

Kampweg 5
3769 DE Soesterberg
Postbus 23
3769 ZG Soesterberg

www.tno.nl

T +31 88 866 15 00
F +31 34 635 39 77

TNO-rapport

TNO 2016 R10690

Lichthinder zonreflectie voor weggebruikers – ontwikkeling beoordelingsmethode op basis van disability glare

Datum	26 september 2016
Auteur(s)	ing. J.W.A.M. Alferdinck dr. M. de Goede dr. ir. R.A. van Buuren
Exemplaarnummer	
Oplage	
Aantal pagina's	69 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat, Grote Projecten en Onderhoud (GPO) G. Uittenbogerd
Projectnaam	RWS Lichthinder zonreflectie
Projectnummer	060.16274

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2016 TNO

Samenvatting

Vraagstelling

Weggebruikers kunnen worden gehinderd door zonreflecties in objecten die langs de weg zijn gebouwd. Voor het beoordelen van deze lichthindersituaties wordt op dit moment een door TNO ontwikkelde beoordelingsmethode toegepast op basis van oncomfortabele verblinding (*discomfort glare*) (TNOdiscom). Dit rapport beschrijft de ontwikkeling van een alternatieve beoordelingsmethode op basis van maskerende verblinding (*disability glare*) die tevens rekening houdt met contextfactoren zoals wegsituatie en tijd van de dag (TNOdisab). Disability glare is gebaseerd op fysiologische verblinding (strooilicht in het oog) en is daardoor direct gekoppeld aan het wel of niet kunnen waarnemen van objecten op de weg. De verwachting is dat hiermee een beoordelingsmethode ontstaat die directer gekoppeld is aan het feitelijke presteren van weggebruikers.

Werkwijze

Voor het ontwikkelen van TNOdisab is eerst een geschikt model gekozen voor disability glare. Daarna is een analyse uitgevoerd van het visueel waarnemen van de objecten op de weg die kritisch zijn voor de rijtaak en in hoeverre deze worden beïnvloed door de disability glare. Tenslotte wordt een afweging gemaakt van de hoeveelheid disability glare die is toegestaan om de rijtaak veilig te kunnen uitvoeren waarbij de context van de situatie in beschouwing wordt genomen. Op basis hiervan is een afkeurcriterium gekozen.

TNOdisab is vergeleken met TNOdiscom en met het Amerikaanse model SGHAT voor een drietal verblindingsituaties langs de weg (geluidscherm, zonnepark, gebouw boven de weg).

Met de TNOdisab methode is de duur van de ontoelaatbare zonlichtreflecties berekend voor een paar generieke lichthindersituaties van een geluidscherm en een zonnepark voor verschillende rijrichtingen en standen van het geluidscherm en de zonnepanelen.

Tenslotte is de invloed van de directe zon vergeleken met die van de gereflecteerde zon, voor een geluidscherm en een zonnepark, bij toepassing van de TNOdisab methode.

Resultaten

TNOdisab is gebaseerd op het bepalen van de zichtbaarheid van de wegbelijning op de stopafstand. Met standaard modellen voor daglicht en disability glare wordt bepaald of de wegbelijning zichtbaar is in de te beoordelen lichthinder situatie. Als de wegbelijning niet zichtbaar is dan is de lichthinder niet toelaatbaar als de weggebruiker zich bevindt in de buurt voor een bocht of convergentie- of divergentiepunt. Op een rechte weg mag de periode van de onzichtbaarheid van de wegbelijning, afhankelijk van de maximum toegestane snelheid, niet langer duren dan 1,3 s tot 1,8 s.

De TNOdisab beoordelingsmethode is minder streng dan TNOdiscom. Gemiddeld over de drie lichthindersituaties is de duur van de ontoelaatbare lichthinder 64% van de duur die met TNOdiscom wordt berekend. De beoordelingsmethode volgens het SGHAT-model is juist gemiddeld twee keer zo streng als het TNOdiscom model.

De berekeningen van de generieke lichthindersituaties resulteerden in een set tabellen met de duur van ontoelaatbare lichthinder (uur/jaar) per object, voor alle combinaties van rijrichting, locatie en elevatie. Hierbij is rekening gehouden met een kans van 1/3 op een onbewolkte hemel.

De duur van de ontoelaatbare lichthinder is ongeveer 1,4 maal zo groot als in situaties van zonreflectie zowel de directe als de geflecteerde zon in rekening wordt gebracht.

Conclusie

De nieuwe beoordelingsmethode op basis van disability glare (TNOdisab) is een geschikte methode voor het bepalen van de lichthinder voor weggebruikers door zonreflecties in objecten langs de weg.

Summary

Purpose

Road users may be hindered by sun reflections in man built objects along the road. To assess these glare situations currently an TNO developed assessment method is used which is based on discomfort glare (TNOdiscom). This report describes the development of an alternative assessment method based on disability glare, which also takes into account contextual factors such as road situation and time of day (TNOdisab). Disability glare is based on physiological glare (scattered light in the eye) and is therefore directly linked to the visibility of objects on the road.

Method

To develop TNOdisab first a suitable disability glare model was chosen. After that, an analysis was made of the visibility of the objects on the road that are critical for the driving task and to what extent they are affected by disability glare. Finally, the amount of disability glare was determined which is allowed in order to safely perform the driving task in which the context of the situation is taken into consideration. On this basis, a rejection criterion is selected.

Finally, it is examined how much disability glare is allowed in order to perform the driving task safely. The context of the situation is also taken into account. On this basis, a rejection criterion was chosen.

TNOdisab was compared with TNOdiscom and the American model SGHAT for three glare situations on the road (sound barrier, solar park, building over the road).

Using the TNOdisab method the duration of unacceptable light reflections was calculated for a few generic glare situations of a sound barrier and a solar park for different traffic directions and tilt angles of the sound barrier and solar panels.

Finally, the influence of the direct sun was compared with that of the reflected sun, for a sound screen and a solar farm, using the TNOdisab method

Results

TNOdisab is based on the determination of the visibility of the road markings on the stopping distance. With standard models for daylight and glare disability the visibility of the road marking is determined in the glare situation to be assessed. When the road marking is not visible than the glare is not permissible when the road user is close to a curve in the road or a convergence or divergence point. On a straight road the period of invisibility of the road marking of 1.3 s to 1.8 s is allowed, depending on the maximum allowable speed.

The TNOdisab assessment method is less strict than TNOdiscom. Averaged over the three glare situations, the duration of unacceptable sunlight reflections determined by TNOdisab was 64% of the length determined by TNOdiscom. The assessment method SGHAT is on average twice as strict as TNOdiscom.

The calculations of the generic glare situations resulted in a set of tables showing the duration of unacceptable sun light reflection (hours /year), for sound barrier and

a solar park, for all combinations of driving direction, location (left, right), and tilt angles, taking into account a cloudless sky probability of 1/3.

The duration of unacceptable sunlight reflections is a factor 1.4 greater when, in glare situations, both the direct and the reflected sunlight are taken into account.

Conclusion

The new assessment method based on disability glare (TNOdisab) is a suitable method for determining the glare for road users by sun reflections in objects along the road.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
Summary	4
Lijst van begrippen	7
1 Inleiding	8
2 Ontwikkelen beoordelingsmethode op basis van disability glare	9
2.1 Algemeen.....	9
2.2 Verblinding.....	9
2.3 Objecten	10
2.4 Berekening zichtbaarheid wegbelijning	15
2.5 Bewolking	19
2.6 Beoordelingsmethode.....	19
2.7 Duur en locatie van toegestane verblinding afhankelijk van contextuele factoren..	20
3 Vergelijking beoordelingsmethoden	24
3.1 Inleiding	24
3.2 Methoden.....	24
3.3 Berekeningen.....	27
4 Generieke situaties	36
4.1 Uitgangspunten.....	36
4.2 Resultaten.....	37
5 Invloed directe zon	56
5.1 Uitgangspunten.....	56
5.2 Resultaten.....	56
5.3 Discussie	59
5.4 Conclusie	60
6 Conclusies	61
6.1 Ontwikkeling beoordelingsmethode op basis van disability glare	61
6.2 Vergelijking beoordelingsmethoden	61
6.3 Generieke situaties	62
6.4 Invloed directe zon.....	62
7 Referenties	63
8 Bijlagen	66
8.1 ZOAB-tabel	66
8.2 Berekeningen en figuren bij 2.4.7	67

Lijst van begrippen

<i>Grootheid / afkorting</i>	<i>Beschrijving</i>
Luminantiecoëfficiënt (q)	De luminantiecoëfficiënt ($\text{cd}/\text{m}^2/\text{lx}$) is gedefinieerd als de luminantie (cd/m^2) van een object gezien vanuit een bepaalde richting gedeeld door de verlichtingssterkte (lx) op het vlak van het object.
Luminantiefactor (β)	De luminantiefactor (dimensieloos) is de verhouding tussen luminantie van een object gezien vanuit een bepaalde richting gedeeld door de luminantie van een ideale witte diffuse reflector. Voor een diffuse reflector geldt dat de luminantiefactor gelijk is aan de luminantiecoëfficiënt maal π (3,1419...)
Disability glare	Maskerende verblinding.
Discomfort glare	Oncomfortabele verblinding.
Sluierluminantie (L_s)	De mate van maskerende verblinding wordt uitgedrukt in de hoeveelheid sluierluminantie (cd/m^2) die de lichtbron in het oog veroorzaakt.

1 Inleiding

Bij Rijkswaterstaat (RWS) komen van tijd tot tijd klachten binnen van weggebruikers en/of omwonenden over hinderlijke zonreflectie in geluidschermen. Dit gebeurt meestal in de periode vlak nadat de geluidschermen zijn geïnstalleerd. Op veel locaties langs autosnelwegen staan zonnepanelen gepland. RWS vraagt zich af of deze geplande zonnepanelen ook hinderlijke zonreflectie kunnen veroorzaken.

TNO heeft een methode ontwikkeld voor het beoordelen van de lichthindersituaties door zonreflectie (Alferdinck & Toet, 2006; Alferdinck et al., 2008; Alferdinck & Martens, 2009) die is toegepast op verschillende locaties (Alferdinck, 2008, 2010; Alferdinck & Kooi, 2013a, 2013b; Alferdinck & Hogervorst, 2014; Alferdinck, 2015). Op basis van waarnemingsexperimenten is een model opgesteld waarmee de oncomfortabele verblinding (*discomfort glare*) voor weggebruikers kan worden berekend uit verschillende parameters van de lichthinderlocatie. Er is door TNO een maximumgrens opgesteld voor de discomfort glare die niet langer dan 1,5 s mag worden overschreden (Alferdinck & Martens, 2009). Dit afkeurcriterium wordt echter door RWS als een te strikte tweedeling ervaren.

RWS is op zoek naar een verbeterde methode, waarbij de uitkomst een waarde geeft op een continue schaal en waarbij rekening wordt gehouden met de context (soort weg, verkeersdruk, enz.), de tijd van de dag en het aantal uren per jaar dat de verblinding optreedt. Daarnaast heeft RWS de voorkeur voor een methode die gebaseerd is op maskerende verblinding (*disability glare*) in plaats van discomfort glare. Disability glare is gebaseerd op fysiologische verblinding (strooilicht in het oog) en is daardoor direct gekoppeld aan het wel of niet kunnen waarnemen van objecten, en zal naar verwachting een meer directe relatie hebben met de kans op incidenten. De discomfort glare zal meer gerelateerd zijn aan klachten van weggebruikers en omwonenden over de lichtreflecties.

Hoofdstuk 2 van dit rapport beschrijft de ontwikkeling van een nieuwe beoordelingsmethode voor lichthinder door zonreflectie die gebaseerd is op disability glare en die tevens rekening houdt met contextfactoren zoals wegsituatie en tijd van de dag.

In hoofdstuk 3 wordt de nieuwe methode op basis van disability glare (TNOdisab) vergeleken met andere beoordelingsmethoden, namelijk de TNO-methode op basis van discomfort glare (TNOdiscom) en de Amerikaanse methode SGHAT (Solar Glare Hazard Analysis Tool).

In hoofdstuk 4 is voor een aantal generieke situaties uitgerekend wat de kans is dat lichthinder kan optreden volgens TNOdisab.

In hoofdstuk 5 is de invloed van de directe zon berekend. Bij veel situaties is naast de zonreflectie ook de zon zelf in beeld. Deze draagt ook bij aan de lichthinder. Voor de TNOdisab methode zal dit in kaart worden gebracht. Hierdoor wordt de bijdrage van de lichthinder door zonreflectie in perspectief gezet ten opzichte van de normale situatie van directe zon zonder zonreflectie.

2 Ontwikkelen beoordelingsmethode op basis van disability glare

2.1 Algemeen

Het doel van deze studie is het ontwikkelen van een beoordelingsmethode voor lichthinder door zonreflectie die gebaseerd is op disability glare. Hierbij wordt een afkeurcriterium gehanteerd dat gebaseerd is op het visueel waarnemen van objecten die kritisch zijn voor de rijtaak. De methode houdt daarnaast rekening met de context (wegsituatie, tijd van dag, enz.).

Eerst zal er een geschikt model worden gekozen voor disability glare. Daarna wordt een analyse uitgevoerd van de visueel kritische objecten en in hoeverre deze worden beïnvloed door de disability glare. Tenslotte wordt een afweging gemaakt van de hoeveelheid disability glare die is toegestaan om de rijtaak veilig te kunnen uitvoeren waarbij de context van de situatie in beschouwing wordt genomen.

2.2 Verblinding

2.2.1 Oncomfortabele verblinding ('discomfort glare')

Discomfort glare wordt als vervelend en oncomfortabel ervaren door de waarnemer waarbij deze vaak de neiging heeft om zich af te wenden van de verblindingsbron. Discomfort glare wordt gemeten door de waarnemer te vragen beoordeling te geven op een schaal, bijvoorbeeld de 9-punts schaal van De Boer (1967). Deze verblindingsmaat is gebruikt voor het TNO model voor het beoordelen van de lichthindersituaties door zonreflectie (Alferdinck & Martens, 2009).

2.2.2 Maskerende verblinding ('disability glare')

Als er zich felle lichtbronnen in de buurt van de kijkrichting van de waarnemer bevinden dan kunnen deze zoveel strooilicht in het oog veroorzaken dat objecten niet meer kunnen worden waargenomen. Dan is er sprake van zogenaamde maskerende verblinding ('disability glare'). Het strooilicht in het oog wordt veroorzaakt door lichtverstrooiing in de oogmedia en manifesteert zich als een lichtsluier die het contrast van het hele blikveld verlaagt. Hierdoor krijgen de objecten in het gezichtsveld een lager visueel contrast en zijn dan minder goed of helemaal niet meer zichtbaar. Als dit soort verblinding optreedt bij weggebruikers dan is er een risico dat de rijtaak niet meer veilig kan worden uitgevoerd.

Er bestaat een internationaal geaccepteerd model voor het berekenen van maskerende verblinding van een lichtbron (CIE, 2002). De mate van maskerende verblinding wordt hierbij uitgedrukt in de hoeveelheid sluieluminantie die de lichtbron in het oog veroorzaakt. Deze sluieluminantie is afhankelijk van de verlichtingssterkte van de lichtbron, de hoek tussen de blikrichting en de lichtbron en de eigenschappen van de waarnemer. De formule voor dit model is:

$$L_s = E_v \left\{ \frac{10}{\theta^3} + \left[\frac{5}{\theta^2} + \frac{0,2p}{\theta} \right] \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{62,5} \right)^4 \right] + 0,0025p \right\} \quad (1)$$

Hierin is:

L_s = de sluierluminantie in cd/m^2 ,

E_v = de verlichtingssterkte op het oog van de waarnemer ten gevolge van de lichtbron, in lx,

θ = de hoek tussen het centrum van de lichtbron en de kijkrichting, in graden,

A = de leeftijd van de waarnemer, in jaren,

p = pigmentatiefactor, waarbij p is 0 voor zwarte ogen, 0,5 voor bruine ogen, 1 voor lichte ogen en 1,2 voor zeer lichtblauwe ogen.

Het visuele contrast van een object wordt gedefinieerd volgens de formule:

$$C = \frac{L_o - L_b}{L_b} \quad (2)$$

Hierin is:

L_o = de luminantie van het waar te nemen object in cd/m^2 ,

L_b = de luminantie van de achtergrond van het object in cd/m^2 ,

De sluierluminantie (L_s) zal het visuele contrast C van een object met de achtergrond verlagen volgens de formule:

$$C' = \frac{L_o - L_b}{L_b + L_s} \quad (3)$$

Als het contrast lager is dan een bepaalde waarde dan zal het object niet meer zichtbaar zijn. Dit contrast wordt het drempelcontrast (C_{drempel}) genoemd. De contrastdrempel is afhankelijk van de achtergrondluminantie en de grootte van het waar te nemen object. In het laboratorium ligt het drempelcontrast voor ronde objecten met een diameter van 1 en 10 boogminuten op respectievelijk 0,4 en 0,02 bij een achtergrondluminantie van 1000 cd/m^2 en hoger (Adrian, 1989). In de praktijk (in de verkeersomgeving) liggen de contrastdrempels in de regel hoger omdat de waarnemingsomstandigheden moeilijker zijn; dit leidt dan tot het toepassen van een veiligheidsfactor of veldfactor. De contrastdrempel wordt dan vermenigvuldigd met een zogenaamde veldfactor die kan oplopen tot 10 (Adrian, 1989).

2.3 Objecten

2.3.1 Algemeen

Om te bepalen welke mate van disability glare niet meer aanvaardbaar is voor een weggebruiker moet nagegaan worden welke objecten overdag goed moeten worden waargenomen om veilig te rijden, de zogenaamde visueel kritische objecten. Bij het selecteren deze visueel kritische objecten voor de beoordelingsmethode is het van belang dat de fysische eigenschappen van deze (theoretische) objecten zoveel mogelijk overeenkomen met de praktijk en goed aansluiten bij bestaande normen en gepubliceerde meetgegevens. Objecten die belangrijk zouden kunnen zijn voor veilig rijden zijn: wegbelijning, berm, weg, ander verkeer. Deze zullen achtereenvolgens aan de orde komen en worden beoordeeld op bruikbaarheid voor de beoordelingsmethode.

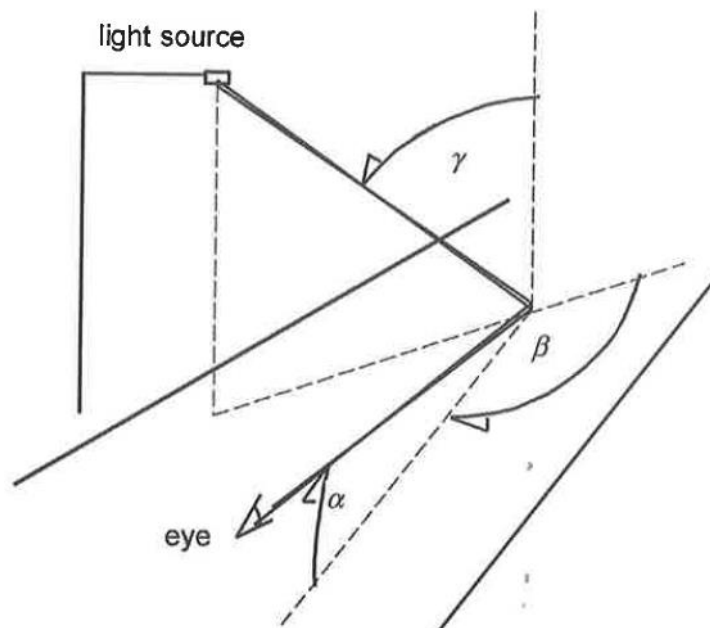
2.3.2 Wegbelijning en wegdek

Om wegbelijning goed te kunnen waarnemen is het van belang dat het contrast van de belijning ten opzichte van het wegdek voldoende hoog en ruim boven de

drempelwaarde is. Het contrast wordt bepaald door de luminantie van het wegdek en de luminantie van de belijning (zie formule (3)). De luminantie van het wegdek en de wegbelijning en hangt af van hun reflectie eigenschappen en de verlichtingsomstandigheden. In de huidige studie over zonlichtreflectie gaat het alleen om luminantie en contrast in daglichtomstandigheden. De luminantie en het contrast van de belijning is afhankelijk van de richting waarin het (zon)licht invalt op het wegdek en op de wegbelijning. De zichtbaarheid van de wegbelijning hangt ook af van de breedte van de belijning en de afstand tot de belijning.

2.3.2.1 Wegdekreflectie

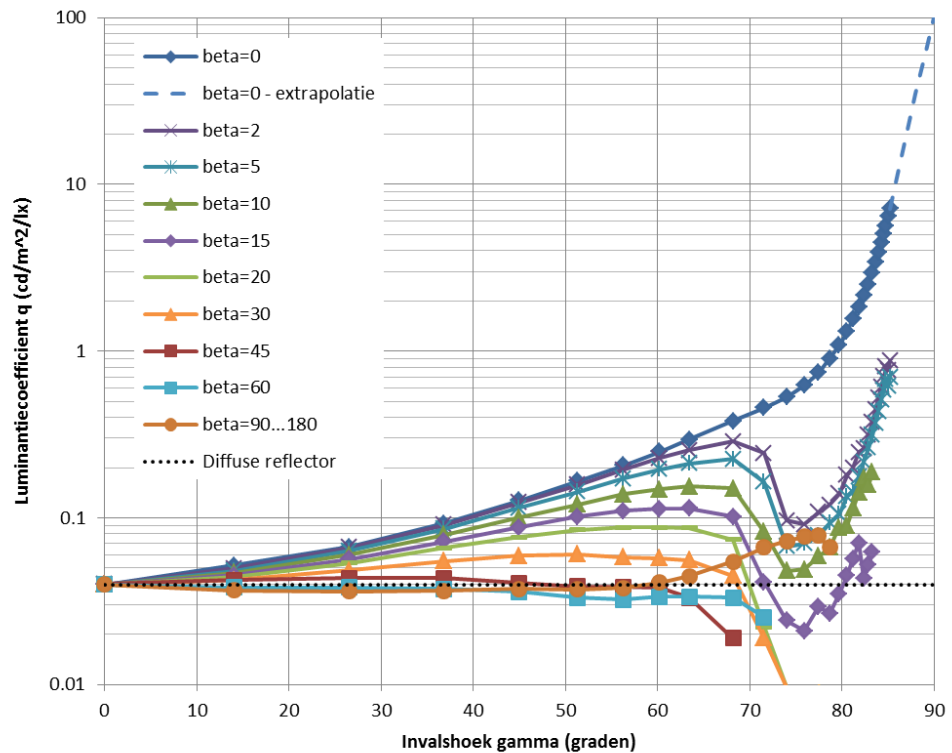
Het wegdek heeft complexe reflectie eigenschappen. Het is een combinatie van diffuse en spiegelende (speculaire) reflectie. De reflectie eigenschappen van asfalt zijn redelijk goed in kaart gebracht omdat deze gebruikt worden bij het ontwerpen van openbare verlichting. Door de CIE (2001) wordt een aantal standaard reflectietabellen gedefinieerd voor verschillende soorten droge en natte wegdekken. Voor een aantal standaard hoeken, die worden weergegeven in Figuur 1, worden de reflectiewaarden in termen van de luminantiecoëfficiënt aanbevolen die kunnen worden gebruikt voor zichtbaarheidsmodellen bij nacht (straatverlichting) en bij daglicht.



Figuur 1 Hoeken voor het beschrijven van de geometrie van verlichting en waarneming van wegdekken t.b.v. het karakteriseren van openbare verlichting (CIE, 2001). α = observatiehoek, β = azimut, γ = invalshoek.

De luminantiecoëfficiënt (q in $\text{cd}/\text{m}^2/\text{lx}$) is gedefinieerd als de luminantie van het wegdek gezien vanuit een bepaalde richting gedeeld door de verlichtingssterkte op het vlak van het wegdek (zie Lijst van begrippen). Alle gegevens gelden voor een observatiehoek van 1 graad. Er worden geen reflectiewaarden gegeven voor invalshoeken groter dan 85 graden ($\tan(\gamma)=12$). Dat betekent dat voor grotere invalshoeken een schatting (extrapolatie) van de reflectie eigenschappen gemaakt moet worden om bruikbaar te zijn voor de huidige studie. Daarnaast worden er ook reflectiewaarden gegeven voor diffuse reflectie.

Voor ZOAB (Zeer Open Asfalt Beton) dat in Nederland veel wordt toegepast zijn reflectiemetingen uitgevoerd door De Kruijter (2006). Deze meetresultaten (r-tabel) zijn opgenomen in de bijlage (paragraaf 8.1). Het gaat hierbij om ZOAB in droge conditie. In Figuur 2 is een deel van het resultaat van deze metingen weergegeven in termen van de luminantiecoëfficiënt als functie van de invalshoek (γ) en de azimut (β). De gemiddelde luminantiecoëfficiënt (Q_d) voor diffuse verlichting wordt geschat op 0,044.



Figuur 2 Luminantiecoëfficiënt q van ZOAB als functie van de invalshoek (γ) en de azimut (β) gebaseerd op metingen van De Kruijter (2006). De blauwe stippellijn geeft de mogelijke extrapolatie aan voor invalshoek groter dan 85 graden. De zwarte stippellijn geeft de luminantiecoëfficiënt aan van een diffuus niet-spiegelend wegdek.

Uit de resultaten in Figuur 2 blijkt dat in een tegenlichtsituatie (als de azimut β gelijk is aan nul) de luminantiecoëfficiënt gemakkelijk een factor honderd kan oplopen als de invalshoek groot wordt en het licht dus invalt met een kleine hoek met het wegdek. Voor invalshoeken boven 85 graden zijn geen metingen verricht maar de verwachting is dat de luminantiecoëfficiënt voor invalshoeken boven 85 graden nog verder zal oplopen. Dit wordt aangegeven door de stippellijn in de grafiek die een mogelijke extrapolatie geeft van de luminantiecoëfficiënt bij grotere invalshoeken. Als het licht dwars op de kijkrichting valt ($\beta = 90$ graden) of met de kijkrichting mee schijnt ($\beta = 180$ graden) dan loopt de wegdekreflectie niet op bij grotere invalshoeken en zijn de reflectie eigenschappen van het wegdek te vergelijken met die van de diffuse reflector.

2.3.2.2 Reflectie wegbelijning

Voor de reflectie-eigenschappen van wegbelijning in de daglichtsituatie zijn gegevens te ontlenen aan normen en praktijkmetingen. In de normen voor wegmarkeringen worden eisen gesteld aan de retroreflecterende eigenschappen

die met name voor de nachtsituatie van belang zijn en aan de reflectie bij diffuse belichting die voornamelijk voor de dagsituatie bruikbaar is. Deze worden gegeven een Europese norm die ook als Nederlandse norm is aanvaard onder het nummer NEN-EN 1436+A1 (CEN, 2008). Er worden minimum eisen gesteld aan de reflectie bij diffuse verlichting, afhankelijk van de klasse en het soort wegdek. Deze eisen zijn van belang voor de lichtreflectie overdag. Voor toepassing van witte wegmarkering op droog asfalt worden vier klassen voor luminantiecoëfficiënt (Q0, Q2, Q3, Q4) en vijf klassen voor luminantiefactor (B0, B2, B3, B4, B5) onderscheiden. De luminantiefactor (β) is een andere manier om de reflectie van een object te beschrijven en is gedefinieerd als de verhouding tussen de luminantie van het wegdek gezien vanuit een bepaalde richting gedeeld door de luminantie van een ideale witte diffuse reflector (zie ook Lijst van begrippen). Voor een diffuse reflector geldt dat de luminantiefactor (β) gelijk is aan de diffuse luminantiecoëfficiënt (q_d) maal π ($\beta = q_d \cdot \pi$).

Rijkswaterstaat hanteert de volgende eisen in daglichtconditie voor witte markering op autosnelwegen in droge condities overdag (RWS, 2016a):

- Luminantiefactor klasse B3, $\beta \geq 0,40$
- Luminantiefactor klasse B5, $\beta \geq 0,60$ voor voorgevormde markering
- Luminantiecoëfficiënt klasse Q3, $q_d \geq 0,13 \text{ cd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$ voor Type II markering (markering met speciale eigenschappen om in natte condities beter te presteren in nachtcondities)

De derde eis komt vrijwel overeen met de eerste eis omdat het volgens de formule ($\beta = q_d \cdot \pi$) een luminantiefactor oplevert van 0,41.

In een TNO-onderzoek naar dynamische verlichting zijn metingen gedaan aan de reflecterende eigenschappen van thermoplast wegmarkering (Alferdinck et al., 1996). De luminantiecoëfficiënt van deze markering in droge en natte toestand is respectievelijk 0,17 en 0,14 $\text{cd}/\text{m}^2/\text{lx}$. De gemeten waarden kloppen dus goed met die van de eisen die gesteld worden aan droge wegbelijning: ze liggen iets hoger dan de minimum eis.

De luminantiecoëfficiënt voor daglicht situaties is gedefinieerd bij diffuse verlichting en geldt dus niet bij verlichtingssituaties waarbij het invallend licht een kleine hoek maakt met het oppervlak (grote invalshoek γ). De verwachting is dat wegmarkering in die situatie, net als asfalt, een speculaire component heeft en dus meer licht zal reflecteren. Hiervan zijn echter geen kwantitatieve gegevens bekend in de literatuur. Hierdoor is het niet mogelijk om het contrast van de wegbelijning te berekenen in de tegenlicht conditie waarbij rekening wordt gehouden met de spiegelende reflectie.

Omdat er geen gegevens beschikbaar zijn over de speculaire reflectie van wegbelijning overdag ligt het voor de hand om de wegbelijning te beschouwen als een diffuse reflector waarvan de luminantiecoëfficiënt overeenkomt met de minimum eisen van Rijkswaterstaat voor witte wegbelijning in droge condities overdag, namelijk een luminantiefactor van 0,40.

Als de luminantiecoëfficiënt van zowel wegbelijning als wegdek bekend zijn dan kunnen de luminanties, en dus ook het contrast, berekend worden.

2.3.2.3 *Zichtbaarheid wegbelijning en rijgedrag*

In een simulatoronderzoek is gemeten hoe goed proefpersonen het voertuig binnen de lijnen kunnen houden (McKnight et al., 1998). Hierbij werd gevarieerd met de breedte van de wegbelijning en het contrast van de belijning met het wegdek. Het bleek dat de rijprestatie pas bij een contrast lager dan 0,02 voor betonnen wegdek en lager dan 0,04 voor een asfalt wegdek verslechterde. Dat zijn dus contrasten van 0,02 en 0,04 volgens de contrast definitie van formule (2).

In een TNO-onderzoek waarbij de rijprestaties zijn gemeten onder invloed van verblinding bleek dat de rijprestaties (beoordeeld met de standaarddeviatie van de dwarspositie op de weg) afnamen als het contrast van de wegbelijning lager werd dan 0,05 (Alferdinck et al, 2008).

2.3.3 *Berm, weg*

Het wegverloop is, behalve door de belijning, ook zichtbaar doordat het wegdek visueel contrast heeft met de naastliggende berm. Dit kan de weggebruiker helpen het voertuig veilig op het verharde deel van de weg te houden. De berm is echter niet altijd hetzelfde en kan bestaan uit gras, zand of ander materiaal waarvan de reflectie niet altijd constant is en voldoende contrast heeft met het wegdek. Mede doordat geen juiste reflectiegegevens voorhanden zijn van de bermmaterialen is het verharde deel van de weg zelf geen geschikt object voor de beoordelingsmethode voor lichthinder.

2.3.4 *Ander verkeer*

Om veilig te kunnen rijden moet de weggebruiker ook de andere weggebruikers voldoende goed kunnen zien. Op de autosnelweg is het belangrijk dat de voorliggers op voldoende grote afstand kunnen worden waargenomen. De voorliggers worden zichtbaar door het contrast van de voertuigen met de directe omgeving. Dit is afhankelijk van de kleur van het voertuig, het wegdek en de achterliggende omgeving. De voertuigen worden ook zichtbaar door de schaduw onder het voertuig en de remlichten als deze gebruikt worden. Het contrast van het voertuig hangt sterk af van de richting waarin het voertuig belicht wordt. In een mee-licht situatie kan het voertuig lichter of donkerder zijn dan zijn directe omgeving. In een tegenlicht situatie zal het voertuig zich donker aftekenen tegen een lichtere achtergrond van het wegdek.

Als het voldoende druk is op de weg dan zullen de voorliggende voertuigen helpen om het wegverloop aan te geven voor de weggebruiker. Als er file is en er voldoende langzaam gereden wordt dan zullen eventuele zonlichtreflecties minder erg zijn voor het wegverkeer. De situatie kan wel ernstig zijn als de weggebruiker met grote snelheid op een stilstaande file inrijdt. In dat geval is het wel belangrijk dat de stilstaande auto op tijd wordt waargenomen. De lichtreflecties mogen geen dusdanige disability glare veroorzaken dat deze het stilstaande voertuig onzichtbaar maken. Omdat een personenauto (en zeker een vrachtauto) als veel groter wordt waargenomen (visuele hoek) dan wegbelijning op dezelfde afstand, zal deze zeker zichtbaar zijn op het moment de wegbelijning kan worden waargenomen.

2.3.5 *Keuze object*

Uit de voorgaande analyse blijkt dat de wegbelijning de meest geschikte kandidaat is als waar te nemen object in de beoordelingsmethode. De weg, berm en het andere verkeer zijn minder geschikte objecten voor de beoordelingsmethode omdat

de reflectie-eigenschappen en de afmetingen niet goed bekend zijn of te veel uiteenlopen. Als de wegbelijning op een bepaalde afstand zichtbaar is dan zullen andere weggebruikers zeker zichtbaar zijn. Hierdoor is de wegbelijning dus het meest kritische object.

De maten en reflectie-eigenschappen van de wegbelijning en het wegdek zijn redelijk goed gedocumenteerd en worden gebruikt in normen voor openbare verlichting en wegbelijning. Alleen bij tegenlichtsituaties waarbij de spiegelende reflectie een overheersende rol gaat spelen zijn er geen reflectie-eigenschappen bekend van met name de wegbelijning. Omdat deze tegenlichtsituaties (waarbij het gereflecteerde licht binnen een paar graden met de rijrichting naar de weggebruikers schijnt) redelijk zeldzaam zijn, kunnen we volstaan met een vereenvoudiging van het model. We gaan bij de berekening van de zichtbaarheid voorlopig uit van diffuus reflecterende wegdekken en wegbelijning zonder spiegelende reflecties.

2.4 Berekening zichtbaarheid wegbelijning

2.4.1 Zichtbaarheidsafstand en stopafstand

Op basis van de verschillende eigenschappen van de wegbelijning, het wegdek en de verlichtingsomstandigheden is het mogelijk om de afstand te berekenen waarop wegbelijning nog net zichtbaar is voor de weggebruiker. Dit noemen we de zichtbaarheidsafstand. Soortgelijke berekeningen zijn eerder uitgevoerd door Blaauw & Padmos (1981). Als de zichtbaarheidsafstand groter is dan de afstand die de weggebruiker nodig heeft om op een veilige manier tot stilstand te komen, de stopafstand, dan is de wegbelijning voldoende zichtbaar. Het is ook mogelijk eerst de stopafstand te bepalen en daarna met een waarnemingsmodel uit te rekenen of de wegbelijning op die afstand zichtbaar is. Deze laatste methode is gebruikt voor deze beoordelingsmethode.

Bij de berekening van de zichtbaarheid van de belijning stellen we een minimum aan de afstand waarop de wegbelijning zichtbaar moet zijn, namelijk de stopafstand. De stopafstand, die onder andere is gebruikt bij het ontwerpen van tunnelverlichting (NSVV, 2003), is als volgt te berekenen:

$$S = t_r \cdot v + \frac{v^2}{2a} \quad (4)$$

Hierin is:

S = stopafstand (m)

t_r = reactietijd (s)

v = rijnsnelheid (m/s)

a = remvertraging (m/s^2)

Door de NSVV (2003) wordt een reactietijd van 1,5 s en een gemiddelde remvertraging van $3,5 m/s^2$ gebruikt. In Tabel 1 is de stopafstand bij deze parameters berekend voor een aantal standaard (maximum) rijnsnelheden.

Tabel 1 Stopafstand afhankelijk van de maximum rijsnelheid. Hieruit is afgeleid de *waargenomen* breedte van de wegbelijning op de stopafstand en het bijbehorende drempelcontrast voor verschillende breedtes van de wegbelijning (b). Het drempelcontrast is berekend voor een achtergrondluminantie van 1000 cd/m² volgens het model van Adrian (1989)

Maximum snelheid (km/h)	Stop-afstand (m)	Waargenomen breedte wegbelijning (boogminuten)			Drempelcontrast		
		b = 0,10 m	b = 0,15 m	b = 0,20 m	b = 0,10 m	b = 0,15 m	b = 0,20 m
50	48	7,1	10,7	14,2	0,023	0,016	0,013
80	104	3,3	5,0	6,6	0,059	0,035	0,025
100	152	2,3	3,4	4,5	0,102	0,057	0,039
120	209	1,6	2,5	3,3	0,168	0,089	0,059
130	240	1,4	2,1	2,9	0,212	0,110	0,072

Als de breedte van de wegbelijning bekend is, dan is voor elke stopafstand de waargenomen breedte van de wegbelijning te berekenen in termen van visuele hoek in boogminuten. Dit is in Tabel 1 weergegeven voor lijnbreedten van 0,1, 0,15 en 0,2 m. Met deze grootte als input voor het waarnemingsmodel van Adrian (1989) is het drempelcontrast berekend bij daglicht (1000 cd/m²) en in Tabel 1 weergegeven. Met dit contrast is de belijning net zichtbaar op de desbetreffende stopafstand.

2.4.2 Veldfactor

Het drempelcontrast wordt vermenigvuldigd met de veldfactor om de praktijkdrempel te krijgen. Volgens Adrian (1989) kan de veldfactor variëren van 2,5 tot 10, afhankelijk van de waarnemingsomstandigheden (zie ook 2.2.2). Daarnaast wordt de grootte van de veldfactor bepaald door de veiligheidsfactor die bijvoorbeeld de beheerder van de weg wil inbouwen. De strengheid van de beoordelingsmethode kan worden ingesteld met behulp van deze veldfactor. In paragraaf 2.4.6.3 zal een waarde voor deze veldfactor worden gekozen.

2.4.3 Voorruit

In de praktijk zal de voorruit van de auto van de weggebruiker ook invloed hebben op het waarnemen van de wegbelijning. Door de beperkte transmissie (van ca. 70%) zullen alle luminanties in de scene lager worden. Naar verwachting zal dit een verwaarloosbare invloed hebben op de contrastdrempel.

Daarnaast zal door vuil en krasjes lichtverstrooiing optreden in de voorruit. Dit heeft hetzelfde effect als het strooilicht in het oog. Er zal een sluiertiluminantie over de hele scene komen die de contrasten vermindert. Volgens Padmos & Alferdinck (1983) is deze sluiertiluminantie qua grootte vergelijkbaar de sluiertiluminantie door het strooilicht in het oog zelf.

Vooralsnog zullen we in de huidige beoordelingsmethode hiermee *geen* rekening houden, om het model niet nodeloos complex te maken. Ook in het huidige TNO beoordelingsmodel op basis van discomfort glare wordt hier geen rekening gehouden (Alferdinck & Martens, 2009).

Tenslotte zijn er nog de zichtbeperkingen door de afmetingen van de voorruit zelf. Bij een onderzoek naar lichthinder van zonlicht bij de uitgang van een tunnel is

rekening gehouden met een vrij zicht van 16 graden omhoog als er geen zonneklep gebruikt wordt (Alferdinck et al., 2015). Met een zonneklep is dat 5 graden. Het vrije zicht ten opzichte van de blikrichting is 27 graden naar links, 53 graden naar rechts en 13 graden naar beneden. In het onderzoek van Toet & Alferdinck (1992) wordt rekening gehouden met een zichtbeperking van 20 graden aan de bovenkant waarbij is uitgegaan van de aanbevelingen van de CIE (1976).

Voor het beoordelingsmodel gaan we uit van een voorruit met begrenzingen van 16 graden omhoog, 27 graden naar links, 53 graden naar rechts en 13 graden naar beneden (Alferdinck, 2015).

2.4.4 Meteorologisch zicht

Door de beperkte transmissie van de atmosfeer en door lichtverstrooiing in de atmosfeer wordt de waarneming belemmerd. Deze effecten worden groter naarmate de afstand tussen de waarnemer en het object groter is. Er bestaan betrouwbare modellen om de invloed van het meteorologisch zicht te berekenen. De invloed van het meteorologisch zicht is niet in rekening gebracht bij deze beoordelingsmethode omdat in zonnige omstandigheden de atmosfeer geen grote rol speelt. Als het toch gebruikt gaat worden dan zal een keuze gemaakt moeten worden voor een normatief (gemiddeld) meteorologisch zicht.

2.4.5 Berekening stap voor stap

De berekening van de zichtbaarheid van de wegbelijning gaat als volgt:

- Er moet een keuze worden gemaakt van het soort wegdek. We gaan in deze studie uit van ZOAB met een diffuse luminantiecoëfficiënt van 0,044, wat overeenkomt met een luminantiefactor van 0,15 (de Kruijter, 2006).
- De wegbelijning is wit en heeft een breedte van 0,15 m. Voor gebruik op asfalt is een lijn nodig met een luminantiefactor van 0,4 (CEN, 2008).
- Uit de stand van zon wordt de verlichtingssterkte op het wegdek berekend met standaard modellen (IESNA, 2000) waarbij wordt uitgegaan van een wolkenloze hemel.
- Uit de reflectie-eigenschappen van de wegbelijning en het wegdek en de verlichtingssterkte op de weg wordt de luminantie van het wegdek en de wegbelijning berekend.
- Uit de locatie en de eigenschappen van het reflecterend object (bijv. een geluidscherm of zonnepaneel) wordt de richting van de zonreflectie en de verlichtingssterkte op het oog t.g.v. de zonreflectie berekend.
- De zichtbeperkingen van de voorruit worden in rekening gebracht. Als de reflecterende lichtbron buiten de afmetingen van de voorruit valt dan is er geen lichthinder.
- Uit de hoek tussen de kijkrichting en de richting van de reflectiebron wordt de sluierluminantie (L_s) berekend met formule (1) waarbij ook de leeftijd van de waarnemer en de pigmentatiefactor van de ogen moet worden gegeven. We gaan hierbij uit van een waarnemer met leeftijd van 60 jaar en lichte ogen ($p=1$).
- Het waargenomen contrast van de wegbelijning wordt berekend met formule (3).
- Uit de gegeven maximum snelheid op de weg is de stopafstand te berekenen met formule (4). Vervolgens kan het drempelcontrast van de wegbelijning worden bepaald op de stopafstand. Voor een aantal snelheden staan deze opgesomd in Tabel 1.

- De praktijkdrempel wordt berekend door het drempelcontrast te vermenigvuldigen met de veldfactor.
- Als het waargenomen contrast van de wegbelijning lager is dan de praktijkdrempel dan is de wegbelijning niet zichtbaar.

2.4.6 Criterium voor afkeuren

2.4.6.1 Criterium Toet & Alferdinck (1992)

Bij het eerste onderzoek naar de lichthinder van de geluidschermen op de A10 zijn berekeningen uitgevoerd op basis van disability glare. Als grenswaarde voor de verblinding is toen een sluiertiluminantie aangehouden van maximaal 16% van de luminantie van de hemel net boven de horizon (horizonluminantie). Dit criterium is afgeleid van de normen voor autokoplampen en komt redelijk overeen met de grenswaarden die bij openbare verlichting worden gebruikt en is ook voorgesteld in een latere studie (Alferdinck & Toet, 2006).

2.4.6.2 Criterium Australië

De Sydney City Council stelt voor om een criterium te hanteren waarbij de sluiertiluminantie veroorzaakt door lichtreflectie in gebouwen nooit hoger mag zijn dan 500 cd/m^2 (Rofail et al., 2004). In tegenstelling tot het criterium van Toet & Alferdinck (1992) is dit een absoluut criterium dat geldt voor alle niveaus van het omgevingslicht.

2.4.6.3 Keuze criterium

Het afkeurcriterium van de beoordelingsmethode is als volgt: het contrast van de wegbelijning op de stopafstand mag niet minder zijn dan de contrastdrempel in Tabel 1 maal een veldfactor van 3. Bij de keuze van de veldfactor zijn we uitgegaan van een gemiddelde grootte die gebaseerd is op een eis dat de wegbelijning wel goed zichtbaar moet zijn en dat de locatie van de wegbelijning wel redelijk voorspelbaar is.

2.4.7 Vergelijking criterium Toet & Alferdinck (1992) met zichtbaarheid belijning

Met behulp van het model voor disability glare van formule (1) is een berekening gemaakt van de zichtbaarheid van de wegbelijning bij verschillende zonnestanden en is deze vergeleken met het 16%-criterium van Toet & Alferdinck (1992). Voor deze berekeningen is uitgegaan van een weggebruiker op een rechte weg en waarbij de zon recht vóór staat op verschillende hoogten boven de horizon (elevatie). De verlichtingssterkte van de zon op het oog van de waarnemer en de horizon van de hemel zijn berekend met behulp van standaard modellen (IESNA, 2000). Voor het gemak zijn de berekeningen uitgevoerd zonder reflectie in een object. In situaties waarbij de zon reflecteert in een bouwwerk zal vrijwel dezelfde hoeveelheid verblinding optreden vanuit dezelfde richting, alleen zal de echte verblindingbron dan op een andere plek in het gezichtsveld staan.

We vermelden hier alleen de uitkomsten van de vergelijking; de beredenering met de onderliggende waarden en grafieken zijn opgenomen in Bijlage 8.2.

De zonelevaties waarbij de verblindingssituaties worden afgekeurd zijn voor alle vier condities samengevat in Tabel 2.

Tabel 2 Zonelevaties (in graden) waarbij de verblindingsituatie wordt afgekeurd volgens de huidige methode (veldfactor=3) en volgens het afkeurcriterium van Toet & Alferdinck (1992). Tussen haakjes staat de range (verschil max en min).

Leeftijd (jaar)	Rijsnelheid (km/h)	Huidige methode	Criterium Toet en Alferdinck (1992)	
			Zon tegen	Zon mee of dwars
20	80	-	-	2 – 30 (28)
80	80	2,6 - 8,8 (6,2)	2,5 – 30 (27,5)	1,5 – 50 (48,5)
20	130	2,3 – 9,5 (7,2)	-	2 – 30 (28)
80	130	1,8 – 16,3 (14,5)	2,5 – 30 *(27,5)	1,5 – 50 (48,5)

Uit de resultaten in Tabel 2 blijkt dat de huidige beoordelingsmethode minder streng is dan de methode met het afkeurcriterium van omdat de range van zonelevaties een stuk kleiner is dan bij Toet & Alferdinck (1992).

In de situaties met de zon dwars of achter worden er meer situaties afgekeurd dan bij zon tegen. Dat komt omdat in dat geval de horizonluminantie lager is dan bij de zon tegen en de methode van Toet & Alferdinck (1992) rekening houdt met niveau van de horizonluminantie.

2.5 Bewolking

Om de duur van de lichthinder gedurende een jaar (in uren/jaar) zo realistisch mogelijk te kunnen bepalen is rekening gehouden met de kans op bewolking. In Nederland is de kans gemiddeld 33% dat de zon overdag schijnt en niet wordt geblokkeerd door bewolking (Alferdinck & Martens, 2009). Deze kans is afhankelijk van de tijd van het jaar, tijd van de dag en de locatie in het land. In de winter is de kans op zon overdag lager dan in de zomer. Aan de kust is de kans op zon iets groter dan in het binnenland. Midden op de dag is de kans het grootst en een paar uur na zonsopkomst en een paar uur voor zonsondergang is de kans kleiner.

Voor het huidige onderzoek hebben we de kans op een onbewolkte hemel van 33% in rekening gebracht door per locatie de totale duur van de zonreflecties per jaar te delen door drie.

2.6 Beoordelingsmethode

Met de beoordelingsmethode voor lichthinder door zonreflectie op basis van disability glare kan worden uitgerekend of er ontoelaatbare zonreflecties voor weggebruikers kunnen optreden door een reflecterend object dat zich in de buurt van de weg bevindt. De beoordelingsmethode heeft de volgende in- en outputparameters:

Input:

- Gegevens reflecterend object (afmetingen, reflectie-eigenschappen, oriëntatie t.o.v. noorden, ligging t.o.v. weg)
- Gegevens weg (locatie, oriëntatie, rijrichting, ligging t.o.v. reflecterend object, soort wegdek, lijnbreedte). Standaard: ZOAB-wegdek in droge conditie met een luminantiefactor van 0,14 en een wegbelijning met een luminantiefactor van 0,40 en een breedte van 0,15 m.

- Gegevens autovoorrui (zichtbeperkingen). Standaard: boven 16 graden, links 27 graden, rechts 53 graden, beneden 13 graden.
- Rijsnelheid weggebruiker (maximum snelheid op weggedeelte).
- Gegevens weggebruiker (leeftijd, oogkleur). Standaard: 60 jaar en oogkleur: licht (pigmentatiefactor = 1).
- Drempelcontrast. Afhankelijk van maximum snelheid en lijnbreedte. Zie Tabel 1.
- Veldfactor. Deze is gelijk aan 3.

Afkeurcriterium:

- Als het contrast van de wegbelijning lager is dan het drempelcontrast maal de veldfactor op de stopafstand.

Output:

- Duur van het optreden van ontoelaatbare zonreflecties bij een passage van het reflecterend object (seconden).
- Tijd van de dag en dag van het jaar dat deze ontoelaatbare zonreflecties optreden.
- Totale duur van het van het optreden van ontoelaatbare zonreflecties gedurende een jaar (uren/jaar) waarbij rekening is gehouden met een kans op een onbewolkte hemel van 1/3.

2.7 Duur en locatie van toegestane verblinding afhankelijk van contextuele factoren

2.7.1 Toelaatbaarheid disability glare

Disability glare kan er voor zorgen dat de weggebruiker elementen (als uitgangspunt is de wegbelijning genomen) in het wegbeeld en andere weggebruikers onvoldoende waarneemt om de rijtaak veilig te kunnen uitvoeren. Als disability glare optreedt is het dus zaak te bepalen onder welke omstandigheden dit gebeurt en of onder de gegeven omstandigheden de weggebruiker ondanks de verblinding nog voldoende veilig zijn rijtaak kan uitvoeren. Wanneer de tijd van verblinding kort genoeg is en men zich op een locatie bevindt die niet complex is loopt de verkeersveiligheid geen gevaar. Wanneer deze echter te lang duurt en de weggebruiker snel moet anticiperen op de omgeving en het andere verkeer kunnen er wel gevaarlijke situaties ontstaan. Het is dus de vraag hoeveel tijd (over welke afstand) en op welke locaties een weggebruiker even niets of weinig mag zien zonder dat de verkeersveiligheid daarbij in het gedrang komt.

2.7.2 Snelheid en rijstrookbreedte

Beschikbaar onderzoek waarop we ons kunnen baseren gaat uit van omstandigheden waarin de weggebruiker helemaal geen zicht op de weg heeft. Deze onderzoeken zijn er vooral op gericht om te bepalen hoe lang en in hoeverre weggebruikers mogen interacteren met een *in-car* systeem, of mogen worden afgeleid door objecten in de omgeving, waarbij de ogen niet op de weg gericht zijn. Op basis van onderzoeken en richtlijnen voor HMI (Human Machine Interface) design wordt vaak geconcludeerd dat de maximale tijd zonder zicht op de weg in ieder geval niet meer dan 2 s mag zijn. Een gedeelte van de studies laat echter ook zien dat in de praktijk deze tijd korter is. In een grootschalige studie waarin een jaar

lang 100 auto's zijn gevolgd en rijgedrag en ongevallen is vastgelegd (Klauer et al., 2006), is gebleken dat daadwerkelijke ongevallen plaatsvonden wanneer men de ogen 1,8 seconden of langer niet op de weg had gericht. Bij bijna-aanrijdingen was dit 1,3 seconden. In een onderzoek van De Vos et al. (1999) en Godthelp et al. (1984) is gekeken hoe lang de geaccepteerde oclusietijd (de tijd dat bestuurders het zicht werd ontnomen door een geblindeerde bril) van automobilisten is. Dit bleek afhankelijk te zijn van de snelheid en de rijstrookbreedte. De gemiddelde geaccepteerde tijd zonder zicht op de weg bij 120 km/h was 1,4 s (wat overeenkomt met een afgelegde weg van 47 m), op een 80 km/h weg gemiddeld 1,8 s (40 m). Op rijstroken van autosnelwegen met een rijstrookbreedte van 3,25 m accepteerde men gemiddeld een oclusietijd van 1,8 s. Op rijstroken van 2,5 m breed nam dit af naar 1,4 s. De tijd dat (de afstand waarover) disability glare mag optreden hangt dus af van de snelheid (we gaan hierbij uit van de maximum toegestane snelheid) en de breedte van de rijstroken. Op basis van het onderzoek van Godthelp et al. (1984) hanteren we een maximale toegestane tijd van 1,3 s (47 m) bij een 130 km/h weg.

Dus bij 80, 100, 120, 130 km/h is de toegestane tijd respectievelijk 1,8 s, 1,6 s, 1,4 s en 1,3 s. Hierbij is de tijd bij 100 km/h geïnterpoleerd.

2.7.3 *Convergentie- en divergentiepunten*

Knooppunten, weefvakken, in- en uitvoeringen en routekeuzepunten zijn complexe locaties voor de weggebruiker. Op deze punten komen de drie hiërarchische niveaus (operationeel, tactisch, strategisch) van de verkeerstaak vaak samen. Weggebruikers moeten een routekeuze maken, omgaan met ander verkeer (voorliggers, afslaand of invoegend verkeer), de juiste manoeuvre kiezen en de snelheid en rijstrook kiezen die daarbij hoort. Doordat al deze taken hier vaak samen komen is het passeren of naderen van een knooppunt één van de meest complexe onderdelen van de rijtaak op autosnelwegen. Deze locaties vergen veel (visuele) aandacht. Elke verstoring in de visuele waarneming is daar onwenselijk. Niet alleen nabij keuzepunten is het verkeer complex, ook op enige afstand hiervan. Er is sprake van een zogenaamde 'turbulentieafstand' rondom dergelijke keuzepunten. Hierbij kan het rijgedrag en de verkeersafwikkeling worden beïnvloed als gevolg van convergentie- en divergentiepunten. Turbulentie wil zeggen dat het verkeer hier afwijkt wat betreft volgtijden tussen voertuigen en de verdeling van het verkeer over de stroken. Bijbehorende rijgedragkenmerken zijn bijvoorbeeld remacties, uitwijkmanoeuvres of (anticiperende) strookwisselingen (RWS, 2007). Verstoring in de visuele waarneming is daarom onwenselijk om en nabij alle discontinuïteiten (in- en uitvoeringen, weefvakken, samenvoelingen en splitsingen).

Turbulentie-afstanden kunnen oplopen tot boven de kilometer (750 m voor de uitvoering, de afstand van de uitvoering zelf en dan nog 150 m na de uitvoering; RWS, 2007). Om te bepalen op welke afstand van een dergelijke locatie er geen verblinding mag plaatsvinden, wordt hier echter het 'anticipatiezicht' gehanteerd. Dit is de afstand die een weggebruiker prettig vindt om vooruit te kunnen kijken, om te kunnen anticiperen op het wegverloop en het overige verkeer. We gaan hierbij uit van een anticipatiezicht van 6 à 8 seconden (CROW, 2002, p. 55). Op deze afstand vóór en ná van een convergentie- en of divergentiepunt mag er geen verblinding plaatsvinden. Dit betekent bijvoorbeeld dat bij een snelheidslimiet van 100 km/h er

op een afstand van ongeveer 200 m van een dergelijke locatie en op de locatie zelf geen verblinding van de weggebruiker mag optreden.

2.7.4 Verkeersintensiteit

Naast wegkenmerken wordt de tijd dat het veilig is om weinig of niets te zien, ook bepaald door het overige verkeer. De afstand tot voorliggers in combinatie met de snelheid bepaalt de gemiddelde reactietijd (en afstand) indien men moet anticiperen op een voorligger. Hoe drukker het verkeer, hoe kleiner de gemiddelde afstand is waarop weggebruikers zich van elkaar bevinden, en hoe sneller er moet worden gereageerd bij plotselinge remacties of uitwijkacties. Afhankelijk van de snelheid, wordt de toegestane lengte van verblinding bepaald door de verkeersintensiteit, die kan verschillen per weg en ook per moment van de dag. Bij een bepaalde toegestane verblindingsduur (op basis van de wegkenmerken en de toegestane snelheid), dient de gemiddelde volgtijd uiteraard langer te zijn dan de tijd dat men verblind is. Als de weggebruiker na de verblinding weer zicht heeft op de weg, moet hij tijdig kunnen anticiperen op een voorligger. Hierbij is een veilige volgtijd als uitgangspunt genomen. De volgtijd is gedefinieerd als de afstand tot de voorligger gedeeld door de snelheid van de weggebruiker. Op autosnelwegen is de meest kritische taak het afstand houden tot de voorligger. Om dit veilig te doen wordt, op basis van de gemiddelde reactietijd van bestuurders, op de snelweg een minimale volgtijd aanbevolen van 1,5 seconden (Alferdinck & Martens, 2009). Als minimale gemiddelde volgtijd bij verblinding hanteren we daarom een tijd die overeenkomt met de maximaal toegestane verblindingsduur bij de betreffende snelheid, vermeerderd met 1,5 s. Bij een snelheid van 120 km/h betekent dit dat de gemiddelde volgtijd moet zijn: $1,4 \text{ s} + 1,5 \text{ s} = 2,9 \text{ s}$. Dit komt overeen met een maximale verkeersintensiteit van 1241 voertuigen per uur ($3600 / 2,9$), per rijstrook.

In Tabel 3 zijn deze maximale verkeersintensiteiten ook voor andere snelheden berekend. Hierbij is ook het percentage van de maximum capaciteit van de rijstrook aangegeven, waarbij is uitgegaan van de capaciteit van de standaard rijstrook op een "stroomweg", zoals een autosnelweg, van 2250 voertuigen/uur/rijstrook (NSVV, 2011). De verkeersintensiteit wordt zeer hoog genoemd (begin van ontstaan van congestie) bij een intensiteit van 70% van de capaciteit (1575 voertuigen/h/rijstrook), normaal tussen 50% en 60% (1125 tot 1350 voertuigen /h/rijstrook) en zeer laag bij 30% of lager (<675 voertuigen /h/rijstrook). De maximum verkeersintensiteiten ten gevolge van de verblinding vallen dus in de categorie normaal.

Tabel 3 Samenhang tussen rijnsnelheid, toegestane verblindingsduur, en maximum verkeersintensiteit. Het percentage van de maximum capaciteit is gebaseerd op een maximum van 2250 voertuigen/h/rijstrook (NSVV, 2011).

Snelheid (km/h)	Toegestane verblindings-tijd (s)	Aanbevolen volgtijd (s)	Totale tijd (s)	Maximum verkeersintensiteit (voertuigen/h/rijstrook)	Percentage van de van maximum capaciteit
80	1,8	1,5	3,3	1090	49
100	1,6	1,5	3,1	1160	52
120	1,4	1,5	2,9	1240	55
130	1,3	1,5	2,8	1290	57

2.7.5 Wegverloop

Bij een complex wegverloop (bocht, slinger) is het van belang dat de weggebruiker het wegverloop goed kan overzien en hierop kan anticiperen (insturen, snelheid aanpassen). Hierbij is zichtbaarheid van het wegverloop (belijning, objecten langs de weg) van groot belang. Het is van belang dat de weggebruiker hier voldoende *rijzicht* heeft. Het rijzicht wordt als volgt gedefinieerd:

Afstand waarover de weggebruiker de voor hem liggende weg moet kunnen overzien om op veilige en comfortabele wijze zijn rijtaak uit te kunnen voeren. (CROW, 2002). We hanteren hier het rijzicht als criterium voor de afstand tot het inrijden van een bocht en de afstand na het inrijden van een bocht waarbinnen de weggebruiker niet verblind mag worden. Bijvoorbeeld: op een 80 km/h weg wordt een rijzicht van 9 s (200 m) aanbevolen. Dit betekent dat vanaf 200 m vóór een bocht, tot en met het uitrijden van de bocht de weggebruiker niet verblind mag worden. Voor andere rij snelheden is het rijzicht (in m) uit te rekenen door de rij snelheid (in m/s) te vermenigvuldigen met 9 s.

2.7.6 Samenvattend

In Tabel 4 is een samenvatting gegeven van condities waarbij verblinding wel of niet is toegestaan. Het gaat hier dan om verblinding waarbij de wegbelijning niet zichtbaar is op de stopafstand (zie paragraaf 2.6). Bij drie maximum rij snelheden wordt aangegeven hoe lang de weggebruiker verblind mag zijn. Daarnaast is er een aantal locaties (convergentie- en divergentiepunten, bochten) waarbij geen verblinding mag optreden en de toegestane verblindingstijd dus 0 s is. Omdat de ontwerpsnelheid van de Nederlandse snelwegen gelijk is aan 120 km/h, is in samenspraak met RWS besloten om voor maximum snelheden van 120 km/h en hoger dezelfde restricties te laten gelden (RWS, 2016b).

Tabel 4 Restricties bij verschillende maximum rij snelheden en condities.

Maximum snelheid (km/h)	Restricties			
	Toegestane verblindingstijd (s)	Maximale verkeersintensiteit per rijstrook bij toegestane verblinding (voert./uur/rijstrook)	Minimum afstand vóór convergentie- of divergentiepunt zonder verblinding (m)	Minimum afstand vóór bocht zonder verblinding (m)
80	1,8	1090	150	200
100	1,6	1160	200	250
≥120	1,4	1241	230	300

3 Vergelijking beoordelingsmethoden

3.1 Inleiding

Hoofdstuk 2 beschrijft de ontwikkeling van de methode voor de beoordeling van lichthinder door zonreflectie gebaseerd op disability glare (TNOdisab). De vraag is hoe de resultaten van deze methode zijn in vergelijking met de eerder door TNO gepubliceerde methode op basis van discomfort glare (TNOdiscom). Zijn deze twee methoden even streng? Hangt dit af van de situatie? Deze vragen zullen in dit hoofdstuk worden beantwoord.

Verder zijn er twee buitenlandse methoden waarbij ook de zonreflectie wordt onderzocht. Eén van deze methoden, de Amerikaanse methode SGHAT, is zo goed uitgewerkt dat deze kwantitatief zal worden vergeleken met de twee TNO-methoden.

3.2 Methoden

3.2.1 TNOdisab

Dit is de beoordelingsmethode op basis van disability glare die door TNO wordt voorgesteld in de huidige studie.

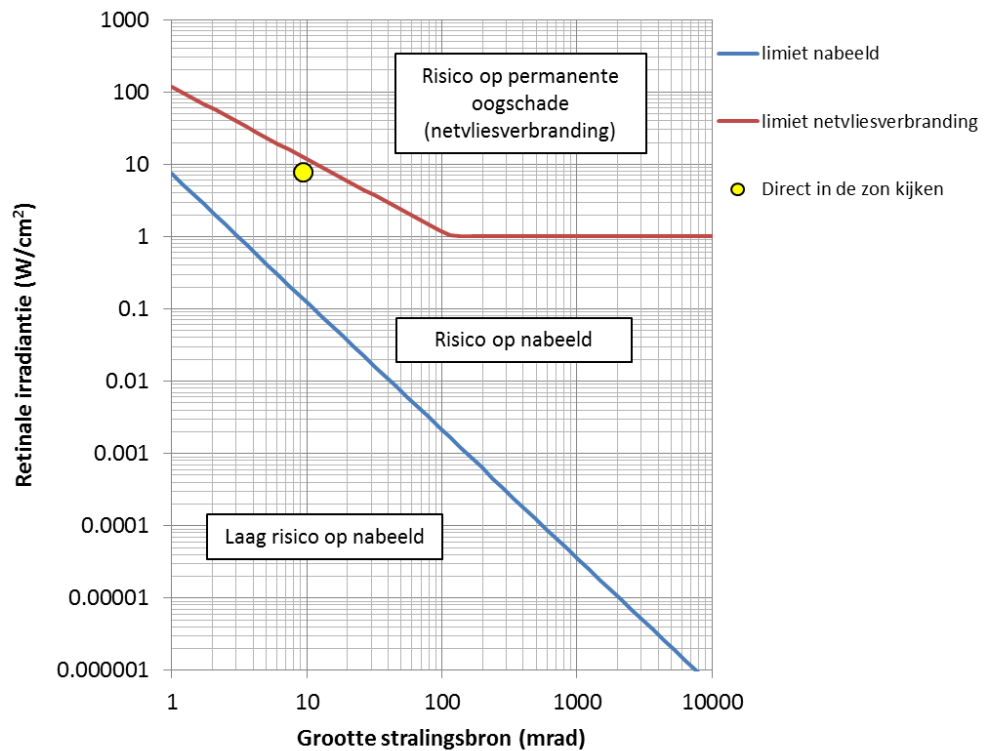
3.2.2 TNOdiscom

Dit is de beoordelingsmethode op basis van discomfort glare die eerder TNO is ontwikkeld (Alferdinck & Toet, 2006; Alferdinck et al., 2008; Alferdinck & Martens, 2009).

3.2.3 SGHAT

De Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT) is ontwikkeld door Sandia National Laboratories van het Amerikaanse departement van energie (Ho et al., 2011, 2015). Het is primair ontwikkeld voor het beoordelen van de zonreflectie van zonnepanelen en spiegelinstallaties. Aan de hand van de stand en de locatie van de zonnepanelen is uit te rekenen of de reflectie hinderlijk of schadelijk kan zijn. Aan de hand van de irradiantie (W/cm^2) op het oog en de grootte van de stralingsbron (visuele hoek in radialen) wordt de verblindings situatie ingedeeld in een van de volgende categorieën:

- Laag risico op nabeeld
- Risico op nabeeld
- Risico op permanente oogschade (netvliesverbranding)



Figuur 3 Risiko op nabeeld en oogschade als functie van de grootte van de stralingsbron en de retinale irradiantie (bestralingssterkte op het netvlies) volgens SGHAT. De waarden gelden voor een expositietijd van 0,15 s (knipper responstijd).

In Figuur 3 wordt het risico op nabeeld of oogschade volgens het SGHAT-model weergegeven in een grafiek waarin de retinale irradiantie is uitgezet tegen de grootte van de stralingsbron. De lijnen geven de grenzen aan waarbij respectievelijk een nabeeld of permanente oogschade optreedt. Hierbij wordt uitgegaan van een expositieduur van 0,15 seconden, de tijd die de waarnemer nodig heeft om de ogen te sluiten bij een plotselinge lichtflits (knipper responstijd). Daarnaast is ook aangegeven wat het risico is van (kortdurend) direct kijken in de zon. De visuele hoek van de zon is 9,4 mrad en veroorzaakt een bestralingssterkte van 7,8 W/cm² op het netvlies. De zon veroorzaakt nèt geen blijvende oogschade maar wel er is wel een grote kans op een nabeeldeffect.

De SGHAT-methode houdt rekening met de grootte van de stralingsbron. Bij een object dat niet volledig speculair reflecteert maar enigszins diffuus (bijvoorbeeld half mat aluminium) kan een gespiegelde zonreflectie ontstaan die een grotere visuele hoek bestrijkt dan de zon. Als de zon reflecteert in holle of bolle spiegelende vlakken dan kan de visuele hoek juist kleiner worden. De waargenomen grootte en irradiantie van dergelijke zonreflecties kunnen worden uitgerekend met het SGHAT-model (Ho et al., 2011). Bij de berekeningen in huidige studie gaan we uit van vlakke, volledig speculair reflecterende objecten zodat de grootte van de zonreflectie gelijk is aan die van de zon zelf.

Om de bestralingssterkte op het netvlies (E , in W/cm²) te berekenen wordt de volgende formule gebruikt:

$$E_r = E_c \left(\frac{d_p}{f\omega} \right)^2 \tau \quad (5)$$

Hierin is:

E_c = bestralingssterkte van de oog (cornea) (W/cm^2)

d_p = pupildiameter (m)

f = brandpuntafstand van het oog (m)

ω = grootte van de stralingsbron (rad)

τ = transmissie van de oogmedia

Het SGHAT-model stelt de pupildiameter gelijk aan 0,002 m, de brandpuntafstand van het oog 0,017 m en de transmissie van de oogmedia gelijk aan 0,5. Omdat de grootte van de stralingsbron bij de huidige berekeningen gelijk is aan die van de zon (0,0094 rad) geldt dus dat de retinale irradiantie gelijk is aan 78,3 maal de irradiantie op de voorkant van het oog (cornea).

Met de zon als stralingsbron (grootte gelijk aan 0,0094 rad) ligt de drempel voor nabeeld bij een retinale irradiantie van $0,139 \text{ W}/\text{cm}^2$ en voor permanente oogschade bij $12,6 \text{ W}/\text{cm}^2$ (Figuur 3). Dit komt overeen met een bestralingssterkte op de voorkant van het oog van respectievelijk 0,0018 en $0,16 \text{ W}/\text{cm}^2$. Uitgaande van een door SGHAT aangehouden specifieke lichtstroom van 100 lm/W komt dat overeen met verlichtingssterkten van 1,773 klx en 160 klx. De waarde van 160 klx zal niet worden bereikt bij vlakke reflectoren omdat SGHAT uitgaat van een verlichtingssterkte van de zon met een maximum van 100 klx ($= 0,1 \text{ W}/\text{cm}^2$)¹. In deze studie zal dus de drempel voor netvliesverbranding niet bereikt worden.

3.2.4 Fraunhofer

In Duitsland is op het Fraunhofer instituut een softwaretool methode ontwikkeld waarmee in kaart gebracht kan worden wanneer er kans is op zichtbare zonreflectie (Wollert & Rose, 2011; Rose & Wollert, 2015). De eerste publicatie beschrijft het 3D-simulatie model waarmee kan worden gevisualiseerd wanneer de zonreflecties optreden en op welke plek. Er worden echter geen kwantitatieve data gegeven. De laatste publicatie uit 2015 laat hetzelfde 3D-simulatiemodel zien waarbij als voorbeeld de zonreflecties worden uitgerekend op verschillende posities rond een vliegveld. Hierbij worden ook de hoogte en de duur van verlichtingssterkten uitgerekend als gevolg van de zonreflecties op verschillende posities rond een internationaal vliegveld. Deze variëren van 50 klx tot 80 klx gedurende 0,1 tot 3,25 uur. Er wordt geen afkeur criterium gebruikt of aanbevolen. De auteurs onderkennen dat er verschillende soorten verblinding bestaan (disability en discomfort glare) en dat er verschillende situaties (binnen, buiten, verkeer) zijn die elk weer apart beoordeeld moeten worden.

Op dit moment wordt er gewerkt aan verbetering van de huidige software. Dit betreft het meer flexibel maken van de terrein en zonnepark layout (Rose, 2016).

Samenvattend: het model biedt interessante mogelijkheden maar is op dit moment (medio 2016) nog niet voldoende ontwikkeld voor toepassing op de verkeerssituaties waarop deze studie zich richt.

¹ De IESNA (2000) gaat uit van een zon met een maximum verlichtingssterkte van 103.755 lx en een specifieke lichtstroom van 94,2 lm/W. Dit levert een maximum bestralingssterkte op van $0,1101 \text{ W}/\text{cm}^2$.

3.2.5 Ralona

Om de veiligheid van het luchtverkeer rond luchtvaartterreinen te waarborgen, hanteren luchtvaartautoriteiten veiligheidszones rond luchtvaartterreinen waarbinnen de intensiteit van laserbundels een voorgeschreven maximum waarde (veiligheidsnorm) niet mogen overschrijden. TNO heeft in 2001 de rekenmethode Ralona ontwikkeld om te kunnen vaststellen of het gebruik van een bepaalde laser op een gegeven plek in Nederland de veiligheid van het vliegverkeer rond luchtvaartterreinen in gevaar kan brengen (Toet et al., 2001). Aan de hand van de sterkte van de laser en de afstand tot het vliegveld kan worden uitgerekend of er sprake is van een veilige situatie. Er worden vier verschillende veiligheidszones onderscheiden rondom vliegvelden, de laservrij zone, kritieke zone, gevoelige zone, normale zone (Tabel 5). In elk van deze zones mag het irradiantie niveau t.g.v. een laser niet hoger worden dan een maximum ter voorkoming van respectievelijk: afleiding en schrikreacties, verblinding, flitsblindheid, nabeelden en oogschade.

Tabel 5 Veiligheidszone rond luchthavens en het maximale effectieve vermogen (gewogen met de spectrale ooggevoeligheid) van zichtbare lasers.

Zone	Maximale effectieve irradiantie	Te voorkomen effect
Laservrije zone	50 nW/cm ²	Afleiden en schrikeffecten
Kritieke zone	5 µW/cm ²	Verblinding
Gevoelige zone	100 µW/cm ²	Flitsblindheid en nabeelden
Normale zone	2,5 mW/cm ²	Oogschade

De normen voor lasers bij luchthavens zijn strenger dan voor zonreflecties van het SGHAT-model. Voor oogschade ligt bij SGHAT de grens bij 160 mW/cm² en voor nabeelden bij 1,8 mW/cm² voor zonreflecties. Omdat de waargenomen grootte van een laserbundel minimaal een factor 10 kleiner is dan de grootte van de zon komen de normen verder uit elkaar te liggen (zie Figuur 3). Kennelijk zijn de normen voor lasers erg streng vergeleken met andere lichtbronnen.

3.3 Berekeningen

3.3.1 Uitgangspunten

3.3.1.1 Auto

De voorruit van de auto zal het licht verzwakken. Dit heeft vooral invloed op berekeningsmodellen, zoals SGHAT, waarbij de absolute waarde het lichtniveau van belang is. De transmissie van de voorruit van een auto moet minimaal 75% zijn (ECE, 2004). Daarom is bij de berekeningen rekening gehouden met deze transmissie.

De voorruit van de auto levert zichtbeperkingen met begrenzingen van 16 graden omhoog, 27 graden naar links, 53 graden naar rechts en 13 graden naar beneden (Alferdinck, 2015). Alle zonreflecties die buiten deze grenzen liggen worden niet meegeteld.

3.3.1.2 Waarnemer

Er is bij deze berekeningen uitgegaan van een waarnemer van 60 jaar met lichte ogen (pigmentatiefactor $p = 1$).

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een weggebruiker die op de rechter rijstrook rijdt en recht vooruit kijkt met de blik gericht op een punt op de weg op een afstand van 200 m vooruit. Dat betekent dat de kijkrichting iets omlaag is gericht met een verticale hoek van 0,34 graden. Hierbij is uitgegaan van een weggebruiker in een personenauto met een ooghoogte van 1,2 m boven het wegdek.

3.3.1.3 *Bewolking*

De kans op een onbewolkte hemel van 1/3 is in rekening gebracht door per locatie de totale duur van de zonreflecties per jaar te delen door drie.

3.3.1.4 *Locatie*

De geografisch positie voor alle berekeningen is 52 graden Noord en 5 graden Oost. Dit een locatie in het midden van het land en representatief voor Nederland.

3.3.1.5 *Lichthinder situaties*

Er zijn drie verschillende situaties genomen voor de vergelijking van de lichthinder.

- Geluidscherm langs de weg
- Zonnepark langs de weg
- Gebouw boven weg

De gegevens van de lichthindersituaties staan in Tabel 6. De gegevens van de geluidschermen en zonnepanelen komen zo goed mogelijk overeen met het gemiddelde van de geluidschermen en zonnepanelen uit de praktijk (Alferdinck, 2008, 2010, 2015; Alferdinck & Kooi, 2013ab; Alferdinck & Hogervorst, 2014; Alferdinck et al., 2015).

De rijrichting is voor alle situaties west. De voorwaartse afstand tot het geluidscherm en het zonnepark is 0 m, d.w.z. dat het begin links of rechts naast de waarnemer ligt. Op deze locatie bleek de kans op zichtbare zonreflectie het grootst te zijn. Voor het gebouw boven de weg kan op een afstand van 0 m uiteraard geen zonreflectie zichtbaar zijn. Daarom is hier 50 m genomen voor de berekeningen.

Tabel 6 Parameters van de lichthindersituaties voor de vergelijking van de beoordelingsmethoden.

Parameter	Geluidscherm	Zonnepark	Gebouw boven weg
Rijrichting (graden)	270 (west)	270 (west)	270 (west)
Locatie t.o.v. weg	links en rechts langs weg	links en rechts langs weg	vóór, boven weg
Materiaal	glas	ontspiegelende laag	glas
Brekkingsindex	1,5	1,25	1,5
Azimut normaal (graden)	180 (rechts langs weg) 0 (links langs weg)	180 (zuid)*	90 (oost)
Elevatie normaal (graden)	+12	+72)*	0
Onderkant boven grond (m)	0	0	8
Lengte (m)	300	400	50
Breedte, gemeten over vlak (m)	9	400	10
Zijdelingse afstand (m)	9 (rechts), 28 (links)	9 (rechts), 28 (links)	-
Voorwaartse afstand (m)	0	0	50

)* Zonnepanelen zijn in een horizontaal vlak gemodelleerd, waarbij de hellende opstelling is gerealiseerd middels reflectie-eigenschappen met richting (azimut, elevatie).

3.3.2 Resultaten

Tabel 7 toont de duur van de zichtbaarheid en de normoverschrijding van de zonreflecties voor verschillende situaties en beoordelingsmodellen. De waarden gelden voor de meeste ongunstige locatie van de weggebruiker:

- Bij de geluidschermen en de zonnepanelen was de voorwaartse afstand van de weggebruiker 0 m;
- bij het gebouw boven de weg was deze afstand 50 m.

Tabel 7 Duur van de zichtbaarheid en de normoverschrijding van de zonreflecties voor verschillende situaties en beoordelingsmodellen. Bij de berekening van de duur is rekening gehouden met een kans van 1/3 op een onbewolkte hemel. li = links van de weg, re = rechts van de weg.

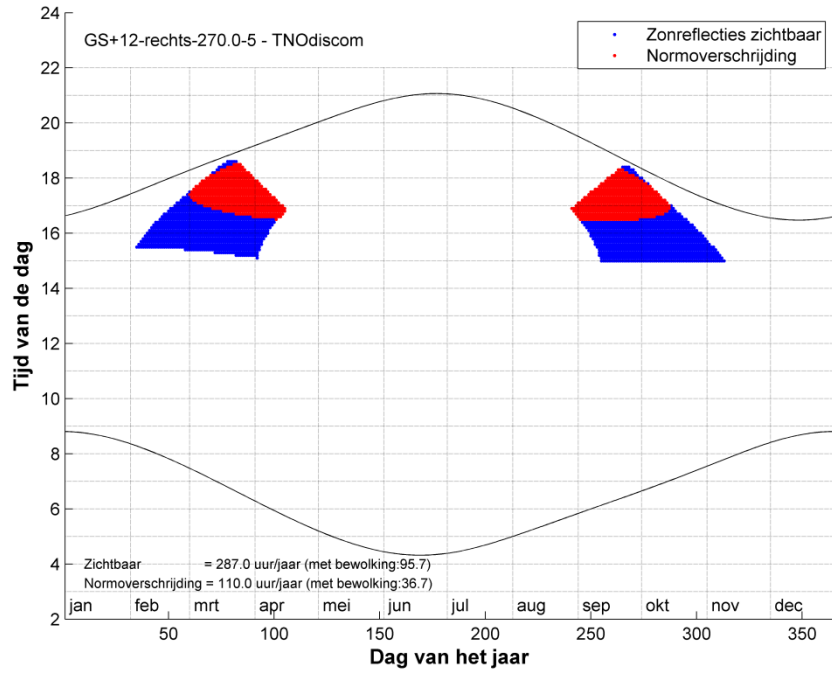
Situatie	Zichtbaar (uur/jaar)	Norm overschreden (uur/jaar)				Verhouding	
		TNO-discom	TNO-disab	SGHAT-2 (nabeeld)	SGHAT-3 (oogschade)	TNO-disab / TNO-discom	SGHAT-2 / TNO-discom
Geluidscherm, li	21,2	20,9	13,8	20,8	0	0,66	1,00
Geluidscherm, re	95,7	36,7	22,2	94,0	0	0,60	2,56
Geluidscherm, li + re	58,4	28,8	18,0	57,4	0	0,63	2,00
Zonnepark, li	0	0	0	0	0	-	-
Zonnepark, re	8,5	8,4	5,2	8,3	0	0,62	0,99
Zonnepark, li + re	4,2	4,2	2,6	4,2	0	0,62	0,99
Gebouw boven weg	68,7	19,6	13,2	61,1	0	0,67	3,12

Uit de resultaten in Tabel 7 blijkt dat de TNOdisab beoordelingsmethode minder streng is dan de TNOdiscom beoordelingsmethode. Dat is geïllustreerd in de laatste kolom van de tabel waar de verhouding tussen de duur van de TNOdisab en TNOdiscom is weergegeven. Deze verhouding verschilt nauwelijks voor het soort reflecterend object (geluidscherm, zonnepark, gebouw boven de weg), in deze condities is de duur van de overschrijding van de lichthinder volgens de TNOdisab beoordelingsmethode gemiddeld 64% van de TNOdiscom methode. Dit percentage verschilt vrijwel niet voor de locatie van het geluidscherm of zonnepark (links of rechts van de weg).

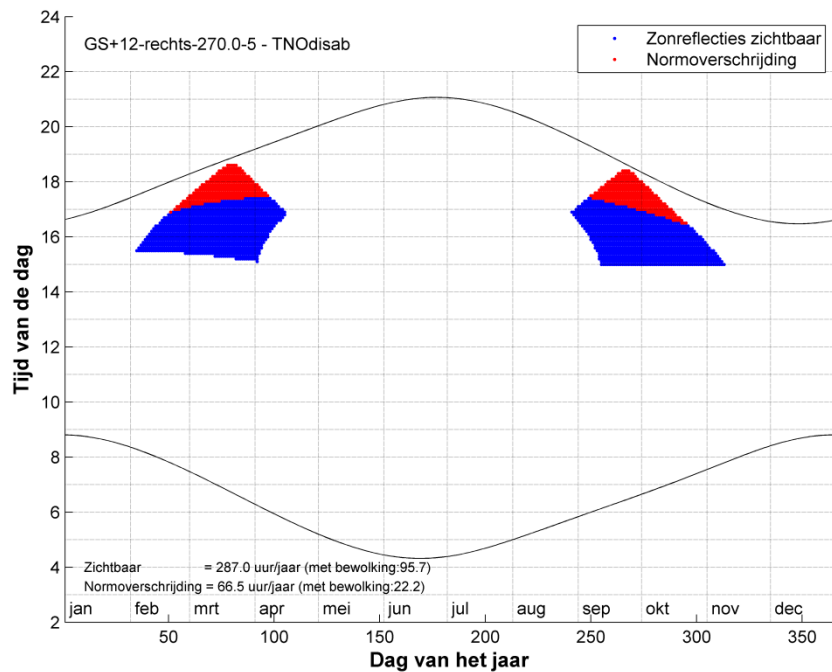
De beoordelingsmethode volgens het SGHAT-model is gemiddeld strenger dan het TNOdiscom model als wordt uitgegaan van de irradiantie-drempel voor een hoog risico op nabeelden (SGHAT-2). De duur van de ontoelaatbare lichthinder is twee keer zo lang voor geluidschermen en ruim drie keer lang voor het gebouw boven de weg. Voor het zonnepark is SGHAT even streng als TNOdiscom. Gemiddeld over alle drie reflecterende objecten is de SGHAT beoordelingsmethode twee keer zo streng als de TNOdiscom beoordelingsmethode.

Uit de Tabel 7 blijkt dat, zoals verwacht, de drempel voor oogschade ($0,16 \text{ W/cm}^2$ op de voorkant van het oog) voor geen van de verblindingsituaties wordt overschreden.

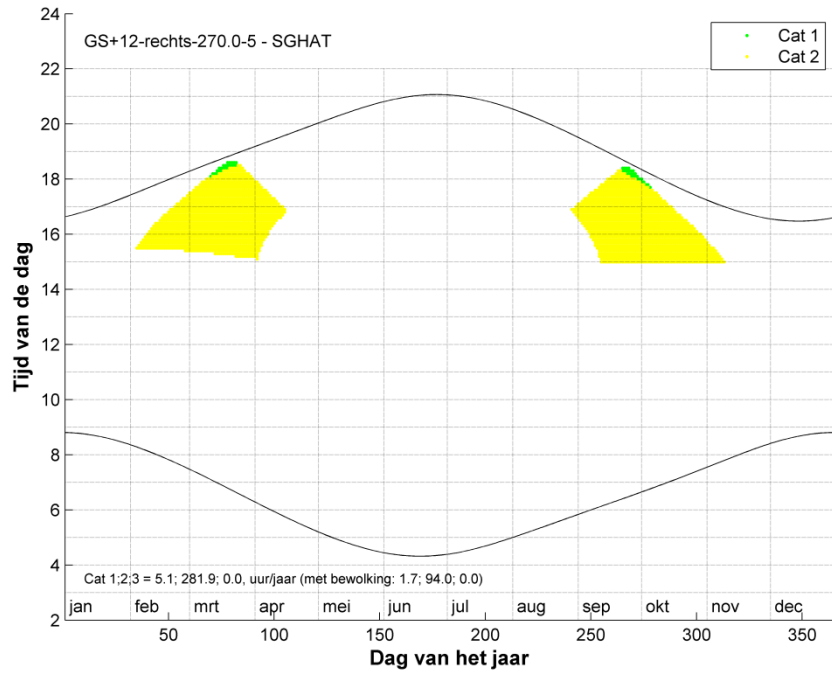
In Figuur 4 t/m Figuur 9 wordt voor een aantal situaties geïllustreerd op welk tijdstip (uur van de dag en dag van het jaar) de zonreflecties zichtbaar zijn en een norm (TNOdiscom, TNOdisab, SGHAT-2) overschrijden. Boven in deze figuren staat vermeld om welk reflecterend object het gaat (GS = geluidscherm, ZP = zonnepark, BW = gebouw boven de weg), wat de hoek (elevatie) van de normaal op het vlak is (+12, +72, +0 graden), de locatie van het object t.o.v. de weg (links, rechts, voor), de rijrichting en oriëntatie van de weg (270 graden = west) en de voorwaartse afstand tot het object (0 m voor geluidscherm en zonnepark en 50 m voor gebouw boven de weg). Linksonder in de figuren staat de duur, in uren per jaar, dat zonreflecties zichtbaar en ontoelaatbaar zijn, voor resp. een altijd heldere hemel en voor een hemel met een kans op bewolking van 2/3 (1/3 kans op heldere hemel). De tijd van de dag is weergegeven in Nederlandse wintertijd.



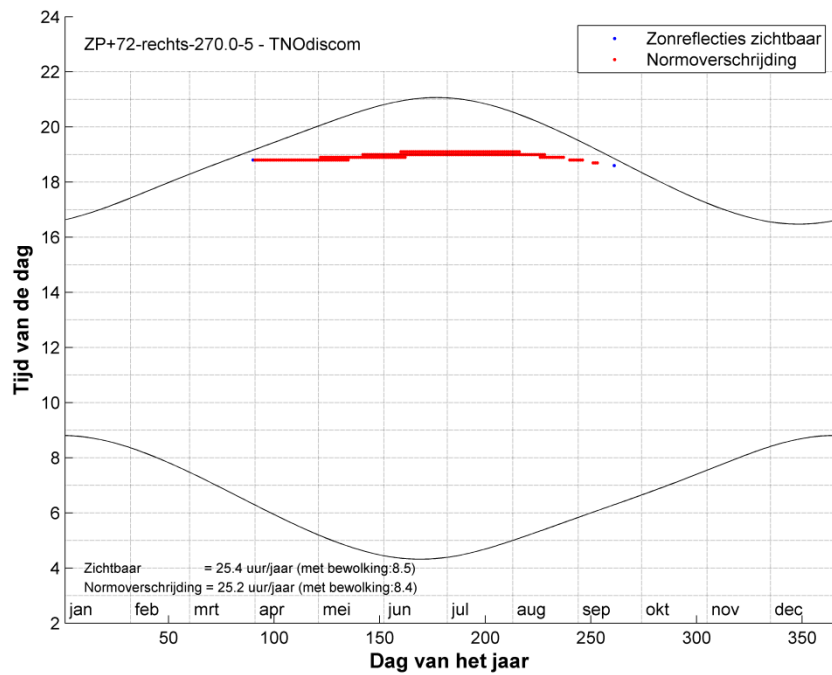
Figuur 4 Dagen en tijdstippen waarop de norm voor TNOdiscom wordt overschreden (in rood) en waarop de zonreflectie te zien is (blauw), voor het geluidsscherm (GS), elevatie = +12 graden, rechts van de weg, rijrichting 270 graden (west).



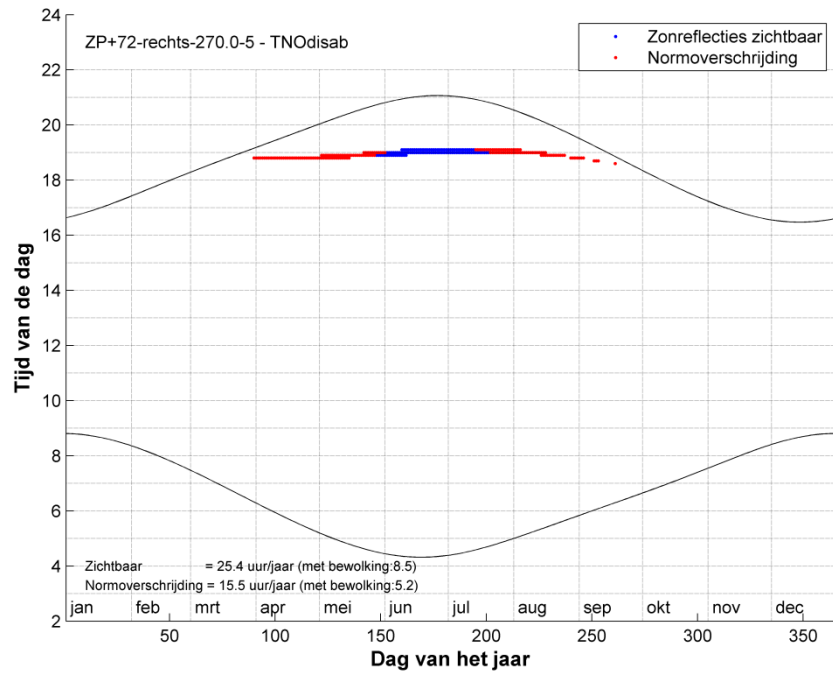
Figuur 5 Dagen en tijdstippen waarop de norm voor TNOdisab wordt overschreden (in rood) en waarop de zonreflectie te zien is (blauw), voor het geluidsscherm (GS), elevatie = +12 graden, rechts van de weg, rijrichting 270 graden (west).



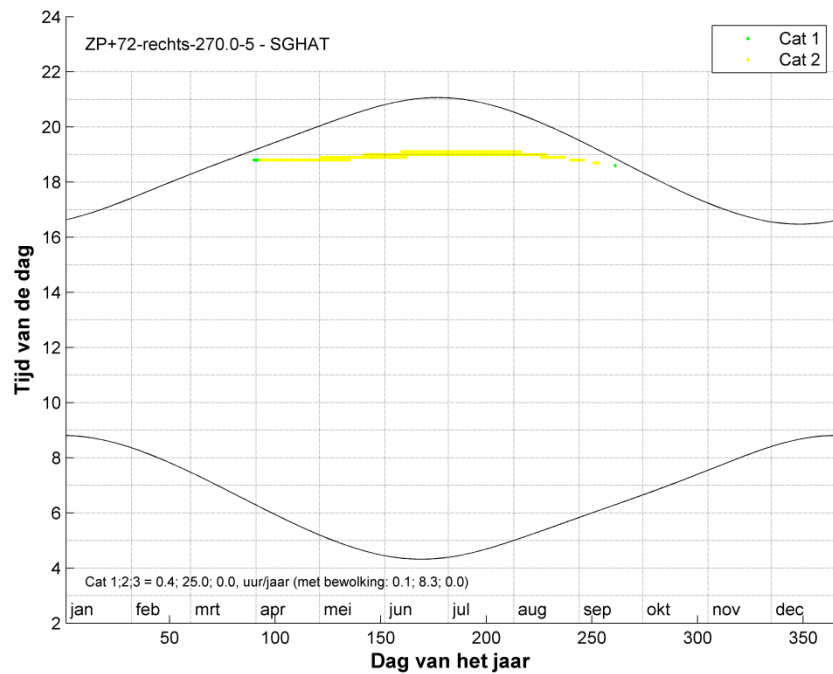
Figuur 6 Dagen en tijdstippen waarop de norm voor SGHAT wordt overschreden (in groen) en waarop de zonreflectie te zien is (geel), voor het geluidscherm (GS), elevatie = +12 graden, rechts van de weg, rijrichting 270 graden (west).



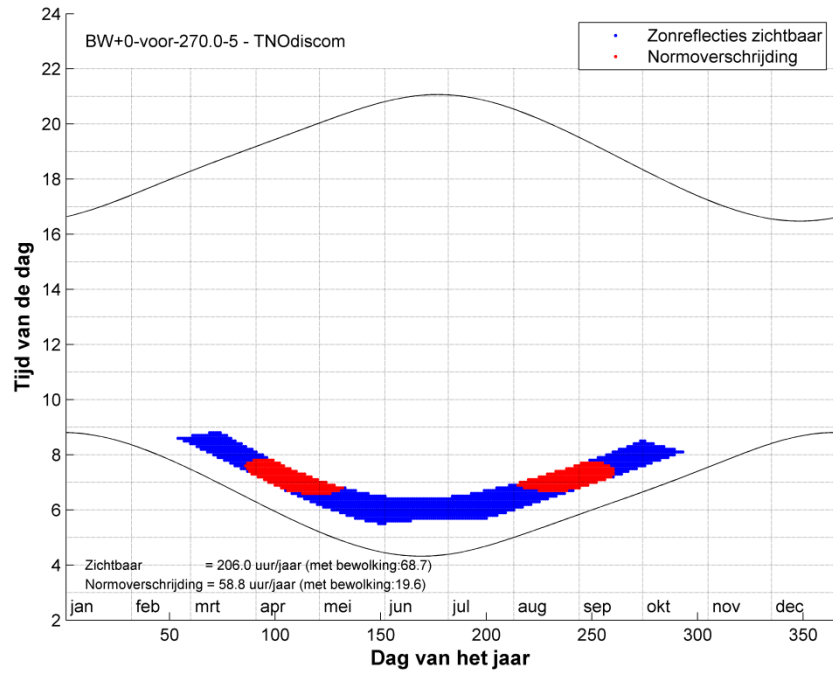
Figuur 7 Dagen en tijdstippen waarop de norm voor TNOdiscom wordt overschreden (in rood) en waarop de zonreflectie te zien is (blauw), voor het zonnepark (ZP), elevatie = +72 graden, rechts van de weg, rijrichting 270 graden (west).



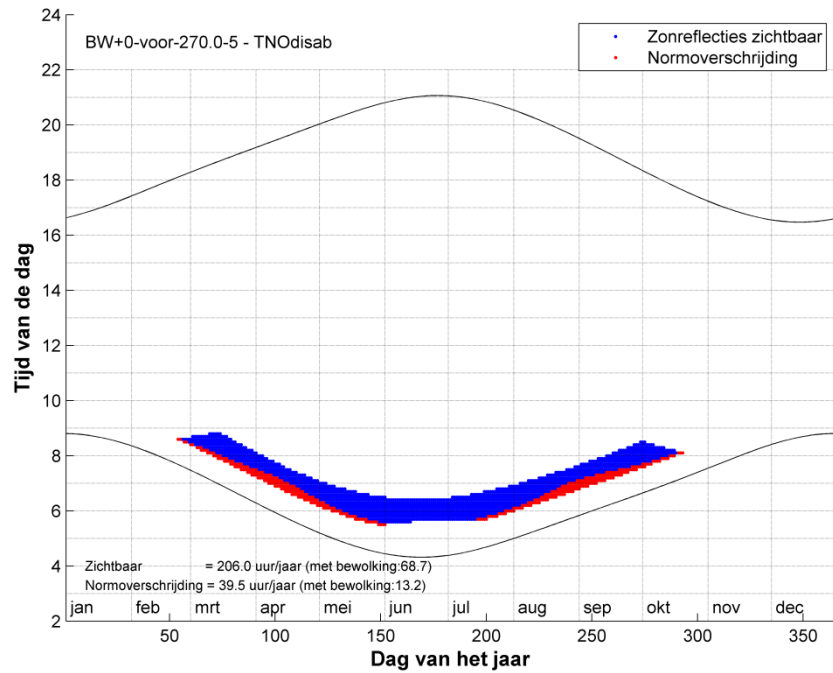
Figuur 8 Dagen en tijdstippen waarop de norm voor TNOdisab wordt overschreden (in rood) en waarop de zonreflectie te zien is (blauw), voor het zonnepark (ZP), elevatie = +72 graden, rechts van de weg, rijrichting 270 graden (west).



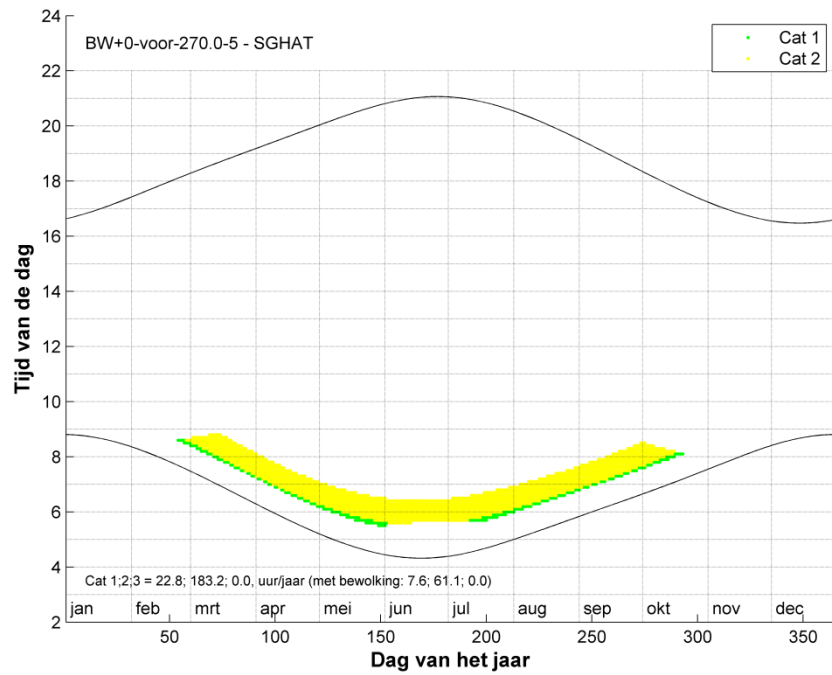
Figuur 9 Dagen en tijdstippen waarop de norm voor SGHAT wordt overschreden (in groen) en waarop de zonreflectie te zien is (geel), voor het zonnepark (ZP), elevatie = +72 graden, rechts van de weg, rijrichting 270 graden (west).



Figuur 10 Dagen en tijdstippen waarop de norm voor TNOdiscom wordt overschreden (in rood) en waarop de zonreflectie te zien is (blauw), voor het gebouw boven de weg (BW), elevatie = +0 graden, voor boven de weg, rijrichting 270 graden (west).



Figuur 11 Dagen en tijdstippen waarop de norm voor TNOdisab wordt overschreden (in rood) en waarop de zonreflectie te zien is (blauw), voor het gebouw boven de weg (BW), elevatie = +0 graden, voor boven de weg, rijrichting 270 graden (west).



Figuur 12 Dagen en tijdstippen waarop de norm voor SGHAT wordt overschreden (in groen) en waarop de zonreflectie te zien is (geel), voor het gebouw boven de weg (BW), elevatie = +0 graden, voor boven de weg, rijrichting 270 graden (west).

4 Generieke situaties

4.1 Uitgangspunten

Met de nieuwe beoordelingsmethode op basis van disability glare die door TNO wordt voorgesteld in de huidige studie (TNOdisab) is een aantal generieke situaties doorgerekend.

Er zijn berekeningen uitgevoerd voor twee situaties, te weten:

- een geluidscherm, en
- een zonnepark.

Beide kunnen links of rechts van de weg staan.

Deze reflecterende objecten zijn gemodelleerd als vlakken die verschillende hoeken maken met het grondvlak. Voor het geluidscherm varieerde de elevatie van de normaal op het vlak tussen -30 graden en +90 graden. Voor het zonnepark was dit 0 tot +90 graden. Daarnaast zijn de berekeningen ook uitgevoerd voor de elevaties, die representatief zijn voor de praktijk, en die gebruikt zijn voor de vergelijking van de beoordelingsmethoden (zie hoofdstuk 3). Deze standaard elevaties zijn +12 graden voor het geluidscherm en +72 graden voor het zonnepark. In Figuur 13 geeft uitleg over de definitie van de elevatie.

In Tabel 8 zijn de parameters weergegeven die gebruikt zijn voor de berekening van de generieke situaties.

Tabel 8 Parameters van de lichthindersituaties voor de generieke situaties.

Parameter	Geluidscherm	Zonnepark
Rijrichting (graden)	0 tot 337,5 in stappen van 22,5	0 tot 337,5 in stappen van 22,5
Maximum rijnsnelheid	80, 100 en 120 km/h	80, 100 en 120 km/h
Locatie t.o.v. weg	links en rechts langs weg	links en rechts langs weg
Materiaal	glas	ontspiegelende laag
Brekingsindex	1,5	1,25
Azimut normaal (graden)	+90 en - 90 graden t.o.v. rijrichting	180 (zuid)*
Elevatie normaal (graden)	-30 tot +90 in stappen van 10 standaard: +12	0 tot +90 in stappen van 10)* standaard: +72
Onderkant boven grond (m)	0	0
Lengte (m)	300	400
Breedte, gemeten over vlak (m)	9	400
Zijdelingse afstand (m)	9 (rechts), 28 (links)	9 (rechts), 28 (links)
Voorwaartse afstand (m)	0	0

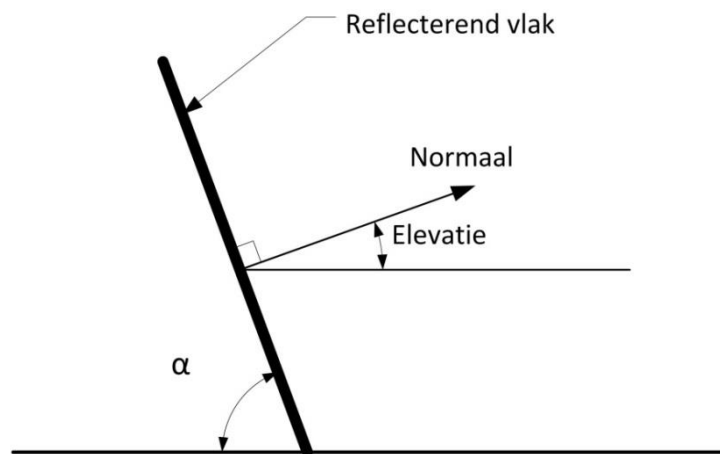
)* Zonnepanelen zijn in een horizontaal vlak gemodelleerd met reflectie-eigenschappen van een vlak met normaal met richting (azimut, elevatie).

De berekeningen zijn uitgevoerd voor 16 verschillende rijrichtingen (oriëntatie van de weg), namelijk de kompasrichtingen 0 t/m 337,5 graden in stappen van 22,5 graad, oftewel de kompasrichtingen N, NNO, NO, ONO, O, enz.

Het geluidsschermbord was steeds evenwijdig aan de weg opgesteld zodat de azimut van de normaal op het vlak van het geluidsschermbord altijd dwars op de weg stond en dus direct afhankelijk was van de rijrichting.

De azimut van de zonnepanelen van het zonnepark was altijd naar het zuiden gericht (180 graden), onafhankelijk van de rijrichting. Het zonnepark was gemodelleerd als een horizontaal vlak waarvan de reflectie-eigenschappen zodanig waren dat deze overeenkwamen met die van kleine zonnepanelen die naar het zuiden gericht zijn.

Omdat de lichthinder op basis van de beoordelingsmethode TNOdisab afhankelijk is van de maximum snelheid die op de te beschouwen weg geldt, zijn de berekeningen uitgevoerd voor maximum snelheden van 80, 100 en 120 km/h.



Figuur 13 De elevatie van de normaal is de verticale hoek van het grondvlak met de normaal loodrecht op het reflecterend vlak ($= 90^\circ - \alpha$).

4.2 Resultaten

4.2.1 Duur van de zonreflecties (tabellen)

Het resultaat van de berekeningen is de duur, in uren per jaar, van de zichtbaarheid en ontoelaatbaarheid van de zonreflecties volgens de TNOdisab beoordelingsmethode, met drie maximum snelheden (80, 100, 120 km/h) voor twee soorten reflecterend objecten (geluidsschermbord, zonnepark). De berekeningen zijn uitgevoerd voor verschillende oriëntaties van de weg (rijrichting), locatie van het object (links, rechts) en de hellingen van het reflecterend vlak. Verder is rekening gehouden met een kans van 1/3 op een onbewolkte hemel. Deze gegevens staan voor de drie maximum snelheden in de volgende tabellen:

- geluidsschermbord links van de weg: Tabel 9, Tabel 13, Tabel 17
- geluidsschermbord rechts van de weg: Tabel 10, Tabel 14, Tabel 18
- zonnepark links van de weg: Tabel 11, Tabel 15, Tabel 19
- zonnepark rechts van de weg: Tabel 12, Tabel 16, Tabel 20

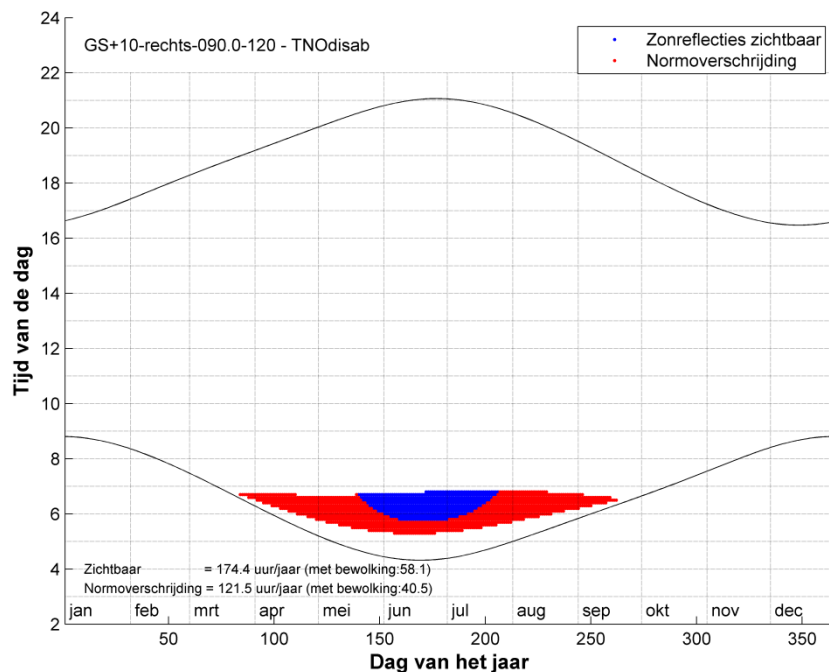
Deze gegevens kunnen worden gebruikt voor het inschatten de ernst van een lichthinder situatie met een geluidsschermbord of zonnepark in de buurt van een weg met een bepaalde oriëntatie.

4.2.2 Tijdstip van de zonreflecties (figuren)

De tijdstippen van de zichtbare en ontoelaatbare zonreflecties zijn weergegeven in figuren zoals Figuur 14. Hierin is als voorbeeld een autosnelweg genomen die van West naar Oost loopt. De weggebruiker rijdt in oostelijke richting met de rechterkant van de weg een vlak geluidscherm. Gezien vanuit de weg helt het geluidscherm achterover en heeft het hoek van 10 graden met het verticale vlak. De maximum snelheid is 120 km/h.

De elevatie van de normaal op het reflecterende vlak van het geluidscherm is +10 graden. De rijrichting (Oost) is 90 graden. In Figuur 14 staan de gegevens voor een geluidscherm rechts van de weg. Voor een rijrichting van 90 graden en een elevatie van +10 graden blijkt dat zonreflecties zichtbaar zijn gedurende (gemiddeld) 58,1 uur per jaar. Hiervan zijn de zonreflecties gedurende 40,5 uur niet toelaatbaar volgens de TNOdisab beoordelingsmethode.

In Figuur 14 is af te lezen wanneer de zonreflecties zichtbaar en ontoelaatbaar zijn volgens de TNOdisab beoordelingsmethode. Het blijkt dat de ontoelaatbare reflecties (rode datapunten) optreden van eind maart t/m half september in de ochtend tussen kart over vijf en iets voor zeven. In de zomer is een deel van de datapunten zichtbaar maar wel toelaatbaar (blauwe datapunten). Merk op dat in de figuur geen rekening is gehouden met de zomertijd. Dat betekent dat tussen eind maart en eind oktober bij de tijd van de dag een uur moet worden bijgeteld.



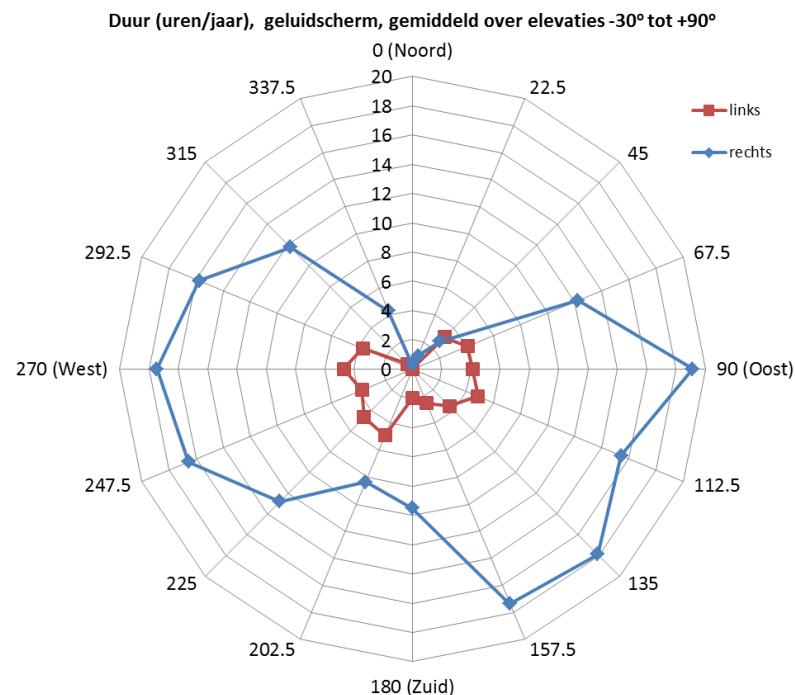
Figuur 14 Dagen en tijdstippen waarop de norm voor TNOdisab wordt overschreden (in rood) en waarop de zonreflectie te zien is (blauw), voor het geluidscherm (GS), elevatie = +10 graden, rechts van de weg, rijrichting 90 graden (Oost). De maximum snelheid is 120 km/h. De tijd van de dag is in wintertijd.

Voor het geluidscherm en zonnepark, links en rechts van de weg, zijn plaatjes (zoals in Figuur 14) beschikbaar voor alle combinaties van rijrichting en elevatie. Ze zijn apart (digitaal) meegeleverd met dit rapport. De bestandsnaam van het plaatje van Figuur 14 is: "TijdDag_GS+10-rechts-090.0-120 – TNOdisab.png". De delen van de bestandsnaam hebben de volgende betekenis:

- "GS" = geluidscherm. Kan ook "ZP" (=zonnepark zijn)
- "rechts" = rechter kant van de weg. Kan ook "links" zijn
- "+10" = elevatie van de normaal op het reflecterend vlak. Kan liggen tussen "-30" en "+90".
- "120" duidt op een maximum snelheid van 120 km/h. Kan ook "80" of "100" zijn.

4.2.3 Analyse

Om meer inzicht te krijgen in de resultaten is nader gekeken naar de gemiddelden over de verschillende condities. Om de invloed van rijrichting, locatie van het geluidscherm of zonnepark (links, rechts), en de elevatie te onderzoeken zijn vergelijkingen gemaakt bij een maximum snelheid van 120 km/h. Bij deze snelheid komen de verschillen tussen deze condities het beste tot uiting. De invloed van de rijrichting en locatie van het geluidscherm wordt geïllustreerd in Figuur 15. Hier zijn de uren gemiddeld over de elevaties van -30 graden tot en met +90 graden weergegeven als functie van de rijrichting en de locatie ten opzichte van de weg (links, rechts).



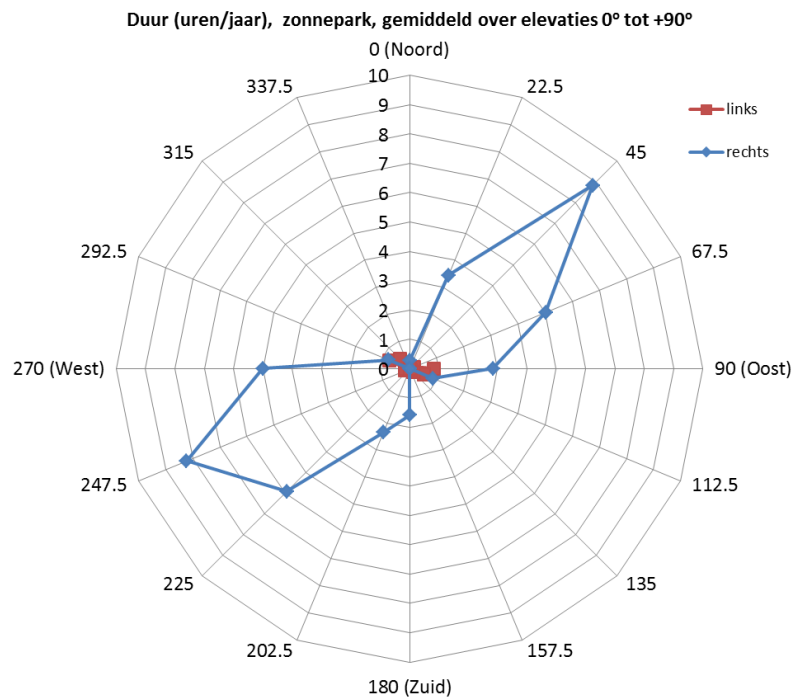
Figuur 15 Duur van de ontoelaatbare lichthinder van een geluidscherm volgens de TNOdisab beoordelingsmethode voor verschillende rijrichtingen en locatie (links en rechts van de weg). De duur is een gemiddelde van de elevaties van -30 graden t/m +90 graden. De maximum snelheid is 120 km/h.

Het blijkt dat de meeste lichthinder optreedt als het geluidscherm rechts van de weg staat. Dat is te begrijpen omdat het geluidscherm aan de rechterkant van de weg dichter bij de weggebruiker staat (9 m) dan de het geluidscherm links (28 m).

Bovendien is het zicht van de weggebruiker door de voorruit aan de linkerkant meer beperkt dan aan de rechterkant.

De meeste kans op lichthinder treedt op voor tussen rijrichtingen zuidwest tot noordwest en oost en zuidoost. Voor de rijrichtingen pal noord of zuid treden veel minder zonreflecties op.

Figuur 16 laat de duur van de ontoelaatbare lichthinder zien voor het zonnepark voor de verschillende rijrichtingen. Het valt op dat de duur van de lichthinder veel korter is van voor het geluidscherm (Figuur 15). Let op: De grafieken hebben verschillende schalen. De lichthinder van het zonnepark (maximaal 5 uur/jaar) treedt voornamelijk op als het zonnepark zich aan de rechterkant van de weg bevindt en de rijrichting ongeveer west of noordoost is. Als het zonnepark aan de linkerkant van de weg staat is de duur van de lichthinder ruim een factor tien minder. Dit verschil wordt veroorzaakt doordat het zicht van de weggebruiker door de voorruit aan de linkerkant meer beperkt dan aan de rechterkant.

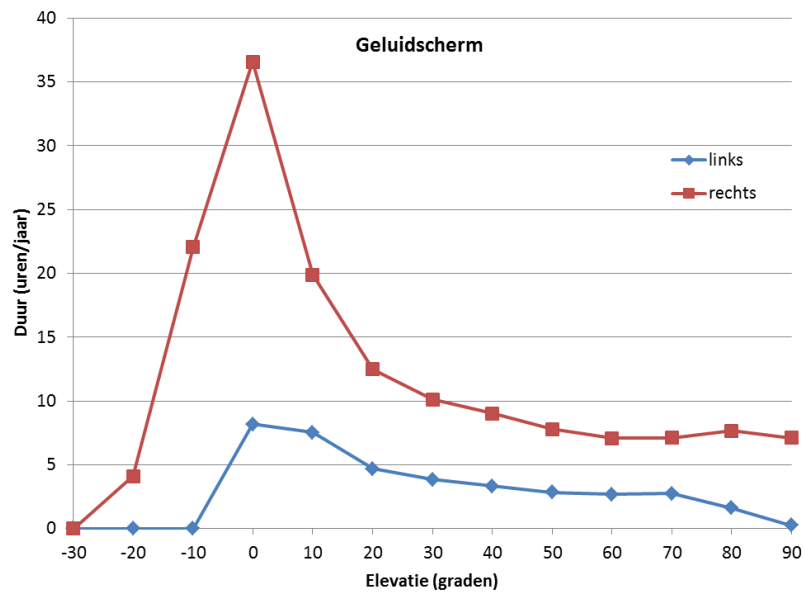


Figuur 16 Duur van de ontoelaatbare lichthinder van een zonnepark volgens de TNOdisab beoordelingsmethode voor verschillende rijrichtingen en locatie (links en rechts van de weg). De duur is een gemiddelde van de elevaties van -30 graden t/m +90 graden. De maximum snelheid is 120 km/h.

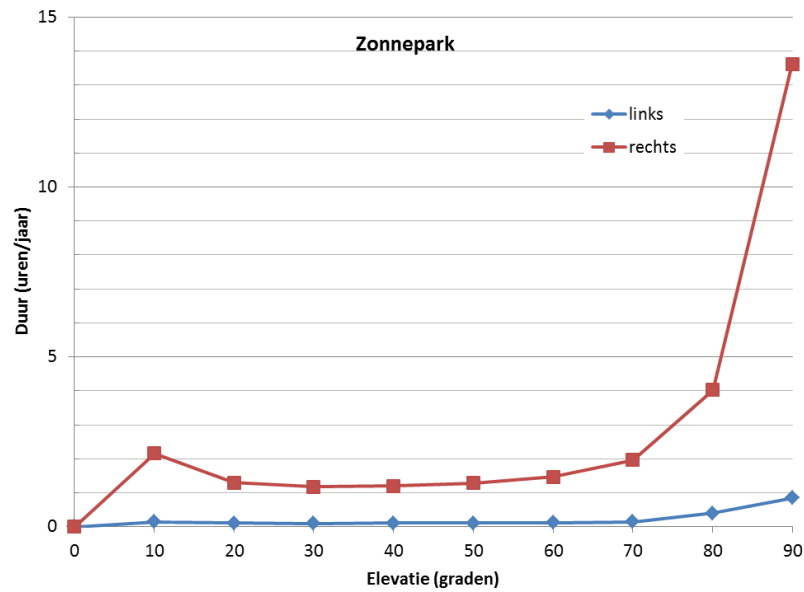
Om de invloed van de elevatie te onderzoeken is de duur van de overschrijding gemiddeld over alle rijrichtingen en getekend als functie van de elevatie van de normaal op het geluidscherm (Figuur 17). Uit deze figuur blijkt dat de meeste lichthinder optreedt rond een elevatie van 0 graden, dus als het geluidscherm verticaal staat. Bij elevaties groter dan +12 graden of kleiner dan -12 graden is de lichthinder nog ongeveer de helft. Bij elevaties van -30 graden of lager van het scherm aan de rechterkant van weg voor treedt geen lichthinder meer op. Aan de linkerkant van de weg is dit al het geval bij -10 graden. Net als in Figuur 15 wordt

hier duidelijk geïllustreerd dat een geluidsscherm aan de linkerkant van de weg veel minder lichthinder oplevert dan aan de rechterkant van de weg.

Voor het zonnepark is in Figuur 18 de duur van de overschrijding weergegeven als functie van de elevatie van de normaal op het vlak van het zonnepark. Het blijkt dat pas voor een elevatie van +70 graden of groter de duur van de lichthinder toeneemt tot waarden van boven 2 uur/jaar. Dat geldt voornamelijk voor het zonnepark aan de rechterkant van de weg. Aan de linkerkant van de weg treedt nauwelijks lichthinder op en blijft de duur van de lichthinder beperkt tot maximaal 0,15 uur/jaar voor elevaties tot 70 graden.



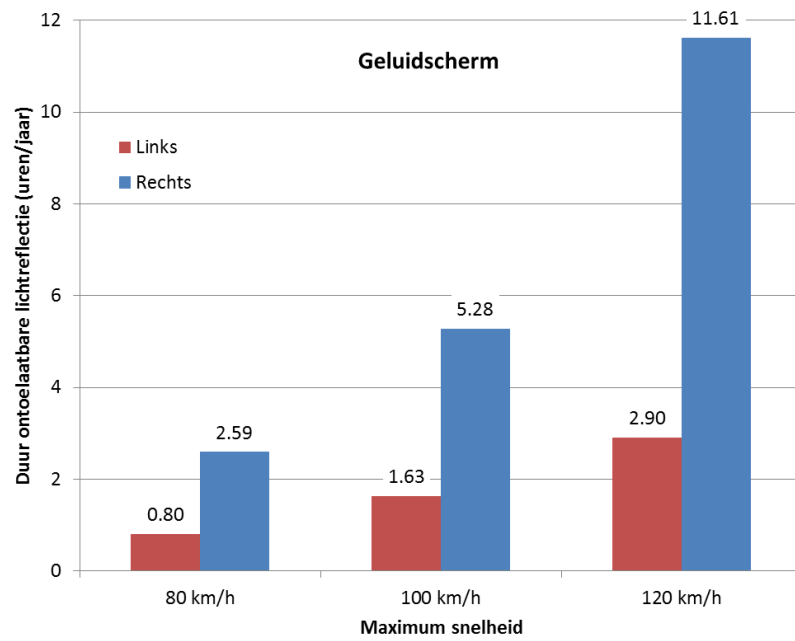
Figuur 17 Duur van de ontoelaatbare lichthinder van een geluidsscherm als functie van de elevatie van de normaal op het geluidsscherm en locatie (links en rechts van de weg) volgens de TNOdisab beoordelingsmethode. De duur is gemiddeld over alle rijrichtingen. De maximum snelheid is 120 km/h.



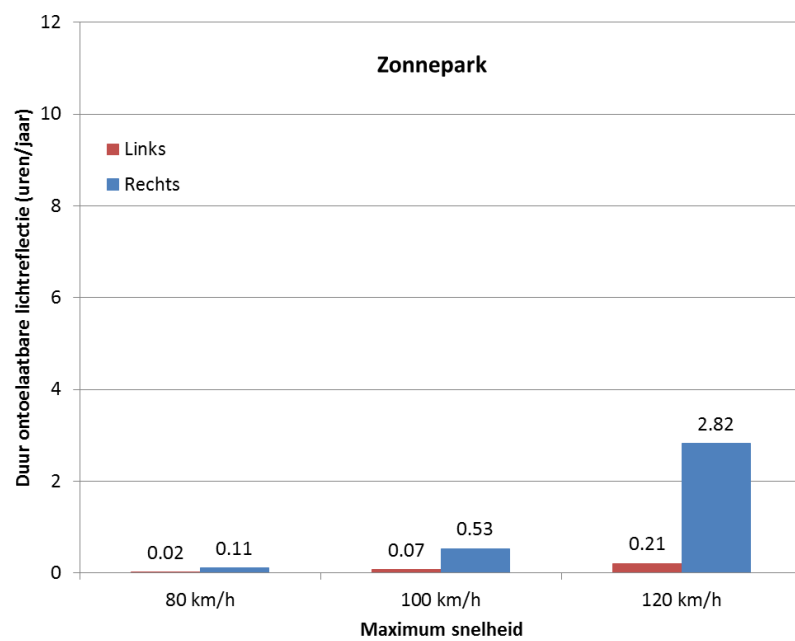
Figuur 18 Duur van de ontoelaatbare lichthinder van een zonnepark als functie van de elevatie van de normaal op het zonnepark en locatie (links en rechts van de weg) volgens de TNOdisab beoordelingsmethode. De duur is gemiddeld over alle rijrichtingen. De maximum snelheid is 120 km/h.

In Figuur 21 en Figuur 22 zijn de gemiddelden weergegeven van de duur van de ontoelaatbare zonreflecties. De waarden zijn gemiddelden over alle rijrichtingen (0 tot 337,5 graden) en alle elevaties (geluidscherm: -30 tot 90 graden; zonnepark: 0 tot 90 graden). Een geluidscherm aan de linkerkant van de weg levert bij een maximum snelheid van 120 km/h bijna 3 uur per jaar ontoelaatbare lichthinder. Aan de rechterkant is dat met ruim 11 uur/jaar bijna 4 keer zo veel. Een zonnepark aan de linkerkant van de weg geeft bij een snelheid van 120 km/h ongeveer 0,2 uur/jaar ontoelaatbare verblinding. Aan de rechterkant van de weg is dat bij 14 keer zo veel, maar niet meer dan 3 uur per jaar.

Bij maximum snelheden van 80 en 100 km/h zijn de uren van de ontoelaatbare lichtreflecties veel korter vergeleken met 120 km/h. Dat geldt vooral voor het zonnepark.



Figuur 19 Gemiddelde duur van de ontoelaatbare zonreflecties voor een geluidscherm als functie van de maximum snelheid en de locatie (links of rechts van de weg).



Figuur 20 Gemiddelde duur van de ontoelaatbare zonreflecties voor een zonnepark als functie van de maximum snelheid en de locatie (links of rechts van de weg).

5 Invloed directe zon

5.1 Uitgangspunten

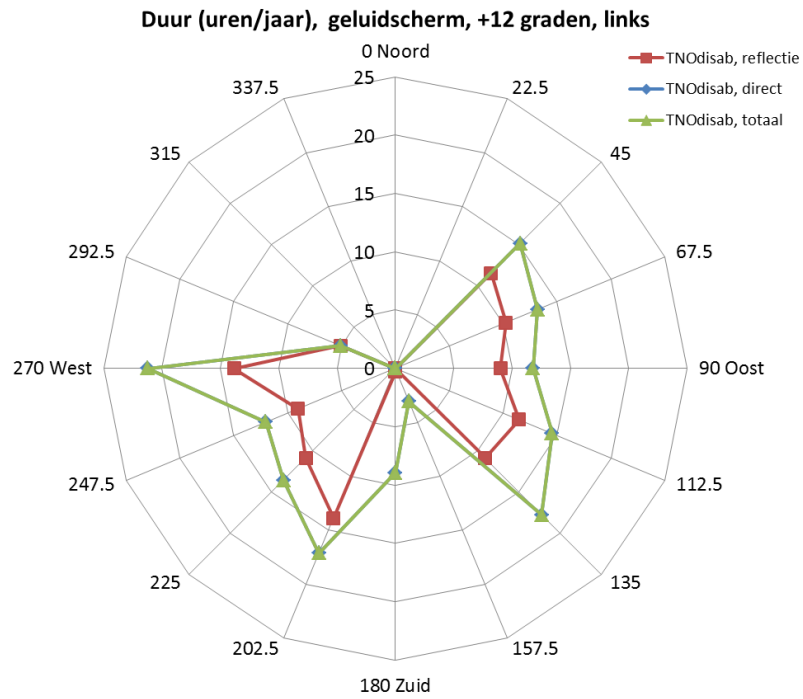
Voor deze berekeningen zijn het geluidscherm en het zonnepark gebruikt met de eigenschappen uit Tabel 8, alleen is nu per reflecterend object maar één elevatie gebruikt: voor het geluidscherm +12 graden en voor het zonnepark +72 graden. Verder zijn opnieuw alle rijrichtingen beschouwd van 0 t/m 337,5 graden.

De invloed van de directe zon is als volgt berekend. In alle gevallen dat er zonreflectie zichtbaar was door de voorruit is nagegaan of op dat moment ook de zon direct zichtbaar was. Als dat het geval was dan is het effect van deze zon op de sluieluminantie berekend. Hieruit is weer het contrast van de wegbelijning bepaald dat vervolgens vergeleken is met het vereiste drempelcontrast (zie Hoofdstuk 2 voor details). Uit de berekeningen komt uiteindelijk het aantal uren per jaar dat de norm wordt overschreden volgens de TNOdisab methode, waarbij onderscheid wordt gemaakt in contrastvermindering ten gevolge alleen van zonreflectie, alleen directe zon, of de combinatie van beide.

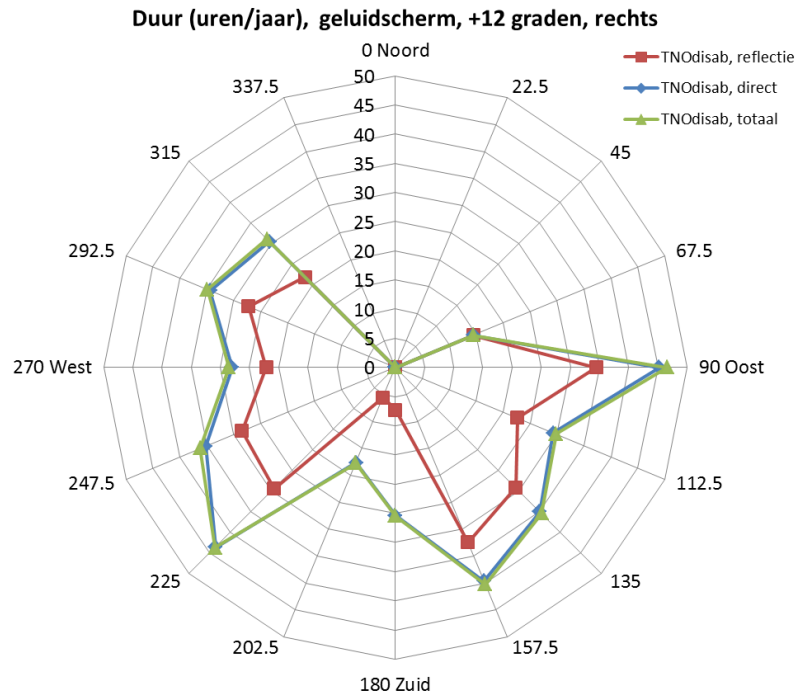
5.2 Resultaten

Figuur 21 laat de duur van de ontoelaatbare zonreflectie zien voor het geluidscherm aan de linkerkant van de weg als functie van de rijrichting, waarbij een uitsplitsing is gemaakt van de lichthinder door alleen de zonreflectie, alleen de directe zon en de combinatie van beide verblindingsbronnen. Het blijkt dat de bijdrage van de directe zon (in termen van duur van de overschrijding) meer dan twee keer zo groot is als die van de gereflecteerde zon alleen. Als de combinatie van beide wordt geschouwd dan blijkt deze iets langer normoverschrijdende lichthinder (disability glare) op te leveren dan bij directe zon alleen.

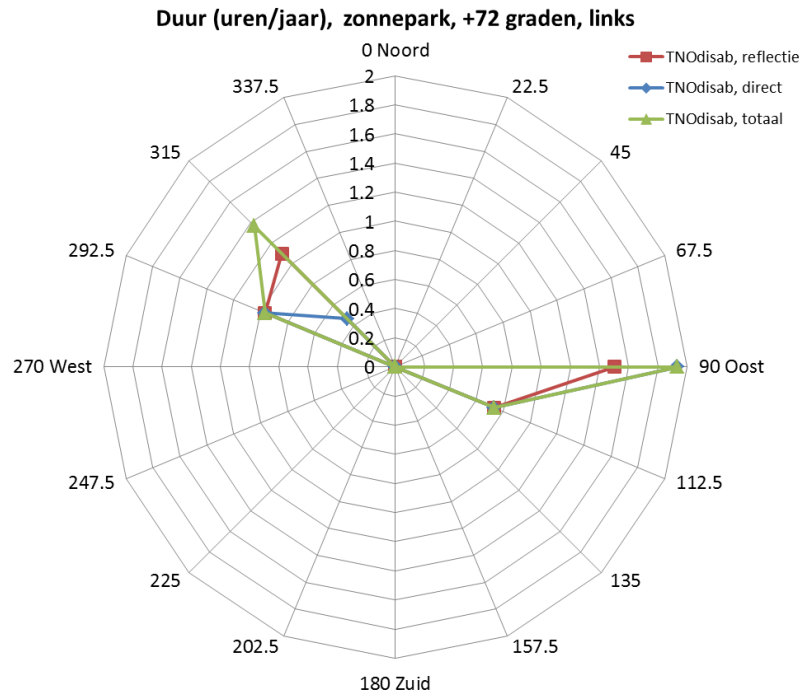
Bij het geluidscherm aan de rechterkant van de weg is het effect van de directe zon hetzelfde als bij het geluidscherm aan de linkerkant van de weg: de directe zon veroorzaakt ongeveer een twee keer zo lange overschrijding van de lichthinder (Figuur 22). Ook voor de zonneparken links en rechts van de weg (Figuur 23, Figuur 24) treden soortgelijke effecten op.



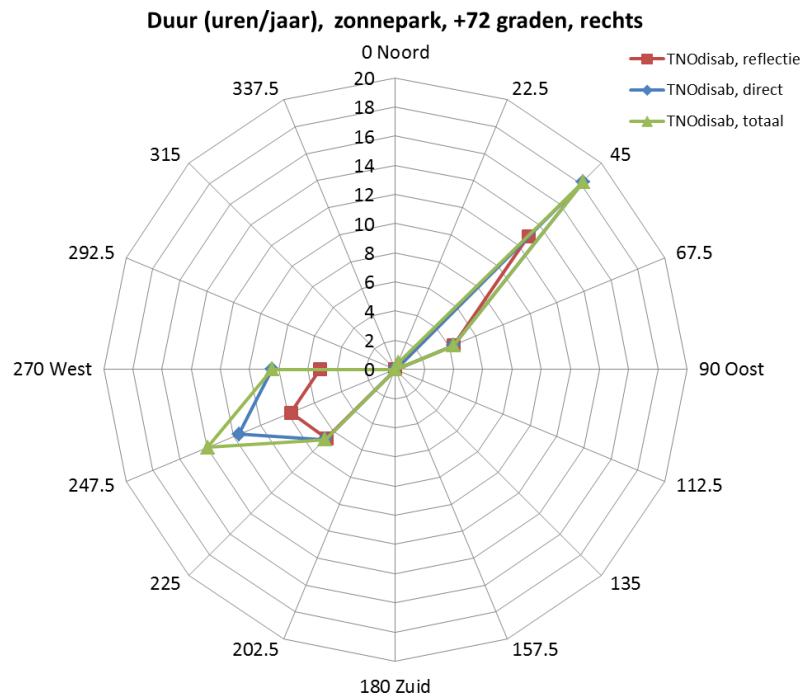
Figuur 21 Duur van de ontoelaatbare lichthinder van een geluidscherm, links van de weg, volgens de TNODisab beoordelingsmethode, met alleen de invloed van gereflecteerde zon, alleen directe zon en voor gereflecteerd en directe zon samen (totaal). De elevatie (van de normaal) van het scherm was +12 graden.



Figuur 22 Duur van de ontoelaatbare lichthinder van een geluidscherm, rechts van de weg, volgens de TNODisab beoordelingsmethode, met alleen de invloed van gereflecteerde zon, alleen directe zon en voor gereflecteerd en directe zon samen (totaal). De elevatie (van de normaal) van het scherm was +12 graden.



Figuur 23 Duur van de ontoelaatbare lichthinder van een zonnepark, links van de weg, volgens de TNOdisab beoordelingsmethode, met alleen de invloed van gereflecteerde zon, alleen directe zon en voor gereflecteerd en directe zon samen (totaal). De elevatie (van de normaal) van het paneel was +72 graden.



Figuur 24 Duur van de ontoelaatbare lichthinder van een zonnepark, rechts van de weg, volgens de TNOdisab beoordelingsmethode, met alleen de invloed van gereflecteerde zon,

alleen directe zon en voor gereflecteerd en directe zon samen (totaal). De elevatie (van de normaal) van het paneel was +72 graden.

In Tabel 21 zijn de gemiddelden weergegeven van de duur van de ontoelaatbare zonreflecties voor een geluidsscherm en een zonnepark, voor drie berekeningsmethoden waarbij

- 1) alleen de gereflecteerde zon is meegeteld,
- 2) alleen de directe zon is meegeteld, en
- 3) beiden zijn meegeteld.

De waarden zijn gemiddeld over alle rijrichtingen en over de locaties links en rechts van de weg.

Het blijkt dat de duur van de ontoelaatbare lichthinder een factor 1,4 maal zo groot is als in een situatie van zonreflectie zowel de directe als de geflechteerde zon in rekening wordt gebracht. Deze factor wordt uiteraard nog groter als ook alle situaties worden meegeteld waarbij alleen de directe zon zichtbaar is er geen zonreflecties in beeld zijn.

Tabel 21 Gemiddelde duur van de ontoelaatbare zonreflecties voor een geluidsscherm en een zonnepark voor alleen zonreflectie, alleen directe zon, en beide.

Reflecterend object	Duur (uren/jaar)			Verhouding beide/reflectie
	Reflectie	Direct	Beide	
Geluidsscherm	11,91	16,62	16,80	1,41
Zonnepark	1,28	1,67	1,79	1,39

5.3 Discussie

De verhouding tussen de duur van de ontoelaatbare verblinding door directe zon en zonreflecties is gelijk aan 1,4, gemiddeld over verschillende rijrichtingen en reflecterende objecten. Dat betekent dat de directe zon 40% extra uren ontoelaatbare verblinding toevoegt aan de duur die alleen veroorzaakt wordt door zonreflectie. Hierbij moet worden aangetekend dat de berekeningen van de directe zon alleen zijn uitgevoerd in het geval van een zichtbare zonreflectie. De uren dat alleen de directe zon zichtbaar in beeld is (en er geen zonreflectie zichtbaar is) zijn niet meegenomen in de vergelijking.

Als we nu kijken naar mogelijkheden om disability glare door zonlicht te voorkómen, dan lukt dit alleen voor het gereflecteerde zonlicht. Alleen aan (voorgenomen) constructies langs snelwegen kunnen normen worden opgelegd t.a.v. de maximale hoeveelheid extra zonlicht die zij via reflectie op de ogen van de weggebruiker laten vallen. Aan de zon zelf kunnen geen normen worden opgelegd; het beperken van de overlast door direct zonlicht is in principe de verantwoordelijkheid van de weggebruiker zelf (bijv. gebruik van zonneclemp).

Anderzijds is het niet vanzelfsprekend om eisen te baseren op alleen gereflecteerd zonlicht, als bekend is dat de directe zon in die situatie en op hetzelfde moment voor een veel grotere beperking zorgt van het functionele zicht van de bestuurder.

Om hiermee praktisch en rechtvaardig om te gaan stellen we voor om de totale lichthinder door zowel direct als gereflecteerd zonlicht in kaart te brengen. Een

aanpak kan dan worden om alleen maatregelen te koppelen aan optredende zonreflectie als de sluieluminantie significant (bijvoorbeeld met ten minste 5%) toeneemt t.o.v. de situatie met alleen direct zonlicht.

De implementatie van deze integrale benadering betekent dat de berekeningsmethode uit 2.4.5 enigszins moet worden aangepast. De berekening van de sluieluminantie wordt nu namelijk uitgevoerd voor zowel de reflectiebron als voor de directe zon, en natuurlijk alleen als beide binnen de zichtbeperkingen van de voorruit vallen. Als de sluieluminantie t.g.v. de reflectiebron kleiner is dan een zeker percentage (bijvoorbeeld 5%) van de sluieluminantie t.g.v. de directe zon, kan ervoor worden gekozen om de reflectiebron niet mee te nemen en er dus ook geen eisen aan op te leggen.

5.4 Conclusie

Het blijkt dat de duur van de ontoelaatbare lichthinder in situaties van zonreflectie een factor 1,4 keer zo groot is als zowel de directe als gefleeteerde zon in rekening wordt gebracht.

Aangezien alleen de eigenaar van het reflecterende bouwwerk verantwoordelijk kan worden gesteld voor de verblinding door zonreflecties, stelt TNO voor om alleen voor de gereflecteerde zon criteria te hanteren voor de duur van de ontoelaatbare disability glare. Daarnaast zouden er verzachtende omstandigheden kunnen gelden als directe zon en zonreflectie gelijktijdig optreden. Bij de berekening van deze duur in deze omstandigheden zou alleen het gecombineerd optreden van directe zon en reflectie meegenomen kunnen worden, waarbij reflecties worden toegestaan als zij de totale sluieluminantie met bijvoorbeeld ten hoogste 5% doen toenemen.

6 Conclusies

De conclusies zijn uitgesplit over vier delen:

6.1 Ontwikkeling beoordelingsmethode op basis van disability glare

In deze studie is een beoordelingsmethode ontwikkeld voor lichthinder door zonreflectie op de snelweg die gebaseerd is op disability glare (TNOdisab) en die tevens rekening houdt met de contextfactoren, zoals wegsituatie en tijd van de dag.

- Op basis van de maximum toegestane snelheid wordt de afstand bepaald die de weggebruiker nodig heeft om op een veilige manier tot stilstand te komen, de stopafstand.
- Vervolgens wordt bepaald welk contrast de wegbelijning moet hebben om op deze stopafstand voldoende zichtbaar te zijn.
- Met standaard modellen voor daglicht en disability glare wordt berekend wat het waargenomen contrast is voor de te beoordelen verblindings situatie met gereflecteerd zonlicht.
- Vervolgens wordt met een waarnemingsmodel bepaald of de wegbelijning zichtbaar is. Als de wegbelijning onzichtbaar is, dan is de lichthinder ontoelaatbaar, afhankelijk van de locatie van de weggebruiker:
 - Op een recht weggedeelte mag de duur van de onzichtbaarheid van de wegbelijning, afhankelijk van de toegestane maximumsnelheid, niet langer zijn dan 1,3 s tot 1,8 s.
 - In de buurt van een bocht of convergentie- of divergentiepunt is de lichthinder niet toelaatbaar.
- De methode geeft de totale duur van de onzichtbaarheid door zonreflectie in uren per jaar. Hierbij is rekening gehouden met de kans op bewolking. Verder worden de tijdstippen (tijd van dag en dag van het jaar) berekend waarop dit optreedt.

6.2 Vergelijking beoordelingsmethoden

De TNOdisab methode is vergeleken met de bestaande methode op basis van discomfort glare (TNOdiscom) en met een Amerikaanse methode SGHAT, voor een drietal lichthindersituaties met een geluidscherm, een zonnepark en een gebouw boven de weg. Het geluidscherm en het zonnepark waren links of rechts van een westelijk georiënteerde weg gelokaliseerd. Hieruit bleek:

- De nieuwe TNOdisab methode is minder streng dan de oude TNOdiscom beoordelingsmethode. Gemiddeld over de drie lichthindersituaties is, met de TNOdisab methode, de duur van de ontoelaatbare lichthinder 64% van die met de TNOdiscom methode. Hierbij maakt het niet uit of het om een geluidscherm, zonnepark of een gebouw boven de weg gaat en op welke locatie deze objecten staan.
- De beoordelingsmethode volgens het SGHAT-model is gemiddeld over alle lichthindersituaties twee keer zo streng als het oude TNOdiscom model wanneer wordt uitgegaan van de irradiantie-drempel voor een hoog risico op nabeelden. TNO beveelt het gebruik van de nieuwe TNOdisab methode aan, ook al is deze minder streng dan de tot nu toe gebruikte TNOdiscom methode. Bij het ontwikkelen van de nieuwe methode hadden we geen verwachting van

- strengheid van de methode. Het komt namelijk voor dat er disability glare is zonder dat er sprake is van discomfort glare (CIE, 2011).
- De nieuwe methode gaat uit van het *kunnen* waarnemen van *wegbelijning*, wat een veilig uitgangspunt is: wegbelijning is één van de visueel minder opvallende verkeersrelevante gegevens. Als de wegbelijning op voldoende afstand zichtbaar is, dan is een veilige aanname dat ook voertuigen en andere verkeersrelevante objecten zichtbaar zijn.

6.3 Generieke situaties

Met de TNOdisab methode is berekend wat de duur is van de ontoelaatbare lichthinder van een geluidscherm en een zonnepark die links of rechts van de weg waren gelokaliseerd, bij maximum snelheden van 80, 100 en 120 km/h. De oriëntatie van de weg, de rijrichting, varieerde over 16 windrichtingen. De elevatie van de normaal op het geluidscherm en de zonnepanelen in het zonnepark varieerde tussen -30 en +90 graden. Deze berekeningen leverden tabellen op met de duur van de ontoelaatbare lichthinder volgens de TNOdisab methode, waarbij de rekening is gehouden met de kans op een onbewolkte hemel van 1/3. Uit deze resultaten blijkt het volgende:

- De hoogste maximumsnelheid levert de grootste uren op.
- Gemiddeld over alle locaties, rijrichtingen en elevaties levert het geluidscherm, bij de hoogste maximumsnelheid, 7 uur/jaar ontoelaatbare zonreflecties op en het zonnepark 1,5 uur/jaar.
- Door de beperkingen van het zicht door de voorruit en het verschil in zijdelingse afstand is de lichthinder van de objecten aan de rechterkant van de weg groter dan van de linkerkant.
- De meeste kans op lichthinder treedt op voor tussen rijrichtingen zuidwest tot noordwest en noordoost en zuidoost. Voor de rijrichtingen pal noord of zuid treden vrijwel geen zonreflecties op.
- Voor het geluidscherm treedt de meeste lichthinder op bij een elevatie van 0 graden (verticale stand). Bij elevatie kleiner dan -30 graden zijn nooit zonreflecties zichtbaar. Voor het zonnepark treedt de maximum lichthinder op bij een elevatie van 90 graden, als de zonnepanelen horizontaal liggen.

6.4 Invloed directe zon

Om de invloed van de directe zon te bepalen op de lichthinder zijn naast de bijdrage van de gereflecteerde zon ook de bijdragen van de directe zon berekend met de TNOdisab methode. De situaties waarbij alleen directe zon zichtbaar was zijn dus niet meegenomen in deze berekeningen. Het blijkt dat de duur van de ontoelaatbare lichthinder in situaties van zonreflectie een factor 1,4 keer zo groot is als zowel de directe als gereflecteerde zon in rekening wordt gebracht. TNO stelt daarom voor om de directe zon inderdaad mee te nemen in de berekening van de lichthinder, en om bijvoorbeeld reflecties toe te staan als zij de totale sluiertluminantie niet meer laten stijgen dan een nader te bepalen percentage.

7 Referenties

- Adrian, W. (1989). *Visibility of targets: Model for calculation*. Lighting Research and Technology, 21, (4), 181-188.
- Alferdinck, J.W.A.M., Kaptein, N.A., & van der Horst, A.R.A. (1996). *Dynamische openbare verlichting (DYNO). Fase 2: Het vastleggen van een voorlopig schakelregime* (TNO-rapport TM-1996-C05). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Alferdinck, J.W.A.M. & Toet, A. (2006). *Lichthinder van geluidschermen. Fase 1: Literatuurstudie* (TNO-rapport TNO-DV 2006 C199). Soesterberg: TNO Defensie en Veiligheid.
- Alferdinck, J.W.A.M., Toet, A., van der Leden, N., & Zonneveldt, L. (2008). *Glare from sound barriers. Phase 2 and 3: Experiments and modelling* (TNO-report TNO-DV 2008 C148). Soesterberg, The Netherlands: TNO Defence, Security and Safety.
- Alferdinck, J.W.A.M. (2008). *Lichthinder geluidschermen A35* (Rapport TNO-DV 2008 C557). Soesterberg: TNO Defensie en Veiligheid.
- Alferdinck, J.W.A.M. & Martens, M.H. (2009). *Lichthinder van geluidschermen - Fase 3: Verdere ontwikkeling model* (TNO-rapport TNO-DV 2009 C603R). Soesterberg: TNO Defensie en Veiligheid.
- Alferdinck, J.W.A.M. (2008). *Lichthinder geluidschermen A35* (Rapport TNO-DV 2008 C557). Soesterberg: TNO Defensie en Veiligheid.
- Alferdinck, J.W.A.M. & Martens, M.H. (2009). *Lichthinder van geluidschermen - Fase 3: Verdere ontwikkeling model* (TNO-rapport TNO-DV 2009 C603R). Soesterberg: TNO Defensie en Veiligheid.
- Alferdinck, J.W.A.M. (2010). *Lichthinder geluidschermen A2 Den Bosch* (Rapport TNO-DV 2010 C089). Soesterberg: TNO Defensie en Veiligheid.
- Alferdinck, J.W.A.M. & Kooi, F.L. (2013a). *Lichthinder geluidschermen A28 bij Zeist* (TNO-rapport: TNO 2013 R11543). Soesterberg: TNO Behavioural and Societal Sciences.
- Alferdinck, J.W.A.M. & Kooi, F.L. (2013b). *Lichthinder geluidschermen A28 bij Amersfoort* (TNO-rapport: TNO 2013 R11867). Soesterberg: TNO Behavioural and Societal Sciences.
- Alferdinck, J.W.A.M. & Hogervorst, M.A. (2014). *Analyse lichthinder toekomstige geluidschermen A4 bij Steenberg* (TNO-rapport: TNO 2014 R10734). Soesterberg: TNO Behavioural and Societal Sciences.
- Alferdinck, J.W.A.M. (2015). *Analyse van reflectie zonnepanelen langs de A15* (Memorandum, 13 januari 2015). Soesterberg: TNO. *niet openbaar*
- Alferdinck, J.W.A.M., De Goede, M., & van der Horst, A.R.A. (2015). *Human Factors beoordeling mogelijke verblinding aan oost- en westzijde van verdiepte ligging ontwerp Zuidelijke ringweg Groningen* (TNO-rapport: TNO 2015 R11143). Soesterberg: TNO.
- Alferdinck, J.W.A.M., Toet, A., & van Buuren, R.A. (2015). *Lichthinder zonnepanelen knooppunt Almere* (TNO 2015 R11190). Soesterberg: TNO.
- Blaauw, G.J. & Padmos, P. (1981). *Zichtbaarheid 's nachts van wegmarkering op droge en natte wegdekken* (Rapport IZF 1981-C020). Soesterberg: Instituut voor Zintuigfysiologie TNO.
- CEN (2008). *Road marking materials - Road marking performance for road users* (European Standard EN 1436:2007+A1, October 2008). Brussels: European Committee for Standardisation (CEN).

- CIE (1976). *Glare and uniformity in road lighting installations* (Publication CIE No. 31). Vienna, Austria: International Commission on Illumination CIE.
- CIE (1987). *International lighting vocabulary* (Publication CIE Nr. 17.4). Vienna: International Commission on Illumination CIE.
- CIE (2001). *Road surface and road marking reflection characteristics* (Publication CIE 144). Vienna, Austria: International Commission on Illumination CIE.
- CIE (2002). *CIE equations for disability glare* (CIE Publication 146, TC 1-50 report, part of CIE Collection on glare, 2002). Vienna: International Commission on Illumination CIE.
- CIE (2010). *Lighting of roads for motor and pedestrian traffic* (Publication CIE 115:2010). Vienna: International Commission on Illumination CIE.
- CIE (2011). *IVL: International lighting vocabulary* (Publication CIE S 017/E:2011). Vienna: CIE Central Bureau.
- CROW (2002). *Handboek Wegontwerp - Stroomwegen*. (CROW publicatie 164B). Ede: CROW.
- De Boer, J.B. (1967). *Public lighting*. Eindhoven, The Netherlands: Philips.
- De Kruijter, N. (2006). *Beter zicht op ZOAB*. Licht (April 2006), 22-25.
- ECE (2004). *Uniform provisions concerning the approval of safety glazing and their installation on vehicles*. (Regulation 43), Geneva: United Nations.
- Godthelp, J., Milgram, P., Blaauw, G.J., 1984. The development of a time-related measure to describe driving strategy. *Hum. Factors* 26, 257–268.
- Ho, C.K., Ghanbari, C.M., & 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*, 133, (August).
- Ho, C.K., Sims, C.A., Yellowhair, J., & Bush, E. (2015). *Solar Glare Hazard Analysis Tool (SGHAT) Technical reference manual* (SAND2014-18360 O, March 2015). Sandia National Laboratories, U.S. Department of Energy.
- IESNA (2000). *The IESNA Lighting Handbook*. (Ninth ed.) New York: Illuminating Engineering Society of North America.
- Klauer, S.G., Dingus, T. A., Neale, V. L., Sudweeks, J.D., and Ramsey, D.J. (2006) *The Impact of Driver Inattention On Near-Crash/Crash Risk: An Analysis Using the 100-Car Naturalistic Driving Study Data*. National Highway Safety Administration, DOT HS 810 594.
- Martens, M.H., Alferdinck, J.W.A.M., & Hof, T. (2009). *Afwegingskader voor de beoordeling van mogelijk afleidende objecten langs auto(snel)wegen* (TNO-rapport TNO-DV 2009 C453). Soesterberg: TNO Defensie en Veiligheid.
- McKnight, A.S., McKnight, A.J., & Tippetts, A.S. (1998). *The effect of lane line width and contrast upon lanekeeping*. *Accident Analysis & Prevention*, 30, (5), 617-624.
- Merkx-Groenewoud, C. & Perdok, J. (2011). *Beoordeling van objecten langs auto(snel)wegen* (Kader vergunningverlening, 21 oktober 2011, Versie 2). Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart.
- NSVV (2011). *Richtlijn voor openbare verlichting ROVL-2011* (Aanbeveling, april 2011). Ede: Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde NSVV.
- NSVV (2003). *Verlichting van tunnels en onderdoorgangen* (1ste druk, mei 2003). Arnhem: Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde NSVV.
- Padmos, P. & Alferdinck, J.W.A.M. (1983). *Verblindings bij tunnelingangen III: De invloed van strooilicht van de autovoorraad* (TNO-rapport IZF 1983-C10). Soesterberg: Instituut voor Zintuigfysiologie TNO.

- Rofail, A., Dowdle, B., & Perry, J. (2004). *Reflectivity impact on occupants of neighbouring properties*. In: Proceedings of Building Envelope Systems & Technology ICBEST 2004. Sydney.
- RWS (2007). *Nieuwe ontwerprichtlijn autosnelwegen NOA* (1 januari 2007). Rotterdam: Rijkswaterstaat, Adviesdienst Verkeer en Vervoer.
- Rose, T. & Wollert, A. (2015). *The dark side of photovoltaic - 3D simulation of glare assessing risk and discomfort*. Environmental Impact Assessment Review, 52, 24-30.
- Rose, T. (2016). *Persoonlijke communicatie* (e-mail met Johan Alferdinck, 29 maart 2016).
- RWS (2016a). *Persoonlijke communicatie met Gerald Uittenbogerd*, (e-mail met Johan Alferdinck, 13 juli 2016).
- RWS (2016b). *Persoonlijke communicatie met Gerald Uittenbogerd*, (25 augustus 2016).
- Toet, A. & Alferdinck, J.W.A.M. (1992). *Reflectie van zonlicht in geluidschermen langs rijksweg A10* (TNO-rapport TM-1992-C1). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Toet, A., Varkevisser, J., & Alferdinck, J.W.A.M. (2001). *RALONA: een laser zoneringsprogramma* (TNO-rapport TM-01-C033). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- de Vos, A.P., Godthelp, J., Knappler, W.D., 1999. *Subjective and objective assessment of manual, supported, and automated vehicle control*. In: Pauwelussen, J.P. (Ed.), *Vehicle Performance*. Swets & Zeitlinger, Lisse, pp. 97–120.
- Wollert, A. & Rose, T. (2012). *Calculation and visualisation of glare effects caused by photovoltaic systems affecting residents and public traffic*. In: Proceedings IRES 2012, poster paper.

8 Bijlagen

8.1 ZOAB-tabel

Onderstaande tabel geeft de door de Kruijter (2006) gemeten reflectiewaarden van ZOAB.

Tabel 22 R-tabel van de ZOAB gemeten door de Kruijter (2006). De waarden zijn $r = q \cdot \cos(\gamma)^3$ vermenigvuldigd met 10000. q = luminantiecoëfficiënt in $cd/m^2/lx$, "TgG" = $\tan(\gamma)$, β = β = azimut, γ = invalshoek. Zie ook Figuur 1.

Waarden R-Tabel ZOAB (NL)																				
TgGbeta	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399	399
0,25	472	453	440	426	414	404	395	387	379	372	365	349	339	335	335	335	335	335	335	335
0,5	479	474	453	431	405	384	365	347	331	316	303	274	260	259	259	259	259	259	259	259
0,75	472	463	440	405	369	337	307	281	258	239	223	192	182	187	187	187	187	187	187	187
1	450	437	405	354	309	270	237	210	187	169	154	127	122	132	132	132	132	132	132	132
1,25	404	385	349	294	247	207	174	147	126	110	99	81	79	91	91	91	91	91	91	91
1,5	351	332	294	236	188	149	120	99	84	74	66	55	56	65	65	65	65	65	65	65
1,75	304	278	238	181	138	107	85	70	60	52	47	41	42	50	50	50	50	50	50	50
2	263	227	189	138	102	78	61	50	43	38	34	30	33	40	40	40	40	40	40	40
2,5	195	147	115	77	52	38	28	23	19	18	17	17	21	28	28	28	28	28	28	28
3	144	77	52	26	13	7	7	6	6	6	6	8	13	21	21	21	21	21	21	21
3,5	110	20	14	10	5	2	2	2	0	0	0	0	8	15	15	15	15	15	15	15
4	89	13	10	7	3	1	1	1	0	0	0	0	0	11	11	11	11	11	11	11
4,5	76	11	8	6	3	1	1	1	0	0	0	0	0	8	8	8	8	8	8	8
5	68	9	7	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5
5,5	62	8	6	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	58	8	6	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,5	55	7	5	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	52	7	5	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,5	50	6	5	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	48	6	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,5	47	6	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	46	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,5	45	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	44	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10,5	43	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	42	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11,5	42	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	41	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

RTable ZOAB (NL) date 02-11-05

S1=0,66

Q0=0,055

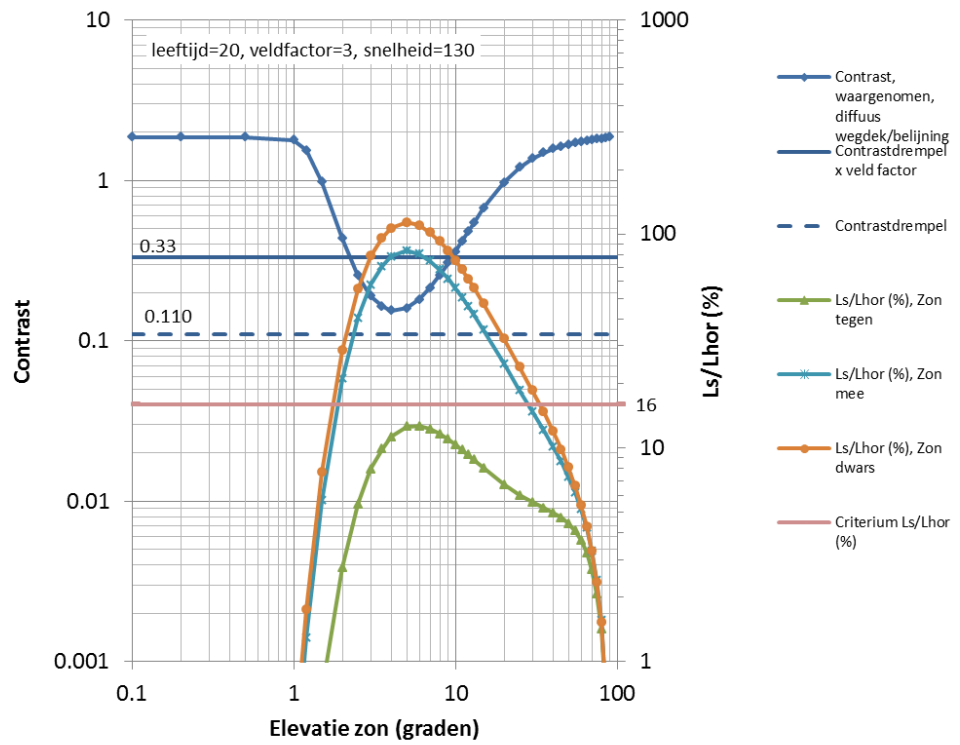
8.2 Berekeningen en figuren bij 2.4.7

In Figuur 25 is het waargenomen contrast van de wegbelijning weergegeven als functie van de elevatie van de zon voor een 20-jarige weggebruiker en een rijsnelheid van 130 km/h. Bij een elevatie van 4 à 5 graden is het contrast op een minimum van ongeveer 0,15. Dit is boven de contrastdrempel van 0,11 maar onder de praktijkdrempel (contrastdrempel x veldfactor) van 0,33. Voor elevaties tussen 2,3 en 9,5 graden is de verblinding dus ontoelaatbaar omdat dan het waargenomen contrast lager is dan 0,33.

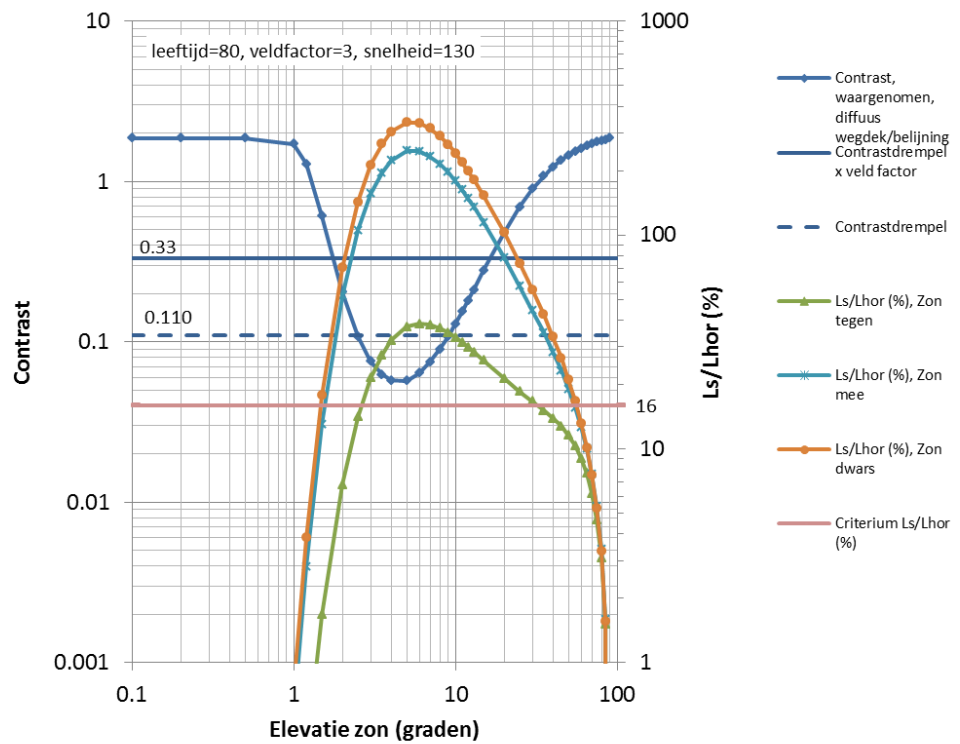
In dezelfde grafiek is de sluierluminantie weergegeven als een percentage van de horizonluminantie ($L_g/L_{hor} \times 100\%$). Voor de tegenlichtsituatie (zon tegen) komt het percentage niet boven het afkeurcriterium van 16% van Toet & Alferdinck (1992) en is dit toelaatbaar. Als de weggebruiker de zon in de rug (zon mee) heeft of dwars op de rijrichting (zon dwars) dan wordt de verblindingssituatie afgekeurd voor een elevatie tussen 2 en 30 graden. In tegenlichtsituatie wordt de verblindingssituatie dus gunstiger beoordeeld dan in een mee- en dwarslichtsituatie. Dat komt omdat in een tegenlichtsituatie, met de zon recht voor, de luminantie van de horizon veel groter is dan bij met de zon dwars of achter.

Voor een 80-jarige weggebruiker treedt er veel meer disability glare op dan voor een 20-jarige weggebruiker. Dit is te zien in Figuur 26. Het waargenomen contrast komt op een minimum van 0,08, dus ruim onder de drempel. Voor elevaties tussen 2 en 15 graden wordt de verblindingssituatie afgekeurd op basis van het contrastcriterium. Op basis van het percentagecriterium wordt de verblindingssituatie afgekeurd tussen elevaties van 1,5 en 50 graden voor mee- en dwarslichtsituaties. Voor tegenlichtsituaties is dat van 2,5 tot 30 graden.

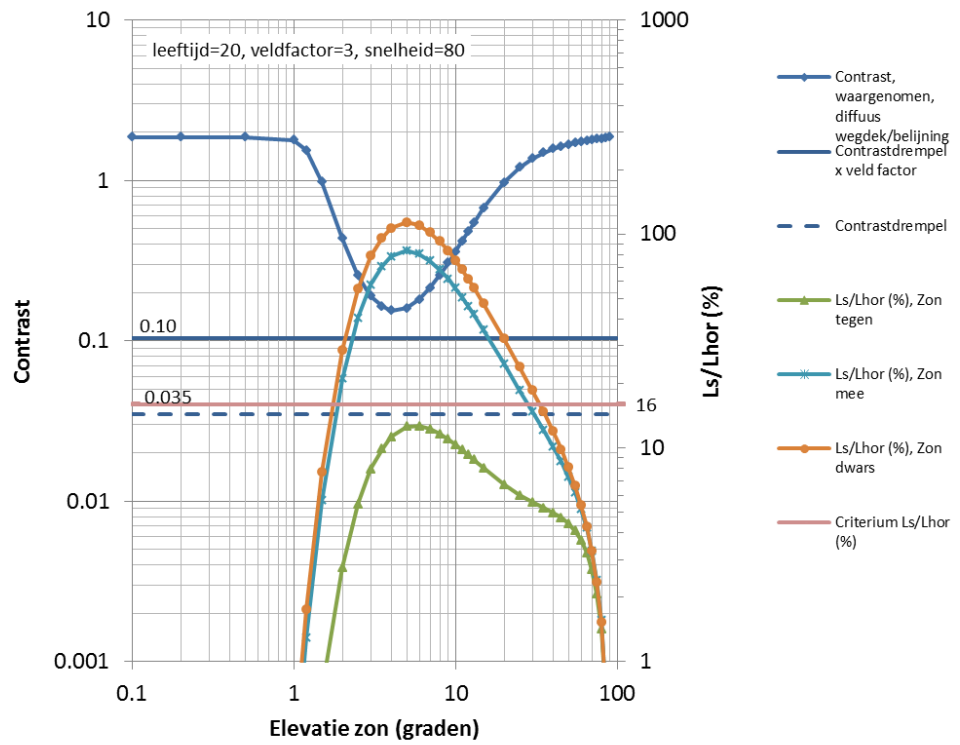
In Figuur 27 en Figuur 28 zijn resultaten weergegeven voor een lagere rijsnelheid van 80 km/h.



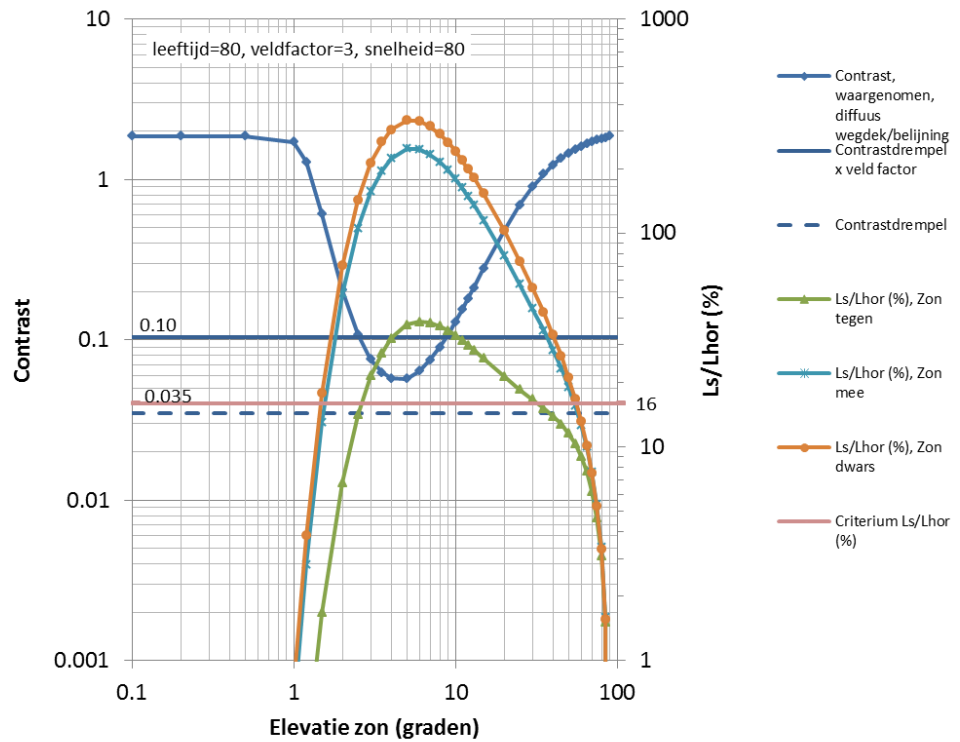
Figuur 25 Contrast van de wegbelijning als functie van de elevatie van de zon vergeleken met de sluieluminantie als percentage van de horizon luminantie (Ls/Lhor (%)). De leeftijd van de weggebruiker is 20 jaar en de rijnsnelheid is 130 km/h.



Figuur 26 Contrast van de wegbelijning als functie van de elevatie van de zon vergeleken met de sluieluminantie als percentage van de horizon luminantie (Ls/Lhor (%)). De leeftijd van de wegebruikers is 80 jaar en de rijnsnelheid is 130 km/h.



Figuur 27 Contrast van de wegbelijning als functie van de elevatie van de zon vergeleken met de sluieluminantie als percentage van de horizon luminantie (Ls/Lhor (%)). De leeftijd van de weggebruikers is 20 jaar en de rijsnelheid is 80 km/h.



Figuur 28 Contrast van de wegbelijning als functie van de elevatie van de zon vergeleken met de sluieluminantie als percentage van de horizon luminantie (Ls/Lhor (%)). De leeftijd van de weggebruikers is 80 jaar en de rijsnelheid is 80 km/h.