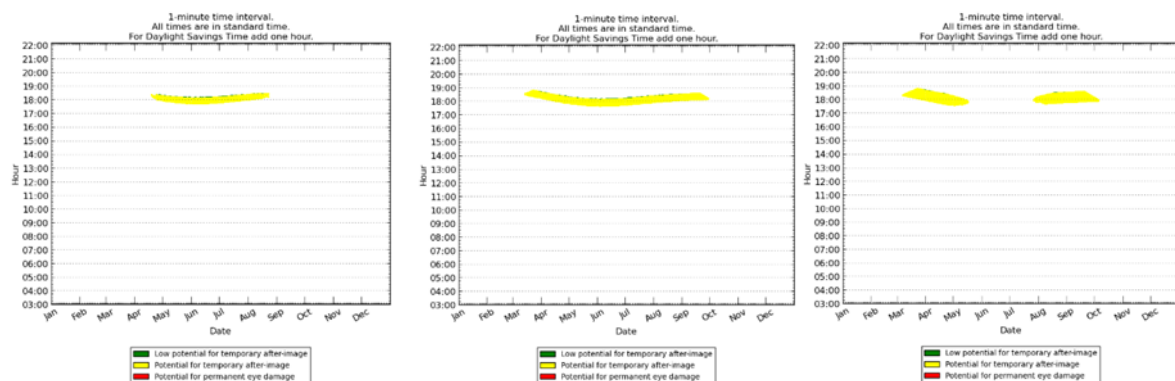
De SGHAT levert een niet zo'n helder bestand op van de precieze locatie van het park tot aan de weg, maar voldoet binnen een foutmarge van twee tot drie meter (verder van de weg). De minimale afstanden van het dichtstbijzijnde punt zijn gemeten. De afstanden zijn berekend tussen de 4 posities van de oost-west weggebruiker, de 5 posities van de west-oost weggebruiker en het dichtstbijzijnde punt van het zonnepark. Op de oost-west route zijn de afstanden respectievelijk: 123, 73, 27, 23 m (conservatief ingeschat omdat het zonnepark waarschijnlijk twee tot drie meter verder ligt). Op de west-oost route zijn de afstanden groter: allen boven de 70 meter.

Achtertuintuin van bewoners

Het zonnepark kan niet alleen gezien worden vanaf de weg. Ook in de achtertuin van bewoners van de Wakkerendijk kan reflectie optreden. Er zijn 5 punten gekozen in de achtertuin (zie onderstaande kaart). Er is geen rekening gehouden met beplanting/begroeiing.



Figuur 16: Vijf posities voor SGHAT analyse in de achtertuinen van de bewoners aan de Wakkerendijk



Figuur 17: Visualisaties van de reflectie (gedurende de dag en in de seizoenen) in de achtertuin van de bewoners aan de Wakkerendijk voor de posities: 1 Zuid (rechter figuur) en 5 Noord (linker figuur)

Over het algemeen is de verwachting dat er reflectie optreedt in de avond gedurende de zomer. Er kan hinder voorkomen door reflectie, maar de kans op nabeelden is klein. Er moet rekening gehouden worden met een reflectieduur tot een uur rond 18 uur op zonnige zomerdagen. Beplanting aan de oostkant van het park met een maximale hoogte van de zonnepanelen (1,5 meter) kan reflectie voorkomen.

Samenvattende tabel reflectie onderzoek

Factor	Resultaten kans op reflectie	Resultaten kans op hinder/verblinding
Rijbaan van oost richting west (Oriëntatie zuid)	Reflectie wordt gedurende de zomermaanden op oostelijke posities op de weg in de ochtend verwacht (geel). Reflectie wordt richting west minder bij passeren van het zonnepark	Verblinding treedt niet op en er is geen kans op oogschade, want reflectie treedt niet op in het zicht van de rijrichting maar komt van achteren.
Rijbaan van west richting oost (Oriëntatie zuid)	Het patroon wijkt niet heel erg af van andere rijrichting, maar dan andersom, en de kans op reflectie is kleiner	Verblinding treedt niet op en geen kans op oogschade. Wel is reflectie zichtbaar in de ochtend, maar afstand tot het park is groot en de hoek van instraling is ook groot (van de rijbaan af).
Hellingshoek panelen	Een grotere hellingshoek tussen 35 (vlakker) en 50 graden (steiler) leverde een wat grotere kans op reflectie op	Geen verblinding geregistreerd (geel) en intensiteit dooft uit (groen)
Kijkhoogte weggebruiker boven wegdek	De rijhoogte van de vrachtwagenchauffeurs leverde een vergelijkbare kans van reflectie op in vergelijking met de automobilist	Geen verblinding geregistreerd (geel)
Hoogte panelen boven maaiveld	Variëren in hoogte van panelen tussen 1 en 3 m. leverde een vermindering van kans op reflectie op	Geen verblinding geregistreerd
Oriëntatie oost-west	Het patroon van reflectie voor een oost-west opstelling is sterk afwijkend van de zuid opstelling: er wordt nauwelijks reflectie gemeten	Ook hier hebben we geen momenten in het jaar gevonden met verblinding en oogschade
Glad glas-oppervlak zonder anti reflectie coating	Het model maakt geen verschil tussen monokristallijne en polykristallijne panelen. Het worstcase scenario is doorgerekend	nvt
Reflectie vanuit de rijrichting	Het zonnepark kan nauwelijks gezien kan worden als gekeken wordt in de rijrichting met een marge van een hoek van 5 graden	Bij een hoek van 20 graden kan een klein gedeelte van het park worden gezien als, naar het oosten rijdend, er is geen verblinding geregistreerd
Lengte van de reflectietijd	De reflectie tijd is maximaal ruim 20 seconden. Het zonnepark is echter niet op alle momenten op het traject te zien en zeker niet in de rijrichting van de weg.	Geen verblinding geregistreerd
Afstand van de weggebruiker tot het zonnepark	De afstand is minimaal 23 m (conservatief ingeschat)	nvt
Achtertuintuin van bewoners	Reflectie treedt op met een reflectieduur van minder dan een uur rond 18 uur op zonnige zomerdagen	De kans op nabeelden is aanwezig, maar de intensiteit ligt dicht bij het groene gebied

Tabel 2: Samenvatting van de resultaten van reflectieonderzoek op basis van SGHAT tool en gis bewerkingen

Conclusie

De verkenning naar reflectie met behulp van de SGHAT tool en GIS bewerkingen voor het beoogde zonnepark te Eemnes, welke is ingeklemd in de driehoek A1, Wakkerendijk en Eikenlaan, heeft geen verblinding voor automobilisten op de A1 (in beide rijrichtingen) opgeleverd. Nader onderzoek is niet nodig.