

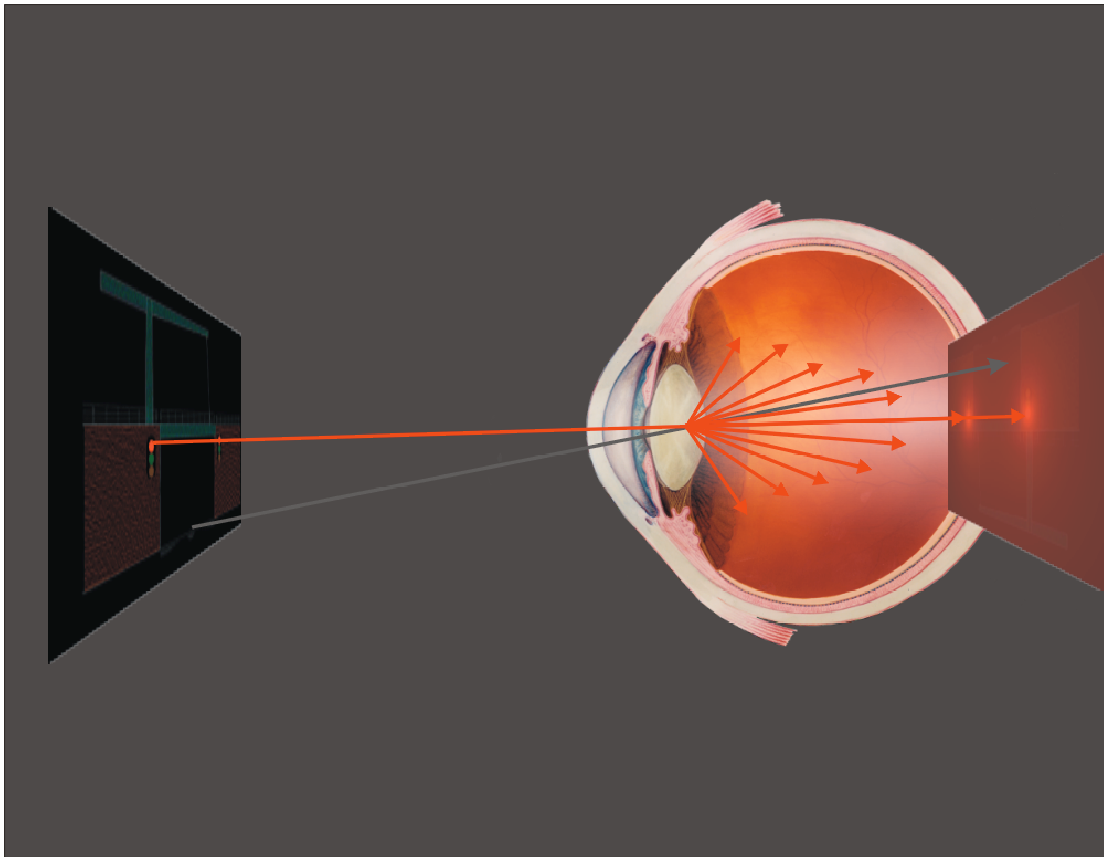
Verblindingsonderzoek Scheepvaartseinen

15 November 2007.

Dr TJTP van den Berg.

Nederlands Instituut voor Neurowetenschappen,
Koninklijke Akademie van Wetenschappen

Amsterdam, www.nin.nl



Dit rapport betreft een onderzoek voor Rijkswaterstaat naar klachten van schippers volgend op de introductie van nieuwe led-scheepvaartseinen. Het licht van sommige seinen zou te “hard” zijn en tot visuele beperkingen (verblinding) leiden in de vaarrichting, en daardoor tot onveiligheid. Afsproken werd deze klachten te onderzoeken door

- (I) De schippers om input te vragen, en het oog aan een (niet belastend) onderzoek te onderwerpen.
- (II) De omstandigheden in kaart te brengen waaronder deze klachten volgens de schippers ontstaan.
- (III) De omstandigheden in relatie tot karakteristieken van het oog te analyseren leidend tot conclusies over de eventuele visuele beperking die de scheepvaartseinen opleveren.
- (IV) Een korte rapportage.

In juli en augustus 2007 zijn in de periodieken “Schuttevaer” en “Binnenvaartkrant” oproepen aan de schippers geplaatst om problemen te melden. De betreffende schippers zijn bezocht en/of telefonische geïnterviewd. Over een 40-tal kunstwerken (vooral bruggen en sluizen) verdeeld over 9 vaarwegen zijn klachten gemeld. Een groot gedeelte is bezichtigd. Technische informatie over de betreffende systemen (lamptypen, aansluitingen, dimming, etc.) is bij de beheerders, technici en leveranciers opgevraagd.

CONCLUSIE De schippers geven in grote lijnen een zeer realistisch beeld van de visuele beperkingen die zij in een aantal gevallen door de scheepvaartseinen ondervinden, hetgeen nogal eens tot gevaarlijke situaties leidt. Er zijn door ons geen afwijkende verblindingsgevoeligheden bij de ogen van de betreffende schippers gevonden. Onderzoek naar de betreffende scheepvaartseinen heeft opgeleverd dat in een flink aantal gevallen te hoge aansluitwaardes zijn geïnstalleerd. Bij betreffende verantwoordelijken blijkt goed zicht op de materie beperkt te zijn. De gevonden gegevens zullen niet herleidbaar tot schippers, instanties, werknemers, fabrikanten etc. worden weergegeven.

Aanbevelingen: In geval van klachten betreffende scheepvaartseinen zou een goede controle uitgevoerd moeten worden. Verantwoordelijken moeten beter leren omgaan met deze materie. Nader onderzoek naar de normstelling is geïndiceerd.

ENGLISH SUMMARY The Dutch governmental organization responsible for waterways (Rijkswaterstaat) received complaints from inland shipping skippers about blinding by newly introduced led-type signal lights. Because of the safety issue involved a study was commissioned to investigate and explain the potential causes of the visual deficit. Complaints were investigated by (I) an appeal to the skippers to report dangerous experiences, and to have their eyes tested with respect to blinding sensitivity (straylight measurement), (II) mapping the reported situations (III) analyzing the visual aspects of the reported situations (IV) reporting. **CONCLUSIONS** In grossen Ganzen did the skippers realistically present true problems with visual function disturbance by signal lights. No deviating blinding sensitivities were found among the skippers. Installation values of the signal lights proved often to be too high. Local officials responsible from the managerial as well as the technical side often showed limited insight in rules and importance of proper light levels. The results of this study will be presented anonymously.

Verblindingsverschijnselen in het algemeen

Verblindingsverschijnselen worden verklaard door het effect van onzuivere beeldvorming in het oog. Bij zuivere beeldvorming zou het licht van een bron, zoals het scheepvaartsein, op slechts één plaats van het netvlies terecht komen. Echter, omdat het lensstelsel in het oog opgebouwd is uit biologisch materiaal wordt het licht niet zuiver afgebeeld, maar wordt een deel van het licht verstrooid. Dit leidt ertoe dat de waarnemer rond een heldere lichtbron een lichtwaas gewaar wordt die van de lichtbron lijkt uit te gaan. Als de helderheid van deze lichtwaas groter is dan die van de objecten die zich op dezelfde plaats als de lichtwaas bevinden, dan kunnen deze objecten slechter, of eventueel in het geheel niet worden waargenomen. Men spreekt dan van verblinding. Het gaat dus om de *verhouding* tussen **(A) de helderheid van de objecten of de achtergrond**, en de lichtwaas. De lichtwaas wordt bepaald door 2 factoren. **(B) De mate waarin licht in het oog verstrooid wordt** en **(C) de lichtsterkte van de lichtbron (het scheepvaartsein)**.

(A) Helderheid van waar te nemen objecten en achtergrond

De helderheid van de door schippers waar te nemen objecten en achtergrond varieert buitengewoon sterk over de dag. De klachten beperken zich echter vrijwel tot het lage uiteinde van de helderheidsschaal die in Nederland voorkomt. Dat wil zeggen de donkerste delen van Nederland zoals kanalen en rivieren in gebieden met weinig bebouwing, en de donkerste tijd van de dag. Als min of meer goed gedefinieerde condities mogen een heldere maanloze hemel dienen, of een volle maan, waarbij de aarde verlicht wordt met "illuminanties" van respectievelijk 0.01 lux en 0.25 lux. Uitgaande van relatief donker gekleurde objecten zoals vaartuigen, remmingswerken, brugdelen, etc en idem achtergronden zoals het wateroppervlak en akkers met een reflectantie rond de 10% leidt dit tot helderheidswaarden (wetenschappelijk "luminantie", weergegeven in cd/m^2) van respectievelijk 0.0003 cd/m^2 en 0.008 cd/m^2 . Met bewolking kunnen deze waarden nog aanzienlijk lager zijn.

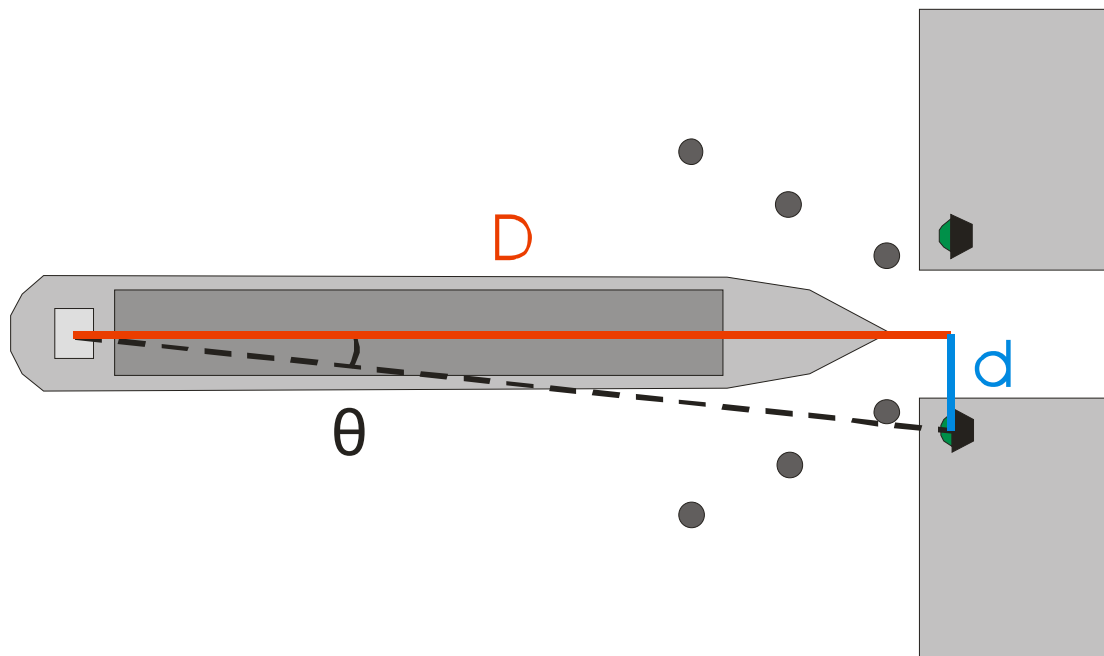
(B) De mate waarin licht in het oog verstrooid wordt

In alle ogen vindt lichtverstrooiing plaats, ook in de allerbeste. Het meest algemeen bekende voorbeeld is de verblinding die men ervaart bij het autorijden 's nachts wanneer een tegenligger met groot licht tegemoet komt. De sterkte van lichtverstrooiing wordt uitgedrukt in de strooilichtparameter s . Jonge ogen hebben gemiddeld $s=7.4$, maar deze waarde neemt met de leeftijd toe. Alle onderzochte schippers bleken voor de (middelhare) leeftijd normale waarden te hebben van rond de $s=10$ (gemiddeld was $\log(s) = 1.02$, standaard deviatie = 0.12). Met behulp van deze parameter kan uitgerekend worden wat de verblindende helderheid is die uitgaat van een lichtbron. Zoals iedereen weet is die helderheid dicht bij de lichtbron hoog, en neemt met toenemende afstand tot de lichtbron af. Die helderheid is dus een functie van de afstand tot de lichtbron zoals die zich aan het oog voordoet. Dit is de

hoekafstand θ die in graden wordt uitgedrukt. De helderheid uitgedrukt als “equivalente luminantie” kan dan als volgt berekend worden:

$$\text{Verblindende helderheid} = L_{\text{eq}} = E_{\text{bl}} \times s / \theta^2 \quad \text{cd/m}^2 \quad (1)$$

Waarbij E_{bl} de verlichtingssterkte (illuminatie) van de verblindende bron op het oog weergeeft, uitgedrukt in lux. Als voorbeeld moge dienen een scheepvaartsein dat zich op een afstand van $d = 8$ meter van het midden van de doorvaartopening bevindt, op ooghoogte van de schipper. Als het oog van de schipper zich op $D = 100$ meter afstand bevindt is de betreffende verblindingshoek $\theta = (180/\pi) \times d / D = 4.6$ graden. Lichten die dicht naast de doorvaart geplaatst zijn geven dus meer hinder dan lichten die verder weg geplaatst zijn. Dit effect was ook herkenbaar in de klachten van de schippers. Bij de sluizen en beweegbare bruggen liepen de overeenkomende afstanden uiteen van $d = 5$ meter tot $d = 11$ meter. De zijkanen van de doorvaartopening bevinden zich veel dichterbij, op 2 tot 4 meter. Bij vaste bruggen met gele onderdoorvaartlichten kan afhankelijk van de ladingstoestand d bijzonder gering worden, soms minder dan 2 meter.



Figuur 2. Illustratie van gebruikte grootheden om de verblindingshoek θ te schatten in geval de schipper naar het midden van een doorvaartopening kijkt. D = afstand schipper tot de doorvaartopening, d = afstand sein tot het midden van de doorvaartopening, θ = de hoek waaronder de schipper verblinding ervaart.

(C) de sterkte van de lichtbron (het scheepvaartsein)

De sterkte van lichtbronnen wordt weergegeven in candela's (cd), en in dit rapport aangegeven met I_{bl} . Op de site www.led2.org worden als aanbevolen waarden in het weg- en scheepvaartverkeer genoemd.

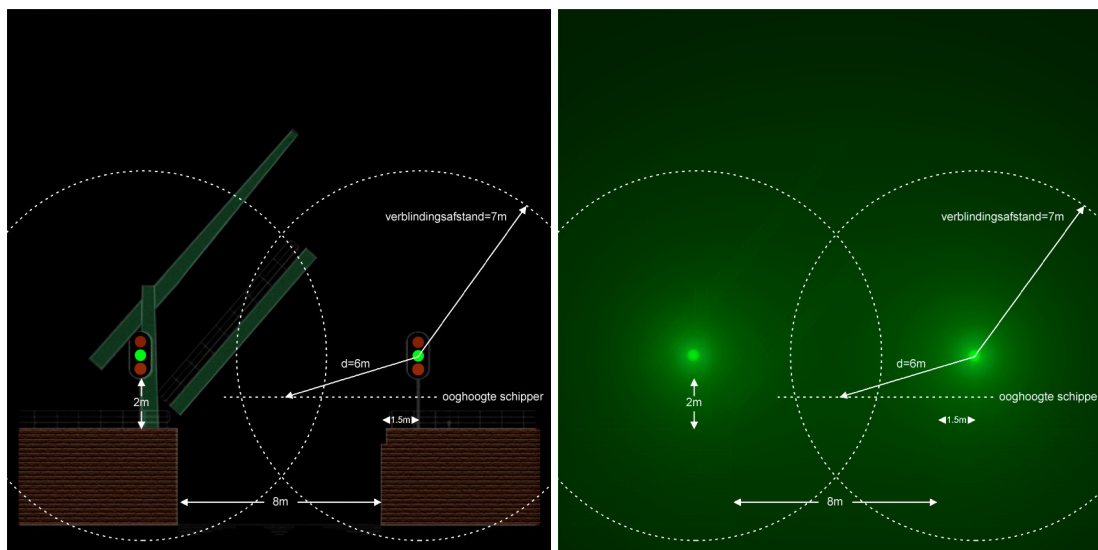
Wegverkeer en mist scheepvaart		$I_{bl} = 400 - 1000$ cd
Scheepvaartverkeer	overdag	$I_{bl} = 100 - 200$ cd
Scheepvaartverkeer	's nachts	$I_{bl} = 25 - 50$ cd

Bij sluizen en beweegbare bruggen betroffen de klachten vooral de groene seinlichten. Bij vaste bruggen heeft men met gele onderdoorvaartlichten te maken. Een groot deel van de scheepvaartseinen waarover klachten ontvangen zijn bleken hoger te liggen dan deze waarden voor het scheepvaartverkeer. De opgegeven sterktes betreffen sterktes zoals gezien in de gebruikelijke richting van de waarnemer, recht vooruit dus. Als de positie van de waarnemer verandert, zoals bij een schipper die een kunstwerk nadert, verandert als regel ook de hoek waaronder het sein gezien wordt en dus de waargenomen sterkte. Alle scheepvaartseinen voldeden volgens de specificaties aan geldende normen (NEN 12368 en NEN 3322) voor een wijde bundel, dat wil zeggen dat de lichtsterkte tot de helft afneemt bij een horizontale hoek van ongeveer 11 en een verticale hoek van ongeveer 6 graden, waarbij grotere waarden zijn toegestaan.

(D) grootte van het verblindingseffect

De op het oog vallende lichthoeveelheid hangt af van de afstand D (in meters; hier benaderd met de afstand tot het midden van de doorvaart) van waarnemer tot lichtbron: $E_{bl} = I_{bl} / D^2$. Maar ook de bovengenoemde verblindingshoek θ hangt van D af. In het resultaat voor het verblindingseffect volgens formule (1) valt D weg, en komt d (de afstand tussen sein en het midden van de doorvaart ter ooghoogte van de schipper) in de plaats:

$$\text{Verblindende helderheid} = L_{eq} = E_{bl} \times s / \theta^2 = I_{bl} \times s / (d \times 180 / \pi)^2 \quad \text{cd/m}^2 \quad (2)$$



Figuur 3. Gefingerd voorbeeld van een verblindings situatie bij een brug.

Dus het gebied dat voor de schipper onzichtbaar is blijft bij nadering van het kunstwerk min of meer constant (in meters). Dit komt goed overeen met de beschrijvingen door de schippers zelf. Het gebied wordt pas weer zichtbaar als de schipper zo dicht genaderd is dat de hoek waaronder het scheepvaartsein door de schipper gezien wordt groter is dan de boven genoemde halfwaardehoek. Dit vindt pas plaats op de afstand $D = (dx180/\pi)/\text{halfwaardehoek}$. Uitgaande van de gunstigste waarde voor de halfwaardehoek van ongeveer 10 graden en van $d = 8$ meter wordt dit $D = 46$ meter. In het onderzoek werden ongeveer 20% grotere halfwaardehoeken gevonden, waarmee deze afstand op 38 meter uitkomt. Bij lagere waarden dan $d = 8$ wordt deze afstand navenant kleiner. Voor onderdoorvaartlichten werden de kleinste afstanden gevonden tussen oog en licht, tot slechts 2 meter of minder. Bij $d = 2$ meter volgt een $D = 9.5$ meter. Eén fabrikant geeft ± 30 graden als breedte van de bundel aan. Dit geeft bij $d = 8$ voor $D = 15$ meter.

Zoals gemeld hangt het verblindende effect sterk af van de helderheid van de waar te nemen objecten en achtergrond, en neemt de verblindende helderheid sterk af met de afstand tot de lichtbron. Op welke afstand houdt deze helderheid in de praktijk op met verblindend te zijn? Aangenomen mag worden dat van ernstige hinder sprake is als beide helderheden hetzelfde zijn. Dus als L_{eq} gelijk is of meer dan de achtergrondshelderheid. Als dat het geval is, heeft de gevoeligheid van het oog een factor 2 ingeboet ten opzichte van de uitgangssituatie zonder verblindende lichtbron. Het aldus gedefinieerde verblindingsgebied heeft een straal r die door inversie van formule (2) berekend kan worden. In de tabel hieronder is deze afstand weergegeven voor de twee boven benoemde nachtsituaties (volle maan en maanloze hemel) voor een aantal in de praktijk aangetroffen situaties.

$$\text{Verblindingsafstand } r = \pi/180 \sqrt{(I_{bl} \times s / \text{omgevingshelderheid})} \quad (3)$$

strooilicht parameter s =		10.5			
casus	bl 's nachts groen of geel (cd)	d (meter)	verblindingsafstand		
			volle maan (meter)	maanloos (meter)	
1	aanvaring klap brug	100	4.5	6	33
2	"met ogen dicht onder de brug door"	150	2	8	40
3	Nieuwe seinlichten brug/sluis klein kanaal	130	5.5	7	37
4	Nieuwe seinlichten sluis groot vaarwater	150	10	8	40

Slotbeschouwing

Het zal duidelijk zijn dat in deze rapportage gewerkt moest worden met getallen-voorbeelden waaraan onzekerheden kleven. Met name wat betreft helderheden van de waar te nemen objecten en achtergronden. Veel minder groot zijn de onzekerheden in de lichtsterktes van de seinlichten en hun afstanden tot de doorvaartopening. Voor de lichtsterktes is van verstrekte documentatie gebruik gemaakt. Aangetekend moet echter worden dat het veelal aanzienlijke moeite kostte correcte informatie over de daadwerkelijk geïnstalleerde seinen te verkrijgen. Met waardering voor de vele hulp bleek bij de betreffende verantwoordelijken, zowel op managementniveau als op het uitvoeringsniveau beperkt inzicht te bestaan in de feitelijke installaties en de betreffende regelingen. Het bestaan van normering werd veelvuldig als excuus aangevoerd.

Het menselijke oog lijkt nog de meest betrouwbare bron van informatie. In de gesprekken die ik met vele schippers heb gehad bleken zij impliciet een scherp inzicht te hebben in de parameters die zoals hierboven beschreven de verblindingseffecten bepalen. Op een belangrijk vaarwater heeft een Rijkswaterstaatsmedewerker een inspectietocht uitgevoerd die hun waarnemingen bleek te bevestigen. De schippers wil ik dankzeggen voor hun tijd, en de bereidheid hun ogen aan een kritische test te onderwerpen. Alhoewel de klachten gekoppeld waren aan de introductie van het nieuwe type led seinen, bleken ze gedeeltelijk gloeilamp-seinen te betreffen. Een andere kanttekening is dat de normeringswaardes zelf niet onderzocht zijn, maar dat die in het licht van deze beschouwingen geplaatst zouden moeten worden.

Referenties:

Voor algemene bronnen met achtergrondinformatie over strooilicht in het menselijke oog en verblinding zie www.nin.nl groep OST (van den Berg) of <http://www.nin.knaw.nl/IndexNIN/Departments/OST/OSTFrameset.html>
In het bijzonder het document “Straylight Introduction”