

TNO-rapport**TNO 2013 R10501****Lichtdoorlating van stuurhuisruiten****Behavioural and Societal
Sciences**Kampweg 5
3769 DE Soesterberg
Postbus 23
3769 ZG Soesterbergwww.tno.nlT +31 88 866 15 00
F +31 34 635 39 77
infodesk@tno.nl

Datum	april 2013
Auteur(s)	ing. J.W.A.M. Alferdinck dr.ir. M.A. Hogervorst
Aantal pagina's	30 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	Ministerie Infrastructuur en Milieu - Directoraat-Generaal voor Bereikbaarheid
Projectnaam	Lichtdoorlatendheid stuurhuisruiten
Projectnummer	057.02558

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, 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 belang-hebbenden is toegestaan.

© 2013 TNO

Samenvatting

Vraagstelling

Volgens internationale regelgeving moeten stuurhuisruiten van binnenvaartschepen een minimale lichtdoorlatendheid van 75% hebben. De scheepvaartsector vraagt zich af of deze eis omlaag kan omdat een groot deel van de schepen voorzien is van groen getinte ruiten met een lagere lichtdoorlatendheid. In deze studie onderzoeken we in hoeverre de minimaal toegestane lichtdoorlatendheid van stuurhuisruiten van binnenvaartschepen verlaagd kan worden van 75% naar lagere waarden van groen-getinte en bruin-getinte (brons) ruiten. Daarnaast wordt een aanzet te geven voor een meetprotocol om de lichtdoorlatendheid van stuurhuisruiten te kunnen vaststellen in de praktijk.

Werkwijze

Om inzicht te krijgen in de visuele taak van de schipper en om fotometrische metingen aan boord te kunnen uitvoeren is een elftal binnenvaartschepen bezocht. We hebben een aantal lichttechnische parameters bepaald, zoals soort ruit, (kleur, aantal lagen), lichtdoorlatendheid ruit, schuinstand ruit, plafondrelectie. Daarnaast zijn door middel van modelberekeningen de detectieafstanden bepaald van een navigatielicht bij nacht en een onverlichte boei overdag, bij verschillende waarden van de lichtdoorlatendheid van de stuurhuisruit. Hierbij is uitgegaan van de parameters gemeten op de schepen, standaard lichtomstandigheden en de voorgeschreven lichtsterkten van signaallichten. Op basis van marktonderzoek, modelberekeningen en analyses is een voorstel gemaakt voor een meetprotocol.

Resultaten

Uit metingen op de schepen blijkt dat stuurhuisruiten met de kleuren blank, groen en brons een gemiddelde lichtdoorlatendheid hebben van respectievelijk 82%, 64% en 47%. Hiermee voldoen de groen en brons getinte ruiten niet aan de huidige norm van minimaal 75%. De gemiddelde reflectiefactor van het plafond van stuurhuizen is bepaald op 0,555. Uit de modelberekeningen blijkt dat de zichtbaarheid van objecten overdag nauwelijks wordt beïnvloed door de lichtdoorlatendheid, mits deze hoger is dan 20%. Vergeleken met een normale ruit (75%) vermindert de detectieafstand voor brons en groen getinte ruiten met respectievelijk 0,7% en 0,2%. 's Nachts neemt de detectieafstand wel noemenswaardig af bij afnemende lichtdoorlatendheid en wordt deze ook beïnvloed door de reflectie van het plafond en de interne stuurhuisverlichting. Vergeleken met een normale ruit vermindert de detectieafstand voor brons en groen getinte ruiten met respectievelijk 17% en 6%. De negatieve invloed van groen getinte ruiten op de detectieafstand bij nacht is te compenseren door aanpassingen van het interieur van stuurhuizen. Voor brons getinte ruiten is dit niet te compenseren. Bij het meten van de lichtdoorlatendheid van stuurhuisruiten in de praktijk zouden de handzame meetinstrumenten ingezet kunnen worden die ook voor het meten van autoruiten worden gebruikt. Deze instrumenten zijn echter alleen goed bruikbaar mits ze worden gekalibreerd voor de grotere dikten van de stuurhuisruiten en er een goede afscherming is voor strooielicht. Daarnaast moet een correctie worden uitgevoerd voor het schuin staan van de ruiten.

Conclusies

Getinte stuurhuisruiten hebben overdag een verwaarloosbare invloed op het waarnemen objecten buiten het stuurhuis. 's Nachts is die invloed groter maar kan voor groen getinte ruiten worden gecompenseerd door aanpassing van het stuurhuisinterieur. Het meten van de lichtdoorlatendheid van stuurhuisruiten in de praktijk met bestaande meetinstrumenten is alleen mogelijk als deze voor dit doel zijn gemodificeerd en gekalibreerd.

Summary

Purpose

According to international legislation pilothouse windows of inland vessels should have a minimum light transmission of 75%. The shipping sector is wondering whether this requirement can be reduced since a large portion of the fleet is equipped with green tinted windows panes with a lower light transmission. In this study, we answer the question whether the minimum allowable light transmission of pilothouse windows of inland vessels can be reduced from 75% to lower values of green and bronze tinted windows. Furthermore, a protocol is proposed for the measurement of light transmittance of pilothouse windows in practice.

Methods

In order gain insight of the visual task of the skipper and to perform photometric measurements we visited eleven inland vessels. We determined a set of light technical parameters such as, window pane type (color, number of layers), light transmission and tilt angle of the window pane, ceiling reflection. Using a visual model the detection distances were calculated for a navigation light at night and an unlit buoy during the daytime, for various light transmissions of the pilothouse window. This was based on the parameters measured on the vessels, standard lighting conditions and the prescribed intensities of signal lights. A proposal for the measurement protocol is made on the basis of market research, modeling and analysis.

Results

The measurements on the vessels showed that white, green and bronze window panes have an average light transmission of 82%, 64% and 47%. Thus, the green and bronze tinted panes do not meet the current requirement of 75%. The average reflectance of the pilothouse ceiling was 0.555.

The model calculations show that the visibility of objects at daytime hardly is affected by pane transmission provide that the transmission is more than 20%. Compared with a normal window pane (75%) the detection distance for bronze and green tinted windows reduces with 0.7% and 0.2%. At night, the detection distance decreases with decreasing transmission and is also affected by the reflection of the ceiling and the internal lighting of the pilothouse. Compared with a normal window pane the detection distance for bronze and green-tinted windows reduces with 17% and 6%. The negative influence of green tinted windows on the detection distance at night can be compensated by modifications of the interior of pilothouse.

This compensation is not possible for bronze tinted window panes.

For measuring light transmission in the pilothouse window panes in practice, the hand-held measuring devices for car windows can be used provided that the instrument is calibrated for the larger thickness of the pilothouse windows and is equipped with a good shielding for stray light. In addition, a correction for the inclined windows should be applied.

Conclusion

At daytime tinted pilothouse window panes have a negligible adverse influence the visual perception of objects outside. At nighttime, this influence is larger but for green tinted windows it can be compensated by modifying the pilothouse interior. Measurement of light transmission of pilothouse windows in practice with existing measuring devices is only possible if these devices are modified and calibrated for this purpose.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	2
	Summary	4
1	Inleiding	7
2	Methode	8
2.1	Meting op schepen	8
2.2	Modelberekening	9
2.3	Meetprotocol	13
3	Resultaten	14
3.1	Metingen op schepen	14
3.2	Modelberekeningen	16
3.3	Meetprotocol	21
4	Discussie	25
4.1	Mogelijkheid tot verbetering.....	25
4.2	Afscherming voor de zon	25
5	Conclusie.....	27
6	Referenties	28
	Bijlage(n)	
	A Bijlagen	

1 Inleiding

Om veilig met binnenvaartschepen te kunnen varen moeten de ruiten van stuurhuizen voldoende lichtdoorlating hebben. Volgens internationale regelgeving moeten deze stuurhuisruiten een minimale lichtdoorlatendheid hebben van 75% (EU, 2006). Vanaf 2010 is deze bepaling ook daadwerkelijk van kracht. De scheepvaartsector ziet het nut van deze bepaling in, maar betwijfelt of de lichtdoorlatendheidseis van 75% echt nodig is en of niet volstaan kan worden met een lagere lichtdoorlatendheid (experts menen dat veel toegepaste “groene” ruiten een lichtdoorlatendheid hebben van 70%). In ieder geval is er geen hard en concreet bewijs dat er een veiligheidsgrens doorbroken wordt bij 75%. De sector ziet het als kapitaalvernietiging als in groten getale ruiten vervangen moeten worden. Men ziet in dat brons en grijs glas tot een te lage lichtdoorlatendheid kan leiden, maar suggereert het veelvuldig toegepaste groene glas voor bestaande schepen toe te laten.

Het ministerie doet daarom het volgende voorstel:

- Onderzoek te doen naar de minimale lichtdoorlatendheid van ruiten waarbij op voldoende veilige afstand bij slechte weersomstandigheden (regen, mist, schemering en nacht) lichtsignalen kunnen worden waargenomen c.q. worden onderscheiden.
- Op basis van dit onderzoek te bezien in hoeverre bepaalde ruiten een belemmering vormen voor de veiligheid. Daarbij kan de stelregel worden gehanteerd dat in ieder geval brons en grijs gekleurde ruiten niet worden toegestaan vanwege de te lage lichtdoorlatendheid van deze ruiten. Deze ruiten zullen in elk geval moeten worden vervangen.
- Een meetprotocol op te stellen om in de praktijk de lichtdoorlatendheid van stuurhuisruiten te kunnen vaststellen. Het onderzoek zal hiervoor een eerste concept dienen op te leveren.

De hoofdvraag van het ministerie is:

Kan de minimaal toegestane lichtdoorlatendheid van stuurhuisruiten van binnenvaartschepen verlaagd worden van 75% naar lagere waarden van groen-getinte en bruin-getinte (brons) ruiten?

In dit rapport wordt verslag gedaan van de werkzaamheden voor de beantwoording van deze vraag. Hiervoor is een taakanalyse uitgevoerd om duidelijk te krijgen welke objecten (lichten, boeien, enz.) zichtbaar moeten zijn vanuit het stuurhuis, op welke afstand en onder welke weersomstandigheden. Ook is nagegaan welke aspecten invloed hebben op de waarneembaarheid van de objecten. Daarnaast is de lichtdoorlatendheid van een aantal representatieve ruiten bepaald.

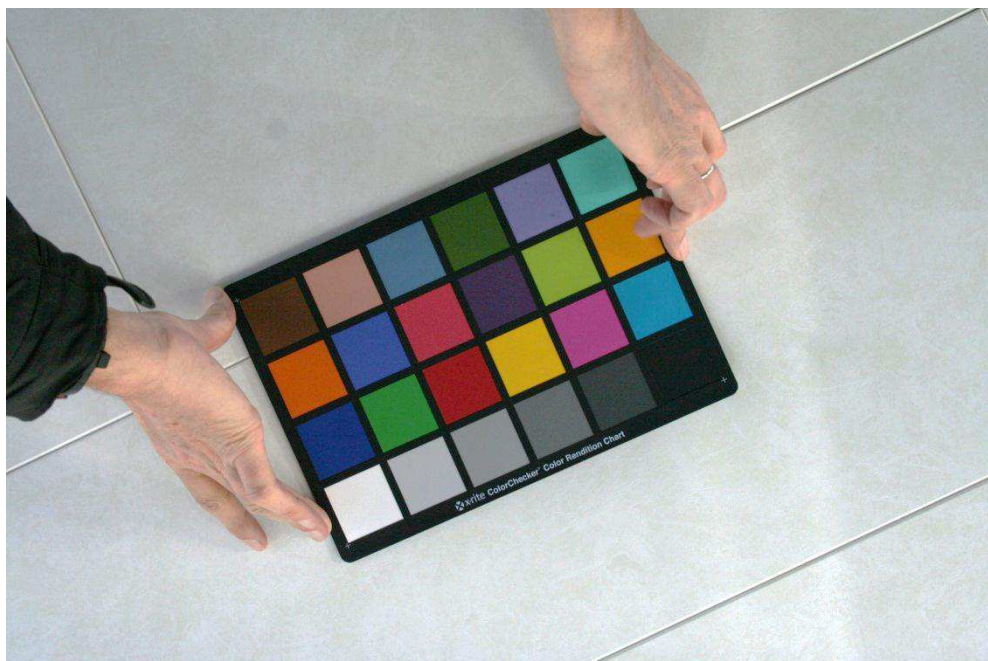
Gebaseerd op deze gegevens is met een visueel waarnemingsmodel de detectieafstand berekend van de relevante objecten met hun voorgeschreven lichtsterkte en luminantie. Daarnaast wordt een voorstel gedaan voor een meetprotocol voor het bepalen van de lichtdoorlatendheid van stuurhuisruiten in de praktijk. Tenslotte worden conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

2 Methode

2.1 Meting op schepen

Om inzicht te krijgen in de visuele taak van de schipper en om fotometrische metingen aan boord uit te kunnen voeren zijn een elftal binnenvaartschepen bezocht. Hierbij is door mondelinge communicatie met de schipper en een expert van de inspectie nagegaan welke objecten (lichten, boeien, enz.), op welke afstand en onder welke omstandigheden zichtbaar moeten zijn om de stuurtaak goed uit te voeren. Er is gevraagd wat de meest kritische visuele objecten tijdens de stuurtaak zijn in dag- en nachtcondities en onder welke omstandigheden deze waarneming moeilijk is.

Met een luminantiemeter (Lichtmesstechniek, L1009) is de luminantie gemeten van een lichtend vlak met en zonder ruit. De verhouding van het de luminantie met en zonder ruit geeft de lichtdoorlatendheid (of lichttransmissie)¹ van de ruit. Als lichtend vlak werd meestal de lucht net boven de horizon genomen. De reflectie van het plafond is een belangrijke parameter voor het bepalen van het zicht vanuit het stuurhuis als de ruit van het stuurhuis schuin voorover staat en in de reflectie van de ruit het plafond zichtbaar is voor de waarnemer in het stuurhuis. De reflectie van het plafond is gemeten door deze te vergelijken met de reflectie van een standaard kleurenkaart (x-rite ColorChecker) met bekende reflectiegegevens. De kleurenkaart op het plafond gelegd en gefotografeerd (Figuur 1). Met een beeldanalyseprogramma werden de reflectiegegevens uit de foto gehaald via een interpolatieprocedure werd de reflectie van het plafond uitgerekend.



Figuur 1 Meting van de reflectie van het plafond met een standaard kleurenkaart.

¹ In dit rapport worden de termen lichtdoorlaatbaarheid, lichttransmissie en transmissie door elkaar gebruikt maar ze betekenen hetzelfde. Ze worden uitgedrukt in een getal tussen 0 en 1 of een percentage tussen 0% en 100%.

De invloed van het plafond is niet alleen afhankelijk van de reflectie van de plafond maar ook van de hoeveelheid licht dat op het plafond valt, verlichtingssterkte op het plafond. Om de invloed van het buitenlicht te bepalen werd de verlichtingssterkte op het plafond (E_p) gemeten en de horizontale verlichtingssterkte buiten het stuurhuis (E_h). De verhouding E_p/E_h is een eigenschap van het stuurhuis en geeft aan hoeveel licht van buiten op het plafond terecht komt. Als deze verhouding bekend is dan is het mogelijk om de verlichtingssterkte op het plafond te berekenen bij verschillende lichtniveaus buiten het stuurhuis. Daarnaast werd de hoek van de voorruit van het stuurhuis met de verticaal gemeten.

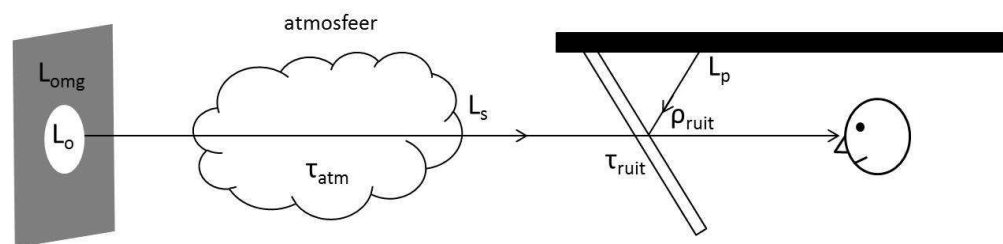
2.2 Modelberekening

2.2.1 Algemeen

Op basis van een waarnemingsmodel is berekend wat de invloed is van de ruit van het stuurhuis op de zichtbaarheid van objecten buiten het stuurhuis. Hierbij is de invloed van de lichtdoorlatendheid en de reflectie van de ruit in rekening gebracht. Er is uitgegaan van een aantal standaardsituaties in dag- en nachtcondities waarbij een menselijke waarnemer in het stuurhuis een navigatielicht en een boei moet kunnen waarnemen. We hebben de maximale afstand berekend waarop deze objecten net zichtbaar zijn. Dit wordt de detectieafstand genoemd.

2.2.2 Model

De waarnemingssituatie in een stuurhuis is schematische weergegeven in Figuur 2. De waarnemer kijkt door het raam van het stuurhuis naar een object buiten het stuurhuis. Het object is in dit geval cirkelvormig en is helderder dan zijn directe omgeving. Als het contrast tussen object en omgeving en de grootte van het object voldoende groot is dan is het object zichtbaar voor de waarnemer. Het licht van het object en omgeving wordt verzwakt door de atmosfeer en de ruit. Daarnaast wordt het contrast van de verlaagd door strooielicht in de atmosfeer en de reflectie van het plafond in de ruit die worden opgeteld bij het beeld van het object en zijn directe omgeving.



Figuur 2 Schematische weergave van waarnemingssituatie in een stuurhuis. L_o = luminantie van het object, L_{omg} = luminantie van de directe omgeving van het object, L_p = luminantie van het plafond, τ_{ruit} = transmissie ruit, ρ_{ruit} = reflectiefactor ruit. τ_{atm} = transmissie atmosfeer, L_s = sluieluminantie van de atmosfeer.

Het waargenomen contrast van het object kan worden beschreven met de formule:

$$C_w = \frac{\tau_{ruit}\tau_{atm}(L_o - L_{omg})}{\tau_{ruit}(\tau_{atm}L_{omg} + L_s) + \rho_{ruit}L_p} \quad (1)$$

Hierin is

L_o = luminantie van het object (cd/m^2)

L_{omg} = luminantie van de directe omgeving van het object (cd/m^2)

L_p = luminantie van het plafond van het stuurhuis (cd/m^2)

τ_{ruit} = transmissie of lichtdoorlatendheid stuurhuisruit (0...1 of 0%...100%)

τ_{atm} = transmissie atmosfeer (0...1)

ρ_{ruit} = reflectiefactor ruit (0...1)

L_s = sluiertluminantie van de atmosfeer (cd/m^2)

Uit de formule volgt dat het contrast dat wordt waargenomen vanuit het stuurhuis wordt beïnvloed door de transmissie en reflectie van de ruit. Als de reflectie aan de binnenkant van de ruit of de luminantie van het plafond groter wordt dan wordt het contrast lager. Als de transmissie van de ruit lager wordt dan wordt in de regel het contrast lager omdat de sluiertluminantie afkomstig van het plafond relatief groter wordt (aangezien de factor $\rho_{ruit}L_p$ ongelijk aan nul is).

Het object is alleen zichtbaar als het waargenomen contrast hoger is dan het zogenaamde drempelcontrast C_{dr} . Dit drempelcontrast is afhankelijk van de waargenomen omgevingsluminantie en de waargenomen grootte van het object. De waargenomen omgevingsluminantie $L_{omg,w}$ is gelijk aan de noemer van formule (1):

$$L_{omg,w} = \tau_{ruit}(\tau_{atm}L_{omg} + L_s) + \rho_{ruit}L_p \quad (2)$$

Als de verlichtingssterkte op het plafond (E_p) en de reflectiefactor van het plafond (β_p) bekend zijn dan kan de luminantie van het plafond uitgerekend worden met:

$$L_p = \frac{\beta_p E_p}{\pi} \quad (3)$$

Hierbij wordt aangenomen dat het plafond een mat oppervlak heeft en vergeleken kan worden met een diffuse reflector. Het plafond wordt verlicht door eventuele kunstverlichting binnen in het stuurhuis ($E_{p,int}$) en het daglicht van buiten. De verlichtingssterkte op het plafond ten gevolge van het buitenlicht is evenredig met de transmissie van de ruit en de horizontale verlichtingssterkte buiten het stuurhuis.

$$E_p = E_{p,int} + C \cdot \tau_{ruit} \cdot E_h \quad (4)$$

De factor C is gemeten op de binnenvaartschepen en is gemiddeld gelijk aan 0,071.

De waargenomen grootte van het object α in termen van visuele hoek in boogminuten is gelijk aan:

$$\alpha = 60 \tan^{-1} \left(\frac{D}{d} \right) \quad (5)$$

Hierin is D de diameter van het object in meters en d de afstand tussen het object en de waarnemer in meters. Als het object niet cirkelvormig is dan kan als benadering de diameter genomen van een cirkel met de hetzelfde oppervlakte als het object. De uitkomst van de inverse tangens functie is in graden.

De transmissie van de atmosfeer heeft invloed op de waarneming van de luminantie van het object en de achtergrond. De luminantie moeten worden gecorrigeerd voor de transmissie van de atmosfeer over de afstand van de waarnemer tot het object (d in m) is gelijk aan:

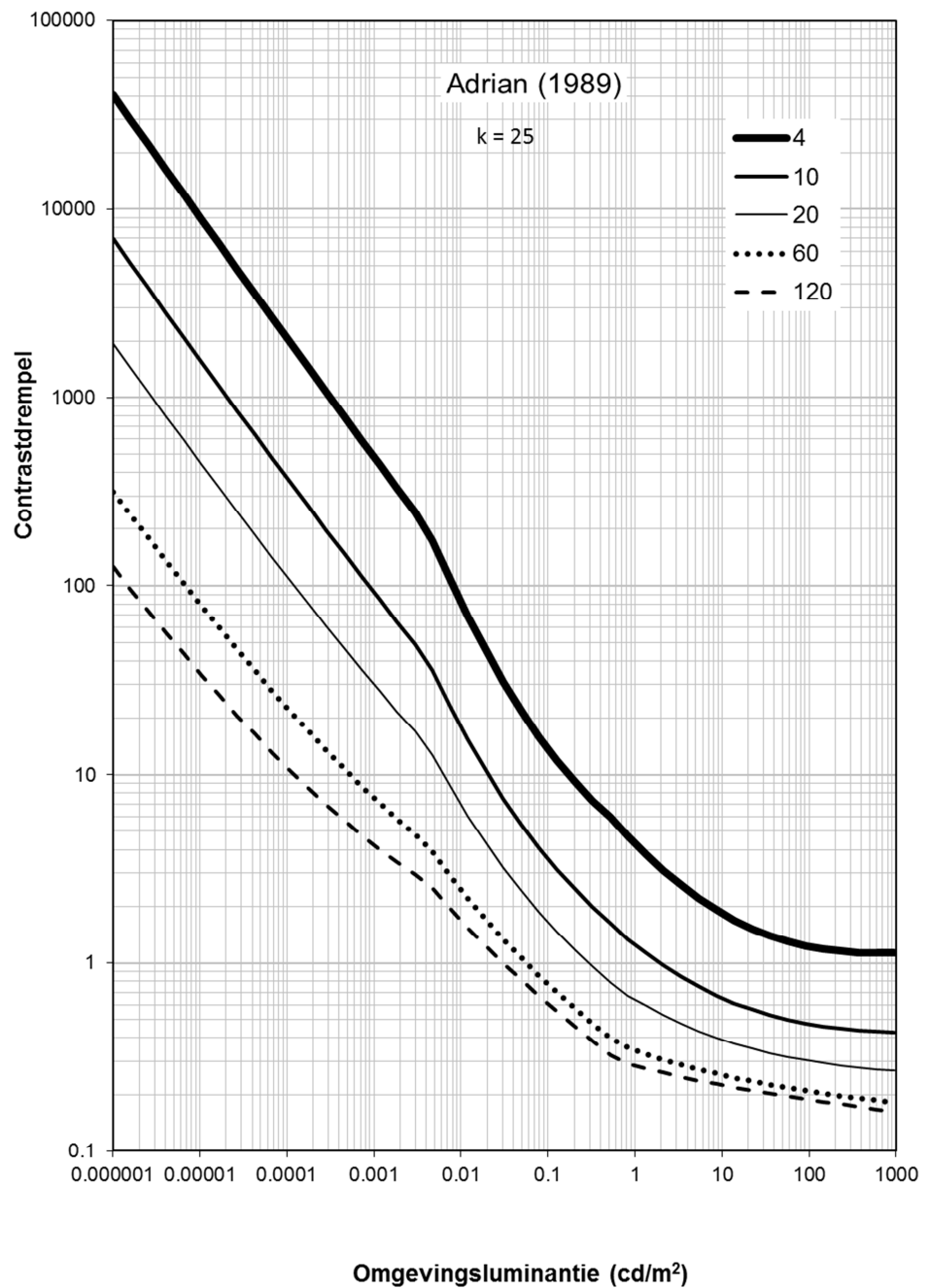
$$\tau_{atm} = e^{-\frac{3d}{Z}} \quad (6)$$

Hierin is Z het meteorologisch zicht in m. De sluieluminantie in de atmosfeer kan worden berekend met de formule:

$$L_s = \left(1 - e^{-\frac{3d}{Z}}\right) L_{hor} = (1 - \tau_{atm}) L_{hor} \quad (7)$$

De sluieluminantie is evenredig met de luminantie van de hemel net boven de horizon (L_{hor} in cd/m^2). De sluieluminantie zorgt voor een verlaging van het contrast van het object en de achtergrond. Bij kleiner wordend meteorologisch zicht (Z) zal de sluieluminantie toenemen en het contrast afnemen (zie formule 1).

Het drempelcontrast is berekend met het waarnemingsmodel van Adrian (1989) dat gebaseerd is op gegevens van Blackwell (1946). Het drempelcontrast is in Figuur 3 weergegeven als functie van de omgevingsluminantie en verschillende grootten van het (cirkelvormige) object. De grafiek geldt voor een zogenaamde veldfactor k van 25. De veldfactor is de factor waarmee het in het laboratorium gemeten drempelcontrast moet worden vermenigvuldigd om een contrast te krijgen dat objecten moeten hebben om in de praktijk goed zichtbaar te zijn. Adrian (1989) zegt dat voor visuele elementen in het verkeer waarschijnlijk een veldfactor van 10 voldoende is. Welke veldfactor gehanteerd moet worden hangt onder meer af van het risico dat een object niet gezien wordt. Zo hebben Padmos en Vos (1974) voor het waarnemen van landingsbaanlichten een veldfactor van 25 gebruikt. Ook voor het ontwerpen van striping op voertuigen van politie, brandweer en ambulance is uitgegaan van een veldfactor van 25 (Alferdinck, 2010). Bij de huidige berekeningen is ook een veldfactor van 25 gebruikt. Het gaat bij het berekenen van de detectieafstand in de eerste plaats om de relatieve verschillen tussen de verschillende soorten ruiten voor stuurhuizen. Daarom is de absolute waarde van de veldfactor van minder groot belang.



Figuur 3 Contrastdrempel volgens het waarnemingsmodel van Adrian (1989) als functie van de omgevingsluminantie voor cirkelvormige objecten van verschillende diameters (4, 10, 20, 60, 120 boogminuten) en een veldfactor k van 25.

Uitgaande van een bepaalde omgevingsluminantie, objecteigenschappen en eigenschappen van de stuurhuisruit en het stuurhuisplafond is de afstand uitgerekend waarbij het waargenomen contrast overeenkomt met het drempelcontrast. Dit is de detectieafstand. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een aantal typische situaties bij dag en bij nacht.

2.3 Meetprotocol

Op basis van een marktonderzoek, modelberekeningen en analyses is nagegaan wat het beste meetprotocol is voor het bepalen van de lichtdoorlatendheid van stuurhuisruiten in de praktijk.

3 Resultaten

3.1 Metingen op schepen

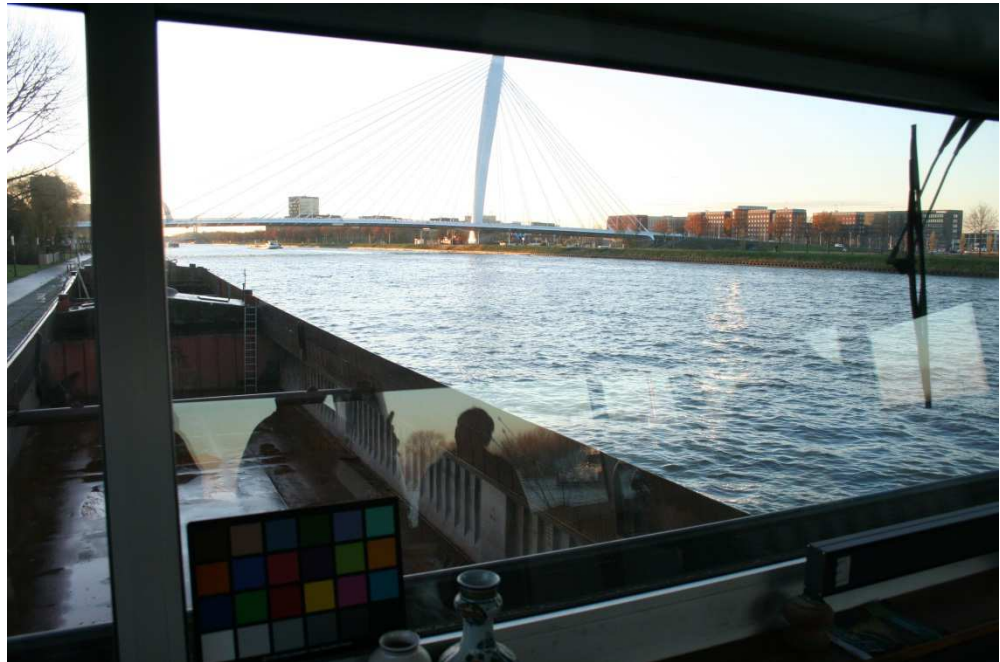
Op 26, 29 en 30 november 2012 zijn bezoeken gebracht aan een elftal binnenvaartschepen. De schepen lagen in de haven van Rotterdam (26 en 30 november) of in de haven van Utrecht en het Amsterdam-Rijnkanaal (29 november). Op 26 november zijn de binnenvaartschepen benaderd met behulp van een schip (RPA-2) en medewerkers van het Havenbedrijf Rotterdam. Op 29 november zijn de schepen in de buurt van Utrecht bezocht in is een schip (RWS-60) en medewerkers van Rijkswaterstaat.

In Tabel 1 staan de bezochte binnenvaartschepen met de gegevens van de voorruit en het plafond. Hierbij waren twee schepen van de havendienst Rotterdam (nr.1 en nr. 4), een passagiersschip (nr. 10) en de rest van de schepen waren vrachtschepen. Verreweg de meeste stuurhuizen zijn uitgevoerd met dubbel glas. Van de elf ruiten hebben we vier ruiten gekwalificeerd als blanke heldere getinte ruiten waarvan de lichtdoorlatendheid varieert van 79,7% tot 83,3%, met een gemiddelde van 81,8%. Deze ruiten hebben allemaal een lichtdoorlatendheid hoger dan 75% en voldoen daarmee aan de huidige norm. De lichtdoorlatendheid van de groen getinte ruiten varieert van 60,6% tot 66,1%, met een gemiddelde van 63,6% en voldoen daarmee niet aan de norm. De bruin getinte (brons) ruit heeft de laagste lichtdoorlatendheid (46,6%). De variatie in de lichtdoorlatendheid van vooral de groene ruiten komt waarschijnlijk door de variatie in de spectrale transmissie en de dikte van de ruiten van de schillende schepen.

Tabel 1 Gegevens van de bezochte binnenvaartschepen. De hoek van de ruit is positief als de bovenkant van de ruit naar binnen neigt.

Schip nr	Soort voorruit	Kleur voorruit	Lichtdoorlatendheid ruit (%)	Hoek voorruit (graden)*	Reflectie plafond (%)	Zonnescherm
1	??	blank	83,3	+27,0	25,2	Ja
2	dubbel glas	groen	65,4	-11,5	59,1	Nee
3	dubbel glas	brons	46,6	-14,5	76,8	Nee
4	dubbel glas	helder, neutraal	79,7	-20,0	19,8	Ja
5	dubbel glas	lichtgroen	63,8	-8,5	58,6	Nee
6	dubbel glas	groen	61,4	-13,5	13,0	Nee
7	dubbel glas	blank	82,8	-15,0	63,1	Nee
8	dubbel glas	groenig	66,1	-14,0	63,6	Nee
9	dubbel glas	blank	81,4	-12,5	88,2	Ja
10	dubbel glas	groen	60,6	-25,0	88,9	Nee
11	dubbel glas	lichtblauwgroen	64,1	-13,0	53,8	Nee
		Gem=	68,7	-11,0	55,5	-
		Min =	46,6	-25,0	13,0	-
		Max =	83,3	+27,0	88,9	-

Bij de meeste schepen staat de voorruit naar voren geheld met een hoek tussen 8 en 25 graden met de verticaal. Dit betekent dat stuurman die naar voren kijkt het plafond gereflecteerd ziet in de voorruit. Om de invloed van deze reflecties te minimaliseren is het belangrijk om de reflectie van het plafond zo laag mogelijk te houden. Bij veel schepen zijn de plafonds in licht materiaal uitgevoerd met een reflectie van meer dan 50%. De gemiddelde reflectie van de plafonds is 0,555 of 55,5%.



Figuur 4 Illustratie van lichtreflectie in schuinstaande ruit in het stuurhuis van een binnenvaartschip (nr. 5 uit Tabel 1).

In Figuur 4 wordt geïllustreerd wat het voordeel is van een voorruit die naar voren helt. Hier zijn de reflecties te zien van de andere ruiten van het stuurhuis met de heldere buitenwereld. Deze reflecties beperken het zicht door de voorruit. Echter omdat de schipper de blik voornamelijk in de buurt van de horizon gericht heeft, vallen de reflecties in een naar voren gehelde voorruit ruim buiten de belangrijkste blikrichting. Het hellen van de voorruit helpt dus 's nachts en overdag met het verbeteren van het zicht naar buiten, waarbij het vooral 's nachts belangrijk is om een donker plafond te hebben.



Figuur 5 Binnenvaartschip (nr. 2 uit Tabel 1) met groene stuurhuisruiten.

Figuur 5 toont een foto van binnenvaartschip nummer 2 van Tabel 1 met groene stuurhuisruiten. Omdat bij deze manier van waarneming het licht twee keer door de ruit gaat is de ruit donkerder en de kleur van de groene tint beter zichtbaar dan bij waarneming vanuit het stuurhuis naar buiten waarbij het licht maar één keer door de ruit gaat.

Bij drie van de bezochte schepen was het stuurhuis voorzien van een zonnenscherm dat omlaag getrokken wordt bij hoge lichtniveaus buiten. Al deze schepen hadden blanke stuurhuisruiten (Tabel 1). Door meting van de luminantie van de hemel met en zonder zonnenscherm kon de lichttransmissie van deze schermen worden gemeten. De gemiddelde transmissie wordt geschat op 8%.

's Nachts kan de verlichting van het plafond door lichtbronnen in het stuurhuis een verstoring geven van het zicht naar buiten. Daarom is bij een aantal schepen in nachtelijk conditie de verlichtingssterkte op het plafond gemeten, waarbij de verlichting in het stuurhuis is ingesteld als bij nachtelijk varen. De verlichtingssterkte op het plafond bleek te variëren tussen 0,5 lx en 1 lx.

3.2 Modelberekeningen

Bij de modelberekeningen van de detectieafstanden is uitgegaan van een paar typische visuele waarnemingssituaties vanuit stuurhuizen, namelijk, een navigatielicht bij nacht en een onverlichte boei overdag. De detectieafstanden van deze objecten zijn berekend voor stuurhuisruittransmissies tussen 0 en 1. Andere variabelen die vooral 's nachts van belang zijn, zijn de reflectie van het plafond van het stuurhuis en de verlichtingssterkte van het plafond ten gevolge van verlichting in het stuurhuis. De groottes van andere parameters die zijn gebruikt bij de berekeningen, zoals niveau van omgevingslicht, eigenschappen van glas, boeien en signaallichten, worden eerst besproken. Daarna worden de detectieafstanden gepresenteerd.

3.2.1 *Eigenschappen glas*

Uit onze waarnemingen op de diverse binnenvaartschepen blijkt dat de stuurhuizen van vrijwel elk schip zijn voorzien van dubbel glas (zie Tabel 1). De lichttransmissie van het glas gemeten op de binnenvaartschepen is afhankelijk van kleur en samenstelling (enkel of dubbel glas). Voor dubbel glas zijn de waarden voor de verschillende kleuren vermeld in Tabel 1. Bij de modelberekeningen zullen we de lichttransmissie variëren van nul tot 1. Voor de reflectie van de ruit aan de binnenkant van het stuurhuis zijn we uitgegaan van een reflectiefactor van 0,14. Deze waarde is op gegevens van glasfabrikanten gebaseerd uitgaande van een combinatie van 8 mm en 6 mm dik glas met een lichttransmissie van 0,88 en 0,89 en een enkele reflectiefactor van 0,08.

3.2.2 *Eigenschappen boeien en signaallichten*

Volgens de Richtlijn 2006/87/EG moet een binnenvaartschip voorzien zijn van navigatieverlichting (EU, 2006). Aan bakboord moet rood licht en aan stuurboord een groen licht zijn geïnstalleerd. De lichten moeten een zodanige lichtbundel hebben dat ze van voren zichtbaar zijn en tot aan 22,5 graden naar achteren aan de kant waar ze zijn gemonteerd. Een wit toplicht moet van voren zichtbaar zijn en 22,5 graden naar achteren aan beide kanten. Aan de achterkant van het schip moet een heklicht zijn gemonteerd dat naar achteren schijnt over een hoek van 135 graden, aan beide zijden vanaf 67,5 graden naar achteren.

De lichtsterkte van de navigatielichten is ook voorgeschreven in de richtlijn. Er zijn minimum en maximum lichtsterkten gegeven voor de verschillende kleuren in drie categorieën: gewoon, helder en krachtig. Zie bijlage A.2 voor details. Volgens het Rijnvaartpolitierglement (RPR, 2011), waarin wordt verwezen naar de Richtlijn 2006/87/EG, moet een toplicht een "krachtig" licht zijn waarvan de lichtsterkte dus moet liggen tussen 35 cd en 100 cd. Een groen of rood boordlicht moet een "helder" licht zijn met lichtsterkten tussen 5 cd en 20 cd, en een wit heklicht moeten een "gewoon" of "helder" licht zijn met lichtsterkten tussen 2 cd en 25 cd.

We zullen de modelberekeningen uitvoeren voor de meest ongunstige en de meest gunstige lichtsterkten. De meest ongunstige lichtsterkte is de minimum lichtsterkte van 2 cd bij de gewone categorie voor de witte heklichten. De meest gunstige lichtsterkte is de maximum lichtsterkte van 100 cd bij de krachtige categorie voor witte toplichten.

Voor het berekenen van de detectieafstand van boeien zijn we uitgegaan van een boei met een zichtbaar oppervlak van 1 m². Omdat het waarnemingsmodel uitgaat van een cirkelvormig object hebben we dit omgerekend naar een cirkelvormig object met hetzelfde oppervlak. De reflectie van boeien loopt sterk uiteen omdat het afhankelijk is van de kleur van de boei. Wij gaan bij onze berekeningen uit van een reflectiefactor van 0,3, wat een karakteristieke reflectiefactor is van een groene verf.

Als achtergrond van de boeien hebben we het wateroppervlak aangehouden. De reflectie van het wateroppervlak kan enorm variëren. Het is afhankelijk van de "ruwheid" van het wateroppervlak en de hoek tussen kijkrichting en het oppervlak en de richting van de lichtbron. Bij tegenlicht kan de reflectie oplopen tot een factor 1 (een "spiegel") en bij een situatie zonder tegenlicht en een rimpelloos oppervlak ligt het in de buurt van nul.

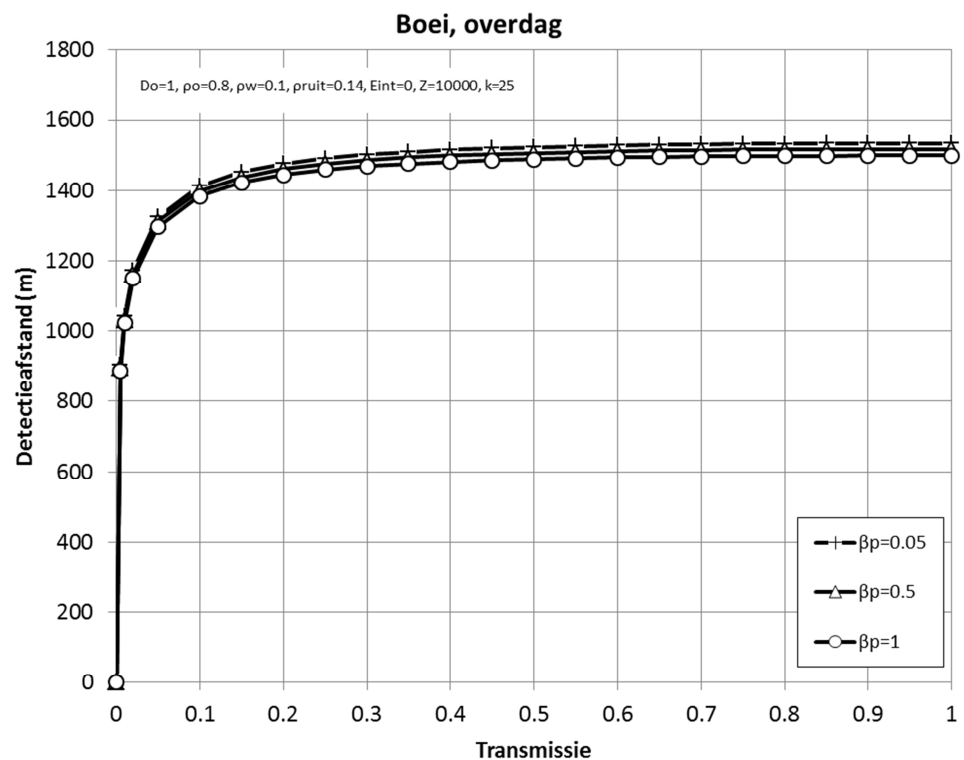
Voor de huidige modelberekeningen hebben we een reflectiefactor van 0,1 aangehouden, wat de geschatte gemiddelde reflectiefactor voor licht rimpelend water zonder tegenlicht.

3.2.3 Lichtomstandigheden

Voor de lichtcondities hebben we ons gebaseerd op een bewolkte hemel volgens bestaande standard modellen (CIE, 1996; IESNA, 2000). Er is uitgegaan van een gemiddelde zonnehoogte van 20 graden. Voor de nachtconditie is een hemel-luminantie aangehouden van $0,1 \text{ cd/m}^2$ en een horizontale verlichtingssterkte van $0,3 \text{ lx}$. We uitgegaan van een goed meteorologisch zicht van 10000 m .

3.2.4 Detectieafstanden

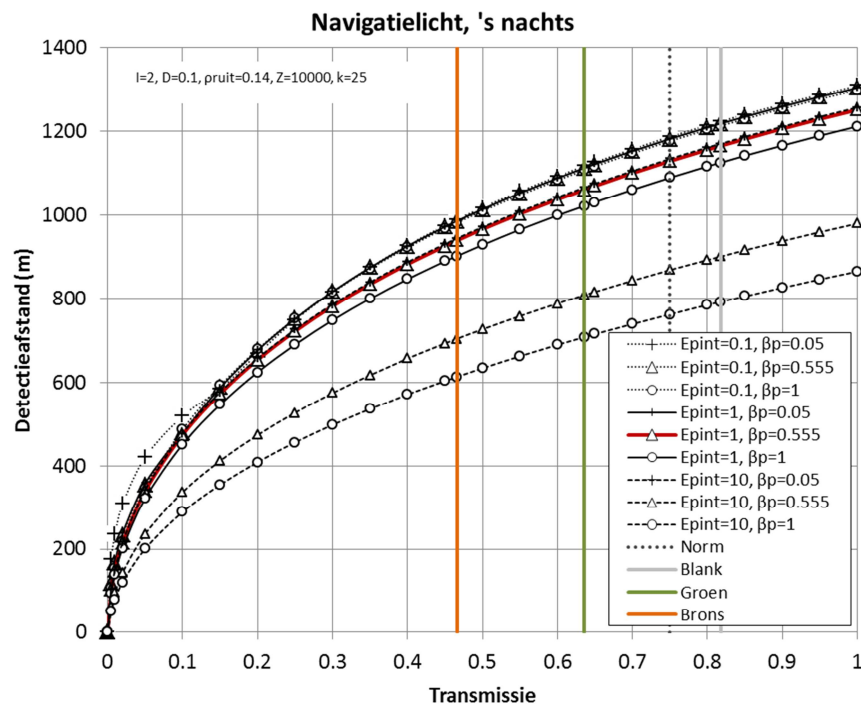
In Figuur 6 is de detectieafstand weergegeven van een boei bij daglicht als functie van de lichttransmissie van de ruit van het stuurhuis en de reflectie van het plafond van het stuurhuis. De boei is hierbij gemodelleerd met een cirkelvormig object met een diameter van 1 m . Het blijkt dat de transmissie van het stuurhuis nauwelijks van invloed is op de detectieafstand voor transmissies boven ongeveer $0,2$. Ook de reflectie van het plafond is nauwelijks van invloed op de detectieafstand. Bij een wit plafond ($\beta_p = 1$) zijn de detectieafstanden ongeveer 2% lager dan bij een zwart plafond ($\beta_p = 0,05$).



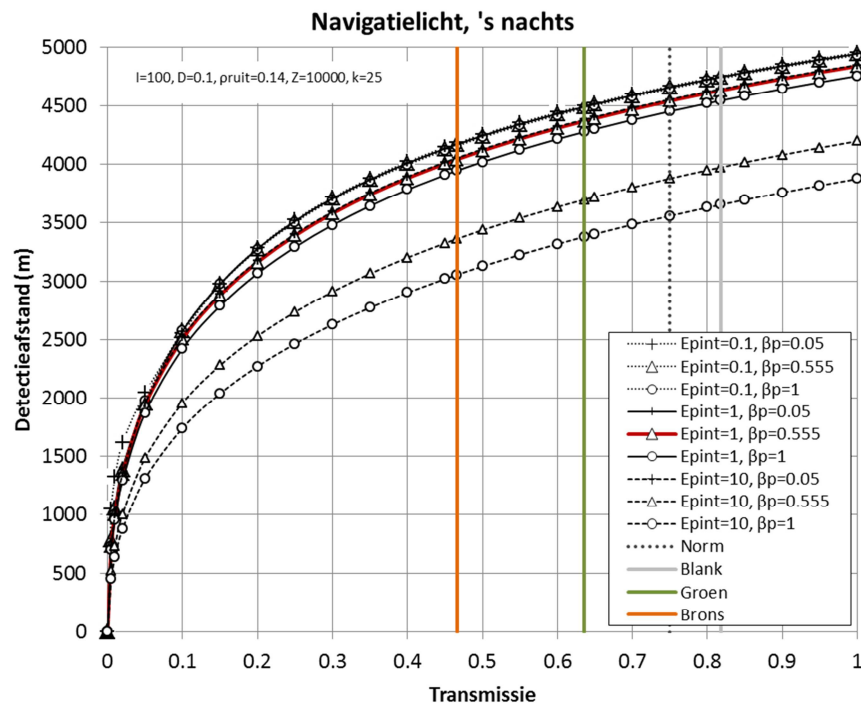
Figuur 6 Detectieafstand van een boei (gemodelleerd cirkelvormig object, diameter = 1 m) bij daglicht (zwaar bewolkt) als functie van de transmissie van de ruit en reflectie van het plafond van het stuurhuis (β_p).

In Figuur 7 is de detectieafstand als functie van de transmissie van de ruit weergegeven voor een navigatielicht van 2 cd bij nacht. De detectieafstanden zijn berekend voor verschillende reflectiefactoren van het plafond van het stuurhuis en voor verschillende verlichtingssterkten ten gevolge van interne verlichting in het stuurhuis.

In deze nachtconditie blijkt de detectieafstand veel meer afhankelijk te zijn van de lichttransmissie van de ruit dan overdag. Een donker plafond en zo weinig mogelijk verlichting in het stuurhuis levert de grootste detectieafstand op. Echter ook bij deze ideale omstandigheden geeft een verlaging van de transmissie volgens de normen een vermindering van de detectieafstand. De meeste gangbare combinatie van verlichtingssterkte en reflectie van het plafond zoals we gemeten hebben in de praktijk is $E_{p, \text{int}} = 1 \text{ lx}$ en $\beta_p = 0,555$ (rode kromme). De meest gunstige situatie is een zwart plafond ($\beta_p = 0,05$) met een lage verlichtingssterkte ($E_{p, \text{int}} = 0,1 \text{ lx}$). Overigens vallen de eerste vier condities van de legenda vrijwel op elkaar in de bovenste kromme.



Figuur 7 Detectieafstand van een signaallicht met een lichtsterkte van 2 cd bij nacht bij verschillende reflectiefactoren (β_p) van het plafond en verlichtingssterkten ($E_{p, \text{int}}$) van het plafond. De eerste 4 condities van de legenda vallen vrijwel op elkaar in de bovenste kromme. De meeste gangbare combinatie van verlichtingssterkte en reflectie van het plafond is $E_{p, \text{int}} = 1 \text{ lx}$ en $\beta_p = 0,555$ (rode kromme). De verticale lijnen geven de norm en de gemiddelde transmissies van verschillende kleuren glas aan.



Figuur 8 Detectieafstand van een signaallicht met een lichtsterkte van 100 cd bij nacht bij verschillende reflectiefactoren (β_p) van het plafond en verlichtingssterkten ($E_{p,int}$) van het plafond. De eerste 4 condities van de legenda vallen vrijwel op elkaar in de bovenste kromme. De meeste gangbare combinatie van verlichtingssterkte en reflectie van het plafond is $E_{p,int} = 1$ lx en $\beta_p = 0,555$ (rode kromme). De verticale lijnen geven de norm en de gemiddelde transmissies van verschillende kleuren glas aan.

We kunnen de detectieafstanden voor de gemeten lichttransmissies in de praktijk vergelijken met de lichttransmissie volgens de norm van 75% (transmissie=0,75). Het blijkt dat bij blank glas met een transmissie van 82% de detectieafstand gemiddeld 3% hoger ligt dan bij een transmissie volgens de norm. Bij groen glas met een transmissie van 64% is de detectieafstand gemiddeld 6% lager en bij brons glas is de detectieafstand 17% lager.

Figuur 8 laat de detectieafstanden zien bij dezelfde condities als in Figuur 7 maar dan voor een signaallicht met een lichtsterkte van 100 cd, de hoogste lichtsterkte die in de normen voorkomt. Allereerst blijkt dat de detectieafstanden ongeveer bijna een factor vier groter zijn dan bij de lage lichtsterkte van 2 cd (Let op verticale schaal). Verder blijkt de invloed van de transmissie van de stuurhuisruit iets minder te zijn dan bij de lagere lichtsterkte van 2 cd. De krommen in deze figuur lopen iets vlakker. Voor deze lichtsterkte blijkt dat bij blank glas met een transmissie van 82% de detectieafstand gemiddeld 2% hoger ligt dan bij een transmissie van 75% volgens de norm. Bij groen glas met een transmissie van 64% is de detectieafstand gemiddeld 4% lager en bij brons glas is de detectieafstand 11% lager.

Tabel 2 geeft een overzicht van de invloed van de kleur van de ruit van het stuurhuis op de detectieafstand van een boei overdag en signaallichten bij nacht. Weergegeven is de procentuele verandering van de detectieafstand ten opzichte van een ruit volgens de norm met een lichtdoorlatendheid van 75%.

De veranderingen zijn weergegeven voor een gangbaar (gemiddeld) stuurhuisinterieur (plafondreflectie = 0,555; bij nacht: verlichtingssterkte plafond = 1 lx) en een gunstig stuurhuis interieur met een donker plafond (plafondreflectie = 0,05) en een lage lichtniveau in het stuurhuis bij nacht (verlichtingssterkte plafond = 0,1 lx). Overdag is de afname van de detectieafstand te verwaarlozen met een afname van 0,7% en 0,2% bij brons en groen getinte ruiten. Bij nacht is de invloed van de getinte ruiten groter. Bij een gangbaar stuurhuisinterieur is voor brons de afname van de detectieafstand maximaal 17% en voor groen 6%. Bij een gunstig stuurhuisinterieur met een donker plafond en weinig licht in het stuurhuis komt de afname voor brons en groen uit op 4% en 1%. Overdag is er het effect van een gunstig stuurhuisinterieur minder dan 0,1%. Bij blank glas met een lichtdoorlatendheid hoger dan de norm, zijn er alleen 's nachts bij een signaallicht met een lichtsterkte van 2 cd kleine verbeteringen te zien.

Tabel 2 Verandering van de detectieafstand (in %) van stuurhuisruit met een bepaalde kleur en lichtdoorlatendheid ten opzichte van de norm met een lichtdoorlatendheid van 75%, voor waarneming overdag en 's nachts (signaallichten met lichtsterkten van 2 en 100 cd), bij een gangbaar stuurhuisinterieur (plafondreflectie = 0,555; bij nacht: verlichtingssterkte plafond = 1 lx) en een gunstig stuurhuisinterieur (plafondreflectie = 0,05; bij nacht: verlichtingssterkte plafond = 0,1 lx).

Kleur	Licht- doorlatendheid (%)	Verandering van de detectieafstand t.o.v. norm (%)					
		Gangbaar stuurhuisinterieur			Gunstig stuurhuisinterieur		
		Dag	Nacht, 2 cd	Nacht, 100 cd	Dag	Nacht, 2 cd	Nacht, 100 cd
Brons	46,6	-0,7	-16,8	-11,0	-0,7	-4,2	-1,7
Groen	63,6	-0,2	-6,0	-3,8	-0,2	-1,2	-0,5
Norm	75	0	0	0	0	0	0
Blank	81,8	+0,1	+3,2	+2,0	+0,1	+0,7	+0,2

3.3 Meetprotocol

3.3.1 Bestaande meetmethode voor autoruiten

Voor autoruiten het meten van de transmissie van autoruiten in de praktijk worden handzame meetinstrumenten gebruikt. Een bekend voorbeeld is de Tintman. Dit instrument bestaat uit een meetkastje waarop met een snoer een lichtdetector en een lichtbron aangesloten kunnen worden. De lichtbron wordt op de ruit gezet en de lichtdetector aan de andere kant van de ruit. Doordat de lichtbron en de detector magnetisch zijn, houden ze elkaar op de plaats. De gemeten hoeveelheid licht wordt vergeleken met de situatie zonder ruit. De verhouding is een maat voor de lichtdoorlatendheid van de ruit. Volgens de specificaties van de leverancier heeft de detector waarvan de spectrale gevoeligheid overeenkomt met die van het oog. De lichtbron bestaat uit een gloeilamp met een kleurtemperatuur van ongeveer 3000 K. De Tintman is geschikt voor ruiten met een dikte van maximaal 12 mm.

In principe zou de Tintman ook gebruikt kunnen worden voor het meten van de transmissie van stuurhuisruiten. Er zijn echter een paar punten die de aandacht verdienen, namelijk de dikte van de ruit, schuine stand van de ruit en de kleur van de lichtbron.

3.3.2 *Dikte van de ruit*

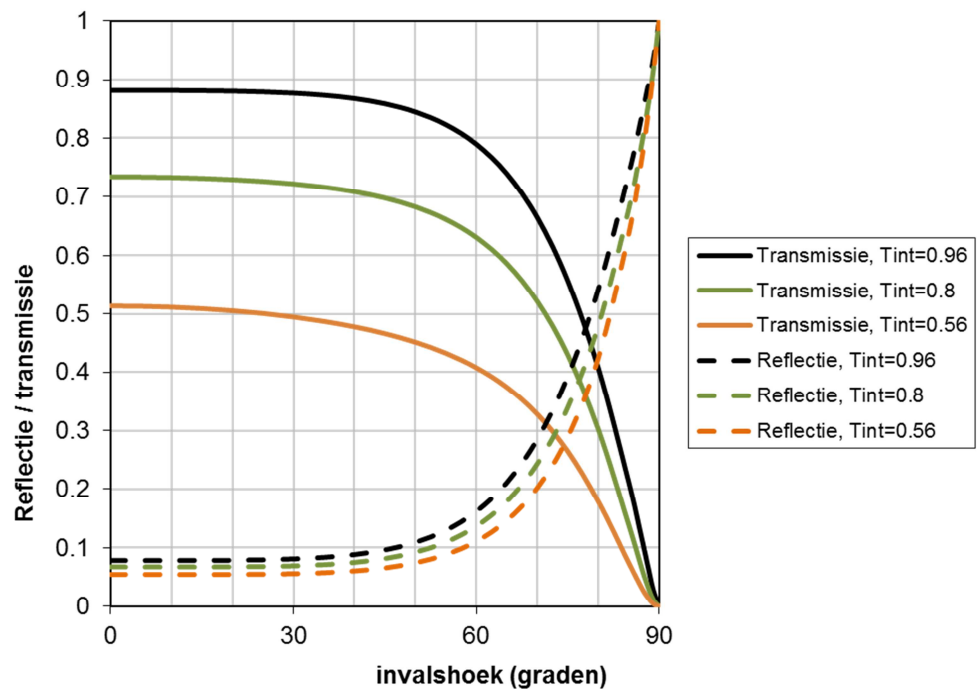
De Tintman is geschikt voor ruiten tot maximaal 12 mm dikte. De stuurhuizen zijn meestal voorzien van dubbele beglazing waarbij de ruiten dikker zijn dan 12 mm. Een typische dikte van een dubbele ruit is 26 mm, namelijk een combinatie van 8 mm en 6 mm dikke ruiten met een tussenruimte van 12 mm (Zoetmulder, 2012). Het nadeel van deze dikke ruiten is dat de lichtbron en de detector moeilijker zijn de positioneren mede doordat het magnetische systeem niet goed meer werkt.

Daarnaast is de invloed van het strooilicht groter. Door de grotere afstand tussen lichtbron en detector is de kans groter dat (dag)licht aan de zijkant binnenkomt en de meting verstoord. Dit zou opgelost kunnen worden door lichtafschermingen te plaatsen rond de detector en de lichtbron.

Verder kan de grotere afstand tussen lichtbron en detector de kalibratie van het systeem verstoren. Het zou kunnen zijn dat de lichtbundel door de grotere afstand deels buiten het lichtgevoelige deel van de detector valt. Het systeem zou dus gekalibreerd moeten worden voor dikkere ruiten.

3.3.3 *Schuine stand ruit*

De meeste (voor)ruit van stuurhuizen staat niet verticaal maar zijn naar voren geneigd om hinderlijke reflecties voor de schipper te vermijden. De schipper kijkt dus door een schuine ruit en dat is een situatie waarbij de lichtdoorlatendheid minder zal zijn dan bij de meest gunstige situatie van een verticale ruit waarbij de lichtstralen loodrecht door de ruit gaan. De Tintman meet in deze meest gunstige situatie met de lichtstralen loodrecht door de ruit. We zijn nagegaan hoe groot het effect de schuinstand is op de transmissie en reflectie van de ruit. Het resultaat is weergegeven in Figuur 9. Hier is de transmissie en reflectie voor drie soorten ruiten weergegeven als functie van de invalshoek (hoek t.o.v. de normaal loodrecht op de ruit). We zijn uitgegaan van het meest gebruikte glas (soda lime) met een brekingsindex van 1,52 (Zoetmulder, 2012). De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van de wetten van Snellius en Fresnel en aan de hand van drie soorten enkel glas, namelijk, blank, groen en brons, met interne transmissies van respectievelijk 0,96, 0,8 en 0,56. Bij de berekeningen is rekening gehouden met meerdere interne reflecties van de lichtstralen in het glas. Het blijkt dat voor kleine invalshoeken de transmissie en reflectie nauwelijks veranderen maar dat bij grote invalshoeken van meer dan 60 graden de ruit veel minder gaat doorlaten en tegelijk sterk gaat spiegelen. Bij 90 graden is de transmissie nul en de reflectie 100 %.



Figuur 9 Reflectie en transmissie van drie soorten glas als functie van de invalshoek. De glassoorten blank, groen en brons en worden gekenmerkt door interne transmissies (T_{int}) van respectievelijk 0,96, 0,8 en 0,56.

De schuinstand van de gemeten ruiten op de schepen varieert van 8,5 tot 27 graden (zie Tabel 1). In de praktijk hoeft men dus maar rekening te houden met invalshoeken tot maximaal 30 graden. Om een duidelijker beeld te krijgen van de afwijkingen is een deel de gegevens van Figuur 9 in Tabel 3 gezet. Hier staat de transmissie van de drie ruiten voor invalshoeken tussen 0 en 30 graden. Het blijkt dat de transmissies tussen een invalshoek van 0 graden en 30 graden voor ruiten met een hoge transmissie nauwelijks verschillen. Bij lagere transmissies wordt het effect van de invalshoek groter. Voor ruiten met een transmissie van rond 50% wordt bij een schuine stand van 30 graden bijna 2% minder doorgelaten. Voor dit effect zouden de metingen gecorrigeerd kunnen worden. Hiervoor kan men een tabel hanteren die aan de hand van het type glas aangeeft hoe de correctie moet worden ingevoerd. Als men alleen wil bepalen of een bepaalde installatie voldoet kan men ook uitgaan van de meest ongunstige correctie, maar deze wel laten afhangen van de ruit die het meest schuin staat (bv 2% bij 30 graden). Als de installatie zelfs met deze correctie aan de norm voldoet is de norm behaald. Alleen in een klein gebied van uitkomsten zal een extra, nauwkeuriger meting nodig zijn om te kunnen bepalen of de ruit wel of niet aan de norm voldoet. Alternatief is om bij de normering met deze correctie rekening te houden en het bij loodrechte metingen te houden. Dit lijkt de meest praktische oplossing.

Tabel 3 Berekende transmissie (lichtdoorlatendheid) voor drie soorten glas en voor de praktijk relevante invalshoeken.

Invalshoek (graden)	Transmissie (%)		
	Blank	Groen	Brons
0	88,1	73,4	51,4
10	88,1	73,3	51,2
20	88,0	72,9	50,6
30	87,7	72,2	49,5

3.3.4 *Kleur van de lichtbron*

De lichtdoorlatendheid van een ruit hangt af van de spectrale transmissie van de ruit en de spectrale samenstelling van het licht waarmee de lichtdoorlatendheid wordt gemeten. Als bij een groen getinte ruit een lichtbron zou worden gebruikt met relatief veel groen licht dan zal de gemeten lichtdoorlatendheid hoger zijn in vergelijking tot een lichtbron met relatief veel rood licht. Daarom zou bij het meten van de lichtdoorlatendheid de kleur licht overeen moeten komen met die van het licht waarbij de waarnemingen in de praktijk worden uitgevoerd, namelijk overdag de gemiddelde daglichtkleur en 's nachts de kleur signaallichten. In de internationale regelgeving wordt wel een norm gesteld voor de lichtdoorlating maar wordt niet voorgeschreven hoe deze gemeten moet worden en welke lichtbron hiervoor gebruikt zou moeten worden (EU, 2006).

De Tintman maakt gebruik van een lichtbron met een gloeilamp die een kleurtemperatuur heeft van ongeveer 3000 K. Dat is een lichtkleur die goed overeenkomt met de standaard lichtbron A met een kleurtemperatuur van 2856 K die veel wordt gebruikt bij lichtmetingen en gemakkelijk fysiek is te realiseren (CIE, 2006). De kleur komt niet overeen met die van het daglicht maar is wel goede benadering van het gemiddelde van de kleuren van signaallichten bij nacht. Aangezien de lichtdoorlatendheid van de stuurhuisruiten bij nacht meer invloed heeft op de waarneming dan overdag (vergelijk Figuur 6 en Figuur 7) lijkt de keuze voor een CIE standaard illuminant A nog niet zo gek.

3.3.5 *Voorstel meetprotocol*

De meetapparatuur voor het meten van de lichtdoorlatendheid in de praktijk moet voldoen aan de volgende eisen:

- Als het meetinstrument (zoals de Tintman) bestaat uit een lichtbron en een lichtdetector dan moet:
 - de detector een spectrale gevoeligheid hebben die overeenkomt met de ooggevoeligheid (V);
 - de lichtbron goed overeenkomen met CIE illuminant A;
 - gekalibreerd zijn voor de dikke stuurhuisruiten;
 - de detector en lichtbron afgeschermd zijn voor strooilicht.
- Er moet een correctiefactor worden toegepast voor de schuinstand van de ruit.

De Tintman in de huidige vorm is dus niet geschikt voor het meten van de stuurhuisruiten maar kan waarschijnlijk hiervoor wel worden aangepast. Om na te gaan of dit daadwerkelijk mogelijk is moet dit nader onderzocht worden.

4 Discussie

4.1 Mogelijkheid tot verbetering

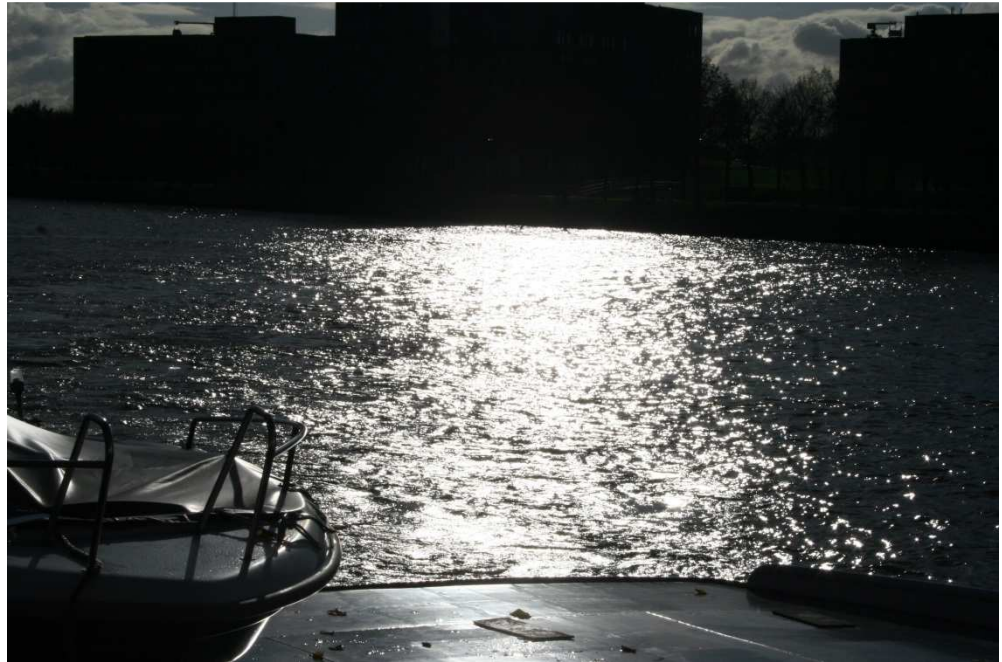
Uit de modelberekeningen blijkt dat een vermindering van de ruittransmissie van stuurhuisruiten overdag geen probleem is zolang het niet onder een waarde van ongeveer 20% komt. De meest gangbare groen en brons getinte ruiten, die een gemiddelde transmissie hebben van respectievelijk 64% en 47%, hebben daarom overdag daarom een verwaarloosbare invloed op de zichtbaarheid, hoewel de lichtdoorlatendheid ruim onder de huidige norm van 75% ligt.

's Nachts is er echter wel een merkbaar effect van de transmissie op de zichtbaarheid, vooral voor lichtbronnen met relatief lage lichtsterkte. Tot op zekere hoogte kan een verminderde zichtbaarheid van bijvoorbeeld groen getinte ruiten worden gecompenseerd door aanpassingen in het interieur van het stuurhuis. Als we kijken naar de gangbare reflectie van het plafond van 55,5% en een verlichtingssterkte op het plafond ten gevolge van interieurverlichting van 1 lx, dan is de detectieafstand van een navigatielicht met een lichtsterkte van 2 cd en een transmissie volgens de norm (0,75) gelijk aan 1130 m (Figuur 7). Dit is vrijwel gelijk aan de detectieafstand van 1118 m bij groen glas bij gunstige verlichtingsomstandigheden met zwart plafond ($\beta_p = 0,05$) en een lage verlichtingssterkte door interne verlichting ($E=0,1$ lx). Het is dus tot op zekere hoogte mogelijk om te compenseren voor een lagere lichtdoorlatendheid van de stuurhuisruit. Dat geldt alleen voor het groene glas. Bij het brons glas is dat niet helemaal mogelijk, zelfs bij de meest gunstige interieuraanpassingen is de detectieafstand voor deze kleur glas maximaal 990 m. Wel is het zo dat in alle gevallen een donker plafond is aan te bevelen gelet op het zicht naar buiten, met name 's nachts.

4.2 Afscherming voor de zon

De stuurlieden in het stuurhuis van binnenvaartschepen kunnen last hebben van hoge helderheden van de scène buiten het stuurhuis. Dat is vooral het geval als men naar buiten wil kijken met een laagstaande zon tegen, waarbij de hinder wordt verhoogd door reflecties in het water (Figuur 10). Daarom was een aantal van de door ons bezochte schepen voorzien van zonneschermen in het stuurhuis die omlaag getrokken kunnen worden bij hoge lichtniveaus buiten het stuurhuis. Het bleek dat het hierbij alleen ging om schepen met blanke stuurhuisruiten. Als de schepen groen of brons getinte ruiten dan hadden ze geen zonneschermen. Kennelijk was de vermindering van de doorlating van de getinte glazen voldoende om lichthinder tegen te gaan. Uit metingen bleek de transmissie van de zonneschermen zo'n 8% te bedragen. Deze waarde is duidelijk minder dan de transmissie van de getinte ruiten (47% tot 64%) en komt meer overeen met de transmissies tussen 2,5% en 8,9% van zonnebrillen die door proefpersonen worden geprefereerd bij hoge lichtniveaus buiten (Luria, 1984). Vos (1977a, 1977b) adviseert een transmissie van 10% tot 20% voor normale zonnebrillen maar merkt wel op dat bij speciale waarnemingstaken op zee of bij vliegers, een lagere transmissie tot 2% een voordeel kan zijn. Dezelfde onderzoeker adviseerde toentertijd om een zonnebril op te zetten in plaats van het getint glas te gebruiken in stuurhuisruiten (Vos, 1976).

Een te donkere zonnebril kan echter het zicht ook overdag beperken. Dat blijkt uit de berekende detectieafstanden in Figuur 6 waar bij een (ruit)transmissie lager dan 10% de detectieafstanden fors gaan afnemen.



Figuur 10 Reflectie van zonlicht op het water kan hinderlijk zijn voor schippers.

Neerschuijbare filters voor de ruiten hebben een voordeel boven het gebruik van een zonnebril omdat met een sterke zonnebril de beeldschermen minder goed zichtbaar worden en met de filters niet. Verder valt nog op te merken dat neerschuijbare filters door het gebruik kunnen kreukelen en beschadigen en waardoor ze (een deel) van het uitzicht kunnen maskeren. Deze nadelen hebben getinte ruiten niet.

5 Conclusie

Op grond van zijn metingen uitgevoerd op elf binnenvaartschepen komen wij tot de volgende conclusies:

- Stuurhuisruiten met de kleuren blank, groen en brons, hebben een gemiddelde lichtdoorlatendheid van respectievelijk 82%, 64% en 47%. Hiermee voldoen de blanke ruiten wel en de groene en brons ruiten niet aan de huidige norm van minimaal 75%.
- De reflectiefactor van het plafond van stuurhuizen is gemiddeld 0,555.
- Bij een aantal schepen met blank glas is het stuurhuis voorzien van een zonnenscherm dat omlaag getrokken wordt bij hoge lichtniveaus buiten. De lichtdoorlatendheid van deze schermen wordt geschat op 8%.

Bij de modelberekeningen zijn detectieafstanden berekend voor een boei overdag en een navigatielicht bij nacht. Hieruit blijkt het volgende:

- De detectieafstanden hangen overdag nauwelijks af van de lichtdoorlatendheid van de stuurhuisruit, mits deze hoger is dan 20%. Ten opzichte van een stuurhuisruit met een lichtdoorlatendheid volgens de norm (75%) vermindert de detectieafstand voor brons en groen getinte ruiten met respectievelijk 0,7% en 0,2%. De reflectie van het plafond heeft overdag een verwaarloosbare invloed op de detectieafstand.
- 's Nachts is er wel een invloed van de lichtdoorlatendheid van de stuurhuisruit. De detectieafstanden nemen af bij afnemende lichtdoorlatendheid. Ten opzichte van een stuurhuisruit met een lichtdoorlatendheid volgens de norm (75%) vermindert de detectieafstand voor brons en groen getinte ruiten maximaal met respectievelijk 17% en 6%. 's Nachts is er een grotere invloed van de reflectie van het plafond en de interne verlichting in het stuurhuis dan overdag.
- De negatieve invloed van groen getinte ruiten op de zichtbaarheid van signaallichten is te compenseren door het aanpassen van het interieur van stuurhuizen. Voor brons getinte ruiten is dit niet mogelijk.

Bij het meten van de lichtdoorlatendheid van stuurhuisruiten in de praktijk zouden de handzame meetinstrumenten gebruikt kunnen worden die ook worden toegepast voor het meten van autoruiten. Deze instrumenten zijn echter alleen goed bruikbaar als ze gekalibreerd zijn voor de grotere dikten van de stuurhuisruiten en ze een goede afscherming hebben tegen strooilicht. Daarnaast moet een correctie worden uitgevoerd voor de schuinstand van de ruiten. Deze instrumenten zijn in de huidige vorm dus niet geschikt voor het meten van de stuurhuisruiten maar kunnen waarschijnlijk wel worden aangepast voor dit doel. Of deze instrumenten daadwerkelijk geschikt gemaakt kunnen worden voor het meten van stuurhuisruiten moet nader onderzocht worden.

6 Referenties

- Alferdinck, J.W.A.M. (2010). *Striping van voertuigen voor openbare orde en veiligheid* (TNO-rapport TNO-DV 2010-C080), Soesterberg: TNO Defensie en Veiligheid.
- Adrian, W. (1989). *Visibility of targets: Model for calculation*. *Lighting Research and Technology*, 21, (4), 181-188.
- Blackwell, H.R. (1946). *Contrast thresholds of the human eye*. *Journal of the Optical Society of America*, 36, (11), 624-643.
- CIE (1996). *Spatial distribution of daylight - CIE standard overcast sky and clear sky* (Standard CIE S 003/E). Vienna, Austria: International Commission on Illumination CIE.
- CIE (2006). *Colorimetry - Part 2: CIE Standard illuminants* (Standard CIE S 014-2/E-2006). Vienna, Austria: International Commission on Illumination CIE.
- EU (2006). *Richtlijn van 12 december 2006 tot vaststelling van de technische voorschriften voor binnenschepen en tot intrekking van Richtlijn 82/714/EEG van de Raad (Richtlijn 2006/87/EG)*. *Publicatieblad Europese Unie* (L389), 1-256.
- IESNA (2000). *The IESNA Lighting Handbook*. (Ninth ed.) New York: Illuminating Engineering Society of North America.
- Luria, S.M. (1984). *Preferred density of sunglasses*. *American Journal of Optometry & Physiological Optics*, 61, (6), 397-402.
- Padmos, P. & Vos, J.J. (1974). *Intensity control of approach and runway lighting at low visibility at night. A theoretical study*. (TNO-report IZF 1974-C2). Soesterberg, The Netherlands: Institute for Perception TNO.
- RPR (2011). *Rijnvaartpolitiereglement*. (Editie 2011) Centrale Commissie voor de Rijnvaart.
- Vos, J.J. (1976). *Hinder en waarneembaarheid van lichten in de scheepvaart* (TNO-rapport IZF 1976 C16). Soesterberg: Instituut voor Zintuigfysiologie TNO.
- Vos, J.J. (1977a). *De behoefte en mogelijkheden tot tempering van zonlicht voor de ogen* (TNO-rapport IZF 1977-21). Soesterberg: Instituut voor Zintuigfysiologie TNO.
- Vos, J.J. (1977b). *Zonnebrillen ten behoeve van chauffeurs* (TNO-rapport IZF 1977-24). Soesterberg: Instituut voor Zintuigfysiologie TNO.
- Zoetmulder (2012). *Persoonlijke communicatie*. Leusden: Rafa Shipwindows and Marine Glazing systems.

A Bijlagen

A.1 Deel Richtlijn 2006/87/EG

Deel van de Richtlijn 2006/87/EG (EU, 2006) dat handelt over het zicht vanuit de stuurhut.

Artikel 7.02 - Vrij zicht

1. Het uitzicht vanaf de stuurstelling moet naar alle zijden voldoende vrij zijn.

2. De dode hoek voor de boeg van het lege schip met halve voorraden en zonder ballast mag voor de roerganger over een cirkelboog vanaf dwarsscheeps aan de ene zijde over midscheeps voor naar dwarsscheeps aan de andere zijde niet meer zijn dan tweemaal de scheepslengte of 250 m tot het wateroppervlak, al naar gelang welke afstand het kortste is.

Optische en elektronische hulpmiddelen ter verkleining van de dode hoek mogen bij het onderzoek niet in aanmerking worden genomen.

Om de dode hoek nog verder te verkleinen mogen alleen geschikte elektronische hulpmiddelen worden gebruikt.

3. Het vrije gezichtsveld vanaf de plaats waar de roerganger zich gewoonlijk bevindt, moet ten minste 240° van de horizon bedragen. Daarvan moet een gezichtsveld van ten minste 140° binnen de voorste halve cirkel liggen.

In de normale zichtas van de roerganger mogen zich geen vensterstijlen, steunen of opbouwen bevinden.

Indien, ook in het geval van een vrij gezichtsveld van 240° of meer, geen voldoende vrij uitzicht naar achteren gewaarborgd is, kan de commissie van deskundigen andere maatregelen eisen, zoals de inbouw van geschikte optische of elektronische hulpmiddelen.

De hoogte van de onderrand van de zijvensters moet zo laag mogelijk en de hoogte van de bovenrand van de zij- en achtervensters moet zo hoog mogelijk worden gehouden.

Bij de vaststelling of aan de bepalingen van dit artikel inzake het gezichtsveld vanuit het stuurhuis is voldaan, wordt ervan uitgegaan dat de ooghoogte van de roerganger zich op 1650 mm boven het dek op de stuurstelling bevindt.

4. De bovenrand van het boegvenster van het stuurhuis moet voldoende hoog zijn om een persoon op de stuurstelling met een ooghoogte van 1800 mm een vrij zichtveld naar voren te bieden tot op ten minste 10 graden boven het horizontale vlak op ooghoogte.

5. Door adequate middelen moet zijn gewaarborgd dat onder alle weersomstandigheden door de voorruit helder zicht mogelijk is.

6. In stuurhuizen gebruikte ruiten moeten vervaardigd zijn van veiligheidsglas en een minimale lichtdoorlatendheid van 75 % hebben.

Om lichtweerkaatsing te voorkomen zijn de voorruit van de brug ontspiegeld of zijn ze zo geplaatst dat weerkaatsingen effectief uitgesloten zijn. Aan deze eis wordt voldaan indien de ruiten schuin ingezet zijn en zij naar voren toe met de bovenkant van het venster een hoek van minimaal 10° en maximaal 25° met de loodlijn maken.

A.2 Lichtsterkten navigatielichten

Deel van de Richtlijn 2006/87/EG (EU, 2006) dat handelt over het lichtsterkten van navigatielichten. In Tabel 4 zijn de eisen voor navigatielichten gegeven voor drie soorten lichten (gewoon, helder, krachtig) van verschillende kleuren. Hierbij is:

- I_o is de fotometrische lichtsterkte in candela (cd), bij elektrisch licht bij nominale spanning gemeten.
- I_B is de bedrijfslichtsterkte in candela (cd).
- t is de zichtbaarheid in kilometers (km).

De lichtsterkten bij de aanduidingen min en max zijn niet expliciet aangegeven maar gelden waarschijnlijk voor respectievelijk 's nachts en overdag.

Tabel 4 Vereiste lichtsterkten in candela's (cd) van navigatielichten volgens de Richtlijn 2006/87/EG (EU, 2006). Zie tekst voor toelichting.

Soort licht		Kleur van het licht							
		Wit		Groen/rood		Geel)*		Blauw	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Gewoon	I_o	2,7	10	1,2	4,7	1,1	3,2	0,9	2,7
	I_B	2,0	7,5	0,9	3,5	0,8	2,4	0,7	2,0
	t	2,3	3,7	1,7	2,8	1,6	2,5	1,5	2,3
Helder	I_o	12	33	6,7	27	4,8	20	6,7	27
	I_B	9,0	25	5,0	20	3,6	15	5,0	20
	t	3,9	5,3	3,2	5,0	2,9	4,6	3,2	5,0
Krachtig	I_o	47	133	-	-	47	133	-	-
	I_B	35	100	-	-	35	100	-	-
	t	5,9	8,0	-	-	5,9	8,0	-	-

)* Voor het gebruik overdag van gele flinkerlichten geldt echter een minimale lichtsterkte I_o van 900 cd.

Distribution list

The following agencies/people will receive a digital copy of the report.

- 1 pdf Ministerie van I&M, Directoraat-Generaal voor bereikbaarheid
 dhr. R. Vermeulen
- 1 pdf TNO, vestiging Soesterberg
 Archief
- 1 pdf TNO, vestiging Soesterberg
 ing. J.W.A.M. Alferdinck
 dr.ir. M.A. Hogervorst