

VEGHEL ZONNEPARK

Schittering- en Verblindingsstudie

Energie van Hollandsche bodem B.V.

Rapport nr.: 16-0288

Datum: 2016-02-22



Projectnaam:	Veghel Zonnepark	DNV GL - Energy
Rapport titel:	Schittering- en Verblindingstudie	Energy Advisory
Klant:	Energie van Hollandsche bodem B.V. Waldeck Pyrmontsingel 77 6524 BA Nijmegen	Postbus 9035 6800 ET ARNHEM
Contactpersoon:	Erik Zweers	
Datum:	2016-02-22	Tel: +31 26 356 9111
Project nr.:	10016158	KvK 09080262
Unit:	RES/NET	
Rapport nr.:	16-0288	

Taak en doelstelling:

Analyse van het risico op schittering en verblinding van automobilisten op de snelweg langs het zonnepark in Veghel.

Auteur:



Jasper Lemmens
Consultant Solar Energy

Beoordeeld:



Jean Luc Kuttel
Consultant Solar Energy

Goedgekeurd:



Hans Cleijne
Head of Section

BELANGRIJKE MEDEDELING EN DISCLAIMER

Dit document is auteursrechtelijk beschermd en mag niet aan derden beschikbaar worden gesteld zonder uitdrukkelijke schriftelijke toestemming van de DNV GL entiteit die dit document heeft opgesteld ("DNV GL"). Dit document is uitsluitend bedoeld voor het gebruik door de klant zoals aangegeven op de voorpagina van dit document ("de Klant") en wie met DNV GL een schriftelijke overeenkomst is aangegaan. Indien en voor zover de wet dat toelaat, is noch DNV GL noch enige groepsmaatschappij ("de Groep") verantwoordelijk op grond van een contract, onrechtmatige daad, nalatigheid daarbij inbegrepen, of op enige andere wijze, jegens derden (daarvan uitgezonderd de Klant). Geen van de Groep deel uitmakende entiteit is aansprakelijk voor enig verlies of schade hoe dan ook geleden als gevolg van enig handelen, nalaten of verzuim (ontstaan door onachtzaamheid of anderszins) door DNV GL, de Groep of diens medewerkers, onderaannemers dan wel agenten. De inhoud van dit document vormt één geheel met de aannames en voorbehouden die daarin zijn opgenomen dan wel in hetzelfde verband anderszins zijn gecommuniceerd. Dit document bevat mogelijk technische detailinformatie die uitsluitend bedoeld is voor personen met de relevante expertise.

Dit document is samengesteld op basis van informatie beschikbaar ten tijde van het opstellen ervan. Het is niet uitgesloten dat dergelijke informatie daarna verandert of is veranderd. Behalve indien en voor zover een opdracht tot het verifiëren van informatie en gegevens uitdrukkelijk met de Klant is overeengekomen, is DNV GL op geen enkele wijze verantwoordelijk in verband met onjuiste informatie of gegevens die zij van haar Klant of een derde heeft ontvangen, dan wel voor de gevolgen van dergelijke onjuiste informatie of gegevens, die al dan niet in dit document is opgenomen of waarnaar in dit document wordt verwezen.

Rev.	Datum	Reden voor uitgave	Auteur	Beoordeeld	Goedgekeurd
0	2016-02-22	Eerste uitgave	J. Lemmens	J.L. Kuttel	H. Cleijne

©2016 KEMA Nederland B.V.



Inhoud

1	SAMENVATTING	1
2	INLEIDING.....	2
3	METHODE EN AANNAMES	3
3.1	Methode	3
3.2	Aannames	4
4	RESULTATEN.....	7
5	MITIGERENDE MAATREGELEN	10
5.1	Aanpassen van de hoek van de zonnepanelen	11
5.2	Aanpassen van de oriëntatie van de zonnepanelen	11
5.3	Haag tussen snelweg en zonne-energiesysteem	12



1 SAMENVATTING

DNV GL heeft een schittering- en verblindingsstudie uitgevoerd. Hierbij is de systematiek aangehouden, gebaseerd op 'ray tracing', die de kans op nabeeld en oogletsel inschaalt. Deze systematiek is gebaseerd op studies en worden onder andere onderschreven door de FAA.

De gegevens voor de locatie Veghel zijn aangeleverd door Energie van Hollandsche bodem. Op basis daarvan zijn de aannames opgesteld door DNV GL. Deze zijn goedgekeurd door Energie van Hollandsche Bodem. Vervolgens is een simulatie uitgevoerd door DNV GL en is dit rapport opgesteld.

Uit de simulaties blijkt dat op drie locaties gedurende verschillende periodes in het jaar een verblindingsrisico bestaat. Dit risico houdt in dat bestuurders het risico lopen op nabeeld. Op geen van de locaties is risico op oogletsel vastgesteld.

DNV GL heeft de volgende maatregelen onderzocht die de verblindingsrisico's zouden kunnen mitigeren:

- het aanpassen van de hoek van de zonnepanelen. Deze maatregel heeft een zeer beperkt effect
- het aanpassen van de oriëntatie van de zonnepanelen. Deze maatregel leidt tot het uitsluiten van verblinding zodra de panelen richting het oosten geïoriënteerd zijn
- het plaatsen van een haag tussen de snelweg en het zonne-energiesysteem. Een haag van 3 meter is op basis van de aannames in dit rapport voldoende hoog om de schittering te blokkeren.



2 INLEIDING

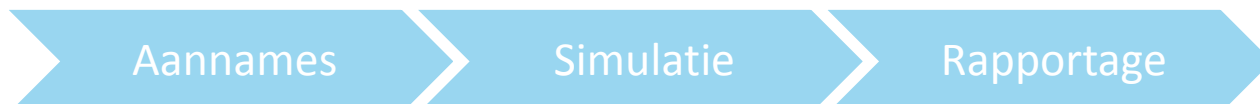
Energie van Hollandsche bodem heeft DNV GL gevraagd om een schittering- en verblinding studie uit te voeren. Voor de locatie Veghel wordt onderzocht of er voor automobilisten op de snelweg langs het zonne-energie project een risico is op verblinding.

Dit rapport beschrijft kort de methode en de aannames voor deze studie in hoofdstuk 3. De resultaten worden gegeven in hoofdstuk 4.

3 METHODE EN AANNAMES

De aanpak voor de schittering- en verblindingsstudie is efficiënt en gebaseerd op onze recente ervaring met projecten voor luchthavens, zoals Denver International Airport, Kalaeloa Airport en Schiphol. De aanpak richt zich op het leveren van het relevante kernresultaat voor de klant, namelijk het beantwoordt de vraag of er wel of niet risico is op oog- of verblindingsgevaar als gevolg van schittering op enig moment in het jaar. Voor dit doel is de 'verblindingsgevaar heat map' (zoals in het voorbeeld van figuur 3-3) het beste instrument.

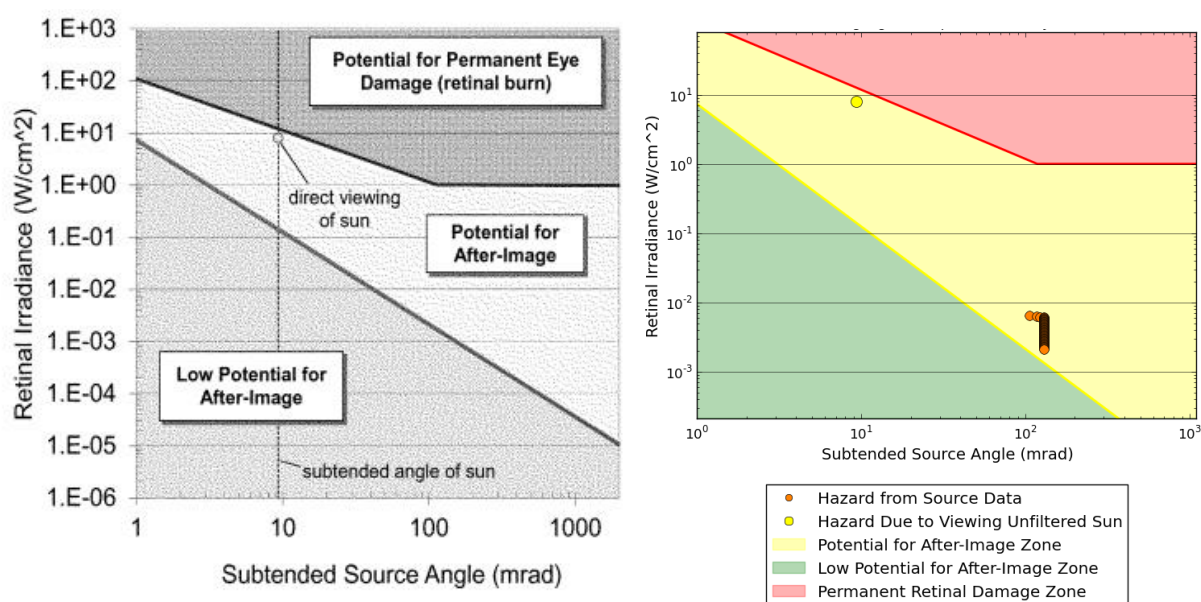
Onze aanpak bestaat uit 3 stappen zoals afgebeeld in figuur 3-1:



Figuur 3-1 Schematisch overzicht van de aanpak

3.1 Methode

Eerst worden de uitgangspunten voor het project verzameld, geverifieerd en beschreven. De details van het ontwerp, inclusief positie van de zonnepanelen en het verkeer wordt door de opdrachtgever aan DNV GL verstrekt. Verdere details van de zonnepanelen op het gebied van reflectiviteit worden verzameld. Deze informatie wordt door de opdrachtgever aan DNV GL verstrekt.

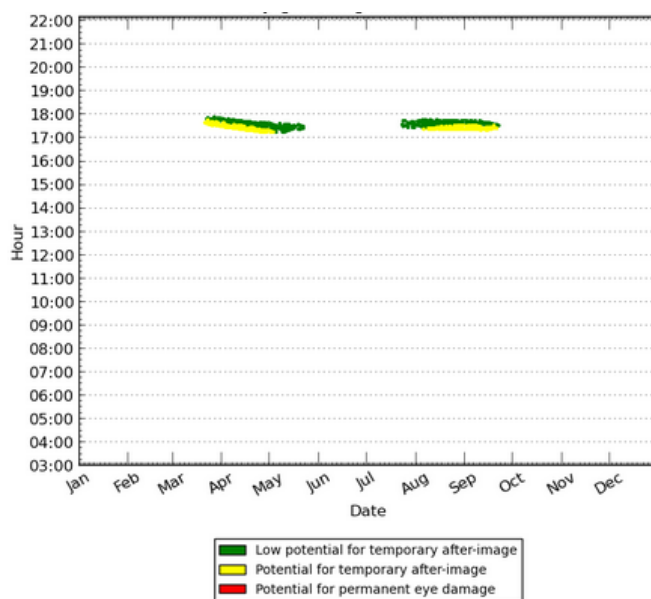


Figuur 3-2 Grafiek voor indeling van oculair gevaar van schittering: identificeert gebieden met een laag, middelhoog en hoog potentieel voor nabeeld en blijvend oogletsel, afhankelijk van de instraling en ingesloten hoek van de stralingsbron. (Links: Bron: US Federal Aviation Authority interim-beleid, Rechts: Indicatie van kleurcode gebruikt in dit rapport)

In de volgende fase wordt de schittering- en verblindings simulatie uitgevoerd. Deze simulatie past de techniek van ray tracing toe om de mogelijkheid van gevaarlijke reflecties identificeren. Aangezien het azimut en de oriëntatie van de zon verschillende trajecten volgen gedurende een jaar, wordt deze simulatie uitgevoerd voor een volledig jaar. De simulatie wordt uitgevoerd voor 5 controlepunten langs

de snelweg. De resultaten van de ray tracing analyse worden ingeschaald in risicocategorieën aan de hand van de grafiek afgebeeld in figuur 3-2. Deze grafiek geeft het risico op verblinding aan als functie van de intensiteit van de lichtbron (schittering) en de ingesloten hoek¹ ervan.

Het resultaat van de simulatie, in het geval potentieel oculair gevaar optreedt, is een getal dat toont welke tijden van het jaar schittering- en verblindingsgevaar optreedt, de verblindingsgevaar 'heat map'. Onderstaande figuur geeft een voorbeeld van een dergelijke grafiek.



Figuur 3-3 Voorbeeld van een verblindingsgevaar 'heat map', die het gevaar op verblinding weergeeft als functie van de periode in het jaar en de tijd op de dag

3.2 Aannames

Op basis van gegevens verkregen van Energie van Hollandsche bodem op 22-10-2015 hebben onderstaande aannames geformuleerd. Deze zijn beoordeeld en goedgekeurd door Energie van Hollandsche bodem per e-mail op 23-11-2015.

¹ De ingesloten hoek is een eenheid voor de relatieve grootte van de lichtbron. Een grote lichtbron levert meer risico op verblinding dan een kleine lichtbron met gelijke intensiteit.

3.2.1 Gegevens zonnepark

Gegevens	Waarde
Zonvolgsysteem	Geen
Oriëntatie van panelen (°)	180.0°
Hoek van zonnepanelen (°)	25.0°
Vermogen (kWp)	1896.0
Hoekafhankelijke reflectiviteit	Ja
Materiaal paneeloppervlak	Vlak glas met ARC ²
Tijdzone (UTC+)	1.0
Ingesloten hoek van de zon (mrad)	9.3
Piekinstraling (DNI) (W m ⁻²)	1000.0
Oculaire transmissiecoëfficiënt	0.5
Pupil diameter (mm)	2
Brandpuntsafstand oog (mm)	17
Tijdsinterval (min)	1
Correleer helling fout met materiaal	Geen
Helling fout(mrad)	10.0

3.2.2 Dimensies PV veld

id	Breedtegraad (°)	Hoogtegraad (°)	Maaiveld-hoogte (m)	Paneelhoogte boven maaiveld (m)	Totale hoogte(m)
1	51.638489529	5.56325018406	8.81	0.5	9.31
2	51.6372909755	5.56316435337	8.93	0.5	9.43
3	51.6379635011	5.56740224361	9.11	0.5	9.61
4	51.6387092604	5.56744515896	8.0	0.5	8.5

3.2.3 A50 observatiepunten rijrichting oost naar west

	Breedtegraad (°)	Hoogtegraad (°)	Ooghoogte(m)
Viaduct	51.6378436458	5.56742370129	11.1
¼ mijl	51.6369694021	5.56176734964	10.9
½ mijl	51.6360951584	5.55611099800	10.7
¾ mijl	51.6352209147	5.55045464635	10.6
1 mijl	51.6343466710	5.54479829470	10.4
1 ¼ mijl	51.6334724273	5.53914194306	10.2
1 ½ mijl	51.6325981837	5.53348559141	10.0

Ooghoogte aangenomen op 1.1 meter boven maaiveld.

² Anti Reflectie Coating

3.2.4 A50 observatiepunten rijrichting west naar oost

	Breedtegraad (°)	Hoogtegraad (°)	Ooghoogte (m)
1 ½ mijl	51.6324468521	5.53355817611	10.0
1 ¼ mijl	51.6333210958	5.53921363675	10.2
1 mijl	51.6341953394	5.54486909738	10.4
¾ mijl	51.6350695831	5.55052455801	10.6
½ mijl	51.6359438268	5.55618001865	10.7
¼ mijl	51.6368180705	5.56183547928	10.9
Viaduct	51.6376923142	5.56749093991	11.1

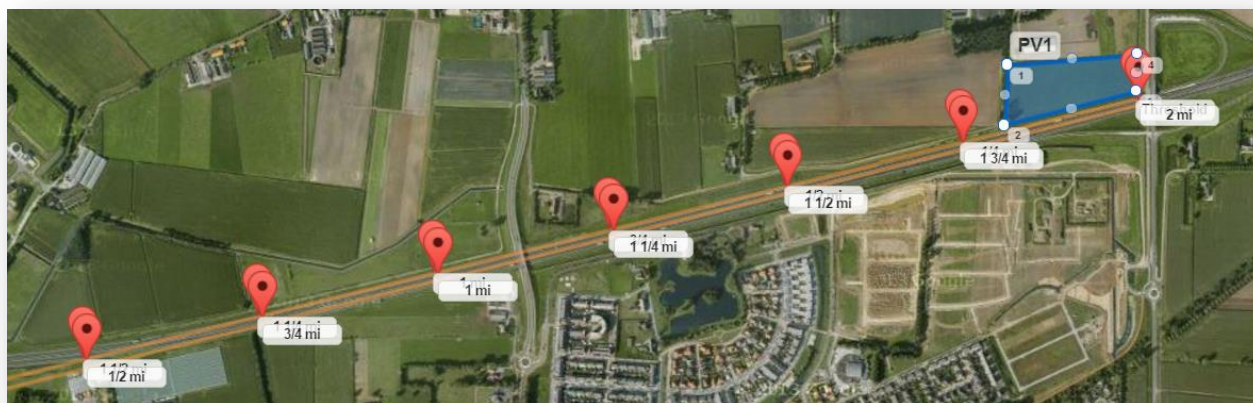
Ooghoogte aangenomen op 1.1 meter boven maaiveld.

3.2.5 Schaduw en afscherming

Behalve de beschutting van het viaduct is voor deze simulatie geen beschutting en afscherming meegenomen. Aan de linkerkant van het zonneveld is op de luchtfoto's wel een bomenrij zichtbaar. In hoeverre deze bomen het risico op verblinding mitigeren is niet onderzocht.

3.2.6 Overzichtsfiguur

Onderstaande figuur geeft een overzicht van de locatie van het zonneveld en van de observatiepunten op de snelweg (A50).



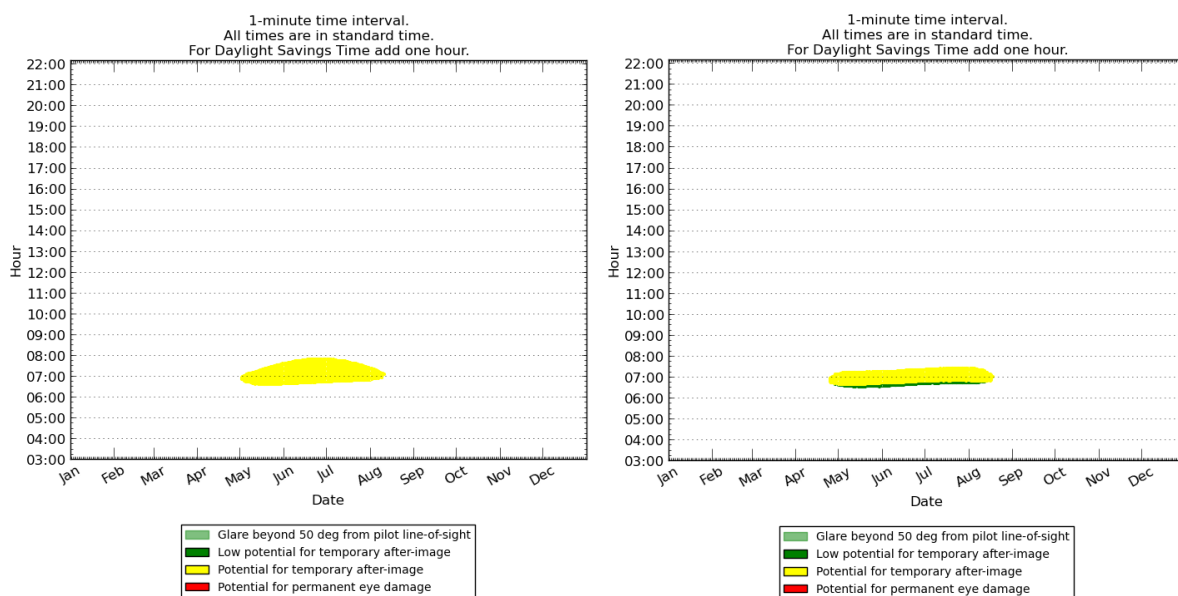
Figuur 3-4 Overzichtskaat van de locatie van het zonneveld en van de observatiepunten op de snelweg A50

4 RESULTATEN

Het resultaat van de studie is dat voor 3 observatiepunten schittering- en verblindingsgevaar is vastgesteld, zie onderstaande tabel. Voor deze locaties worden de heat maps gegeven.

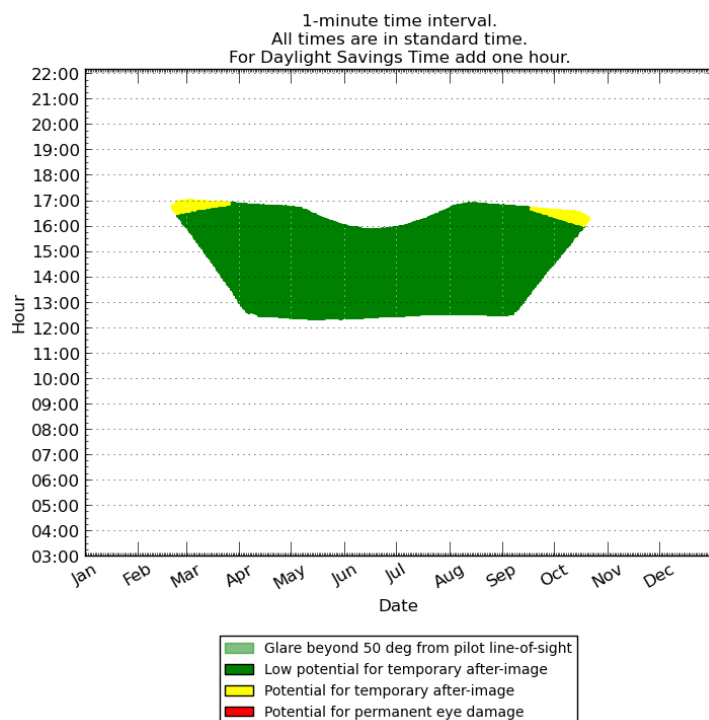
A50 West naar oost	Verblindingsrisico
Viaduct	
¼ mijl	
½ mijl	
¾ mijl	
1 mijl	
1 ¼ mijl	
1 ½ mijl	
A50 Oost naar west	Verblindingsrisico
1 ½ mijl	
1 ¼ mijl	
1 mijl	
¾ mijl	
½ mijl	
¼ mijl	
Viaduct	

In de richting van oost naar west is er sprake van risico op verblinding in de ochtend tussen 06:30 en 08:00, maar dan uitsluitend in de periode van begin mei tot eind juli. Dit is uitgebeeld in de figuren hieronder.



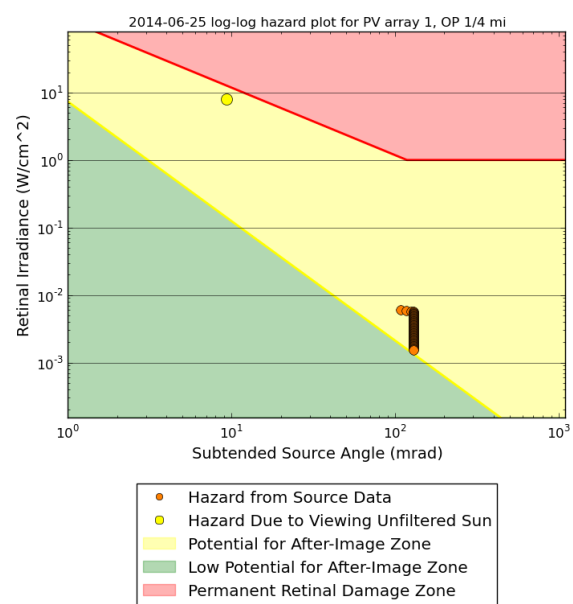
Figuur 4-1 Heat maps van verblindingsgevaar op de locaties ¼ mijl (links) en ½ mijl (rechts) op de A50 in de richting van oost naar west

In de richting van west naar oost is er verblindingsrisico op het moment dat de auto's onder het viaduct doorkomen bij ondergaande zon. Dit risico vindt plaats in twee perioden van het jaar, die gezamenlijk korter zijn dan de periode van verblindingsrisico in de andere rijrichting. Dit is aangegeven in de gele vlakken van Figuur 4-2. Ook de tijdsduur op de dag is korter dan die bij de andere rijrichting. De perioden zijn maart en september, en duren maximaal van 16:30 tot 17:00. De groene vlakken geven tijdsvakken aan wanneer de schittering niet hinderlijk is en geen risico geeft op nabeeld.



Figuur 4-2 Heat maps van verblindingsgevaar ter locatie van het viaduct op de A50 in de richting van west naar oost

Ter illustratie wordt in figuur 4-3 nog de grafiek van het verblindingsrisico op de locatie ¼ mijl (A50 van oost naar west) van 25 juni weergegeven. Dit is de dag waarop het verblindingsgevaar het langst en het hevigst is van alle observatie punten in de simulatie. Hierop is te zien dat de intensiteit van de schittering meer dan twee ordegrrootte lager is dan de die van rechtstreeks zonlicht (gele datapunt), maar de schittering is een relatief grote vlek, ofwel de ingesloten hoek van de schittering is 1 orde groter dan die van de zon. Met deze combinatie is dus sprake van een risico op nabeeld.



Figuur 4-3 Schitteringsrisico van 25 juni op de A50 van oost naar west, 1/4 mijl

5 MITIGERENDE MAATREGELEN

De volgende maatregelen waarmee verblinding kan worden voorkomen zijn onderzocht:

- 1 het aanpassen van de hoek van de zonnepanelen
- 2 het aanpassen van de oriëntatie van de zonnepanelen
- 3 het plaatsen van een haag tussen de snelweg en het zonne-energiesysteem.

Voor de punten 1 en 2 zijn nieuwe simulaties uitgevoerd en worden de resultaten weergegeven in tabellen met de eerder gebruikte kleurcodes. Code 1 wordt niet beschouwd als een schitteringsrisico aangezien dit van toepassing is op schittering voor vliegtuigen die vanuit een hoek kijken die groter is dan 50 graden. Dit komt niet voor op de snelweg.

Tabel 5-1 Legenda van kleurcodes schitteringsrisico's.

0	Geen schittering
1	Schittering bij een inblikhoek groter dan 50 graden
2	Kleine kans op tijdelijk nabeeld
3	Kans op tijdelijk nabeeld
4	Kans op permanente oogschade

Figuur 5-1 geeft de punten weer die in de tabellen terug te vinden zijn. Hiervoor geldt voor de rijrichting oost naar west dat alleen de '0,00 afstand tot het systeem' zich aan de west kant van het viaduct bevindt. De andere punten bevinden zich aan de oostkant van het viaduct.



Figuur 5-1 Observatiepunten van west naar oost en vice versa, beginnend bij 'Threshold', ten westen van het viaduct

5.1 Aanpassen van de hoek van de zonnepanelen

De volgende tabellen geven het effect weer van het aanpassen van de hoek ten opzichte van het horizontale vlak. Voor Tabel 5-3 is alleen het punt '0,00 afstand tot het systeem' relevant. Voor alle onderzochte hoeken van de modules blijft een kans op tijdelijk nabeeld op bepaalde momenten in het jaar bestaan.

Tabel 5-2 Mate van verblindingsrisico afhankelijk van de hoek van de modules. Rijrichting west naar oost

		Hoek van de modules (°)							
		0	5	10	15	20	25	30	35
Afstand tot het systeem (mi)	0,00	1	1	1	1	1	1	2	2
	0,25	3	3	3	3	3	3	3	3
	0,50	3	3	3	3	3	3	3	3
	0,75	3	3	2	2	2	2	2	2
	1,00	1	1	2	2	2	2	2	2
	1,25	1	1	1	1	1	2	2	2
	1,50	1	1	1	1	1	1	2	2
	1,75	0	1	1	1	1	1	1	1
	2,00	0	0	1	1	1	1	1	1

Tabel 5-3 Mate van verblindingsrisico afhankelijk van de hoek van de modules. Rijrichting oost naar west (alleen afstand 0,00 relevant)

		Hoek van de modules (°)							
		0	5	10	15	20	25	30	35
Afstand tot het systeem (mi)	0,00	3	3	3	3	3	3	3	3
	0,25	3	3	3	2	2	2	2	2
	0,50	3	3	2	0	0	0	0	0
	0,75	2	1	0	0	0	0	0	0
	1,00	1	0	0	0	0	0	0	0
	1,25	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,50	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,75	0	0	0	0	0	0	0	0
	2,00	0	0	0	0	0	0	0	0

5.2 Aanpassen van de oriëntatie van de zonnepanelen

De volgende tabellen geven het effect weer van het aanpassen van de oriëntatie van de zonnepanelen waarbij de hoek van de modules 25° is. Hierbij is 180° een zuidelijke oriëntatie. Vanaf een oriëntatie van 90° (dit is richting het oosten) is er in beide rijrichtingen geen schitteringsrisico voor de observatiepunten op de snelweg.

**Tabel 5-4 Mate van verblindingsrisico afhankelijk van de oriëntatie van de modules.
Rijrichting west naar oost**

		Oriëntatie (°)							
		180	170	160	140	120	90	60	30
Afstand tot het systeem (m)	0,00	1	1	1	2	1	0	0	0
	0,25	3	3	3	3	0	0	0	0
	0,50	3	3	3	0	0	0	0	0
	0,75	2	2	2	0	0	0	0	0
	1,00	2	2	1	0	0	0	0	0
	1,25	2	1	1	0	0	0	0	0
	1,50	1	1	0	0	0	0	0	0
	1,75	1	1	0	0	0	0	0	0
	2,00	1	1	0	0	0	0	0	0

**Tabel 5-5 Mate van verblindingsrisico afhankelijk van de oriëntatie van de modules.
Rijrichting oost naar west (alleen afstand 0,00 relevant)**

		Oriëntatie (°)							
		180	170	160	140	120	90	60	30
Afstand tot het systeem (m)	0,00	3	3	3	3	3	0	0	0
	0,25	2	2	3	3	2	1	0	0
	0,50	0	2	2	2	2	2	0	0
	0,75	0	1	1	1	2	1	0	0
	1,00	0	0	1	1	1	1	0	0
	1,25	0	0	1	1	1	0	0	0
	1,50	0	0	0	0	0	0	0	0
	1,75	0	0	0	0	0	0	0	0
	2,00	0	0	0	0	0	0	0	0

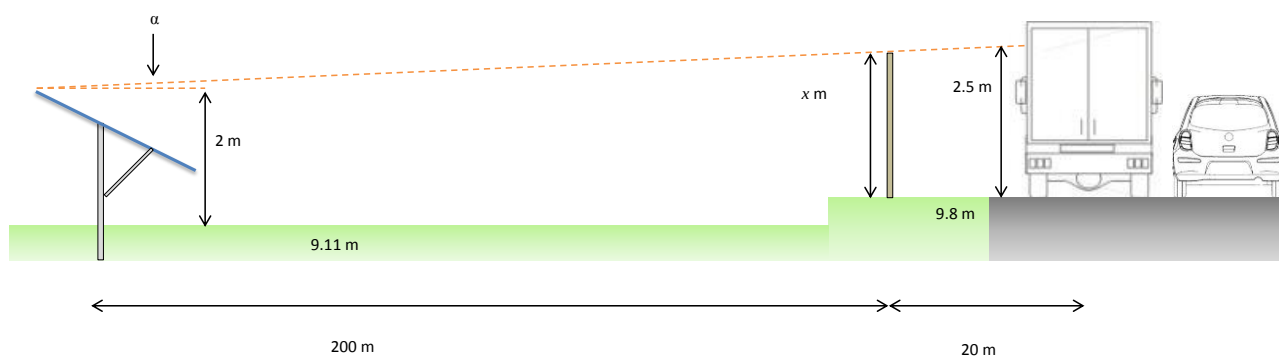
5.3 Haag tussen snelweg en zonne-energiesysteem

Energie van Hollandsche Bodem heeft aangegeven dat er ten zuiden, oosten en westen van het zonne-energiesysteem een groene (klimop) haag gerealiseerd zal worden. DNV GL heeft onderzocht of deze haag de reflectie van de zonnepanelen kan blokkeren. Hiervoor zijn de volgende aannames gemaakt:

- maximale maaiveldhoogte PV systeem: 9.11 m (zie paragraaf 0)
- maximale hoogte PV systeem: 2 meter boven maaiveldhoogte (uit gesprek met EVHB, 01-02-2016)
- maximale (maaiveld) hoogte observatiepunten: 9.8 meter (zie paragraaf 0)
- maaiveldhoogte van haag: 9.8 meter (aanname)
- ooghoogte vrachtautochauffeur: 2,5 meter (SWOV³)
- afstand observatiepunten tot haag: 20 meter (aanname)
- afstand haag tot meest noordelijke zonnepanelen: 200 meter (aanname).

Figuur 5-2 geeft de aannames weer in een schematische tekening (niet op schaal).

³ Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid, *Maatgevende normen in de Nederlandse richtlijnen voor wegontwerp*, Den Haag 2014



Figuur 5-2 Schematische weergave van gereflecteerd zonlicht richting voertuigen op de snelweg (niet opschaal)

Om de minimale hoogte van de haag te bepalen wordt de hoek van de lichtstraal vanaf het meest noordelijke PV paneel richting de ooghoogte van een vrachtwagenchauffeur bepaald. Dit wordt berekend als:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{(12.3 - 11.11)}{220} \right) = 0.31^\circ$$

De minimale hoogte van de haag wordt als volgt berekend:

$$x = 200 \times \tan(\alpha) + 9.11 + 2 - 9.8 = 2.39 \text{ m}$$

Op basis van de genoemde aannames is een haag van 3 meter hoog genoeg om de zonnepanelen aan het zicht vanaf de snelweg te onttrekken en zo schittering te voorkomen. DNV GL heeft echter geen metingen uitgevoerd of onafhankelijke metingen ontvangen die de gebruikte aannames bevestigen. Als één van de aannames verandert, heeft dat effect op de minimale hoogte van de haag.



DNV GL

Vanuit haar streven leven, bezit en het milieu te beschermen stelt DNV GL organisaties in staat de veiligheid en duurzaamheid van hun activiteiten te bevorderen. DNV GL biedt classificering en technische borging, naast software en onafhankelijk, deskundig advies voor de maritieme, de olie- en gas en de energiesector. Daarnaast biedt het bedrijf certificeringsservices voor klanten in uiteenlopende sectoren. DNV GL, opgericht in 1864, is actief in meer dan 100 landen over de hele wereld en telt 16.000 medewerkers, die klanten helpen richting een veiligere, slimmere en groenere wereld.