



Accelerating
the future
of aerospace

NLR-CR-2025-167-Hzv-1 | juli 2025

Verkenning van een nieuw criterium voor toelaatbare glare-intensiteit van zonnepanelen rond Schiphol

Uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat- gefaciliteerd door ISMS Schiphol



Koninklijke NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum



Accelerating
the future
of aerospace

NLR-CR-2025-167-Hzv-1 | juli 2025

Verkenning van een nieuw criterium voor toelaatbare glare-intensiteit van zonnepanelen rond Schiphol

Uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat- gefaciliteerd door ISMS Schiphol

Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de eigenaar en/of opdrachtgever.

OPDRACHTGEVER	Uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur & Waterstaat-gefaciliteerd door ISMS Schiphol
CONTRACTNUMMER	100-5047460
EIGENAAR	NLR
NLR DIVISIE	Aerospace Operations
VERSPREIDING	Beperkt
RUBRICERING TITEL	ONGERUBRICEERD

GOEDGEKEURD DOOR:		DATUM
AUTEUR	Goedgekeurd	16-07-2025
REVIEWER	Goedgekeurd	16-07-2025
BEHERENDE AFDELING	Goedgekeurd	16-07-2025

Samenvatting

Vanuit de ambities rond de energietransitie wordt, zowel in Nederland als in andere landen, ingezet op de installatie van zonnepanelen. In Nederland is er grote belangstelling om zonneparken aan te leggen op agrarische grond. Ook rond luchthavens worden er daarom zonneparken aangelegd. Zonnepanelen kunnen onder bepaalde condities schitteringen veroorzaken. Deze schitteringen door de zon staan in de Engelse literatuur bekend als '*glare*'. Als de intensiteit van de glare hoog genoeg is, kan een waarnemer tijdelijk verblind worden. Dit kan de uitvoering van de taken van vliegers in de cockpit of luchtverkeersleiders in de verkeerstoren bemoeilijken, waardoor de vliegveiligheid in het geding kan komen. Wanneer zonneparken rondom luchthavens worden geplaatst is het daarom van groot belang dat erop wordt toegezien dat glare geen negatieve invloed heeft op het functioneren van piloten en luchtverkeersleiders.

Aangezien in de internationale (ICAO), Europese en Nederlandse luchtvaartregels en richtlijnen geen specifieke normen of criteria worden gegeven voor de risicobeoordeling van mogelijke gevaarlijke reflecties van zonnenvelden rondom luchthavens, wordt veelvuldig gebruik gemaakt van een door de Amerikaanse luchtvaartautoriteit (FAA) opgestelde richtlijn uit 2013 waarin o.a. een criterium is gegeven voor acceptabele glare-intensiteit voor vliegers. Recente meldingen van vliegers van intense glare afkomstig van zonneparken rond Schiphol werpen de vraag op of dit FAA criterium afdoende is. Dat is aanleiding om de achtergronden van het FAA 2013 criterium nader te onderzoeken. De bevindingen suggereren dat een alternatief criterium voor de maximaal toelaatbare glare-intensiteit van zonnepanelen mogelijk beter geschikt is om de veiligheidsrisico's te beheersen. Daarop is een verkenning van een nieuw criterium voor maximaal toelaatbare glare-intensiteit van zonnepanelen rond Schiphol uitgevoerd.

Er is een nieuw (prudentie) criterium opgesteld waarbij gebruik is gemaakt van dezelfde testdata als die waarop het oorspronkelijke FAA 2013 criterium voor toelaatbare glare-intensiteit is gebaseerd. Door een ondergrens van deze testdata te gebruiken als aangepaste grens voor de toelaatbare glare, wordt bereikt dat een groter deel van de glare condities wordt vermeden die een hoog potentieel hebben voor het veroorzaken van nabeelden bij vliegers.

Het prudentie criterium kan worden gebruikt als case criterium voor het zonnepark ten zuiden van het dorp Zwanenburg-Halfweg, gemeente Haarlemmermeer, tussen de Rijkswegen A9 en A5 en ten noorden van de luchthaven Schiphol. Voor toepassing van dit criterium voor de evaluatie van andere zonneparken rondom luchthavens wordt nader onderzoek aanbevolen.

Inhoudsopgave

1	Introductie	5
1.1	Achtergrond	5
1.2	Doelstelling	5
1.3	Leeswijzer	5
2	Beknopt overzicht van luchtvaartregelgeving en richtlijnen	6
2.1	Nederlandse regelgeving en richtlijnen	6
2.2	Europese regelgeving en richtlijnen	6
2.3	ICAO richtlijnen	7
2.4	Amerikaanse richtlijnen	7
3	Voorstel voor een aangepast criterium	11
3.1	Aanleiding	11
3.2	Glare condities bij de meldingen	11
3.3	Achtergronden van het FAA 2013 criterium	13
3.4	Prudentie criterium	15
3.5	Validatie van het voorgestelde prudentie criterium	17
3.6	Toepasbaarheid van het prudentie criterium bij grote gezichtshoeken	18
3.7	Verder onderzoek	19
3.7.1	Algemeen	19
3.7.2	Effecten van langere blootstelling aan glare	19
4	Conclusies en aanbevelingen	21
4.1	Conclusies	21
4.2	Aanbevelingen voor nader onderzoek	21
5	Referenties	22

1 Introductie

1.1 Achtergrond

Vanuit de ambities rond de energietransitie wordt, zowel in Nederland als in andere landen, ingezet op de installatie van zonnepanelen. In Nederland is er grote belangstelling om zonneparken aan te leggen op agrarische grond. Ook rond luchthavens worden er daarom zonneparken aangelegd. Zonnepanelen kunnen onder bepaalde condities schitteringen veroorzaken. Deze schitteringen door de zon staan in de Engelse literatuur bekend als ‘glare’. Glare komt niet alleen voor bij zonnepanelen maar ook bij andere reflecterende objecten zoals glazen ramen, geluidschermen of gladde wateroppervlakken. Glare kan als hinderlijk worden ervaren als mensen hierin kijken. Als de intensiteit van de glare hoog genoeg is, kan het grote gevolgen Als de intensiteit van de glare hoog genoeg is, kan een waarnemer tijdelijk verblind worden. Dit kan de uitvoering van de taken van vliegers in de cockpit of luchtverkeersleiders in de verkeerstoren bemoeilijken, waardoor de vliegveiligheid in het geding kan komen. Wanneer zonneparken rondom luchthavens worden geplaatst is het daarom van groot belang dat erop wordt toegezien dat glare geen negatieve invloed heeft op het functioneren van piloten en luchtverkeersleiders.

1.2 Doelstelling

In de internationale (ICAO), Europese en Nederlandse luchtvaartregels en richtlijnen worden geen specifieke normen of criteria gegeven voor de risicobeoordeling van mogelijke gevaarlijke reflecties van zonnenvelden rondom luchthavens. Daarom wordt, niet alleen in Nederland maar ook elders, vaak gebruik gemaakt van een richtlijn van de Amerikaanse luchtvaartautoriteit (FAA) uit 2013 [FAA, (2013)]. In deze richtlijn wordt een rekenmodel en een criterium voor acceptabele glare-intensiteit gegeven. Recente meldingen van vliegers van intense glare afkomstig van zonneparken ten zuiden van het dorp Zwanenburg-Halfweg, gemeente Haarlemmermeer, tussen de Rijkswegen A9 en A5 en ten noorden van de luchthaven Schiphol, werpen echter de vraag op of het FAA criterium voor acceptabele glare-intensiteit afdoende is.

Het doel van deze studie is tweeledig: het verkennen van de achtergronden en adequaatheid van het bestaande FAA criterium voor acceptabele glare-intensiteit, en het – zo nodig - ontwikkelen van een voorstel voor een nieuw criterium voor maximaal toelaatbare glare-intensiteit van zonnepanelen rond Schiphol. Zo’n criterium kan mogelijk worden gebruikt als case criterium voor het zonnepark ten zuiden van het dorp Zwanenburg-Halfweg, gemeente Haarlemmermeer, tussen de Rijkswegen A9 en A5 en ten noorden van de luchthaven Schiphol worden gebruikt.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van regelgeving en richtlijnen die betrekking hebben lichtbronnen en reflecties die hinderlijk voor vliegers en luchtverkeersleiders. Hoofdstuk 3 beschrijft een nieuw criterium voor de toegestane glare afkomstig van zonneparken, de gekozen onderzoeksmethode en motiveert de aanpak. Hoofdstuk 4 biedt een samenvatting van de conclusies en doet aanbevelingen voor verder onderzoek.

2 Beknopt overzicht van luchtvaartregelgeving en richtlijnen

2.1 Nederlandse luchtvaartregelgeving en richtlijnen

Het Informatiebulletin *toepassing zonnecollectoren op en rond luchthavens* van lenW geeft aan dat het is toegestaan om zonnepanelen te plaatsen rondom luchthavens [IVW, (2011)]. Het is echter niet uit te sluiten dat deze installaties gevaar kunnen opleveren voor het luchtverkeer. Daarom wordt in het informatiebulletin aanbevolen pragmatisch met de toepassing van deze installaties om te gaan. Hiervoor worden echter geen nadere richtlijnen of eisen gespecificeerd.

2.2 Europese regelgeving en richtlijnen

In de Europese regelgeving (*Commission Regulation 139/2014* van de Europese Unie) wordt de noodzaak van het beschouwen van de effecten van reflecterende oppervlakken in de omgeving van een luchthaven, die verblinding kunnen veroorzaken benoemd¹:

'Article 9
Monitoring of aerodrome surroundings
Member States shall ensure that consultations are conducted with regard to human activities and land use such as:
 ...
(d) the use of highly reflective surfaces which may cause dazzling;
 ... '

Er wordt echter geen nadere aanduiding van een geaccepteerde aanpak voor het uitvoeren van een *consultation* gegeven. Er worden ook geen normen gepresenteerd.

In 'EASA Certification Specifications and Guidance Material for Aerodrome Design, CHAPTER M — VISUAL AIDS FOR NAVIGATION (LIGHTS) - GM1 ADR-DSN.M.615 General' wordt het volgende vermeld als *Guidance Material*:

'(k) The elements here above can be applied to solar panels. The following assumptions can be made:
(1) solar panels are inclined so as to efficiently capture the sunlight, conducting to a range of cross section surfaces;
(2) the maximum acceptable luminance value has been fixed to 20 000 cd/m²; and
(3) the surfaces varied from 100 m² to several hectares.'

De regelgeving waar deze EASA *guidance* naar verwijst gaat uitsluitend over visuele naderingshulpmiddelen bij landingsbanen. Toch wordt er in deze EASA *guidance* een opmerking geplaatst over zonnepanelen in relatie tot de maximale luminantie², namelijk "*maximum acceptable luminance value has been fixed to 20 000 cd/m²*". In studies

¹ Een vergelijkbare statement wordt er gegeven in EASA Regulation (EU) 2018/1139 en in EASA Attachment 1 to OPINION No 03/2007.

² Luminantie is de helderheid waarmee een bepaald oppervlak wordt waargenomen. Het kan worden beschouwd als de lichtsterkte in een bepaalde richting per eenheid van oppervlakte van een lichtbron en wordt uitgedrukt in candela per vierkante meter (cd/m²). De grootte van de luminantie voor een diffuus stralend of reflecterend vlak is ongeacht waar de waarnemer zich bevindt behalve als licht onderweg geabsorbeerd wordt door de omgeving [Linden, (2005)]. In dat laatste geval zal de waargenomen luminantie bij een grotere afstand lager zijn.

met betrekking tot zonneparken rondom luchthavens wordt er soms gerefereerd aan deze maximale luminantie. Het dient te worden opgemerkt dat dit niet-bindende informatie is³ en dus *geen* formele EASA regelgeving betreft. Bovendien ziet EASA dit als een aanname. Hetzelfde EASA luminantie maximum van 20 000 cd/m² werd ook in Franse richtlijnen genoemd [DGAC, (2011)]. Deze Franse richtlijnen zijn in 2022 om voor het NLR onbekende redenen ingetrokken. In de literatuur worden ook andere maximaal toelaatbare luminantie waarden genoemd voor zonnepanelen zoals 10 000, 30 000 en 50 000 cd/m² [DGAC, (2011); Jakubiec en Reinhart, (2014); Sreenath et.al., (2021)].

2.3 ICAO richtlijnen

ICAO heeft geen specifieke richtlijnen wat betreft de maximaal toelaatbare glare-intensiteit van zonneparken rondom luchthavens. In de ICAO *Airport Planning Manual* wordt er wel specifiek gewezen op de gevaren van glare afkomstig van zonneparken rondom luchthavens en gezegd dat deze geëlimineerd moeten worden zodat het geen negatief effect kan hebben op vliegers en luchtverkeersleiders [ICAO, (2019)]. Het gevaar van glare van zonneparken is recentelijk ook benoemd tijdens de laatste *Air Navigation Conference* [ICAO, (2024)]. Er is ook een ICAO handleiding over lasers die voor glare van zonneparken relevante informatie geeft [ICAO, (2003)]. De effecten op vliegers waarvan de ogen geraakt worden door lasers, zijn namelijk vergelijkbaar met die van intense glare. In beide gevallen kan er verblinding van de vlieger ontstaan met mogelijke nabeelden⁴. ICAO heeft een gebied gedefinieerd waar lasers gebruikt mogen worden zonder dat dit gevaar oplevert voor de vliegers [ICAO, (2003)]:

‘Airspace, where the irradiance is restricted to a level unlikely to cause flash-blindness or after-image effects.’

Het gevaar dat ICAO identificeert is de verblinding van vliegers en het ontstaan van nabeelden wanneer deze door een laser geraakt zouden worden. Lasers die gebruikt worden in een luchtruim (bijvoorbeeld nabij een luchthaven) mogen dus zo min mogelijk verblinding of nabeelden veroorzaken bij de vliegers. ICAO kwantificeert geen maximale waarden van het stralingsvermogen per oppervlakte-eenheid (*‘irradiance’*) afkomstig van lasers.

2.4 Amerikaanse richtlijnen

Aangezien in de internationale (ICAO), Europese en Nederlandse luchtvaartregels en richtlijnen geen specifieke normen of criteria worden gegeven voor de risicobeoordeling van mogelijke gevaarlijke reflecties van zonnevelden rondom luchthavens, wordt veelvuldig gebruik gemaakt van een door de Amerikaanse luchtvaartautoriteit (FAA) opgestelde richtlijn uit 2013 [FAA, (2013)]. Deze richtlijn beschrijft hoe de glare van zonneparken moet worden uitgerekend en tegen welk criterium de resultaten moeten worden getoetst. De richtlijn is gebaseerd op onderzoek van Sandia National Laboratories. Hoewel deze FAA richtlijn niet van toepassing is in Nederland, biedt het wel houvast bij het vaststellen van de toelaatbaarheid van verwachte glare-intensiteiten van zonneparken. Voor studies naar glare van zonneparken rondom luchthavens in Nederland, is het FAA 2013 criterium voor toelaatbare glare in de cockpit en in de verkeerstoren gebruikt in combinatie met een door de FAA aanbevolen computermodel om de glare-intensiteit

³ ‘Guidance material’ is niet-bindend toelichtend en interpretatief materiaal over hoe te voldoen aan de vereisten in de Basisverordening en de Certificeringsspecificaties.

⁴Een visueel fenomeen waarbij een beeld of een lichtbron nog enige tijd ‘zichtbaar’ blijft voor een persoon na het stoppen van de stimulus. Het ontstaat doordat de lichtgevoelige cellen in het netvlies (de kegeltjes en staafjes) tijdelijk zijn overbelast door de intense lichtstimulus.

te berekenen, het Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT). Dit model is ook ontwikkeld door Sandia National Laboratories [Ho et. al., (2011)]. Het model is tegenwoordig alleen beschikbaar als een commercieel software tool onder de naam ForgeSolar. De FAA aanpak (zowel het ForgeSolar tool als het criterium) wordt ook buiten Nederland zeer veel gebruikt bij de analyse van glare van zonneparken rondom luchthavens⁵. Het wordt ook gebruikt in Nederland en andere landen om de effecten van glare op weggebruikers vast te stellen (van bijvoorbeeld zonneparken of geluidsschermen langs wegen).

De FAA 2013 richtlijn geeft grenswaarden voor de glare-intensiteit als de combinatie van stralingsvermogen dat op het netvlies valt (netvliesstralingsvermogen per oppervlakte-eenheid oftewel '*retinal irradiance*' in de Engelse literatuur) en de omvang van de glare spot zoals waargenomen (wat gelijk staat aan de grootte van de gezichtshoek van de glare spot - '*subtended source angle*' in de Engelse literatuur)⁶. In figuur 1 is de zogenaamde FAA glare hazard plot weergegeven waarin beide variabelen zijn weergegeven langs logaritmische assen (FAA, (2013)). In de hazard plot zijn drie gekleurde gebieden aangegeven die elk een niveau van verblinding representeren. De FAA definieert hierin de volgende niveaus:

- *Red glare (rode gebied)*: de mate van verblinding is zodanig dat permanent oogletsel (netvliesverbranding) kan optreden;
- *Yellow glare (gele gebied)*: de mate van verblinding is zodanig dat een reële kans bestaat op nabeelden (*after-images*) van beperkte duur. Dit is vergelijkbaar met maskerende verblinding [Ho et. al., (2018); TNO, (2016); Nakagawara et. al., (2003)];
- *Green glare (groene gebied)*: elke mate van zonnerreflectie die het oog treft, met een lage kans op nabeelden. Dit is vergelijkbaar met oncomfortabele verblinding [Ho et. al., (2018)]; TNO, (2016); Nakagawara et. al., (2003)].

De kleurcodering gebruikt in de hazard plot heeft overigens geen relatie met de kleur die de glare in werkelijkheid heeft.

'*Yellow glare*' houdt verband met de fysiologische verblinding van een persoon met kans op nabeelden [Ho et. al., (2011); TNO, (2016); Nakagawara et. al., (2003)]. Het is gekoppeld aan het wel of niet kunnen waarnemen van objecten, instrumenten en het kunnen uitvoeren van taken en heeft daarom een relatie met de kans op risicovolle scenario's die kunnen resulteren in ongevallen [Kumagai et. al., (2005)]. ICAO en FAA bevestigen dat verblinding van vliegers of het ontstaan van nabeelden een direct gevaar kan opleveren voor de vliegoperatie [ICAO, (2003); Nakagawara et. al., (2003); ICAO, (2024)]. Piloten moeten een hoog niveau van situationeel bewustzijn behouden tijdens de vlucht met name tijdens de landing. Dit is in het geding wanneer er spraken is van verblinding van of door het ontstaan van nabeelden bij de vliegers.

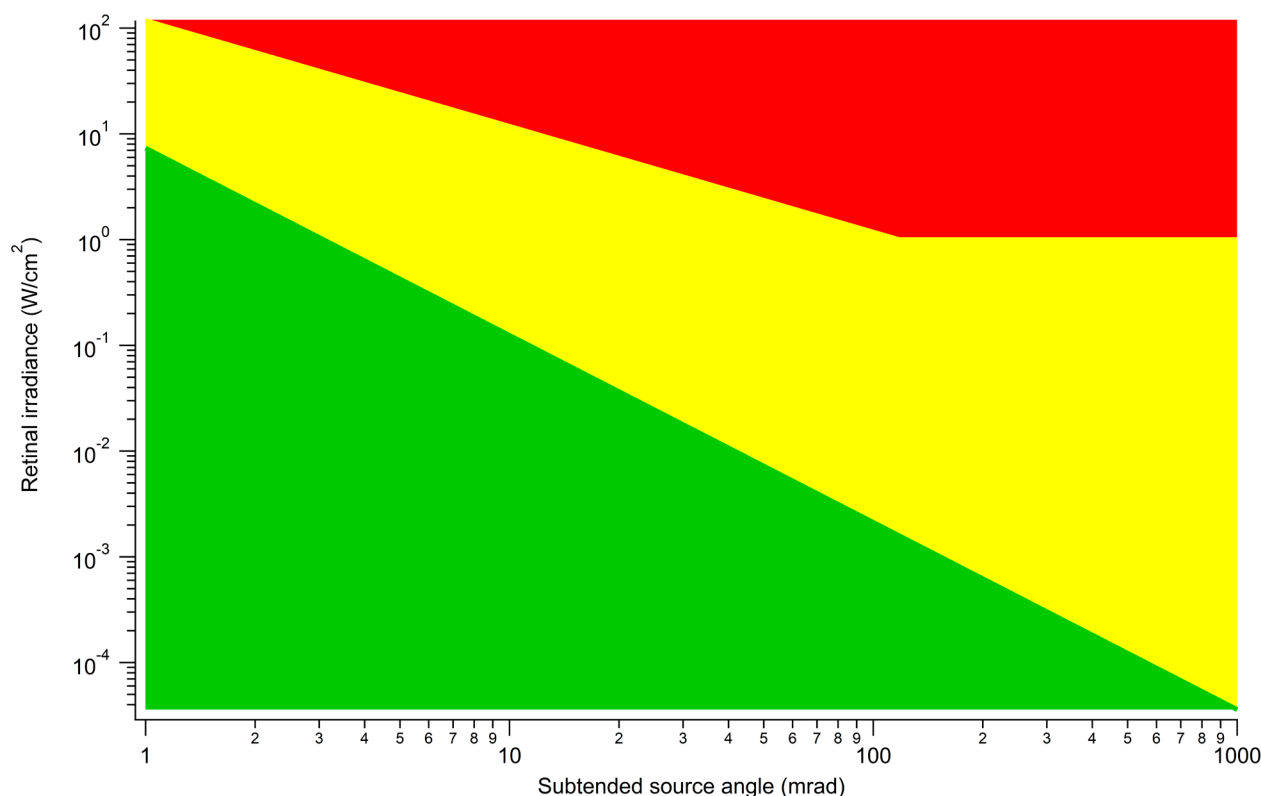
In de FAA *Interim Policy* die in 2013 is gepubliceerd, zijn door de FAA de volgende criteria vastgesteld (FAA, (2013)):

1. Geen '*yellow glare*' toegestaan op elk eindnaderingspad binnen 2 statute mijl voor de baandrempel;
2. Geen *glare* van enige soort toegestaan voor verkeerstorens op waarnemingshoogte.

Red glare is ook niet toegestaan maar kan in de praktijk niet veroorzaakt worden door vlakke zonnepanelen.

⁵ In 2019 waren er meer dan 6 000 registreerde gebruikers uit 60 landen van SGHAT/ForgeSolar [Ho, C.K. (2019)].

⁶ Oorspronkelijk is deze combinatie van variabelen voorgesteld door [Sliney, en Freasier, (1973)].



Figuur 1: FAA glare hazard plot

In 2021 heeft de FAA een *Final Policy* gepubliceerd [FAA, (2021)]. Hierin wordt het eerste criterium (voor de eindnaderingspaden) niet meer gehanteerd. De eis dat er geen *glare* mag zijn op de verkeerstoren is in het nieuwe FAA-beleid echter onverminderd van kracht. Als reden voor de wijziging t.o.v. van het beleid uit 2013, stelt de FAA het volgende [FAA, (2021)]:

'Initially, FAA believed that solar energy systems could introduce a novel glint and glare effect to pilots on final approach. FAA has subsequently concluded that in most cases, the glint and glare from solar energy systems to pilots on final approach is similar to glint and glare pilots routinely experience from water bodies, glass façade buildings, parking lots, and similar features. However, FAA has continued to receive reports of potential glint and glare from on-airport solar energy systems on personnel working in ATCT cabs. Therefore, FAA has determined the scope of agency policy should be focused on the impact of on-airport solar energy systems to federally-obligated towered airports, specifically the airport's ATCT cab.'

In het nieuwe beleid geeft de FAA dus aan dat er geen significante hinder meer wordt verwacht voor vliegers. De reflecties van zonnepanelen zouden (in de meeste gevallen) als vergelijkbaar worden ervaren met reflecties veroorzaakt door wateroppervlakken, gebouwen met glazen gevels en autoruiten van geparkeerde auto's. Op grond daarvan is het criterium voor vliegers op de eindnadering in het definitieve FAA-beleid komen te vervallen. Een gedetailleerde onderbouwing van het FAA besluit is niet gepubliceerd. Daarom is door NLR contact opgenomen met de FAA voor een nadere toelichting. Hieruit zijn de volgende punten naar voren gekomen⁷:

- FAA meldt dat het besluit om eisen voor glare voor vliegers te verwijderen voornamelijk ligt in het feit dat tussen 2013 en 2021 er door vliegers weinig meldingen van glare zijn gemaakt. NLR tekent daarbij aan dat dit

⁷ E-mail contact met [redacted] 29/30 april, 2025.

lage aantal mogelijk het directe gevolg is van het beleid uit 2013 waarbij intense glare in de cockpit niet toegestaan is. Bij navraag hierover gaf de FAA toe dat het lage aantal meldingen inderdaad het gevolg kan zijn van het eerder gevoerde beleid. FAA gaf voorts aan dat wanneer er toch meldingen zouden komen in de toekomst, het beleid weer kan worden aangepast. Omdat er tussen de aanpassing van het FAA beleid in 2021 en het installeren van een zonnepark enige tijd zal zitten (meerdere jaren), zullen mogelijke gevolgen pas later duidelijk kunnen worden.

- Er is overleg geweest binnen de FAA zelf met [REDACTED] over de aanpassing van het beleid. Deze vonden allemaal dat het redelijk was om de eisen t.a.v. glare voor vliegers te verwijderen.
- De aanpassing van het beleid lijkt in tegenspraak met eerder FAA onderzoek wat zou uitwijzen dat een hoge glare-intensiteit problemen opleveren voor de vliegers bij de uitvoeringen van hun taken [Rogers et. al., (2015)]. Als reactie hierop gaf de FAA aan dat dit slechts experimenten zouden zijn en dat er in de praktijk geen problemen werden waargenomen. Ook hierbij kan weer opgemerkt worden dat het lage aantal meldingen in de praktijk het gevolg kan zijn van het oude beleid waarin eisen werden gesteld aan de maximale glare in de cockpit. De experimenten van de FAA waarin glare van hoge intensiteit als problematisch voor de vluchtuitvoering werd bevonden, zijn op een gedegen manier uitgevoerd. Er is in de literatuur geen commentaar gevonden van andere onderzoekers die dit onderzoek van de FAA bekritiseren. FAA gaf geen andere reden waarom ze hun eigen experimenten nu niet als relevant beschouwen.
- Een ander argument dat FAA gaf is dat de software voor glare analyses (ForgeSolar) misschien niet goed de glare in de cockpit zou berekenen omdat de neus van het vliegtuig dit mogelijk kan tegenhouden. Echter ForgeSolar rekent met hoeken die representatief zijn voor het zichtveld vanuit de cockpit. De meldingen op bijvoorbeeld Schiphol en de door het NLR uitgevoerde testen met twee verschillende vliegtuigen laten ook zien dat de neus van het vliegtuig glare niet volledig kan blokkeren.

Er is ook contact geweest tussen NLR en de ontwikkelaars van het oorspronkelijke FAA 2013 criterium en het SGHAT /ForgeSolar model, Sandia National Laboratories in de Verenigde Staten⁸. Deze ontwikkelaars leken ook niet goed te begrijpen waarom de FAA geen eisen meer stelt aan de glare-intensiteit in de cockpit terwijl er geen enkele glare in de verkeerstoren is toegestaan. Ook andere specialisten betwisten de beweringen van de FAA dat glare geen significante hinder kan geven voor vliegers⁹. In de praktijk wordt het FAA 2013 criterium nog vaak toegepast ook in de Verenigde Staten.

De FAA heeft 20 reacties gekregen op hun interim beleidsnotitie van 2013. *“The majority of comments were from persons who are involved with the solar energy industry. FAA also received comments from the Airport Consultants Council (ACC) on behalf of its membership. The comments were largely focused on requirements in the interim policy that FAA is not carrying forward to this updated policy.”* Uit het contact met de FAA is gebleken dat het meeste commentaar ging over het model en niet zozeer over de criteria.

⁸ E-mail contact met [REDACTED] Sandia National Laboratories (april 2025).

⁹ www.pagerpower.com/news/surprising-new-draft-national-policy-for-solar-farms/ (bezoekt op 20-05-2025).

3 Voorstel voor een aangepast criterium

3.1 Aanleiding

In 2024 is er begonnen met de installatie van zonnepanelen ten zuiden van het dorp Zwanenburg-Halfweg, gemeente Haarlemmermeer, tussen de Rijkswegen A9 en A5 en ten noorden van de luchthaven Schiphol. Het zonnepark bestaat uit een viertal grote zonnenvelden, die gedeeltelijk onder de aanliegroutes liggen naar de Polderbaan en de Zwanenburgbaan. Tussen half oktober 2024 en begin maart 2025 zijn er diverse meldingen gekomen van vliegers die problemen ondervonden van glare afkomstig van het zonnepark tijdens naderingen op baan 18R en 18C. Deze meldingen betroffen o.a. verblinding van de vliegers, ontstaan van nabeelden, belemmeringen in het uitvoeren van taken in de cockpit, en belemmering van het zicht naar buiten. Begin maart 2025 zijn daarom operationele maatregelen getroffen die naderingen op 18R beperkten tot delen van de dag waarop er geen glare verwacht werd. Deze ontwikkelingen zijn aanleiding voor een nadere beschouwing van de meldingen, de achtergronden van het FAA 2013 criterium en verkenning van een nieuw criterium voor het beoordelen van het al dan niet acceptabel zijn van glare.

3.2 Glare condities bij de meldingen

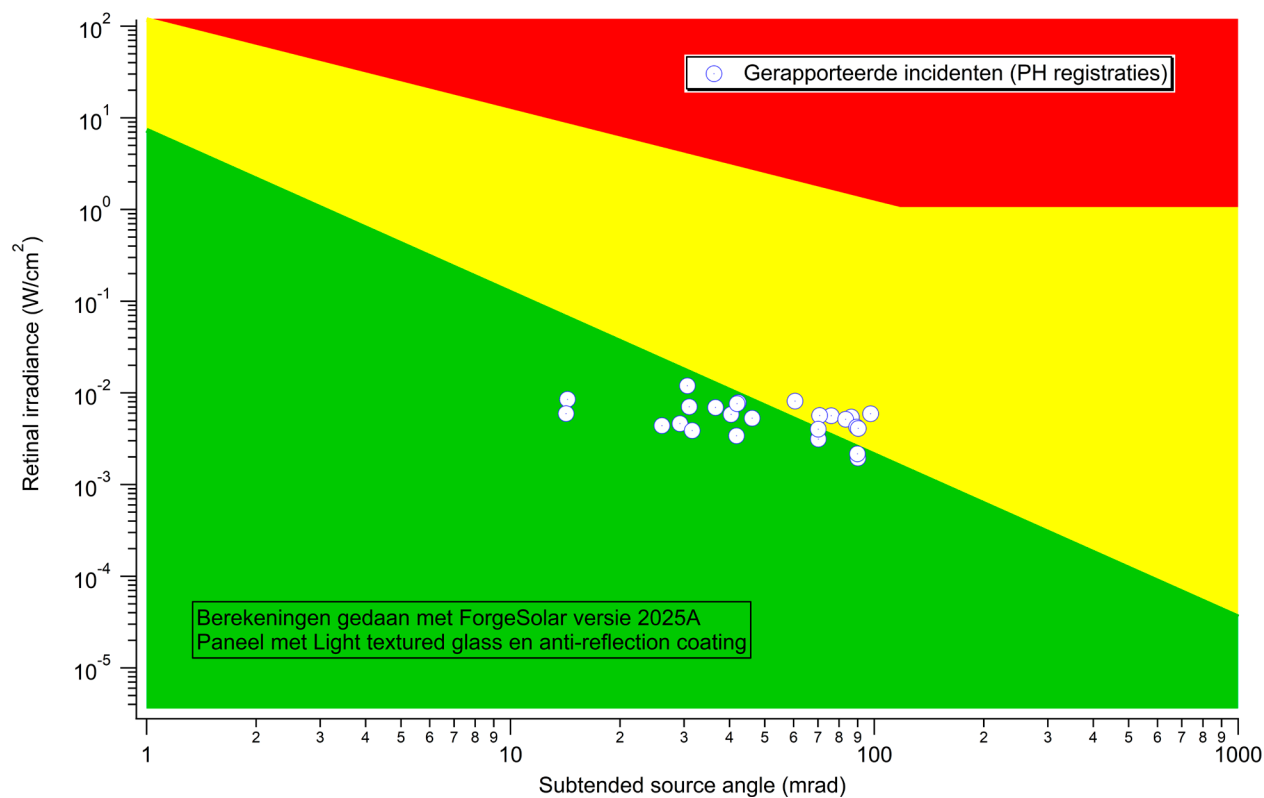
Om vast te stellen hoe de meldingen op Schiphol van de vliegers zich verhouden tot de verwachte glare-intensiteit, is er gekeken wat de deze intensiteit volgens het ForgeSolar software model ongeveer zou zijn geweest op de datum en tijdstip van de melding¹⁰. Hierbij is gekeken naar mogelijke glare tot 7 NM vanaf de baandrempel¹¹. De resultaten zijn weergegeven in figuur 2. Er is rekening gehouden met het feit dat er in oktober nog maar een deel het van zonnepark gereed was. Ook zijn de velden gekoppeld in de ForgeSolar analyse om het effect van het overlopen van de glare spot van het ene veld naar het andere mee te nemen. In figuur 3 is dit effect weergegeven in een foto genomen vanuit de cockpit. Figuur 2 bevat alleen incidenten die zijn gerapporteerd aan het Analysebureau Luchtvaartvoorvallen (ABL). Er zijn meer meldingen gedaan door vliegers, rond dezelfde tijden en dagen als voor de voorvallen die zijn gerapporteerd aan ABL. Dit waren, voor zover bekend, meldingen van bemanningen van buitenlandse luchtvaartmaatschappijen (niet PH geregistreerde vliegtuigen). Deze vliegers hebben hinder door glare gemeld aan de torenluchtverkeersleider. Details van deze meldingen waren niet bekend. Mogelijk zal er ook een melding gemaakt zijn aan de vliegveiligheidsafdeling van de betreffende luchtvaartmaatschappij. Deze informatie is echter niet beschikbaar voor deze studie. Het staat daarnaast niet vast dat alle voorvallen zijn gemeld. In een aantal meldingen aan ABL is er expliciet aangegeven dat de betrokken vliegers een zonnebril op hadden zonder dat dit de effecten van de glare verminderden¹².

¹⁰ Er is sprake van onnauwkeurigheden in de meldingen, bijvoorbeeld waar het gaat om het precieze tijdstip van het voorval, de afstand tot de baan en de precieze lichtomstandigheden. Verder is de glare-intensiteit berekend met ForgeSolar op basis van een light textured panel met ARC waarvan de eigenschappen zijn gedefinieerd in het computer model en de standaard ForgeSolar instellingen voor pupildiameter, brandpuntsafstand en lichttransmissie van het oog. Er kunnen dus verschillen zijn tussen de berekende glare en de glare die daadwerkelijk is ondervonden. De verwachting is dat de berekende glare voor de verschillende meldingen nog steeds een goede indicatie vormen van de glare zoals aanwezig ten tijde van het gemelde voorvallen.

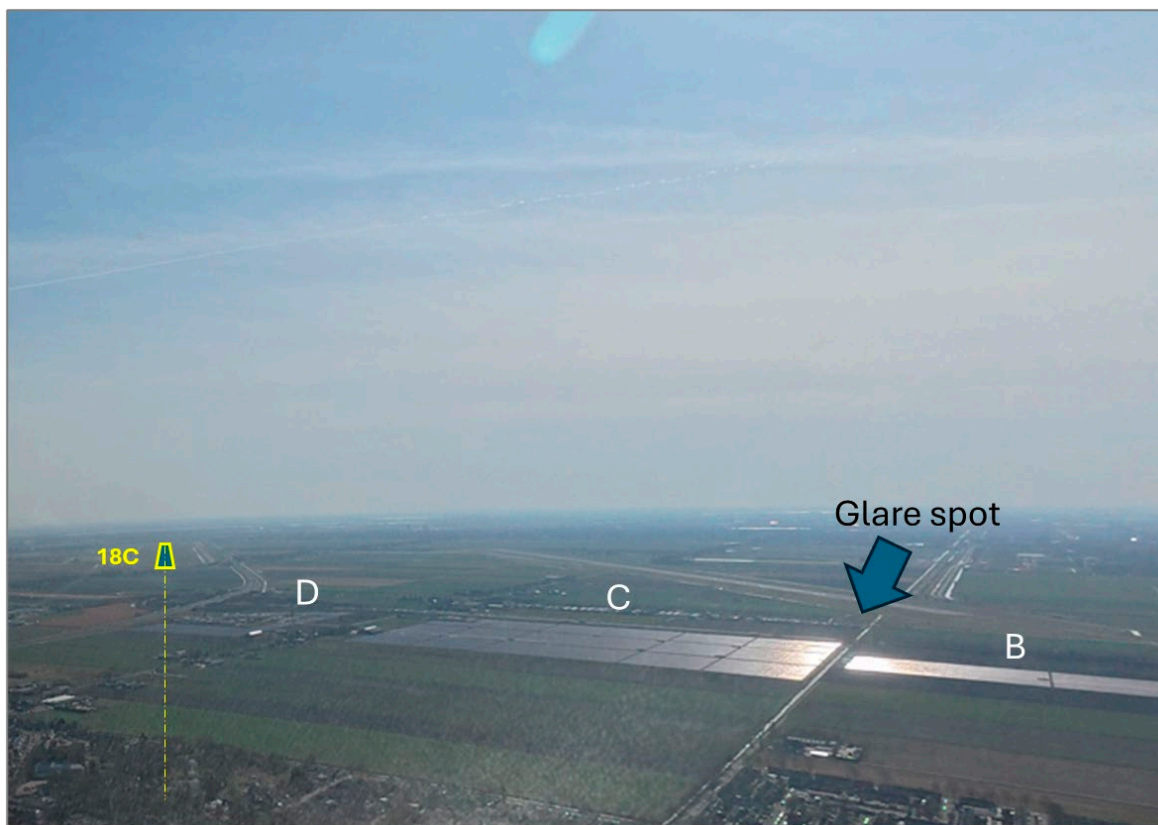
¹¹ In de FAA 2013 richtlijn wordt een afstand van 2 SM genoemd wat correspondeert met het visuele segment van de eindnadering. Echter de meldingen op Schiphol geven aanleiding om voor een groter afstand de glare te berekenen.

¹² Gepolariseerde zonnebrillen zijn ontworpen om verblinding door schitteringen te verminderen. Echter dit type zonnebril geeft voor het gebruik in een vliegtuigcockpit verschillende problemen. Zo kan de zichtbaarheid van instrumenten verminderen en kan het zicht door een cockpitraam worden belemmerend doordat strepen zichtbaar worden in de gelamineerde delen van het raam. Mede daarom wordt het gebruik van gepolariseerde zonnebrillen door vliegers sterk afgeraden door luchtvaartautoriteiten. Het is daarom zeer onwaarschijnlijk dat de betrokken vliegers gepolariseerde zonnebrillen op hadden.

Figuur 2 laat zien dat van de in deze studie beschouwde incidenten, een deel in het gele gebied ligt en een deel in het groene gebied. Een deel van de meldingen werd dus gedaan bij glare condities die volgens het FAA 2013 criterium acceptabel zouden moeten zijn. Dit geeft aanleiding om de achtergrond van de grens tussen 'acceptabel' en 'niet acceptabel' ('Green' en 'Yellow') nader te bestuderen.



Figuur 2: FAA glare hazard plot met gemelde incidenten



Figuur 3: glare spot verdeeld over twee velden gezien vanuit de cockpit (bron: NLR)

3.3 Achtergronden van het FAA 2013 criterium

Om beter te begrijpen hoe de overgang tussen maskerende verblinding ('*yellow glare*') en oncomfortabele verblinding ('*green glare*') door de FAA is bepaald, is gekeken naar de ontwikkeling van het FAA 2013 criterium. De FAA heeft voor het opstellen van het criterium de expertise en onderzoeksresultaten van Sandia National Laboratories gebruikt [Ho et. al., (2009); Ho et. al., (2011)]. Dit instituut heeft veel ervaring met onderzoek naar de gevolgen van glare. Al in 1977 onderzocht dit instituut hoe de risico's van glare gekwantificeerd konden worden [Young, (1977)]. Op basis van verschillende beschikbare resultaten van experimenten met o.a. vliegers [Metcalf, et. al, (1958); Severin et. al., (1962); Saur et. al., (1969)], zijn er door Sandia National Laboratories overgangspunten van glare-intensiteit bepaald waarbij de proefpersonen last kregen van nabeelden na blootstelling aan glare. De proefpersonen werden blootgesteld aan verschillende glare-intensiteiten¹³ door middel van gesimuleerde lichtbronnen¹⁴. De proefpersonen moesten tijdens de experimenten bijvoorbeeld vliegtuiginstrumenten aflezen of Landolt ringen (een hulpmiddel voor visus tests) waarnemen. De proefpersonen hadden geen visuele beperkingen of andere medische condities die hun visus konden beïnvloeden en varieerden in leeftijd van 19 tot 64 jaar. De glare-intensiteit waarbij een nabeeld werd ervaren, werd vastgelegd alsmede de duur van het nabeeld. Het nabeeld moest tenminste voor 1 seconde aanwezig zijn geweest in een experiment om gebruikt te worden voor het bepalen van de overgang tussen maskerende verblinding ('*yellow glare*') en oncomfortabele verblinding ('*green glare*') [Ho et. al., (2011); Ho et. al., (2018)]. Het nabeeld was overigens vaak langer dan 4 seconden aanwezig bij de proefpersonen in de experimenten. In figuur 4 zijn de verschillende testpunten weergegeven die door Sandia National Laboratories gebruikt zijn om de overgangslijn tussen '*yellow*' en

¹³ Glare van verschillende vermogens en grootte van de glare spot, voor de duur van 0.10-0.25 seconde (komt overeen met de knipper reactietijd van het menselijk oog).

¹⁴ Het gebied met '*red*' glare is niet op deze manier vastgesteld aangezien glare in dit gebied permanente oog schade kan geven.

'green' glare te bepalen¹⁵. Er is spreiding in de testdata als gevolg van variatie in de pupildiameter, variatie in brandpuntsafstand, variatie in lichttransmissie van het oog, en de variabiliteit in de respons van de proefpersonen [Ho et. al., (2011)]. Variabiliteit in de respons van de proefpersonen wordt vaker waargenomen in experimenten als deze [Severin, S. L., Newton, N. L., Culver, J. F., (1962); Miller, (1965); Reidenbach, (2009)]. De onderzoekers Severin et. al. concludeerden dat de individualiteit van de responses impliceert dat (gezonde) mensen aanzienlijk verschillen in hun vermogen om met de sensorische overbelasting (gevoeligheid voor licht) te kunnen omgaan. Dergelijke verschillen in responses zijn operationeel van belang volgens dezelfde onderzoekers. Variabiliteit in de respons veroorzaakt door leeftijdsverschillen van de proefpersonen is ook mogelijk. Experimenten hebben echter uitgewezen dat dit pas boven een leeftijd van ongeveer 70 jaar een significante rol kan gaan spelen [Vos, (2003)]. Aangezien verkeersvliegers en verkeersleiders ruim voor deze leeftijd met pensioen gaan, is dit minder relevant. Een deel van de experimenten die Sandia National Laboratories heeft gebruikt voor het bepalen van de overgang tussen 'yellow' en 'green' glare betrof het aflezen van cockpit instrumenten. Dit waren instrumenten met reflectieve eigenschappen. Hedendaagse vliegtuigen hebben nu meestal emissieve beeldschermen¹⁶. Experimenten uitgevoerd door de Universiteit van Keulen en de US Air Force Research Laboratory, hebben aangetoond dat bij dit soort beeldschermen er ook problemen kunnen zijn met aflezen door de vliegers wanneer deze verblind zijn door glare [Reidenbach, (2010); Arizpe, (2023)].

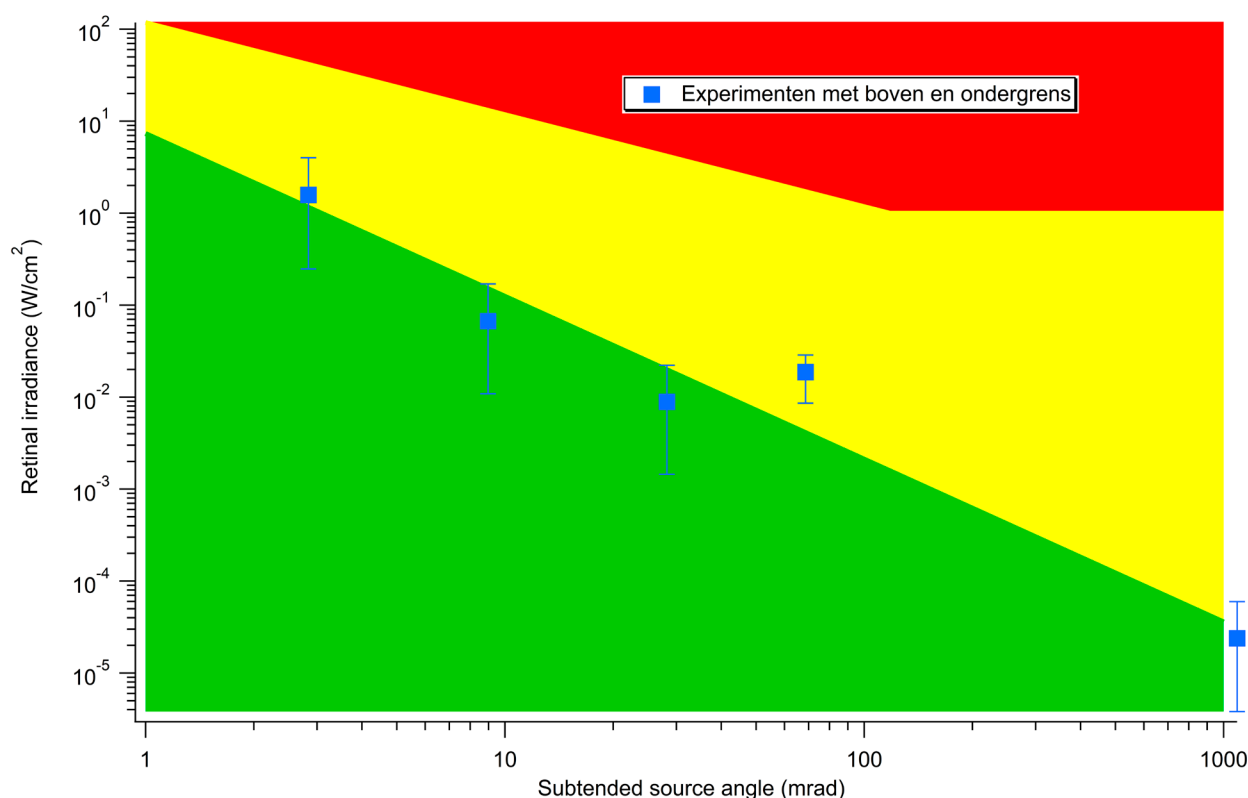
De door de FAA gebruikte overgang tussen 'yellow' en 'green' glare ligt enigszins boven de gemiddelde van drie van de vijf waarnemingen (zie Figuur 4). Dit komt waarschijnlijk door een uitschieter in de dataset die zich ver in het gele gebied bevindt¹⁷ die de data fit wat naar boven brengt.

Dit alles overziende is het aannemelijk dat verkeersvliegers en verkeersleiders, waar het gaat over de mate van variatie in pupildiameter, brandpuntsafstand en lichttransmissie van het oog, en ook ten aanzien van de variatie in het vermogen om met sensorische overbelasting om te gaan, niet in belangrijke mate verschillen van de proefpersonen in de experimenten. Om die reden zijn de bevindingen uit de eerder genoemde experimenten bruikbaar voor het begrijpen van de gevolgen van blootstelling aan glare voor het functioneren van verkeersvliegers en luchtverkeersleiders. Er wordt niet afgeweken van de benadering van de FAA om de grens tussen maskerende verblinding ('yellow glare') en oncomfortabele verblinding ('green glare') te baseren op het al dan niet ervaren van een nabeeld voor tenminste 1 seconde.

¹⁵ Per testpunt kunnen meerdere proefpersonen betrokken zijn geweest.

¹⁶ Emissieve schermen genereren zelf licht om een beeld te creëren, terwijl reflecterende schermen afhankelijk zijn van omgevingslicht om een beeld te weergeven.

¹⁷ Alle assen zijn logaritmisch. Ogenschijnlijk kleine verschillen in de grafiek kunnen in werkelijkheid veel groter zijn.



Figuur 4: testdata gebruikt door Sandia Laboratories voor het bepalen van de overgang tussen yellow en green glare in de FAA glare hazard plot

3.4 Prudentie criterium

Zoals eerder aangegeven ligt de door de FAA gebruikte overgang tussen 'yellow' en 'green' glare enigszins boven de gemiddelde waarnemingen in de testen (zie Figuur 4). Het hanteren van deze overgang als grens tussen acceptabele en niet acceptabele glare betekent in de praktijk dat een deel van de waarnemers bij blootstelling aan deze (grens)glare een nabeeld van 1 seconde of langer kan ervaren. Aangezien het ervaren van een nabeeld voor tenminste 1 seconde wordt beoordeeld als maskerende verblinding ('yellow glare'), biedt een grens op basis van het gemiddelde van de waarnemingen slechts beperkte bescherming tegen de risico's van glare. Met name bij blootstelling aan glare niveaus die dicht bij deze grens in het groene gebied vallen, kunnen vliegers dit toch als maskerende verblinding ervaren. Dat zou ook kunnen verklaren waarom een aanzienlijk deel van de meldingen is gedaan bij glare condities die volgens de FAA 2013 criterium in het groene gebied (niet ver van de grens tussen groen en geel) liggen.

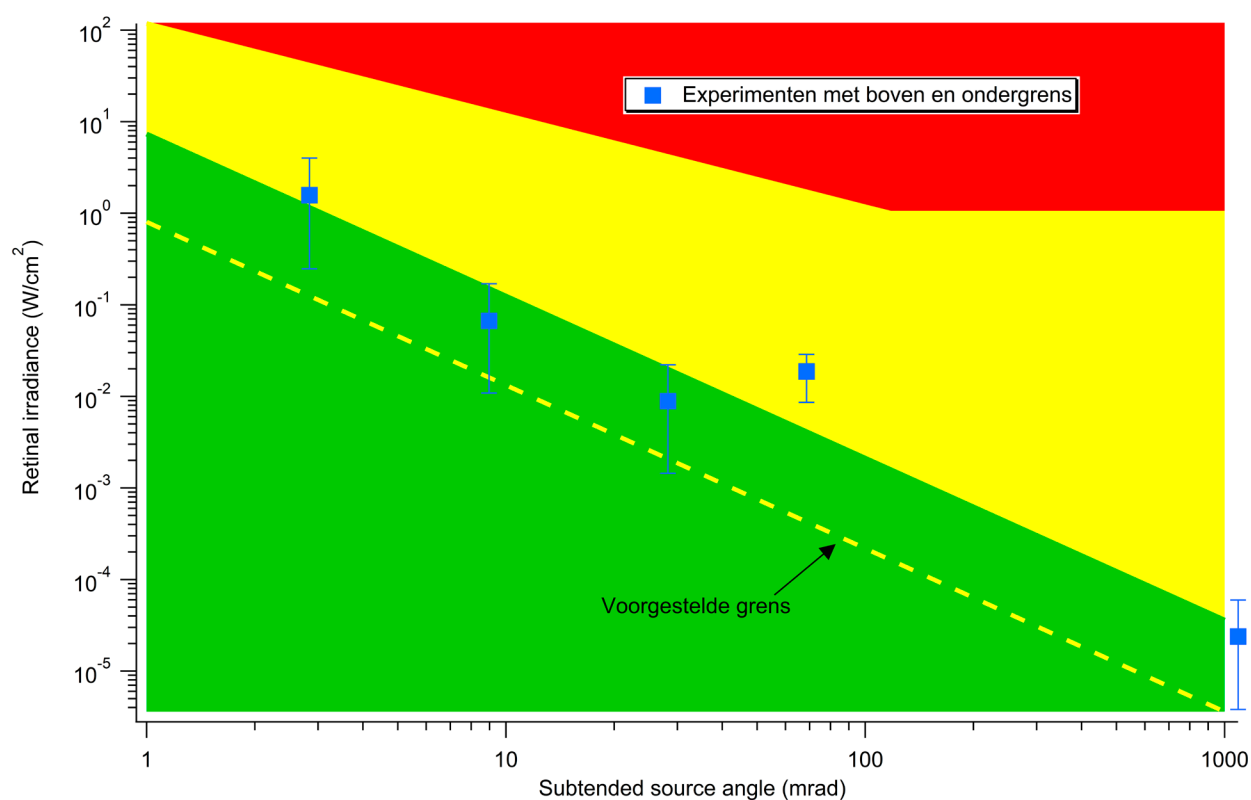
Met het oog op de vliegveiligheid, en ook naar aanleiding van de recente meldingen in de Schiphol operatie, valt te overwegen om een meer prudente keuze te maken voor de grens voor de 'yellow' / 'green' glare overgang. Door een ondergrens van de testdata te gebruiken als (aangepaste) grens voor de 'yellow' / 'green' glare overgang, wordt bereikt dat een groter deel van de glare condities wordt vermeden die een hoog potentieel voor nabebelden hebben. Figuur 5 laat deze aangepaste grens zien die gebaseerd is op een best fit van de ondergrens van de resultaten in de experimenten waarbij de uitschieter in de datapunten buiten beschouwing is gelaten bij het maken van de fit.

De prudentie grens wordt door de volgende vergelijking beschreven:

$$E_{r \text{ prudentie}} = \frac{0,804}{\omega^{1,783}}$$

Met $E_{r \text{ prudentie}}$ de 'retinal irradiance' in W/cm^2 en ω de 'subtended source angle' in mrad.

Met een aangepaste grens wordt bereikt dat de blootstelling aan glare wordt beperkt tot niveaus die voor slechts een klein deel van de waarnemers kans geeft op verblinding met een nabeeld.



Figuur 5: voorgestelde aangepaste grens tussen yellow en green glare

3.5 Validatie van het voorgestelde prudentie criterium

Een formele validatie van het voorgestelde prudentie criterium valt buiten de reikwijdte van deze studie. Wel is het mogelijk om een aantal relevante referentiegegevens naast het prudentie criterium te leggen om zo een eerste indruk te krijgen van de robuustheid van het criterium voor besluitvorming in het onderhavige geval. Daartoe zijn de onderstaande gegevens en bronnen gebruikt¹⁸.

1. Data van de voorvalmeldingen op Schiphol,
2. Een gemiddelde glare-intensiteit van een glad wateroppervlak¹⁹,
3. De glare-intensiteit zoals gebruikt tijdens simulator experimenten uitgevoerd door de FAA [Rogers et. al., (2015)],
4. Metingen van glare-intensiteit gedaan door Sandia National Laboratories na klachten van vliegers in de nabijheid van Las Vegas Airport [Ho, (2019)].

Figuur 6 toont deze data tezamen met het voorgestelde prudentie criterium.

Ad. 1. De meldingen van voorvallen door glare op Schiphol vallen vrijwel allemaal binnen het (nieuwe) voorgestelde gebied waarbij de glare-intensiteit als onacceptabel wordt beschouwd.

Ad. 2. De gemiddelde glare-intensiteit van zonlicht dat reflecteert op een glad water oppervlak ligt ook binnen het prudentie criterium dichtbij de FAA grens tussen 'green' en 'yellow' glare. Dit stemt overeen met de operationele praktijk waarin de reflectie van een glad wateroppervlak in de nabijheid van een landingsbaan verblindend kan zijn (maskerende verblinding).

Ad. 3. Tijdens de FAA experimenten werden vliegers blootgesteld aan relatief hoge glare niveaus die resulteerden in '*moderate to significant impairment of the ability to fly the aircraft*'. De betreffende glare niveaus liggen ruim boven de voorgestelde prudentie criterium en zijn dus niet acceptabel. Weliswaar is dat in overeenstemming met het voorgestelde prudentie criterium, maar de betreffende glare-intensiteit zijn in de FAA 2013 richtlijn eveneens niet toegestaan. Deze case toont zodoende niet de noodzaak van een nieuw criterium aan.

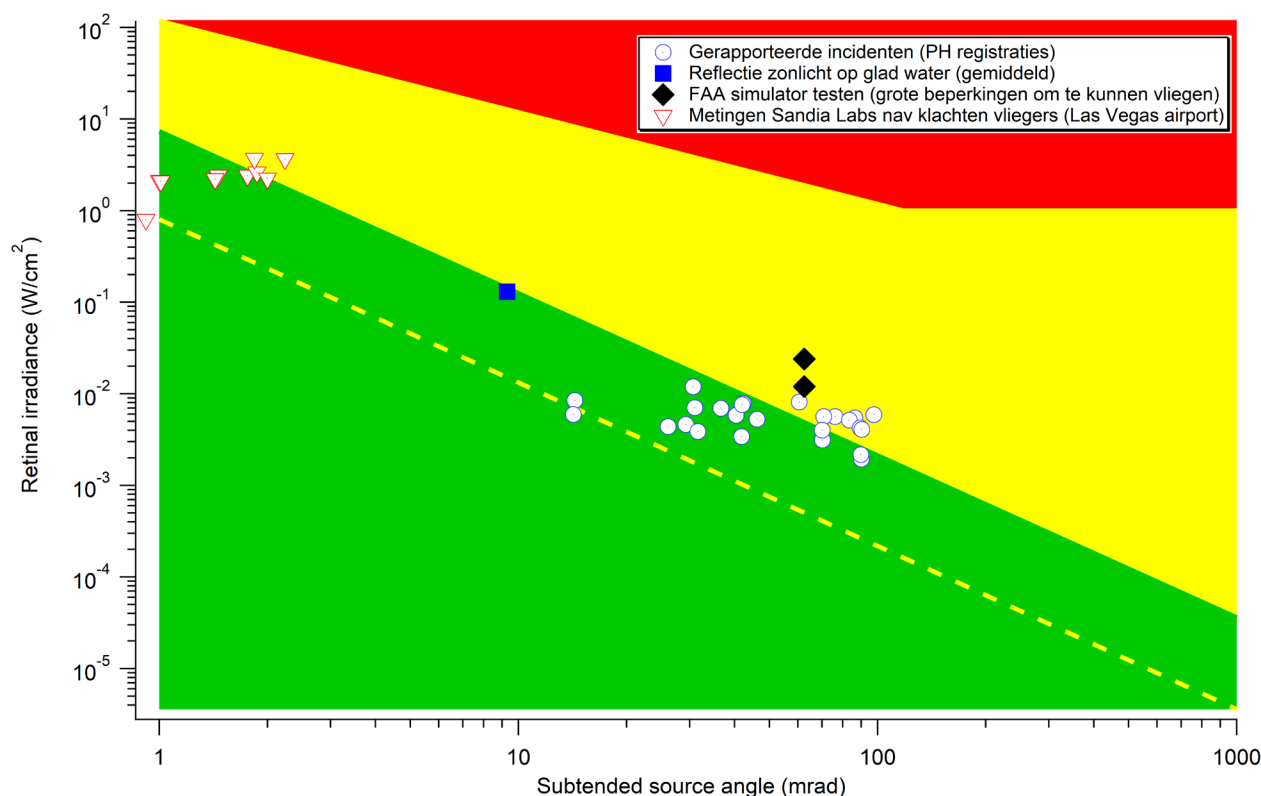
Ad 4. De metingen²⁰ verricht door Sandia National Laboratories in de directe nabijheid van een park met heliostaten (grote, gekromde spiegels), lijken het prudentie criterium eveneens te bevestigen²¹.

¹⁸ Deze gegevens zijn dus niet afkomstig van de experimenten die ten grondslag liggen aan het FAA 2013 criterium.

¹⁹ Voor de reflectie op water is er van een volledig speculair reflecterende object uitgegaan (kalm water) zodat de grootte van de reflectie gelijk is aan die van de zon zelf.

²⁰ Met camerabeelden van de zon en van het reflecteerden paneel is de glare-intensiteit bepaald [Ho, en Yellowhair, (2016)].

²¹ De metingen nabij Las Vegas airport (binnen een afstand van 5 km), zijn door Sandia National Laboratories uitgevoerd naar aanleiding van klachten van vliegers over hinderlijke glare als gevolg een groot zonnecollector park met heliostaten (grote holle spiegels) waarin de zon wordt gereflecteerd. Heliostaten hebben een veel kleinere gezichtshoek ('*subtended source angle*') en een veel hogere reflectiviteit dan zonnepanelen. Daardoor komt de glare-intensiteit van deze case op een heel andere plaats in de hazard plot dan de meeste zonnepanelen. De glare van dit geval ligt boven het voorgestelde prudentie criterium en is dus niet acceptabel (maskerende verblinding). Volgens de FAA 2013 richtlijn zouden de meeste glare niveaus van deze case wel acceptabel zijn. De bevindingen van deze case bevestigen zodoende de toegevoegde waarde van het voorgestelde nieuwe prudentie criterium. Bij een zonnepaneel dat niet volledig speculair maar enigszins diffuus reflecteert kan een zonreflectie ontstaan die een grotere visuele hoek bestrijkt dan de zon [Ho en Yellowhair, (2015)]. Deze hoek is echter kleiner als de zon reflecteert in holle spiegellende vlakken zoals het geval was nabij Las Vegas Airport.



Figuur 6: glare hazard plot met prudentie criterium vergeleken met verschillende data

3.6 Toepasbaarheid van het prudentie criterium bij grote gezichtshoeken

Bij het ontwikkelen van het prudentie criterium zijn de ondergrenzen van de datapunten van vier experimenten gebruikt. Door deze ondergrenzen is een fit gemaakt die als prudentie criterium is voorgesteld. De gezichtshoeken ('subtended source angles') van de datapunten bestrijken een ruim gebied van 2,8 tot 1105 mrad. Drie van de vier experimenten liggen relatief dicht bij elkaar wat betreft de gezichtshoek (tussen 2,8 en 28,5 mrad). Het vierde ligt relatief ver van deze groep op 1120 mrad. Dat kan invloed hebben op de nauwkeurigheid van de data fit voor gezichtshoeken in het gebied tussen 28,5 en 1120 mrad en daarboven. Daarnaast zijn de onder- en bovengrenzen van de verschillende datapunten een functie van – ondermeer - variaties in de pupildiameter van de testpersonen [Ho et. al., (2011)]. Voor de experimenten bij een gezichtshoek van 1120 mrad zijn de grenzen echter bepaald aan de hand van aangenomen pupildiameters (2-8 mm), aangezien deze niet waren opgemeten [Severin et. al., (1962)]. Gezien de condities waarbij dit experiment was uitgevoerd lijkt de ondergrens voor dit experiment te laag. Dat heeft invloed op de data fit en dus op het prudentie criterium, met name voor de hogere gezichtshoeken. Er valt niet met zekerheid vast te stellen wat een meer nauwkeurige ondergrens zou kunnen zijn geweest. De bovenstaande observaties geven aan dat het prudentie criterium zoals nu is afgeleid conservatief kan zijn bij hogere gezichtshoeken (bijvoorbeeld vanaf 500-600 mrad).

Dit betekent dat het prudentie criterium voor reflecties met een relatief grote gezichtshoeken en zeer lage stralingsvermogens op het netvlies enigszins conservatief is. Voor de meeste zonneparken speelt dit in de beoordeling geen rol omdat daar panelen in de categorie 'Light Textured' worden toegepast, waarvoor de gezichtshoeken niet of nauwelijks voorbij de 100 mrad komen en de stralingsvermogens op het netvlies boven de $1 \times 10^{-3} \text{ W/cm}^2$ liggen. Dat

zijn relatief lage waarden voor de gezichtshoeken en relatief hoge waarden voor de stralingsvermogens op het netvlies. Wanneer echter panelen worden toegepast, die minder licht reflecteren en het gereflecteerde licht ook veel meer verspreiden- bijvoorbeeld ‘*deeply textured*’ panelen, zijn de waarden voor de gezichtshoeken juist hoog en de waarden voor de stralingsvermogens op het netvlies laag. Daarmee kunnen deze reflecties in het gebied komen waar het prudentie criterium naar verwachting enigszins conservatief is. In de meeste gevallen zullen dergelijke installaties, juist vanwege de geringe reflectiviteit van, bijvoorbeeld, ‘*deeply textured*’ panelen, ruimschoots voldoen aan het prudentie criterium. In sporadische gevallen kan de glare intensiteit van deze panelen echter op - of net over de grens van het prudentie criterium komen te liggen. Omdat het prudentie criterium voor deze relatief hoge waarden van de gezichtshoeken en relatief lage waarden van de stralingsvermogens op het netvlies naar verwachting enigszins conservatief is, valt te verwachten dat deze reflecties in de praktijk niet problematisch zijn (niet-maskerend). Nader onderzoek zoals aanbevolen in sectie 3.7.1 kan helpen om het criterium voor deze uiterste waarden van de gezichtshoeken en de stralingsvermogens op het netvlies nauwkeuriger te maken.

3.7 Verder onderzoek

3.7.1 Algemeen

De reikwijdte van deze studie is beperkt en laat geen nieuw experimenteel of analytisch onderzoek toe. Daarom is voor het ontwikkelen van het voorgestelde prudentie criterium voor de zonnepanelen bij Schiphol gebruik gemaakt van bestaande bronnen en gegevens. Ook is geen nieuw uitgangspunt voor de gevaarzetting geïntroduceerd. Het voorgestelde nieuwe prudentie criterium is, net als het FAA 2013 criterium, gebaseerd op de bevindingen uit het onderzoek van Sandia National Laboratories waarin het ervaren van een nabeeld van één of meer seconden wordt beschouwd als maskerende – en daarmee gevaarzettende verblinding.

Als het criterium ook voor andere zonneparken in Nederland wordt gebruikt, of internationaal moet worden toegepast, is nader onderzoek nodig. Dit onderzoek is nodig om te bevestigen dat de veiligheidsrisico's voldoende worden beheerst. Zo ontstaat mogelijk meer ruimte voor de energietransitie. Hiervoor zouden experimenten zoals ook uitgevoerd door de FAA [Rogers et. al., (2015)] kunnen worden uitgevoerd met een grotere range van ‘*subtended source angles*’ en ‘*retinal irradiances*’ die rond de grens van het prudentie criterium liggen.

3.7.2 Effecten van langere blootstelling aan glare

Het voorgestelde prudentie criterium is gebaseerd op de bevindingen van het onderzoek dat ten grondslag ligt aan het FAA 2013 criterium. In dat onderzoek werden alleen de effecten op een waarnemer na een korte blootstelling aan glare (circa 0,15 seconden, zie voetnoot 13) beschouwd. In de operationele praktijk kunnen vliegers en verkeersleiders in de toren voor langere tijd blootgesteld worden aan glare. Voor vliegers is het niet altijd te vermijden om hun blik buiten de cockpit te hebben. Dit kan nodig zijn bij een eerste visuele scan naar buiten tijdens de nadering of in het visuele segment van de nadering. Ook in de normale zithouding in de cockpit kunnen vliegers blootgesteld worden. Langdurige blootstelling aan glare of opeenvolgende blootstellingen aan kort durende glare is daarom soms onvermijdelijk. Dit kan de impact vergroten. Het nabeeld kan bijvoorbeeld langer aanwezig zijn dan na een korte eenmalige blootstelling aan intense glare [Cushman, W. H. (1971); Saur en Dobrash, (1969); Parker, (1963); Reidenbach, (2009); Miller, (1965)].

Langdurige blootstelling aan oncomfortabele verblinding (*'green glare'*) kan resulteren in hoofdpijn en andere psychologische effecten bij de waarnemer [Ho en Yellowhair, (2015)]. Ook simulator experimenten uitgevoerd door de FAA [Rogers et. al., (2015)] laten zien dat langere blootstelling aan glare de gevolgen voor de taakuitvoering (*'impairment of the ability to fly the aircraft'*) groter maakt.

Het ontbreken van de effecten van langere blootstelling maakt het prudentie criterium mogelijk minder conservatief. Het kan betekenen dat in de praktijk ook wanneer wordt voldaan aan het voorgestelde criterium, nog wel hinderlijke glare kan worden ervaren²². Het opnemen van de effecten van langdurige blootstelling aan glare of opeenvolgende blootstellingen aan kort durende glare in een nieuw criterium vereist onderzoek dat buiten de reikwijdte van deze studie valt.

²² Dit zou ook kunnen gelden voor het FAA 2013 criterium.

4 Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

Met het oog op de recente voorvalmeldingen van glare afkomstig van een zonnepark ten zuiden van het dorp Zwanenburg-Halfweg, gemeente Haarlemmermeer, tussen de Rijkswegen A9 en A5 en ten noorden van de luchthaven Schiphol, valt te overwegen om een meer prudente keuze te maken voor de maximale toelaatbare glare-intensiteit.

Daartoe wordt een nieuw criterium, het prudentie criterium, voorgesteld. Dat criterium is gebaseerd op testdata waarop ook het FAA 2013 criterium is gebaseerd.

Met de toepassing van het voorgestelde prudentie criterium wordt bereikt dat een groter deel van de glare condities wordt vermeden waarbij sprake kan zijn van gevaarzettende (maskerende) verblinding.

4.2 Aanbevelingen voor nader onderzoek

Voor het gebruik van het prudentie criterium voor de evaluatie van andere zonneparken rondom luchthavens en voor eventuele internationale verankering wordt nader onderzoek aanbevolen naar:

- De effecten van langdurige blootstelling aan glare of opeenvolgende blootstelling aan kort durende glare in een prudentie criterium.
- De effecten van glare bij relatief hoge gezichtshoeken en lage stralingsvermogens op het netvlies in een prudentie criterium.

5 Referenties

- Aarts, M. (2012). Dictaat Licht. Instituut voor Gebouwde Omgeving, Hogeschool Utrecht.
- Arizpe, J. M. et. al. (2023). Flash Blindness Recovery for Pilots in the Modern Cockpit, Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Vol. 67(1) 902–907.
- Brumleve, T.D. (1984). 10 MWe Solar Thermal Central Receiver Pilot Plant: beam safety tests and analyses. Sandia National Laboratories, Report SAND83-8035.
- Cushman, W. H. (1970). Effect of flash field size on flashblindness in an aircraft cockpit, Aerospace Medicine, Volume 42, pp 630-634.
- Cushman, W. H. (1971). Cumulative flashblindness effects produced by multiple high intensity flashes, Aerospace Medicine, Volume 42, pp 763-767.
- DGAC (2011). Dispositions relatives aux avis de la DGAC sur les projets d’installations de panneaux photovoltaïques à proximité des aérodrômes, Direction Générale de l’Aviation Civile (DGAC-France), note d’information technique.
- FAA (2013). Interim Policy, FAA Review of Solar Energy System Projects on Federally Obligated Airports, US Federal Register, Vol. 78, No. 205.
- FAA (2021). Final Policy, Review of Solar Energy System Projects on Federally Obligated Airports, US Federal Register, Vol. 86, No. 89.
- ICAO (2003). Manual on Laser Emitters and Flight Safety, ICAO Doc 9815, 1st Edition.
- ICAO (2019). Airport Planning Manual Part 2 - Land Use and Environmental Management, ICAO doc 9184.
- ICAO (2024). Managing safety risks derived from hazardous lights in evolving airport environments. Fourteenth Air Navigation Conference, ICAO Working Paper AN-Conf/14-WP/150.
- IVW (2011). Informatiebulletin toepassing zonnecollectoren op en rond luchthavens, Inspectie Verkeer en Waterstaat, Afdeling Vergunningverlening Infrastructuur.
- Jakubiec, J.A.; Reinhart, C.F. (2014). Assessing Disability Glare Potential of Reflections from New Construction: Case Study Analysis and Recommendations for the Future, Transp. Res. Rec., 2449, 114–122.
- Kumagai, K.J; Williams, S.; Kline, D. (2005). Vision Standards for Aircrew: Visual Acuity for Pilots, Greenley and Associates Incorporated.
- Ho, C.K., Ghanbari, C.M., Diver, R.B. (2009) Hazard analyses of glint and glare from concentrating solar power plants, SolarPACES 2009, Berlin, Germany.
- Ho, C.K.; Ghanbari, R.B.; Diver, R.B. (2011). Methodology to Assess Potential Glint and Glare Hazards From Concentrating Solar Power Plants: Analytical Models and Experimental Validation, Journal of Solar Energy Engineering, Augustus, 133(3): 031021.
- Ho, C.K., Sims, C.A.; Christian, J.M. (2014). Evaluation of Glare at the Ivanpah Solar Electric Generating System, Sandia National Laboratories, Report SAND2014-15847.
- Ho, C.K.,; Yellowhair, J. (2015). Assessment of Photovoltaic Surface Texturing on Transmittance Effects and Glint/Glare Impacts, Proceedings of the ASME 2015 9th International Conference on Energy Sustainability ES201.
- Ho, C.K.,; Yellowhair, J. (2016). On-Sun Evaluation of the PHLUX Method for Heliostat Beam Characterization, Proceedings of the ASME 2016 Power and Energy Conversion Conference.
- Ho, C.K; Yellowhair, J.; Sims, C.A.; Wendelin, T. (2018). Tools to Address Glare and Avian Flux Hazards from Solar Energy Systems, Sandia National Laboratories, Report SAND2018-10983.
- Ho, C.K. (2019). Understanding and Mitigating Visual Glare Impacts and Hazards from Solar Energy Systems, Sandia National Laboratories, Report SAND2019-7258PE.
- Linden, A.C. (2005). Licht, basisbegrippen (verdieping), Kennisbank Bouwfysica.

- Metcalf, R. D., and Horn, R. E., (1958). Visual Recovery Times From High-Intensity Flashes of Light, Air Force Aerospace Medical Research Lab, Wright Air Development Center, Technical Report No. 58232.
- Miller, N.D., (1965). Visual Recovery from Brief Exposures to High Luminance, J. Opt. Soc. Amer. 55, 1661.
- Nakagawara, V.B., Wood, K.J., Montgomery, R.W. (2003). Natural sunlight and its association to civil aviation accidents, Federal Aviation Administration, Civil Aerospace Medical Institute, Report DOT/FAA/AM-03/6.
- Parker, J.F. (1963). Visual impairment from exposure to high intensity light sources. BioTechnology, Inc. Report No. 63-2.
- Reidenbach, H.D. (2009). Comparison of afterimage formation and temporary visual acuity disturbance after exposure with relatively low irradiance levels of laser and led light, ILSC 2009: Proceedings of the International Laser Safety Conference.
- Reidenbach, H.D. (2010). Description of various test scenarios for temporary blinding of pilots by means of bright optical radiation during darkness, Enabling Photonics Technologies for Defense, Security, and Aerospace Applications VII, edited by Michael J. Hayduk, Peter J. Delfyett, Jr., Proc. of SPIE Vol. 8054, 80540T.
- Rogers, Jason A.; Ho, Clifford K; Mead, Andrew; Millan, Angel; Beben, Melissa S; Drechsler, Gena. (2015) Evaluation of Glare as a Hazard for General Aviation Pilots on Final Approach. Federal Aviation Administration, Office of Aviation. Civil Aerospace Medical Institute, Report DOT/FAA/AM-15/12.
- Saur, R. L., and Dobrash, S. M. (1969). Duration of Afterimage Disability After Viewing Simulated Sun Reflections, Appl. Opt., 8(9), pp. 1799–1801.
- Severin, S. L., Newton, N. L., and Culver, J. F. (1962). An Experimental Approach to Flash Blindness, Aerospace Medicine, 33(10), pp. 1199–1205.
- Sliney, D.H. en Freasier, B.C. (1973). Evaluation of Optical Radiation Hazards. Applied Optics, 12(1), p. 1-24.
- Sreenath, S.; Sudhakar, K. Yusop, A.F. (2021). Solar PV in the airport environment: A review of glare assessment approaches & metrics, Solar Energy, Volume 216, pp 439-451.
- TNO. (2016). Lichthinder zonreflectie voor weggebruikers – ontwikkeling beoordelingsmethode op basis van disability glare. TNO rapport R10690.
- Vos, J.J. (2003). Reflections on glare. Lighting Research and Technology 35(2):163-176.
- Young, L.L. (1977). Solar Energy Research at Sandia Laboratories and Its Effects on Health and Safety. Sandia National Laboratories , report SAND77-1412.



Accelerating
the future
of aerospace

Koninklijke NLR - Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum

Het onderzoekscentrum Koninklijke NLR werkt op objectieve en onafhankelijke wijze met zijn partners aan een betere wereld van morgen. NLR biedt daarbij innovatieve oplossingen en technische expertise en zorgt voor een sterke concurrentiepositie van het bedrijfsleven.

NLR is ruim 100 jaar een ambitieuze toegepast onderzoeksorganisatie, gedreven om te blijven vernieuwen ten behoeve van een duurzame, veilige, efficiënte en effectieve lucht- en ruimtevaart. Op objectieve en onafhankelijke wijze leggen we nu het fundament voor een toekomstgericht betekenisvolle, maatschappelijke impact.

In een snel veranderende wereld zijn de behoeftes op het gebied van mobiliteit en stabiliteit continu in beweging. Bewust van de maatschappelijke urgentie, zorgt NLR ervoor dat kansrijke concepten snel het daglicht zien en transformeren in disruptieve oplossingen dan wel incrementele verbeteringen. Dat kunnen we door de combinatie van diepgaand inzicht in de klantbehoefte, multidisciplinaire expertise en de inzet van onze toonaangevende onderzoeksfaciliteiten. Daarbij vormt NLR in binnen- en buitenland de spilfunctie tussen wetenschap, bedrijfsleven en overheid, en overbruggen we de kloof tussen fundamenteel onderzoek en toepassingen in de praktijk.

NLR neemt het voortouw om Nederlandse en Europese doelstellingen te realiseren. Met onze partners werken we daarbij hard aan een veerkrachtig en duurzaam mobiliteitssysteem, en ondersteunen we de Nederlandse Defensie op alle militaire domeinen waarbij ruimtevaart en cyberspace een alsmaar prominentere rol vervullen. Vanuit de hoofdvestigingen in Amsterdam en Marknesse en onze twee satellietvestigingen draagt NLR zo bij aan een veilige en duurzamere maatschappij, waarbij we de concurrentiepositie van het Nederlandse bedrijfsleven verstevigen.

Voor meer informatie bezoek: www.nlr.nl

Postal address

PO Box 90502
1006 BM Amsterdam, The Netherlands
✉ info@nlr.nl 🌐 www.nlr.org

Royal NLR

Anthony Fokkerweg 2
1059 CM Amsterdam, The Netherlands
☎ +31 88 511 3113

Voorsterweg 31
8316 PR Marknesse, The Netherlands
☎ +31 88 511 4444