

**Deze pagina en de verzendlijst en het
RDPformulier uit de WP template halen!!!!**

TNO-rapport
TM-00-C043

Titel

**Kleurcontrast in tunnels; nadere
berekeningen**

TNO Technische Menskunde

auteurs

J.W.A.M. Alferdinck

Kampweg 5
Postbus 23
3769 ZG Soesterberg

Telefoon 0346 35 62 11
Fax 0346 35 39 77

datum

16 november 2000

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.

Opdrachtgever : ..

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

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

Aantal pagina's : 25 (incl. bijlagen,
excl. distributielijst)

© 2000 TNO

INHOUD	Blz.
SAMENVATTING	3
SUMMARY	4
1 INLEIDING	5
2 THEORIE	6
2.1 Contrast	6
2.2 Equivalent contrast	7
2.3 Kleurfactor	7
2.4 Verlichting door tunnelverlichting	8
2.5 Verlichting door daglicht	8
2.6 Invloed atmosfeer	9
3 BEREKENINGEN	9
3.1 Uitgangspunten	9
3.2 Verlichtingssterkte door daglicht	11
3.3 Kleurfactor	11
3.3.1 Overzicht	11
3.3.2 Ver in de tunnel	16
3.3.3 Invloed van daglicht	17
3.3.4 Resumé	19
3.4 Invloed atmosfeer	19
4 CONCLUSIES	21
REFERENTIES	22
BIJLAGE A: Berekening van de verlichtingssterkte in tunnels t.g.v. het daglicht	23
BIJLAGE B: Kleurgegevens	25

Kleurcontrast in tunnels; nadere berekeningen

J.W.A.M. Alferdinck

SAMENVATTING

Vraagstelling: Het kunnen waarnemen van kleine objecten in een tunnel is een criterium voor het ontwerpen van tunnelverlichting. In eerder onderzoek voor de Bouwdienst van Rijkswaterstaat bleek dat zichtbaarheid vergroot kan worden door gekleurde tunnelverlichting of gekleurde objecten te gebruiken. Deze studie is een vervolg op dat onderzoek.

Werkwijze: Bij de huidige berekeningsmethode voor de zichtbaarheid van de objecten wordt alleen uitgegaan van het klassieke *luminantiecontrast* van het object. De bijdrage van de kleur, in termen van verschil in kleurtint en kleurverzadiging, kan in rekening worden gebracht door het zogenaamde *equivalente contrast* te gebruiken. De verhouding tussen het equivalente contrast en het luminantiecontrast is de *kleurfactor*. Als de kleurfactor groter is dan 1 dan draagt de kleur bij aan de zichtbaarheid. Deze kleurfactor is berekend voor een aantal verlichtingscondities.

Resultaten:

- Verzadigde kleuren in meestraalverlichting geven de hoogste kleurfactoren, 1,43 voor kleine en 5 voor grote objecten.
- Bij hogedruk natrium tunnelverlichting (HDN) is de kleurfactor voor alle objectkleuren, inclusief neutrale kleuren, groter dan 1, behalve dicht bij de tunnelingang als de hemelluminantie hoog is. De kleurfactoren liggen rond de 1,25 voor kleine en 4 voor grote objecten.
- Voor neutrale kleuren en hoge hemelluminanties wordt de helft van deze waarden bereikt op respectievelijk 20 en 15 m. HDN tegenstraalverlichting geeft de hoogste kleuraandelen bij neutrale kleuren.
- Bij tunnelverlichting met een daglichtkleur (D65) is de kleurfactor 1 bij neutrale kleuren. Verzadigde kleuren in symmetrische en tegenstraalverlichting scoren bij D65-tunnelverlichting lager dan bij HDN-tunnelverlichting.
- Bij hoge hemelluminanties is de invloed van het daglicht merkbaar tot op 60 m van de ingang; bij lage hemelluminanties is dat ongeveer 30 m.
- De atmosfeertransmissie heeft een te verwaarlozen invloed op de kleurfactor.
- De kleurfactor is betrekkelijk onafhankelijk van het meteorologisch zicht. De berekende kleurfactoren gelden dus voor een groot bereik van zichten.

Conclusie: Om maximaal gebruik te maken van de contrastverhoging door kleur, wordt aanbevolen een tegenstraaltunnelverlichting te gebruiken met een kleur die afwijkt van de daglichtkleur.

Colour contrast in tunnels; additional calculations

J.W.A.M. Alferdinck

SUMMARY

Purpose: The visibility of small objects in a tunnel is a criterion for the design of tunnel lighting. In a former study for the Tunnelling Department of the Civil Engineering Division of the Directorate-General for Public Works and Water Management it was shown that the visibility could be improved when coloured tunnel lighting or coloured objects are used. The current study is a continuation of that study.

Methods: The current calculation method of the visibility of the objects is based on the classical *luminance contrast* of the object. The contribution of colour, in terms of colour hue and saturation, can be taken into account by using the so-called *equivalent contrast*. The ratio between the equivalent contrast and the luminance contrast is the *colour factor*. The colour contribute to the visibility when the colour factor is larger than 1. This colour factor was calculated for various lighting conditions.

Results:

- Saturated in pro-beam tunnel lighting provide the highest colour factors, 1.43 for small and 5 for large objects.
- For high-pressure sodium tunnel lighting (HPS) the colour factor is larger than 1 for all object colours, including neutral colours, except close to the tunnel entrance with a high sky luminance. The colour factors are about 1.25 for small and 4 for large objects.
- For neutral colours and a high sky luminance the half of these values are reached at 20 and 15 m, respectively. HDN counter-beam tunnel lighting provides the largest colour contributions for neutral colours.
- For tunnel lighting with a daylight colour (D65) the colour factor is 1 for neutral colours. Saturated colours in symmetrical and counter-beam lighting score lower with D65 than with HDN tunnel lighting
- For high sky luminances the influence of the daylight reaches until 60 m from the entrance; for low sky luminances about 30 m.
- The influence of the atmosphere transmission on the colour factor is negligibly small.
- The colour factor is fairly independent of the meteorological visibility. Therefore the calculated colour factors are valid for a large visibility range.

Conclusion: In order to make the most of the advantages of the colour contribution, it is recommended to use a counter-beam tunnel lighting with a colour that differs from the daylight colour.

1 INLEIDING

Om veilig een tunnel te kunnen binnenrijden moeten de visueel kritische details voor de weggebruiker zichtbaar zijn. De tunnel moet daarom voldoende verlicht zijn. Dit geldt met name overdag voor de zone direct na de tunnelingang. Bij het ontwerpen van een verlichtingsinstallatie voor een tunnel wordt het verlichtingsniveau zodanig ingesteld dat een referentieobject in de tunnel juist zichtbaar is voor een weggebruiker op enige afstand. Hierbij wordt echter alleen uitgegaan van het klassieke *luminantiecontrast* van het object. Er wordt er geen rekening gehouden met het *kleurcontrast*, waarbij ook het kleurverschil (in termen van verschil in kleurtint en kleurverzadiging) bijdraagt tot het onderscheiden van het object tegen de achtergrond.

In eerder onderzoek bleek dat kleur de zichtbaarheid van de visueel kritische details in de tunnels kan vergroten (Alferdinck, 2000). Het kleurcontrast bleek te ontstaan door een kleurverschil tussen de objecten en de achtergrond of door een kleurverschil tussen tunnelverlichting en het licht buiten de tunnel. In deze studie is een methode ontwikkeld om het zogenaamde *equivalent contrast* te berekenen uit de gemeten kleuren van object en achtergrond. De methode is gebaseerd op kleurverschilberekeningen in de CIELUV kleurenruimte. Het equivalent contrast is het klassieke luminantiecontrast vermeerderd met het kleurcontrast. Als een object verschilt van kleur met de omgeving (in termen van tint en kleurverzadiging) dan zal het equivalent contrast groter zijn dan het klassieke contrast. Wanneer de berekening van het benodigde lichtniveau in de tunnel wordt gebaseerd op het equivalent contrast dan kan men dus onder bepaalde omstandigheden uitkomen op lagere lichtniveaus dan bij een berekening gebaseerd op het klassieke contrast.

Er is bij Rijkswaterstaat (RWS) behoefte om de berekeningen van Alferdinck (2000) te herhalen voor een aantal specifieke situaties. In deze berekeningen is er van uitgegaan dat de objecten in de tunnel alleen worden verlicht door de tunnelverlichting. In werkelijkheid zal een object dat zich in de tunnel vlak bij de ingang bevindt ook verlicht worden door het daglicht van buiten de tunnel. De vraag is nu hoe groot de invloed is van het buitenlicht op het equivalent contrast.

Verder is bij de eerste berekeningen de transmissie van de atmosfeer buiten beschouwing gelaten en is alleen de sluiertiluminantie van de atmosfeer in rekening gebracht. Dit is gedaan omdat het verlichtingsniveau in de tunnel in de regel veel lager is dan buiten de tunnel, waardoor de sluiertiluminantie een relatief grote invloed heeft ten opzichte van de atmosfeertransmissie. De vraag is nu of die transmissie wel een rol gaat spelen als de objecten dicht bij de tunnelingang liggen en verlicht worden met hoge lichtniveaus.

Eerst zal een overzicht worden gegeven van de gebruikte formules in een theoretisch hoofdstuk. Daarna zullen berekende resultaten worden gepresenteerd, waarbij de invloed van kleur op de objectwaarneming als functie van de plaats in de tunnel, centraal staat.

2 THEORIE

2.1 Contrast

Contrast van een object in een tunnel

$$C = \frac{L_2 - L_3}{L_2} \quad (1)$$

Hierin is L_3 de luminantie van het waar te nemen object en L_2 de achtergrondluminantie van het wegdek en de tunnelwanden. De nomenclatuur komt overeen met die van de CIE (1984). Bij variatie van de objectluminantie van nul naar oneindig loopt het contrast dus van +1 naar min oneindig.

Het gereduceerd contrast van een object in een tunnel is

$$C_{\text{red}} = \frac{L_2 - L_3}{L_2 + L_s} \quad (2)$$

Hierin is L_s de sluiertluminantie die veroorzaakt wordt door de atmosfeer. Als de *absolute* waarde van het (gereduceerde) contrast groter is dan het drempelcontrast (C') dan is het object zichtbaar. Dit wordt bereikt door de achtergrondluminantie L_2 hoog genoeg te maken door het installeren van verlichting. Het drempelcontrast ligt in de praktijk op een 0,054 (Schreuder, 1989).

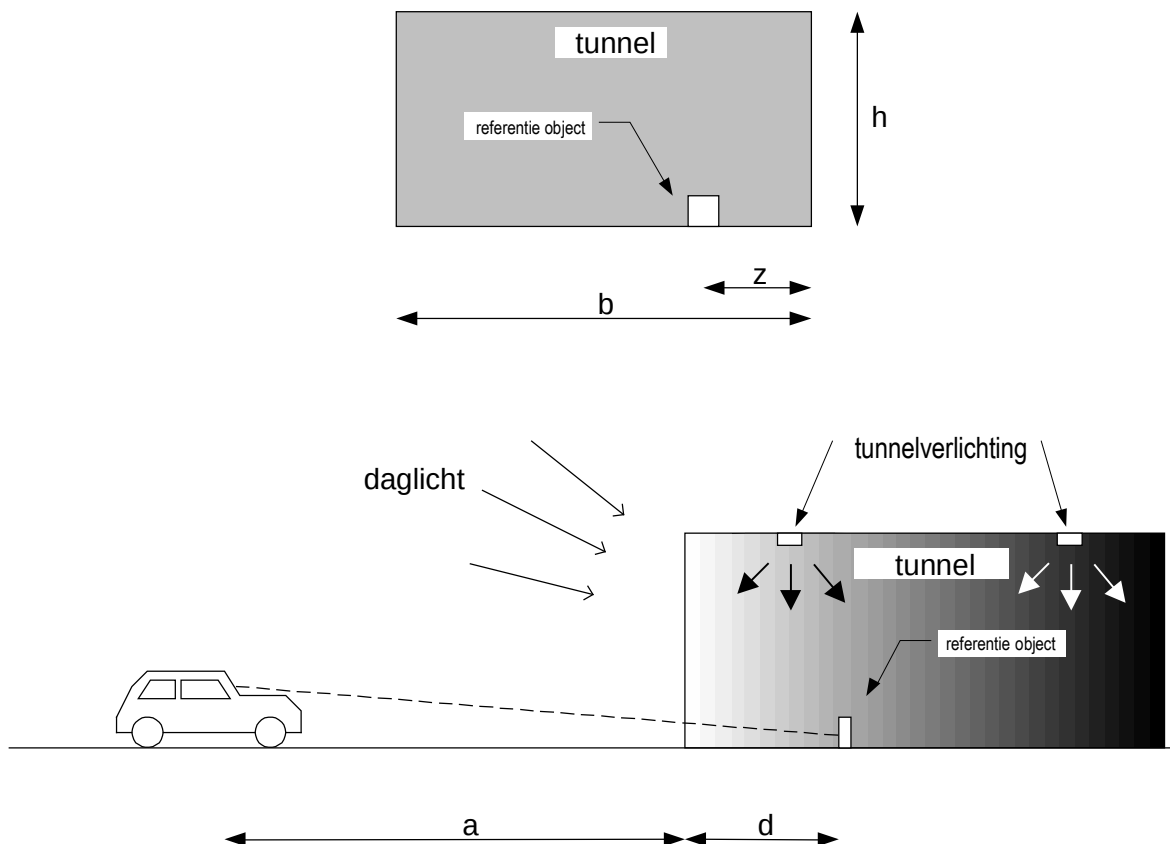


Fig. 1 Schematische weergave van een tunnelingang met referentie-object en auto met waarnemer. Dwarsdoorsnede (boven), zij aanzicht (onder).

Deze waarde wordt door Rijkswaterstaat gebruikt als het criterium voor het verlichtingsniveau in tunnels. Hierbij moet een grijs referentie-object van 20×20 cm zichtbaar zijn voor een waarnemer op 160 m afstand (zie Figuur 1).

2.2 Equivalent contrast

Omdat bovengenoemd contrast alleen afhangt van de luminantie wordt er geen rekening gehouden met het *kleurcontrast*. Dit treedt op als object en achtergrond niet alleen van elkaar te onderscheiden zijn door een luminantiecontrast maar ook door een verschil in kleurtint of kleurverzadiging.

Om de invloed van de kleur op het contrast in rekening te brengen is door Alferdinck (2000) voorgesteld gebruik te maken van het zogenaamde *equivalente contrast*. Het equivalente contrast (C_e) wordt berekend met

$$C_e = 1 - \left(1 - \frac{\Delta E^*}{116} \right)^3 \quad (3)$$

Hierin is ΔE^* het kleurverschil tussen de het object en de achtergrond in de CIELUV kleurenruimte.

$$\Delta E^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{k_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta u^*}{k_u} \right)^2 + \left(\frac{\Delta v^*}{k_v} \right)^2} \quad (4)$$

Hierin is L^* de lichtheid en u^* en v^* geven de plaats aan op de respectievelijk de groen/rood- en blauw/geel-as in de CIELUV kleurenruimte. Als u^* en v^* nul zijn dan is de kleur neutraal, bijvoorbeeld wit, grijs of zwart. De Δ -symbolen in de formule geven aan dat het om een verschil gaat tussen twee kleuren. Voor grote objecten met een visuele hoek van 1 tot 4 graden zijn de weegfactoren k_L , k_u en k_v gelijk aan 1. Voor kleine objecten met een visuele hoek van 8 boogminuten zijn deze respectievelijk 5,6, 23 en 75. Voor klein objecten is dus de bijdrage van de kleur aan het contrast veel lager dan voor grote objecten.

2.3 Kleurfactor

Het normale contrast is te berekenen door in formule (3) ΔE^* te vervangen door het kleurverschil zonder de kleurcomponenten, namelijk het verschil in lichtheid ΔL^* . Hieruit volgt dat de factor waarmee het klassieke contrast vermenigvuldigd moet worden om het equivalente contrast te krijgen gelijk is aan

$$C_e = F \cdot C$$

$$F = \frac{\Delta E^*}{\Delta L^*} \quad (5)$$

Als de kleurfactor groter dan 1 is dan geeft de kleur een meerwaarde aan het klassieke contrast en draagt dus bij aan het onderscheiden van een object tegen een achtergrond.

2.4 Verlichting door tunnelverlichting

Het object en de achtergrond (wegdek) in de tunnel worden verlicht door de tunnelverlichting en het daglicht. Gegeven de luminantie van de achtergrond (L_2) is de luminantie van het verticale object (L_3) t.g.v. de tunnelverlichting te beschrijven met

$$L_3 = \frac{\beta L_2}{\pi QC} \quad (6)$$

Hierin is β de luminantiefactor¹ van het object en QC de kwaliteitsfactor. Met de kwaliteitsfactor is de oriëntatie of stralingsrichting van de tunnelverlichting te beschrijven. Typische QC-waarden voor een mee-, symmetrische en tegenstraalverlichting, waarmee de berekeningen zijn uitgevoerd, zijn respectievelijk 0,05, 0,25 en 0,65 (zie Alferdinck, 2000).

2.5 Verlichting door daglicht

Het object in de tunnel wordt, met name dicht bij de ingang, ook verlicht door het daglicht. Als verondersteld wordt dat alleen de hemel zichtbaar is vanuit de positie op het wegdek waar het object zich bevindt, dan is de verlichtingssterkte in de tunnel ten gevolge van het daglicht relatief gemakkelijk uit te rekenen. De verticale verlichtingssterkte (E_{dv}) is evenredig met de hemelluminantie L_{sky} en kan berekend worden met

$$E_{dv} = L_{sky} \cdot f_v(b, h, z, d) \quad (7)$$

Hierin is $f_v(b, h, z, d)$ een factor die afhankelijk is van de breedte en de hoogte van de tunnel (b en h), de afstand van het object tot de tunnelingang (d) en de zijdelingse afstand van het object tot de zijwand van de tunnel (Fig. 1).

Voor de horizontale verlichtingssterkte op het wegdek geldt de formule

$$E_{dh} = L_{sky} \cdot f_h(b, h, z, d) \quad (8)$$

In Bijlage A zijn de uitwerkingen van deze formules gegeven.

De verlichting van het object door het daglicht verhoogt de luminantie met

$$L_{3d} = \frac{\beta E_{dv}}{\pi} \quad (9)$$

Hierbij is β de luminantiefactor van het object.

De luminantie van het wegdek t.g.v. het daglicht kan berekend worden met

$$L_{2d} = q \cdot E_{dh} \quad (10)$$

Hierin is q de luminantiecoëfficiënt. Dit is een maat voor de reflectie van het wegdek.

¹ De luminantiefactor is de verhouding tussen de luminantie van het object en de luminantie van de ideale, witte, diffuse reflector.

2.6 Invloed atmosfeer

De luminanties van het object en de achtergrond worden verzwakt door de atmosfeer. De transmissie van de atmosfeer hangt af van het meteorologisch zicht Z (m) en de afstand dat het licht door de atmosfeer moet afleggen a (m). De transmissie is dan gelijk aan

$$\tau = e^{\frac{-3a}{Z}} \quad (11)$$

Daarnaast wordt het daglicht door de atmosfeer verstrooid. Dit geeft een sluier over de scène waardoor het contrast verlaagd wordt (zie formule 2). De sluierluminantie is gelijk aan

$$L_s = L_{sky}(1 - \tau) \quad (12)$$

3 BEREKENINGEN

3.1 Uitgangspunten

Voor een aantal condities is de kleurfactor berekend als functie van de plaats van het object in de tunnel. Voor deze berekeningen is uitgegaan van een aantal parameters. Tabel I geeft een overzicht van deze parameters en hun waarden.

Tabel I Overzicht van de parameters die gebruikt zijn bij de berekeningen.

Parameter	Waarde	Eenheid
<i>Tunnelgeometrie</i>		
• hoogte h	5	m
• breedte b	12	m
• zijdelingse afstand object tot wand z	2,8	m
• afstand waarnemer-object $a+d$	160	m
<i>Tunnelverlichting</i>		
• achtergrondluminantie L_2	100	cd/m ²
• lichtkleur	D65, HDN	–
• oriëntatie (QC-factor)	mee, symmetrisch, tegen (0,05, 0,25, 0,65)	–
• luminantiecoëfficiënt wegdek q	0,054	cd/m ² per lx (sr ⁻¹)
<i>Daglicht</i>		
• hemelluminantie L_{sky}	1000 (laag), 10.000 (hoog)	cd/m ²
• meteorologisch zicht Z	1000	m
<i>Object</i>		
• kleuren	verzadigd en neutraal	–
• grootte (visuele hoek)	8 (klein), 120 (groot)	boogminuten

De tunnelbreedte van 12 m is gebaseerd een 3-strookstunnel zonder vluchtstrook, zoals de tunnel Schiphol West 2.

De achtergrondluminanties in tunnels liggen tussen 50 en 300 cd/m² (Alferdinck, 2000). Daarom is uitgegaan van een afgerond geometrisch gemiddelde van achtergrondluminantie van 100 cd/m².

Er is uitgegaan van tunnelverlichting met twee lichtkleuren. De eerste kleur is gelijk aan de kleur van het daglicht. Hiervoor is de standaard CIE illuminant D65 genomen. De tweede kleur is de kleur van hogedruk natrium licht (HDN).

De waarden voor de luminantie-coëfficiënt van het wegdek variëren tussen 0,024 en 0,084 (Alferdinck e.a., 1996). Voor de huidige studie is het gemiddelde van deze twee waarden genomen. Verder is er van uitgegaan dat het wegdek een diffuse reflector is.

Om realistische kleuraandelen te kunnen berekenen voor de situaties dat het referentieobject juist zichtbaar is, moet het klassieke luminantiecontrast van het referentie-object in de tunnel in de buurt liggen van het drempelcontrast van 0,054. Hiervoor moet de sluiertiluminantie voldoende hoog zijn en is dus een relatief ongunstige waarnemingssituatie nodig. Afgezien van mist, treedt dit op bij heilig weer en een lichtbewolkte hemel. Deze situatie is te omschrijven met een hemelluminantie ongeveer 10.000 cd/m^2 en een meteorologisch zicht van 1000 m. De kleur van de sluiertiluminantie is gelijk gesteld aan de CIE standaard daglichtkleur D65. Bij zwaar bewolkt weer is de hemelluminantie een stuk lager. Daarom is ook een hemelluminantie van 1000 cd/m^2 gekozen.

Voor de berekeningen zijn de verzadigde testkleuren gebruikt uit de eerste studie (Alferdinck, 2000). Daar zijn nog vijf neutrale kleuren (zwart, grijs, wit) aan toegevoegd met luminantiefactoren van 0, 0,25, 0,50, 0,75, en 1. Om de resultaten overzichtelijk te houden zijn de onverzadigde kleuren niet gebruikt. Uit pilotberekeningen bleek dat de kleuraandelen van de onverzadigde kleuren tussen die van de neutrale en verzadigde kleuren in liggen en verder geen extra informatie opleveren. In bijlage B zijn de trichromatische componenten vermeld van deze testkleuren voor de twee kleuren van de tunnelverlichting.

Per kleurset (neutraal en verzadigd) is de gemiddelde kleurfactor berekend. Hierbij is eerst voor elke kleurset het gemiddelde kleurverschil (ΔE^*) en de gemiddelde lichtheidverschil (ΔL^*) berekend. Daarna is met deze gemiddelde waarden de gemiddelde kleurfactor bepaald (formule 5).

Als de kleurfactor per kleur berekend zou zijn en daarna pas gemiddeld per kleurset, dan zouden er op bepaalde afstanden van de tunnelingang pieken optreden in de gemiddelde kleurfactor. Dit gebeurt als er een zodanige verhouding ontstaat tussen het daglicht van buiten de tunnel en de tunnelverlichting, dat voor één van de kleuren van de kleurset het luminantiecontrast nul wordt. Als er in dat geval wel een kleurcontrast is dan zal de kleurfactor oneindig zijn. Deze ene kleur zal het gemiddelde kleuraandeel van de hele set onevenredig hoog maken, terwijl het kleurverschil (equivalent contrast) ver onder de waarnemingsdrempel kan liggen. Vandaar dat is gekozen voor het middelen van ΔE^* en ΔL^* voordat de gemiddelde kleurfactor van de kleurset berekend wordt.

In deze studie zijn berekeningen uitgevoerd voor kleine en grote objecten, met een visuele hoek van respectievelijk 8 en 120 boogminuten. Op de standaard waarnemingsafstand van 160 m komen deze waarden overeen met objectgrootten van 0,37 en 5,6 m. Het kleine object is dus bijna twee keer zo groot als het referentie-object van $20 \times 20 \text{ cm}$. De berekeningen konden niet worden uitgevoerd voor het “klassieke” referentie-object omdat de constanten k_L , k_u , en k_v in formule (4) voor deze kleine objecten niet in de literatuur beschikbaar zijn (Alferdinck, 2000).

3.2 Verlichtingssterkte door daglicht

In Figuur 2 is geïllustreerd hoe het daglicht doordringt in een tunnel. In Figuur 2 zijn de verticale en horizontale verlichtingssterkte op wegdekhoogte weergegeven voor typische tunnelafmetingen en een hemelluminantie van 10.000 cd/m^2 .

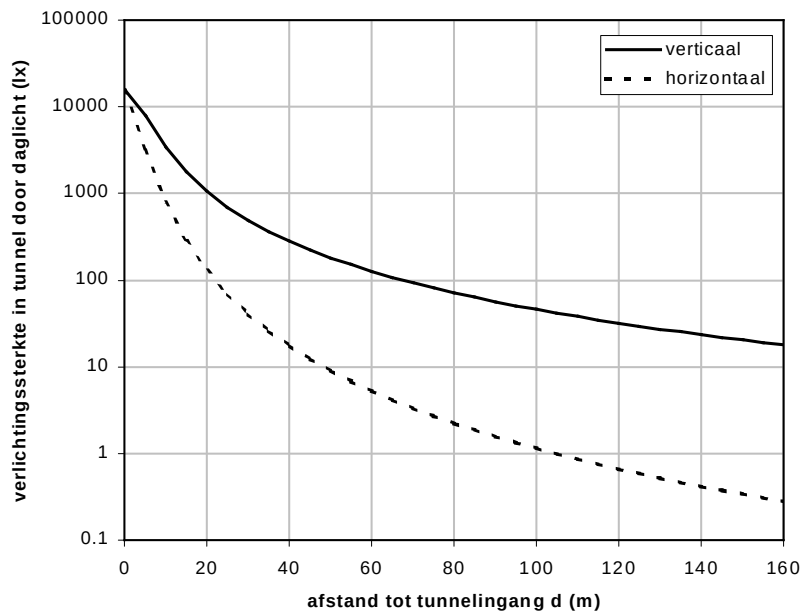


Fig. 2 Verticale en horizontale verlichtingssterkte in de tunnel ten gevolge van het daglicht als functie van de afstand tot de tunnelingang. De hemelluminantie is 10.000 cd/m^2 , tunnelhoogte 5 m, tunnelbreedte is 12 m, zijlingse afstand van het meetpunt tot tunnelwand is 2,2 m.

Hoe verder het object in de tunnel staat hoe minder de invloed is van het daglicht is. Bij de ingang zijn de verticale verlichtingssterkte op het referentie-object en de horizontale verlichtingssterkte op het wegdek gelijk aan elkaar. Naarmate het object verder in de tunnel wordt neergezet nemen deze verlichtingssterkten af. De afname van de horizontale verlichtingssterkte sneller gaat dan die van de verticale verlichtingssterkte. Na 160 m is de verticale verlichtingssterkte afgenomen tot 18 lx terwijl de horizontale verlichtingssterkte weer 64 keer lager is dan de verticale verlichtingssterkte. Deze gegevens zijn gebruikt voor de verdere berekeningen van de kleurfactor.

3.3 Kleurfactor

3.3.1 Overzicht

In Figuren 3 t/m 10 is de kleurfactor uitgezet als functie van de afstand van een object tot de tunnelingang (d) voor verschillende oriëntaties van de tunnelverlichting (mee, symmetrisch en tegen) en objectkleuren (neutraal, verzadigd).

Het object bevindt zich in de tunnel en de waarnemer staat op een constante afstand steeds 160 m van het object buiten de tunnel (a+d) (zie ook Fig. 1). Als d gelijk is aan 0 dan staat het object

dus precies in de tunnelingang. Als d gelijk is aan 160 m dan staat de waarnemer juist in de ingang.

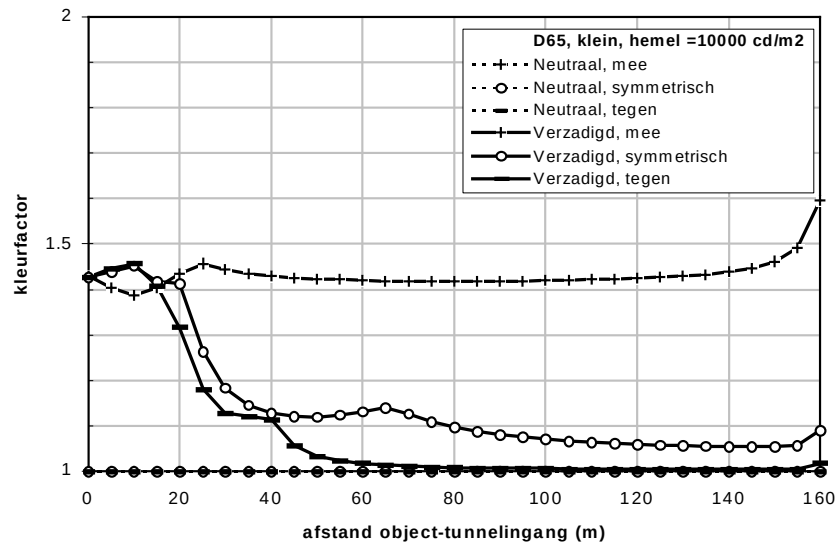


Fig. 3 Kleurfactor van een klein object in een tunnel als functie van de afstand van het object tot de tunnelingang, de soort tunnelverlichting (mee- symmetrisch- of tegenstraalverlichting) en objectkleur (neutraal, verzadigd). De kleur van de tunnelverlichting is D65 (daglicht). De hemelluminantie is 10.000 cd/m^2 . Merk op dat voor de neutrale kleuren de kleurfactor 1 is (geen kleurbijdrage aan het contrast).

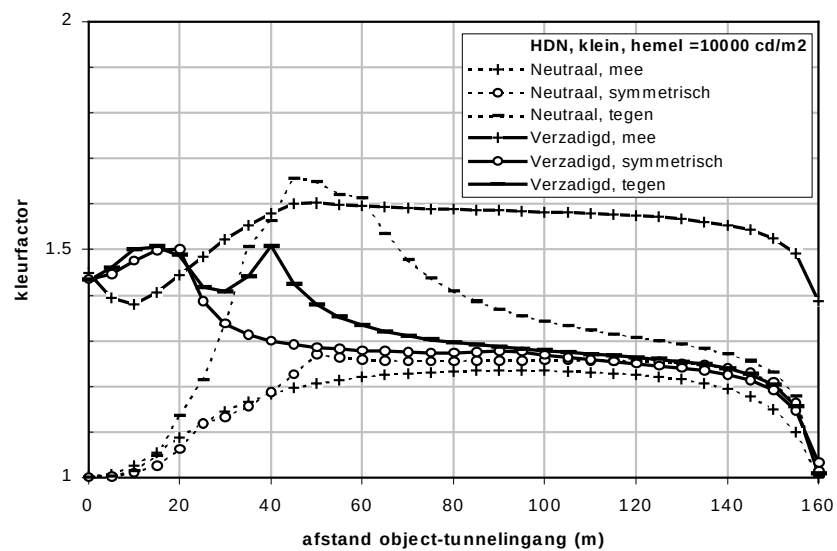


Fig. 4 Als Fig. 3, maar met HDN (hagedruk natrium) tunnelverlichting.

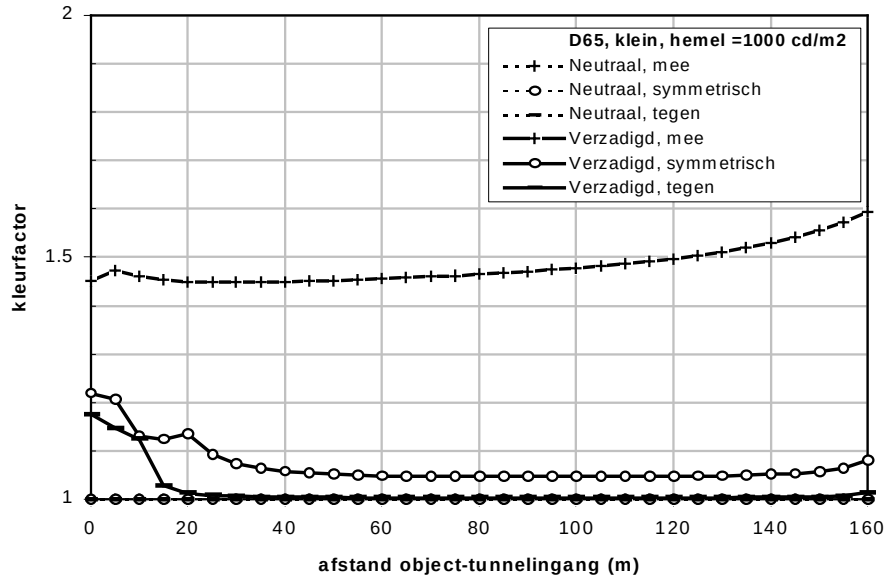


Fig. 5 Als Fig. 3, maar met een hemelluminantie van 1000 cd/m². Merk op dat voor de neutrale kleuren de kleurfactor 1 is (geen kleurbijdrage aan het contrast).

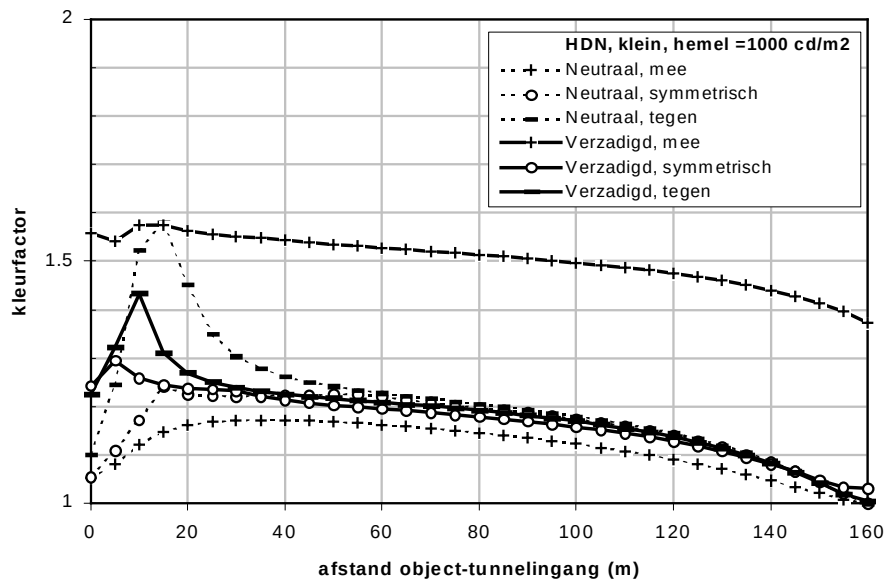


Fig. 6 Als Fig. 3, maar met HDN (hogedruk natrium) tunnelverlichting en een hemelluminantie van 1000 cd/m².

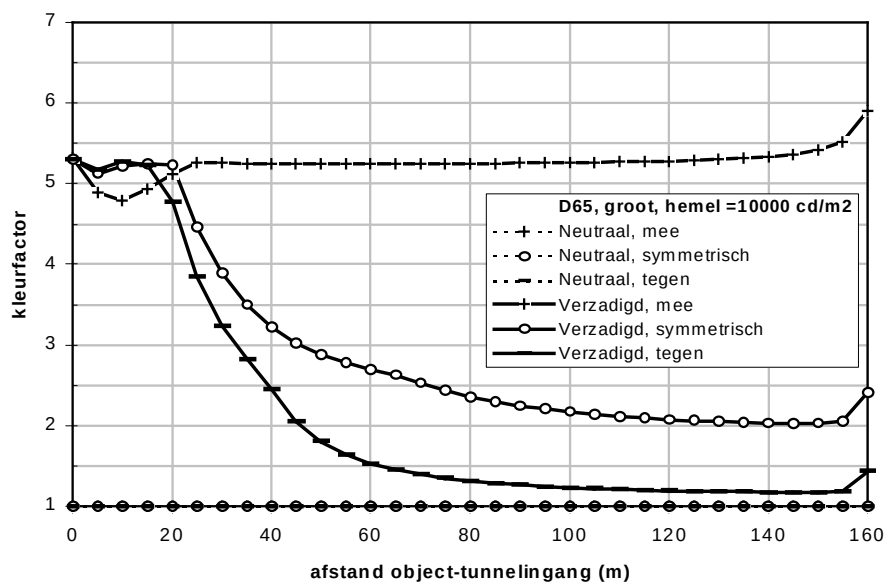


Fig. 7 Als Fig. 3, maar nu voor grote objecten. Merk op dat voor de neutrale kleuren de kleurfactor 1 is (geen kleurbijdrage aan het contrast).

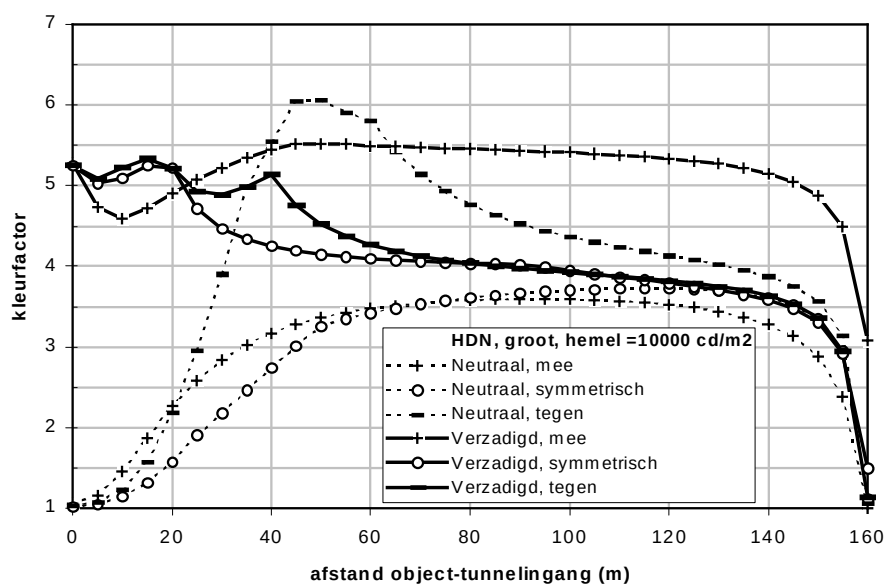


Fig. 8 Als Fig. 3, maar nu voor grote objecten en HDN (hogedruk natrium) tunnelverlichting.

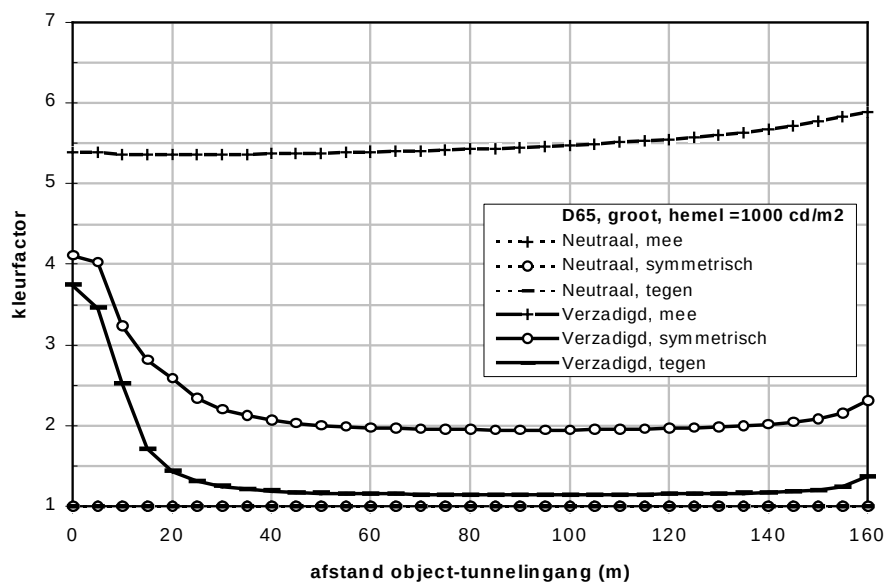


Fig. 9 Als Fig. 3, maar nu voor grote objecten en een hemelluminantie van 1000 cd/m^2 . Merk op dat voor de neutrale kleuren de kleurfactor 1 is (geen kleurbijdrage aan het contrast).

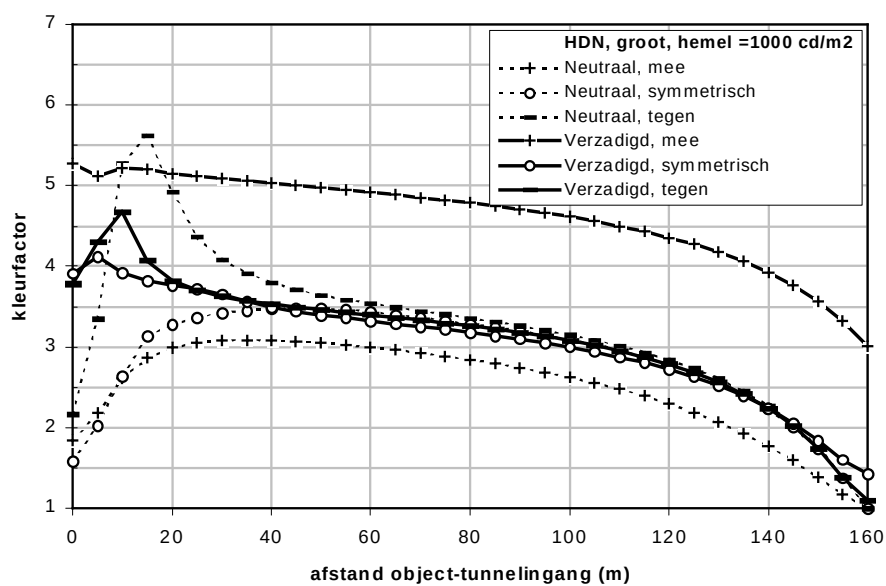


Fig. 10 Als Fig. 3, maar nu voor grote objecten, HDN (hogedruk natrium) tunnelverlichting en een hemelluminantie van 1000 cd/m^2 .

Figuren 3 t/m 6 gelden voor kleine objecten (8 boogminuten) en 7 t/m 10 voor grote objecten (120 boogminuten).

In de bovenste grafieken op de volgende bladzijden (Fig. 3, 5, 7 en 9) heeft de tunnelverlichting een daglichtkleur (D65) en in de onderste grafieken (Fig. 4, 6, 8 en 10) is de tunnel uitgevoerd met een hogedruk natrium verlichting (HDN).

Fig. 3, 4, 7 en 8 gelden voor een hoge hemelluminantie (10.000 cd/m^2) en in Fig. 5, 6, 9 en 10 is de hemelluminantie laag (1000 cd/m^2).

Het eerste dat opvalt is dat de kleurfactor in de meeste condities redelijk onafhankelijk is van de plaats in de tunnel, behalve als het object dicht bij de tunnelingang staat. Dan is de invloed van het daglicht merkbaar. In de volgende paragrafen zullen deze resultaten nader besproken worden.

3.3.2 Ver in de tunnel

Het object bevindt zich buiten de invloedssfeer van het daglicht als het op voldoende afstand staat van de tunnelingang. De kleurfactor is dan min of meer onafhankelijk van de afstand tussen object en tunnelingang. Dit is het geval als deze afstand groter is dan ruwweg 60 m. De waarnemer bevindt zich dan op minder dan 100 m of meer van de tunnelingang, omdat de afstand tussen de waarnemer en het object steeds 160 m is. In deze condities zijn de resultaten dan ook goed te vergelijken met de eerdere berekeningen, waarbij geen rekening werd gehouden met de verlichting van het object door het daglicht (Alferdinck, 2000).

Tabel II De kleurfactor van neutrale en verzadigde kleuren, ver van de tunnelingang, voor verschillende oriëntaties (mee, symmetrisch, tegen) en kleuren (HDN, D65) van de tunnelverlichting. De waarden gelden voor een afstand object–tunnelingang van 80 m en een hoge hemelluminantie. De getallen tussen haakjes zijn de uitkomsten van eerdere berekeningen (Alferdinck, 2000).

Oriëntatie tunnel- verlichting	Grote objecten				Kleine objecten			
	HDN		D65		HDN		D65	
	verzadigd	neutraal	verzadigd	neutraal	verzadigd	neutraal	verzadigd	neutraal
Mee	5,26 (12,83)	3,57 (3,91)	5,26 (18,47)	1 (1)	1,61 (3,32)	1,23 (1,28)	1,43 (3,34)	1 (1)
Symmetrisch	4,00 (3,35)	3,57 (3,92)	2,38 (2,79)	1 (1)	1,27 (1,21)	1,25 (1,28)	1,10 (1,08)	1 (1)
Tegen	4,00 (3,85)	4,76 (3,92)	1,32 (1,13)	1 (1)	1,28 (1,27)	1,41 (1,28)	1,01 (1,00)	1 (1)

In Tabel II zijn de kleurfactoren uitgezet voor een afstand van 80 m tussen het object en de tunnelingang en een hoge hemelluminantie. De getallen tussen haakjes zijn de uitkomsten van de eerdere berekeningen (Alferdinck, 2000). Uit Tabel II blijkt het volgende.

- In geval van een tunnelverlichting met een daglichtkleur D65 en neutrale objectkleuren is de kleurfactor 1. Er is dan geen bijdrage van de kleur.
- Bij hogedruk natrium verlichting (HDN) en neutrale kleuren is de kleurfactor groter dan 1. Deze is nauwelijks afhankelijk van de oriëntatie van de tunnelverlichting. Het kleuraandeel bij neutrale kleuren wordt gemaakt door het kleurverschil tussen de tunnelverlichting en de daglichtkleur van de sluieluminantie. Dit is dus alleen het geval als er de kleur van het daglicht verschilt van de kleur van de tunnelverlichting.
- Bij gebruik van HDN is de kleurfactor altijd groter dan 1, ongeacht de kleur van de objecten.

- Van verzadigde kleuren is de kleurfactor het grootst bij meestraalverlichting. Bij tegenstraalverlichting wordt de kleurfactor laag, vooral bij kleine objecten in D65 tunnelverlichting. Dan steekt het object donker af tegen de achtergrond en is de kleurbijdrage klein.
- Voor verzadigde kleuren is de kleurfactor bij HDN nog wat hoger dan bij D65 omdat naast de kleurbijdrage van de gekleurde objecten ook nog het kleurverschil van het daglicht en de tunnelverlichting bijdraagt aan de kleurfactor.
- Voor grote objecten is de kleurfactor groter dan voor kleine objecten omdat voor kleine objecten de weegfactoren voor kleur (k_u en k_v in formule 4) groter zijn dan voor grote objecten.
- De berekende kleurfactoren kloppen redelijk met de eerdere berekeningen. Een uitzondering zijn de objecten met verzadigde kleuren in meestraalverlichting. Deze afwijkingen zijn te wijten aan de verschillende manieren van het berekenen van de gemiddelde kleurfactor.

3.3.3 Invloed van daglicht

De invloed van het daglicht is het grootst bij hoge hemelluminanties en als het object dicht bij de tunnelingang staat. Bij een lage hemelluminantie (1000 cd/m^2) is de invloed van het daglicht tot ongeveer 30 m in de tunnel merkbaar. Bij een hoge hemelluminantie (10.000 cd/m^2) is dat ongeveer 60 m.

Als het object in de tunnelingang staat ($d = 0$) dan is bij een hoge hemelluminantie de kleurfactor 1,42 voor kleine en 5,3 voor grote objecten met verzadigde kleuren. Voor neutrale kleuren is dan de kleurfactor 1. In deze conditie is de kleurfactor zijn onafhankelijk van de kleur en oriëntatie van de tunnelverlichting en wordt de verlichting van het object en de achtergrond volledig gedomineerd door het daglicht van buiten. Alleen het daglicht en niet de tunnelverlichting schijnt op het object en de sluierluminantie van de atmosfeer bepaalt volledig de kleur van de achtergrond.

Daglicht tunnelverlichting (D65)

In een tunnel met daglichtverlichting is er bij neutrale kleuren de kleurfactor gelijk aan 1, ongeacht de plaats in de tunnel (Fig. 3, 5, 7 en 9). De kleur van het object, in termen van kleurtint en kleurverzadiging, is altijd gelijk aan de kleur van de achtergrond.

Bij een meestraalverlichting verandert het kleuraandeel van verzadigde kleuren nauwelijks als het object dicht bij de tunnelingang wordt geplaatst. Het blijft op een constant niveau van ongeveer 1,5 voor kleine objecten en ruim 5 voor grote objecten. Meestraalverlichting met een daglichtkleur die het object helder doet oplichten is dus gunstig voor het kleuraandeel van verzadigd gekleurde objecten.

Bij tegenstraalverlichting is de kleurbijdrage van kleine objecten met verzadigde kleuren te verwaarlozen als het object ver in de tunnel staat (Fig. 3 en 5). Door de tegenstraalverlichting wordt het object relatief donker tegen de achtergrond, waardoor de kleurfactor 1 is. Bij een hoge hemelluminantie stijgt de kleurfactor naarmate het object dichterbij dan 60 m bij de tunnelingang geplaatst wordt, tot uiteindelijk het niveau bij de meestraalverlichting (Fig. 3). Bij een lage hemelluminantie (Fig. 5) blijft ook bij de tunnelingang de invloed van de tunnelverlichting op de

achtergrondluminantie merkbaar en komt de kleurfactor niet op het niveau van de meestraalverlichting.

Voor grote objecten met verzadigde kleuren in tegenstraalverlichting is de kleurfactor ver in de tunnel ruim 1,1. Dichter bij de ingang loopt het aandeel op tot vrijwel het niveau van de meestraalverlichting. Voor een hoge hemelluminantie is de invloed nog duidelijk te merken tot 80 m in de tunnel, voor een lage hemelluminantie ongeveer 20 m.

Voor symmetrische verlichtingen liggen de kleurfactoren tussen die van de mee- en tegenstraalverlichting.

Hogedruk natrium tunnelverlichting (HDN)

Bij gebruik van HDN verlichting is er, ongeacht de kleur van het object, de kleurfactor groter dan 1, mits het object niet te dicht bij de tunnelingang staat (Fig. 4, 6, 8, 10). De kleurfactor van neutrale kleuren is ongeveer even groot al die van verzadigde kleuren bij symmetrische of tegenstraalverlichting.

Voor kleine en grote objecten met neutrale kleuren is de kleurfactor het grootst bij een hoge hemelluminantie en tegenstraalverlichting op een afstand van 40 tot 60 m van de tunnelingang. Het is dan zelfs groter dan bij verzadigde kleuren. Met name middelgrijs en lichtgrijs zijn verantwoordelijk voor dit maximum. Bij een lage hemelluminantie is deze piek naar 15 m van de ingang verschoven.

Bij neutrale kleuren is er voor een hoge hemelluminantie geen kleurbijdrage bij de tunnelingang. In dit geval domineert het daglicht de verlichting van object en achtergrond. Na ongeveer 30 m vanaf de tunnelingang (afhankelijk van de oriëntatie van de verlichting) is de invloed van het daglicht voldoende afgenomen om de kleurfactor weer op het niveau te brengen van ver in de tunnel.

Bij een lage hemelluminantie blijft de kleurfactor ook voor neutrale kleuren gehandhaafd tot bij de tunnelingang. De gekleurde tunnelverlichting heeft dus, zelfs bij de ingang, nog voldoende invloed om neutrale objecten een kleurcontrast te geven.

Evenals bij D65 tunnelverlichting is de kleurfactor van verzadigde kleuren het grootst bij meestraalverlichting. Als de hemelluminantie hoog is, dan is de kleurfactor ver in de tunnel ruim 1,5 voor kleine objecten en rond 5 voor grote objecten. Verder van de tunnelingang af liggen de kleurfactoren van verzadigde kleuren in symmetrische en tegenstraalverlichting ongeveer gelijk maar lager dan van meestraalverlichting.

De kleurfactoren van verzadigde kleuren bij symmetrisch en tegenstraalverlichting liggen voor HDN hoger dan voor D65 tunnelverlichting. De kleurbijdrage bij HDN wordt dus niet alleen veroorzaakt door de kleuren van de objecten maar is voor een groot deel het gevolg van het kleurverschil tussen tunnelverlichting en het daglicht van buiten.

Bij een hoge hemelluminantie is bij de ingang van de tunnel de invloed van de kleur van de tunnelverlichting vrijwel nul. Neutrale kleuren leveren dan geen bijdrage aan de kleurfactor en verzadigde kleuren hebben voor alle oriëntaties van de tunnelverlichting dezelfde kleurfactor.

Bij een lage hemelluminantie is echter de invloed van de tunnelverlichting merkbaar tot bij de ingang. De kleurfactor van neutrale kleuren is dan gemiddeld 1,1 en 2 voor respectievelijk kleine en grote objecten. Voor verzadigde kleuren in symmetrisch en tegenstraalverlichting is dan ook de invloed van de tunnelverlichting nog merkbaar bij de ingang en presteren minder dan bij meestraalverlichting.

Als de waarnemer in de tunnelingang staat ($d = 160$ m) is het strooilicht van de atmosfeer met een daglichtkleur verdwenen. In deze situatie is dus de kleurbijdrage van neutrale objecten, dat op het strooilicht is gebaseerd, verdwenen.

3.3.4 Resumé

De voornaamste conclusies uit de berekeningen van de kleurfactor zijn:

- Verzadigde kleuren in meestraalverlichting geven de hoogste kleurfactoren, 1,5 voor kleine en 5 voor grote objecten.
- Bij HDN is de kleurfactor groter dan 1 voor alle objectkleuren, inclusief neutrale kleuren, behalve dicht bij de tunnelingang als de hemelluminantie hoog is. De kleurfactoren liggen rond de 1,25 voor kleine en op 4 voor grote objecten. Tegenstraalverlichting geeft de hoogste kleuraandelen bij neutrale kleuren.
- Bij D65 tunnelverlichting en neutrale kleuren is de kleurfactor gelijk aan 1. Verzadigde kleuren in symmetrische en tegenstraalverlichting scoren bij D65 tunnelverlichting lager dan bij HDN tunnelverlichting.
- Bij hoge hemelluminanties is de invloed van het daglicht merkbaar tot op 60 m van de ingang; bij lage hemelluminanties is dat ongeveer 30 m.

3.4 Invloed atmosfeer

Vooraf vroegen we ons af of de transmissie van de atmosfeer van invloed is op de kleurfactor. Dit is voor een aantal condities uitgetoetst door de kleurfactoren met en zonder invloed van de atmosfeertransmissie te berekenen. Het bleek dat het verschil zeer minimaal en dus te verwaarlozen is.

Naast een verzwakking veroorzaakt de atmosfeer ook een sluieluminantie. Ook de sluieluminantie is niet van zeer grote invloed op de kleurfactor. In de eerdere berekeningen is reeds gebleken dat de kleurfactor betrekkelijk onafhankelijk is van de grootte van de sluieluminantie (Alferdinck, 2000). Voor sluieluminanties tussen 10 en 1000 keer de achtergrondluminantie varieerde de kleurfactor niet meer dan 5%. Deze kleine invloed van het meteorologisch zicht op de kleurfactor is geïllustreerd in Figuren 11 en 12. Voor een meteorologisch zicht tussen 50 en 50.000 m is de kleurfactor berekend voor verschillende objectkleuren en kleur en oriëntatie van de tunnelverlichting. Een klein object (8 boogminuten) is hierbij in de tunnel geplaatst op een afstand van 80 m van de ingang. De hemelluminantie was hoog (10.000 cd/m^2). Verder zijn de parameters gelijk aan die van §3.1 en Tabel I.

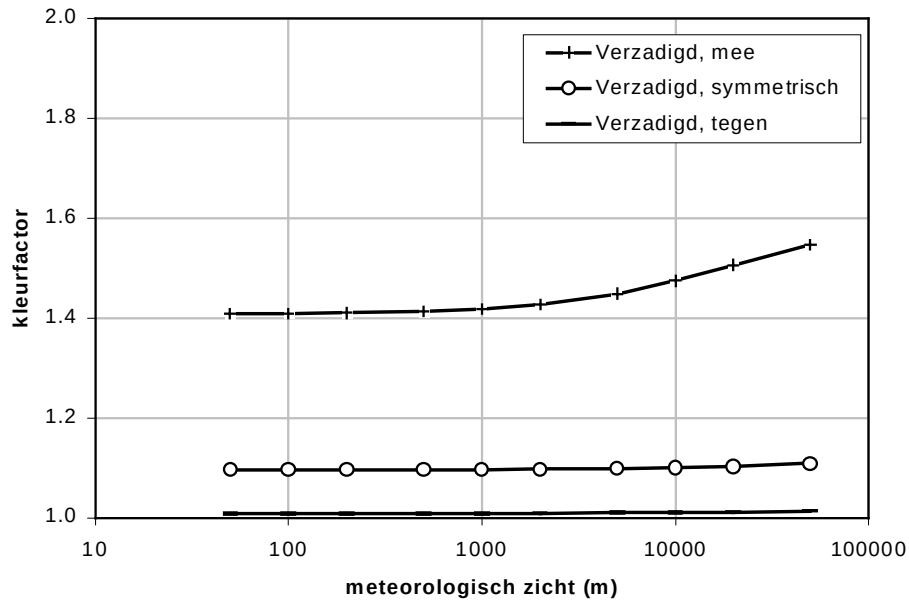


Fig. 11 Kleurfactor bij daglicht (D65) tunnelverlichting als functie van het meteorologisch zicht. De kleurfactor voor neutrale kleuren is niet in de grafiek opgenomen omdat deze in alle condities 1 is.

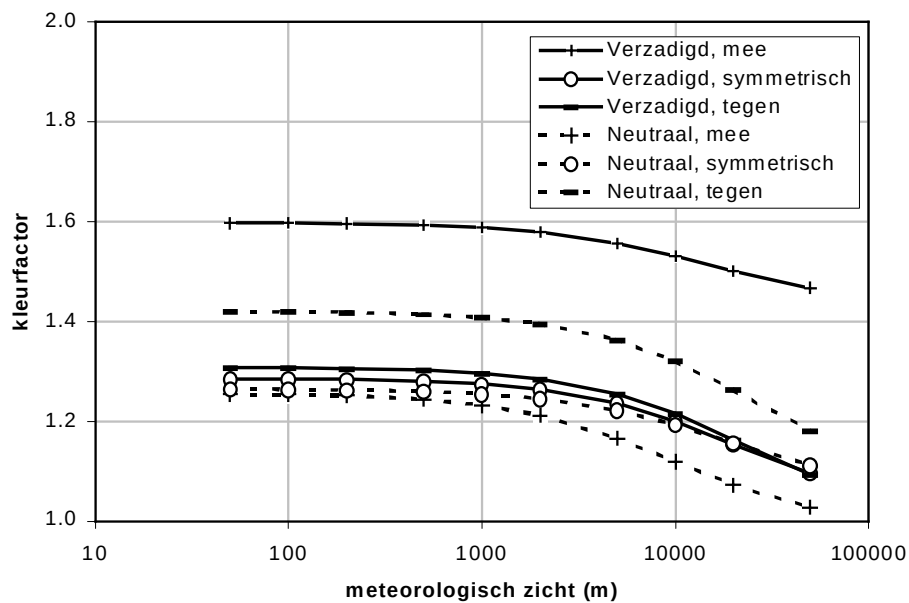


Fig. 12 Kleurfactor bij hogedruk natrium (HDN) tunnelverlichting als functie van het meteorologisch zicht.

Het blijkt dat met name voor D65 de kleurfactor nauwelijks afhankelijk is van het zicht, met name voor symmetrische en tegenstraalverlichting. De kleurfactor voor neutrale kleuren is niet in de grafiek opgenomen omdat deze in alle condities 1 is. Voor meestraalverlichting loopt de kleurfactor ongeveer 10% op voor grote zichten.

Voor HDN is de kleurfactor ook betrekkelijk onafhankelijk van het zicht. Tot een zicht van 1000 m is de kleurfactor constant, daarna begint het langzaam af te nemen. Afhankelijk van de lichtconditie is de afname 10 tot 20%.

Deze zwakke correlatie van de kleurfactor met het meteorologisch zicht betekent dat de kleurfactoren die in voorgaande paragrafen berekend zijn voor diverse verlichtingscondities in wezen zullen gelden voor een redelijk groot bereik van meteorologische zichten.

4 CONCLUSIES

De bijdrage van de kleur aan de zichtbaarheid van een klein object in een tunnel kan in rekening worden gebracht door het zogenaamde equivalente contrast te gebruiken. Dit is het contrast waarbij ook de kleur, in termen van verschil in kleurtint en kleurverzadiging, in rekening is gebracht. De verhouding tussen het equivalente contrast en het klassieke luminantiecontrast is de kleurfactor. Als de kleurfactor groter is dan 1 dan draagt dus de kleur dus bij aan de zichtbaarheid. Uit berekeningen van de kleurfactor in een aantal verlichtingscondities zijn de volgende conclusies te trekken:

- a. Verzadigde kleuren in meestraalverlichting geven de hoogste kleurfactoren, 1,5 voor kleine en 5 voor grote objecten.
- b. Bij hogedruk natrium tunnelverlichting (HDN) is de kleurfactor voor alle objectkleuren groter dan 1, inclusief neutrale kleuren, behalve dicht bij de tunnelingang als de hemelluminantie hoog is. De kleurfactoren liggen rond 1,25 voor kleine en 4 voor grote objecten. Voor neutrale kleuren en hoge hemelluminanties wordt de helft van deze waarden bereikt op respectievelijk 20 en 15 m. HDN tegenstraalverlichting geeft de hoogste kleurfactoren bij neutrale kleuren.
- c. Bij tunnelverlichting met een daglichtkleur (D65) is de kleurfactor gelijk aan 1 bij neutrale kleuren. Verzadigde kleuren in symmetrische en tegenstraalverlichting scoren bij D65-tunnelverlichting lager dan bij HDN-tunnelverlichting.
- d. De atmosfeertransmissie heeft een te verwaarlozen invloed op de kleurfactor.
- e. De kleurfactor is betrekkelijk onafhankelijk van het meteorologisch zicht. De berekende kleurfactoren gelden dus voor een groot bereik van meteorologische zichten.
- f. Om maximaal gebruik te maken van de contrastverhoging door kleur, wordt aanbevolen een tegenstraalverlichting te gebruiken met een kleur die afwijkt van de daglichtkleur.

REFERENTIES

- Alferdinck, J.W.A.M., Kaptein, N.A. & Horst, A.R.A. van der (1996). *Dynamische openbare verlichting (DYNO). Fase 2: Het vastleggen van een voorlopig schakelregime* (Rapport TM-1996-C05). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Alferdinck, J.W.A.M. (2000). *Kleurcontrast in tunnels* (Rapport TM-00-C009). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Schreuder, D.A. (1989). The field factor for the determination of tunnel entrance luminance levels. *Proceedings of SLG/CIE Symposium*, Lugano Switzerland, 12 October 1989.
- SLG (1992) *Handbuch für Beleuchtung* (5. Auflage, Herausgeber: Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft SLG). Lansberg, CH: Ecomed-Fachverlag.

Soesterberg, 16 november 2000

Ing. J.W.A.M. Alferdinck
(auteur, projectleider)

BIJLAGE A: Berekening van de verlichtingssterkte in tunnels t.g.v. het daglicht

Verticale verlichtingssterkte

De verticale verlichtingssterkte E_v (lx) t.g.v. van het daglicht op een verticaal object op het wegdek in een tunnel kan beschreven worden met de volgende formule (SLG, 1992; par. II-1.3).

$$\begin{aligned}
 E_v &= L \cdot f_v(b, h, z, d) \\
 f_v(b, h, z, d) &= \frac{t_{v1} + t_{v2}}{2} \\
 t_{v1} &= \frac{z}{\sqrt{z^2 + d^2}} \arctan\left(\frac{h}{\sqrt{z^2 + d^2}}\right) + \frac{h}{\sqrt{h^2 + d^2}} \arctan\left(\frac{z}{\sqrt{h^2 + d^2}}\right) \\
 t_{v2} &= \frac{b-z}{\sqrt{(b-z)^2 + d^2}} \arctan\left(\frac{h}{\sqrt{(b-z)^2 + d^2}}\right) + \frac{h}{\sqrt{h^2 + d^2}} \arctan\left(\frac{b-z}{\sqrt{h^2 + d^2}}\right)
 \end{aligned} \tag{A1}$$

L is de luminantie van de tunnelopening gezien vanuit de tunnel in cd/m^2 . Verondersteld wordt dat L de (homogene) luminantie van de hemel is. Verder is h de hoogte van de tunnel in m, b de breedte van de tunnel in m, z de zijdelingse afstand van het object tot de tunnelwand en d is de afstand van het object tot de tunnelingang. De uitkomsten van de arctangens functies moeten berekend worden in radialen.

Als d nul is, en het object dus in de tunnelingang staat, vereenvoudigt formule (A1) tot

$$E_v = \frac{\pi}{2} L \tag{A2}$$

Het verticale object wordt dan beschenen door de helft van de hemelkoepel.

Als d veel groter is dan de h en b , en dus het object ver in de tunnel is geplaatst, dan vereenvoudigt formule (A1) tot

$$E_v = L \cdot \frac{hb}{d^2} \tag{A3}$$

De tunnelingang kan dan beschouwd worden als een puntbron met een lichtsterkte van Lhb candela (cd), waarbij hb de oppervlakte van de tunnelopening is.

Horizontale verlichtingssterkte

De horizontale verlichtingssterkte E (lx) t.g.v. van het buitenlicht op het wegdek in een tunnel kan beschreven worden met de volgende formule (SLG, 1992).

$$\begin{aligned}
 E_h &= L \cdot f_h(b, h, z, d) \\
 f_h(b, h, z, d) &= \frac{1}{2}(t_{h1} + t_{h2}) \\
 t_{h1} &= \arctan\left(\frac{z}{d}\right) - \frac{d}{\sqrt{h^2 + d^2}} \arctan\left(\frac{z}{\sqrt{h^2 + d^2}}\right) \\
 t_{h2} &= \arctan\left(\frac{b-z}{d}\right) - \frac{d}{\sqrt{h^2 + d^2}} \arctan\left(\frac{b-z}{\sqrt{h^2 + d^2}}\right)
 \end{aligned} \tag{A4}$$

Bij de tunnelingang ($d=0$) wordt het horizontale wegdek door de helft van de hemelkoepel beschenen en vereenvoudigd formule (A4), net als bij het verticale object tot

$$E_h = \frac{\pi}{2} L \quad (A5)$$

In de tunnelingang is zijn dus de horizontale en verticale verlichtingssterkte aan elkaar gelijk (zie Fig. 2).

Als d veel groter is dan de h en b , en dus het object ver in de tunnel is geplaatst, dan vereenvoudigt formule (A4) tot

$$E_h = L \cdot \frac{hb}{d^2} \cdot \frac{h}{2d} = L \cdot \frac{h^2 b}{2d^3} \quad (A6)$$

Merk op dat het tweede deel van deze formule ($h/2d$) het verschil bepaald tussen de horizontale en verticale verlichtingssterkte. Dit verschil wordt dus groter naarmate het object zich verder in de tunnel bevindt (zie Fig. 2).

BIJLAGE B: Kleurgegevens

Tabel B1 Trichromatische componenten van de gebruikte voor daglicht (D65) en hogedruk natriumlicht (HDN). De eerste 14 kleuren zijn CIE, waarvan de kleuren 1 t/m 8 onverzadigd zijn en 9 t/m 12 verzadigd (CIE, 1974). De kleuren 15 t/m 19 zijn neutrale kleuren. Y is gelijk aan de luminantie, genormeerd op 100 voor absoluut wit (kleur 19) en is gelijk aan de luminantiefactor β maal 100.

Kleur-nummer	Kleurnaam	D65			HDN		
		X	Y	Z	X	Y	Z
1	Licht grijsachtig rood	33.0	29.8	24.5	50.0	36.0	3.3
2	Donker grijsachtig geel	27.5	28.9	14.9	42.8	32.6	2.1
3	Verzadigd geel-groen	23.9	30.4	9.9	36.1	29.9	1.4
4	Geelachtig groen	20.4	29.5	21.3	26.8	23.5	3.0
5	Licht blauwachtig groen	25.0	30.8	40.4	29.6	25.0	5.5
6	Licht blauw	28.2	29.8	57.8	29.9	23.7	7.7
7	Licht violet	33.3	29.4	53.2	39.7	28.9	6.9
8	Licht roodachtig purper	37.6	31.3	45.4	47.5	33.1	5.9
9	Verzadigd rood	20.6	11.2	4.3	28.3	15.5	0.6
10	Verzadigd geel	54.9	59.0	12.0	89.1	68.4	1.8
11	Verzadigd groen	12.1	20.4	15.3	14.2	13.1	2.2
12	Verzadigd blauw	6.2	6.4	27.6	2.8	2.5	3.8
13	Licht geelachtig roze	58.9	57.1	41.3	90.1	67.1	5.6
14	Olijf groen	9.3	11.7	5.4	13.5	11.3	0.8
15	Zwart	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	Donkergrijs	23.8	25.0	27.2	32.2	25.0	3.6
17	Middelgrijs	47.5	50.0	54.4	64.4	50.0	7.3
18	Lichtgrijs	71.3	75.0	81.7	96.6	75.0	10.9
19	Wit	95.0	100.0	108.9	128.8	100.0	14.6