

DE VELDFACTOR BIJ DE BEPALING VAN DE VERLICHTINGSNIVEAUS BIJ TUNNEL-
INGANGEN

Verslag van een nadere analyse van het experimentele onderzoek

R-91-65

Dr. ir. D.A. Schreuder

Leidschendam, 1991

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

Voorwoord

1. Inleiding

2. Het eerder uitgevoerde onderzoek
 - 2.1. Doel, opzet
 - 2.2. Rijtaak en waarnemingstaak
 - 2.3. Resultaten
 - 2.4. Discussie

3. Vervolgonderzoek

4. Validatie-onderzoek
 - 4.1. Algemeen
 - 4.2. De uitkomst van de validatie
 - 4.3. De luminantie van de toegangszone en van de tunnelingang
 - 4.4. De invloed van de autovoorraad
 - 4.5. Het gebruik van de Fry-formule bij de metingen
 - 4.6. De invloed van de meetopstelling
 - 4.7. De toepasbaarheid van de Vos-formule
 - 4.8. Leeftijdseffecten
 - 4.9. Onvolkomenheden in het programma
 - 4.10. Conclusie
 - 4.11. Aanbevelingen

5. Aanvullende analyse
 - 5.1. Algemeen
 - 5.2. De afhankelijkheid van de waarnemers
 - 5.3. De definitie van het contrast
 - 5.4. De invloed van het adaptatieniveau
 - 5.5. De rijtaak
 - 5.6. Leereffecten
 - 5.7. De sluiertluminantie
 - 5.8. Leeftijdseffecten
 - 5.9. Het verschil tussen de tunnelportalen
 - 5.10. De invloed van het daglicht

- 5.11. Het adaptatiedefect; L_{ruit} en L_{atm}
- 5.12. Helderheid achtergrond
- 5.13. Deelresultaten
- 5.14. Conclusies

6. Vergelijking met andere onderzoeken

- 6.1. Inleiding
- 6.2. University of Waterloo (Ontario, Canada)
- 6.3. Centre d'Etudes des Tunnels CETu
- 6.4. Muséum National d'Histoire Naturelle
- 6.5. Stadtwerke Bremen
- 6.6. Universität Darmstadt
- 6.7. Japanse studies
- 6.8. Conclusies

7. Slotconclusie

Literatuur

Afbeeldingen 1 en 2

Tabellen 1 t/m 7

Bijlage

VOORWOORD

Dit rapport bevat het verslag van een nadere analyse van het experimentele onderzoek. De nadere analyse is uitgevoerd volgens de opdracht van de Directie Sluizen en Stuwen van Rijkswaterstaat (Nummer 01059 van 6 september 1990). De nadere analyse is een vervolg op het eerdere onderzoek dat is uitgevoerd volgens de opdracht van de Directie Sluizen en Stuwen van Rijkswaterstaat (Nummer SS 1491 van 24 augustus 1989).

De nadere analyse bestaat uit drie onderdelen:

1. De validatie van het door de Directie Sluizen en Stuwen opgestelde computerprogramma ten behoeve van het bepalen van de sluierluminantie bij tunnelingangen.
2. Het in detail bestuderen van de resultaten van de experimenten die in de Drechtunnel in Dordrecht zijn uitgevoerd;
3. Het vergelijken van de resultaten van deze experimenten met studies die in het buitenland zijn uitgevoerd (Frankrijk, Duitsland en Canada).

Dit rapport vormt de afsluiting van het contractueel vastgestelde werk. Inhoudelijk gezien is het onderwerp echter nog niet afgesloten; er blijkt nog een aantal vragen te zijn overgebleven, die met de momenteel ter beschikking staande gegevens niet, of tenminste niet tot volle tevredenheid, kunnen worden beantwoord. Deze onzekerheden hangen samen met het feit dat het onderzoek naar de veldfactor aanrakingsvlakken heeft met verkeerspsychologische factoren. Deze verkeerspsychologische factoren vormen het onderwerp van studie bij een ander (reeds lang lopend onderzoek): het onderzoek betreffende de "Analyse van de rijtaak". Dit onderzoek is nog niet afgesloten. Met dit in gedachten besluit het onderhavige rapport met enige suggesties voor verder onderzoek.

1. INLEIDING

Het grootste visuele probleem bij het door gemotoriseerd verkeer passeren van een lange verkeerstunnel is gelegen bij het overdag binnenrijden van de ingang. Wanneer de tunnelingang onvoldoende is verlicht, doet deze zich voor als een "zwart gat" waarin geen enkel detail te onderscheiden is. Deze ingangsverlichting omvat de zgn. drempelverlichting en de zgn. overgangsverlichting. Het meest cruciale onderdeel van aanbevelingen en richtlijnen voor de verlichting van tunnels is dan ook steeds gelegen in de ingangsverlichting. Dit is mede het gevolg van het feit dat de ingangsverlichting het duurste gedeelte van de verlichtingsinstallatie is.

De oorzaak van het "zwarte-gat-effect" is gelegen in een aantal eigenschappen van het menselijke visuele systeem. Ten eerste is er een zekere - soms zeer aanzienlijke - tijd nodig voor de aanpassing van de gevoeligheid van het systeem aan een ander lichtniveau (de zgn. adaptatie). Ten tweede wordt de waarneming in een donker gedeelte van het gezichtsveld bemoeilijkt wanneer er rondom dat donkere gedeelte heldere partijen voorkomen. Deze heldere partijen fungeren als verblindingsbronnen, die een "lichtsluier" over het gehele gezichtsveld veroorzaken. De verblindingsbron kan worden uitgedrukt in de helderheid (luminantie) van deze sluier.

De lichtsluier bemoeilijkt de waarneming van objecten in de tunnel, meer in het bijzonder wanneer de waarnemer zich nog buiten de tunnel bevindt. De sluier vermindert het contrast van alle voorwerpen die zich in de tunnelingang, dus "achter" deze sluier, bevinden. Om toch een voldoende waarneembaarheid van deze voorwerpen te kunnen waarborgen, is het nodig de luminantie in de ingangspartij (de zgn. drempelzone van de tunnel) te verhogen. Hierdoor wordt de invloed van de sluier relatief geringer, en dus ook de invloed van de afname van het contrast.

Deze invloeden kunnen worden bepaald op basis van de bekende gegevens uit de waarnemingsfysiologie. Voor de toepassing van deze gegevens bij het ontwerp van verlichtingsinstallaties voor tunnels is echter nog een verdere factor nodig: het gaat om de zgn. "veldfactor". In deze factor is het feit inbegrepen dat de waarnemer in een verkeerssituatie tegelijk de bestuurder van een motorvoertuig is. De in het laboratorium bepaalde "drempelwaarde" van de contrastgevoeligheid moet met de veldfactor worden ver-

menigvuldigd om de waarde te vinden die in de praktijk kan worden gebruikt. Het onderhavige onderzoek betreft de bepaling van deze veldfactor. Voor een nadere beschrijving van de hier gebruikte begrippen, alsmede van de experimentele opzet en de resultaten zij verwezen naar het eindrapport van het onderzoek (Schreuder, 1990).

In een eerder rapport is in detail beschreven wat de invloed van de sluier is, hoe ze is samengesteld, en hoe de sluierluminantie kan worden bepaald (Schreuder & Oud, 1988).

2. HET EERDER UITGEVOERDE ONDERZOEK

2.1. Doel en opzet

Omdat bij de hernieuwde bestudering van de resultaten van het onderzoek een aantal andere uitgangspunten is gehanteerd dan bij de oorspronkelijke analyse, is het noodzakelijk eerst een korte samenvatting te geven van de opzet, van de resultaten en van de oorspronkelijke discussie. Daaruit zal de wenselijkheid blijken om de analyse op een andere wijze uit te voeren.

Het onderzoek heeft tot doel om de veldfactor in de praktijk te bepalen. Daarbij zijn we ervan uitgegaan dat de situatie kan worden beschreven aan de hand van de volgende formules:

$$C = \frac{L_2 - L_3}{L_2} \quad [1]$$

en

$$C' = \frac{L_2 - L_3}{L_2 + L_d} \quad [2]$$

Hierin zijn:

C : het "intrinsieke" contrast van het waar te nemen voorwerp;

C' : het waargenomen contrast van dit voorwerp;

L₂: de luminantie van de drempelzone van de tunnel;

L₃: de luminantie van het object;

L_d: de "stoorluminantie" (zie verderop).

De "stoorluminantie" L_d bestaat uit vier componenten:

$$L_d = L_{adef} + L_{seq} + L_{atm} + L_{ruit} \quad [3]$$

Hierin is:

L_{adef}: de component die te maken heeft met de veranderingen van helderheid en het achterblijven van de adaptatie;

L_{seq}: de bijdrage tot de sluier die afkomstig is van het in het oog verstrooide licht. Het gaat daarbij niet om een fysieke, maar om een equiva-

lente luminantie omdat er mogelijk in het visuele systeem factoren van neuronale aard optreden die geen "fysieke" lichtsluier zijn;

L_{atm} : de bijdrage tot de sluier afkomstig van het licht dat verstrooid is in de atmosfeer;

L_{ruit} : de bijdrage tot de sluier afkomstig van het licht dat verstrooid is in de ruit van de auto.

Bij de onderzoeken is aandacht besteed aan deze factoren. In het eindrapport (Schreuder, 1990) is aangenomen dat op basis van eerder onderzoek, samengevat in Schreuder (1984) en Schreuder & Oud (1988), voor de normale dagsituatie in Nederland L_{adef} kan worden verwaarloosd ($L_{adef} = 0$).

Tijdens de proefnemingen zijn de autoruiten zorgvuldig gereinigd en schoon gehouden; bovendien was het meteorologisch zicht zeer goed (uitzonderlijk goed). Daarom is aangenomen dat $L_{atm} = 0$ en $L_{ruit} = 0$.

Het strooilicht in het oog L_{seq} is gemeten met een Pritchard-luminantiemeter uitgerust met een Fry-lens.

Uit vergelijking [2] volgt

$$C L_2 = C' (L_2 + L_d)$$

De veldfactor f is af te leiden uit de definitie: $C' = fC''$ (met C'' de drempelwaarde van de contrastgevoeligheid, zoals die in het laboratorium kan worden bepaald). Dus is:

$$f = \frac{L_2 C}{C'' (L_d + L_2)} \quad [4]$$

De opzet van de experimenten is in detail beschreven in Biesheuvel & Planken (1989) en in Schreuder (1990). Uitgangspunt was het feit dat de waarnemer tegelijk verkeersdeelnemer moest zijn; de metingen dienen in het normale verkeer te worden uitgevoerd. De metingen zijn uitgevoerd met twee (personen)auto's die op een vaste afstand achter elkaar door de tunnel reden. Op de voorste auto was een contrastobject bevestigd; de achterste auto werd door de waarnemer bestuurd, waarbij op gezette tijden moest worden aangegeven welke van de objecten nog zichtbaar was. Het contrastobject bestond uit een bord waarop de cijfers 1 t/m 6 waren afgebeeld. Het

bord was wit (reflectiefactor ca. 80%). De metingen zijn uitgevoerd door zeven waarnemers, waarvan in het laboratorium de drempelwaarde van de contrastgevoeligheid was bepaald.

2.2. Rijtaak en waarnemingstaak

Bij de hier gekozen opzet wijkt de situatie in twee opzichten af van hetgeen een autobestuurder normaliter op de weg ontmoet. Ten eerste is de waarnemer - in tegenstelling tot het normale deelnemen in het verkeer - zich zeer wel bewust van de experimentele situatie, en ten tweede is het object steeds zichtbaar. Op basis van de eerdere in Schreuder (1990) gegeven overwegingen is aangenomen dat deze wijze van meten gebruikt kan worden bij tunnelingangen. Een gevolg hiervan is dat de veldfactor (die immers alleen maar de rijtaak representeert) even goed op de open weg als in de tunnelingang kan worden bepaald. Dit punt is voor de hernieuwde analyse van belang.

Bij de ritten werden zowel het lichtniveau buiten de tunnel als het lichtniveau in de tunnel gevarieerd. Het buitenniveau werd gevarieerd door op verschillende tijdstippen te meten, lopende van kort na zonsopgang tot kort voor zonsondergang. Het lichtniveau in de tunnel werd gevarieerd door bij ieder buitenniveau zo veel mogelijk verschillende schakelstanden te kiezen.

De sluiertiluminantie is tijdens de lichttechnische metingen rechtstreeks gemeten met de Pritchard luminantiemeter, die daartoe was uitgerust met de Fry-lens. Er kleven zoals bekend bezwaren aan het gebruik van de Fry-lens. Hierop komen we nog terug. Om de sluiertiluminantie gedurende de experimenten te kunnen bepalen, is gebruik gemaakt van de omstandigheid dat in de Drechtunnel ten behoeve van het bedrijven van het automatische schakelsysteem voor de verlichting in de tunnel, aan beide ingangen continu de luminantie van de tunnelingang wordt bepaald. Hierbij wordt de gemiddelde luminantie binnen een rechthoek met zijden (in hoekmaat) van ongeveer 7 bij 14 graden gemeten. Dit meetgebied omvat het tunnelportaal maar ook een deel van de open weg, de wanden en de hemel. Deze waarde is aangeduid met L_p . De waarden van de luminantie van de omgeving van de tunnelingang (L_p) zijn met behulp van een omrekeningsfactor omgerekend tot waarden van L_{seq} in cd/m^2 .

2.3. Resultaten

De resultaten van de veldmetingen zijn gegeven in Bijlage I en samengevat in Tabel 1.

In de tabel zijn de waargenomen drempelwaarden opgegeven. Voor de meetpunten in de drempelzone is de afstand tot het portaal gegeven. De punten op de toerit alsmede de punten in de overgangszone zijn in de tabel aangege-
duid met "buiten" en "overgang". De eerste kolom "verl" geeft de lichtniveaus aan. Als voorbeeld: 3-2 betekent stap 3 buiten, stap 2 binnen. Voor de bepaling van de drempelwaarde is het gemiddelde genomen van de relevante metingen in de drempelzone. Daarbij zijn de metingen in de eerste ca. 8 meter (de eerste twee meetpunten) niet gebruikt. Het contrast wordt daar beïnvloed door het binnenvallende daglicht. Het gemiddelde is dus steeds bepaald voor de meetpunten 3 t/m 9.

Zoals in de eerdere rapporten is beschreven, is met behulp van formule [4] de veldfactor f bepaald. De resultaten van de eerdere analyse zijn gegeven in Tabel 2. Alleen die combinaties van de stappen binnen en buiten zijn gebruikt waarbij de binnen aanwezige stap gelijk was of hoger dan de "gewenste" stap: alleen in deze gevallen kan van een redelijke tot goede ingangsverlichting worden gesproken. De resultaten zijn "gewogen" volgens het aantal waarnemingen waarop deze resultaten is gebaseerd. Een formele foutenberekening bleek niet uitvoerbaar te zijn. Rekening houdend met de spreiding in de resultaten - waarvoor een globale schatting is gemaakt - is in de eerdere rapportage als uiteindelijk resultaat gegeven dat $f = 4,5 \pm 0,9$. Opgegeven was dat de waarde van f met goede waarschijnlijkheid tussen 3,6 en 5,4 zou liggen. Zoals uit het verdere rapport blijkt, dient deze waarde in het licht van de aanvullende analyse iets te worden verhoogd: volgens par. 5.14 blijkt dat $f = 6$ een betere benadering van het eindresultaat is.

2.4. Discussie

Uit Tabel 1 volgt dat de bij de eerste analyse gevonden waarden van f over het beschouwde gebied van luminantiewaarden niet constant zijn. Omdat het aantal beschikbare waarnemingen voor een aantal van de voorkomende combinaties slechts gering is, zijn duidelijke en ondubbelzinnige uitspraken over eventuele systematische relaties moeilijk te geven. Toch wekt het

verloop van de waarden van f , en meer speciaal de afhankelijkheid van de lichtniveaus binnen en buiten de tunnel het vermoeden op dat er van een systematische invloed van de luminantie sprake is. Bij de oorspronkelijke onderzoeken (Schreuder, 1990) is deze mogelijke systematische invloed niet verder onderzocht, omdat de afwijkingen van de constante waarde voor de praktijk van de tunnelverlichting van ondergeschikt belang werd geacht: die gevallen waarbij het lichtniveau in de drempelzone beduidend lager is dan "gewenst", dienen bij het ontwerp en bij het bedienen van de verlichtingsinstallatie in tunnels vermeden te worden, en lage luminanties in de toegangszone hebben eerder met het "schemer"-regime van doen dan met één van de "dag"-regimes.

Toch werd gemeend dat deze suggestie een nadere bestudering rechtvaardigde. Deze nadere studie is het onderwerp van het onderhavige rapport. Bovendien werd het wenselijk geoordeeld om de uitkomsten, voor zover mogelijk, te vergelijken met de resultaten van ander onderzoek. Uit de literatuur zijn geen experimenten bekend die direct vergelijkbaar zijn. Wel zijn enige onderzoeken bekend die na omwerking tot vergelijkbare gegevens zouden kunnen leiden. Ook dit is nader onderzocht.

3. VERVOLGONDERZOEK

Zoals reeds in het Voorwoord is vermeld, bestaat het vervolgonderzoek uit drie onderdelen:

1. De validatie van het door de Directie Sluizen en Stuwen opgestelde computerprogramma ten behoeve van het bepalen van de sluierluminantie bij tunnelingangen.
2. Het in detail bestuderen van de resultaten van de experimenten die in de Drechtunnel in Dordrecht zijn uitgevoerd.
3. Het vergelijken van de resultaten van deze experimenten met studies die in het buitenland zijn uitgevoerd (Frankrijk, Duitsland en Canada).

4. VALIDATIE-ONDERZOEK

4.1. Algemeen

Door de Rijkswaterstaat, Directie Sluizen en Stuwen is een computerprogramma opgesteld waarmee reeds in het ontwerpstadium de L_{seq} kan worden berekend die bij de tunnelingang verwacht mag worden. Dit programma is een belangrijk hulpmiddel bij het ontwerp van verlichtingsinstallaties. Details zijn gegeven in Schreuder & Swart (1989) en Swart (1990).

Het programma is gebaseerd op een aantal aannamen die onderbouwd zijn door fundamenteel onderzoek.

Ten eerste wordt aangenomen dat de "Vos"-formule die voor de verblinding ("disability glare") is afgeleid, ook voor de situatie zoals die zich bij een tunnelingang voordoen, mag worden gebruikt. Opgemerkt zij dat in plaats van de Vos-formule ook wel de Stiles-Holaday-formule (Adrian, 1989; Schröter, 1985) of de Fry-formule (Tesson & Monié, 1989) wordt gebruikt. We komen hierop nog terug bij de bespreking van de resultaten van ander onderzoek.

Ten tweede wordt aangenomen dat de Vos-formule "integreerbaar" is. Daaronder wordt verstaan dat de bekende "somregel" bij verblinding mag worden gegeneraliseerd. De metingen van de "disability glare" hebben aangetoond dat voor een klein aantal discrete verblindingslichtbronnen de effecten van de afzonderlijke bronnen zonder meer mogen worden gesommeerd om het effect van het totaal te vinden. De aanname betreft de generaliseerbaarheid hiervan. Aangenomen wordt daarbij dat ieder vlak kan worden opgedeeld in een groot aantal ("oneindig veel") lichtpuntjes, en dat de effecten van al deze lichtpuntjes te zamen precies gelijk is aan het effect van het gehele vlak.

Het programma is toegepast op een aantal tunnels. De resultaten voldoen vaak heel redelijk aan de verwachtingen. Omdat het soms ook anders uitkwam, is een validatie noodzakelijk geacht. Onder een validatie wordt hier verstaan het toetsen van de resultaten van de berekeningen met behulp van het programma met direct uitgevoerde metingen van de L_{seq} . Deze validatie is gedaan aan de hand van de recente metingen die door Philips in de Drechtunnel en in de Zeeburgertunnel zijn uitgevoerd (zie Anon, 1990).

Aan Verhoeven Raadgevende Ingenieurs is een opdracht verleend deze validatie te verrichten. Hierover is een rapport geleverd (Anon, 1990). In de volgende paragrafen worden enige opmerkingen gemaakt over de in dit rapport beschreven validatie.

4.2. De uitkomst van de validatie

Het doel was het valideren van het totale pakket van het computerprogramma; dit is gedaan door de berekende sluiertiluminantie te vergelijken met de gemeten waarde in dezelfde tunnelsituatie. De berekening is gebaseerd op (punt)metingen van de luminantie in een aantal karakteristieke punten in het gezichtsveld; de meting is rechtstreeks gedaan met een luminantiemeter voorzien van een zgn. "Fry-lens".

Zoals uit Tabel 3 blijkt zijn de verschillen zeer aanzienlijk. Er zijn verschillende suggesties te geven over de mogelijke oorzaken van - en oplossingen voor - deze verschillen. Het overgrote deel van deze suggesties is in het verleden, bij het opstellen van het computerprogramma en bij het opstellen van het meetschema, reeds in detail bekeken. De erbij gebruikte overwegingen zijn echter niet steeds expliciet gemaakt en in rapportvorm vastgelegd. Daarom wordt in het onderhavige rapport aandacht besteed aan alle mogelijke invloedsfactoren.

4.3. De luminantie van de toegangszone en van de tunnelingang

De berekende waarde van L_{seq} is gebaseerd op de puntmetingen van de luminanties van de in aanmerking komende delen van het gezichtsveld. Als bij alle metingen moet rekening worden gehouden met experimentele spreidingen. Deze spreidingen kunnen voor de delen van het gezichtsveld die meer naar de periferie neigen, worden verwaarloosd. Ten eerste is de Pritchard-meter - mits juist geijkt en juist gehanteerd - een nauwkeurig apparaat, waarvan bekend is dat de afwijkingen niet meer dan een (klein) aantal procenten bedragen. Ten tweede gaat het om gezichtsveldgedeelten in de periferie, waarbij de hoek Θ uit de Vos-formule (zie verderop) vrij groot is. Een fout van enige procenten in de luminantie heeft in de bijdrage tot de sluiertiluminantie nauwelijks invloed. Op grond hiervan is voorts aangenomen dat de ongelijkmatigheid in de luminantie binnen de afzonderlijke delen

van het gezichtsveld verwaarloosd kunnen worden. Deze aanname lijkt des te meer gerechtvaardigd omdat de delen van het gezichtsveld zo worden geselecteerd dat de gelijkmatigheid ervan "op het oog" gering is.

Een afwijking van de gemeten waarde kan voor foveale delen van het gezichtsveld meer invloed hebben. Ook hier mag men rekenen op een meetnauwkeurigheid met afwijkingen van ten hoogste enige procenten. De discrepanties tussen de gemeten en de berekende waarden zijn echter veel groter, zodat geen grote (extra) fout wordt gemaakt door de meetnauwkeurigheid van de Pritchard-meter ook voor het foveale gebied buiten beschouwing te laten.

Het is te overwegen om te proberen de validatie te verbeteren door de bijdrage van L_2 weg te laten. Dit wordt gedaan aan de hand van enige theoretische overwegingen. Onder alle evenwichtssituaties is de adaptatietoestand te beschrijven met de adaptatieluminantie L_a . Deze adaptatieluminantie is gelijk aan de luminantie van het deel van het gezichtsveld waarop de blik is gericht - in het onderhavige geval dus L_2 , vermeerderd met het totaal van de stoorkluminanties, in dit geval dus L_{seq} . In het onderhavige geval geldt dus $L_a = L_2 + L_{seq}$. Echter, ook L_2 levert een bijdrage tot L_{seq} ; wanneer de bijdrage van L_2 tot L_{seq} niet wordt weggelaten, wordt L_2 "dubbel geteld". Er zij op gewezen dat bij het opstellen van het programma reeds tot zekere hoogte rekening is gehouden met deze mogelijkheid van "dubbel tellen". Daarom is deze poging om de validatie te verbeteren, van dubieuze waarde.

Ook de effecten van deze correcties zijn gegeven in Tabel 3. Zoals te verwachten is, wordt de overeenstemming tussen de berekende en de gemeten waarden niet veel beter.

4.4. De invloed van de autovoorrui

Een deel van de lichttechnische metingen wordt vanuit de auto (dus door de ruit) gemeten. Dit kan mogelijk betekenen dat L_{ruit} op korte afstand buiten proporties "mee doet". Omdat bij de stationaire metingen die voor de validatie worden gebruikt, L_{fry} van een punt buiten de auto wordt gemeten, biedt ook deze correctiemogelijkheid geen soelaas.

4.5. Het gebruik van de Fry-formule bij de metingen

Een derde mogelijkheid voor het verschil is gelegen in het feit dat L_{seq} wordt berekend volgens de Vos-formule, en de L_{fry} wordt gemeten volgend de Fry-formule. Bij het opstellen van de Vos-formule is met alle bekende meetresultaten rekening gehouden, die van Fry, maar ook die van andere onderzoekers. Daardoor ontstaat er uiteraard een verschil tussen de Vos-formule en de Fry-formule. Aangezien er alleen voor de Vos-formule een programma bestaat waarmee de bijdrage van vlakken (gezichtsveldegedeelten) tot de L_{seq} kan worden bepaald, is het niet mogelijk aan te geven wat het effect van het verschil tussen de twee formules op de uitkomsten van de validatie is. Overigens dient men te bedenken dat een uitgangspunt voor de berekening is dat de Vos-formule over grote oppervlakken mag worden geïntegreerd.

4.6. De invloed van de meetopstelling

Een vierde mogelijkheid is dat de resultaten die worden verkregen met de combinatie van de Pritchard-luminantiemeter en de Fry-lens niet aan de Fry-formule voldoen. Dit is natuurlijk een cruciaal punt: het is niet gemakkelijk om de Fry-lens te valideren! De metingen die ter beschikking staan zijn echter niet conform hetgeen men zou verwachten. Vooral valt op dat de L_{fry} nauwelijks afhangt van de afstand tot de tunnel (Tabel 3). Men zou verwachten dat L_{fry} afneemt bij het naderen van de tunnel, omdat de invloed van het wegdek, en vooral van de hemel, afneemt. Ook is de waarde die bij de Zeeburgertunnel is gevonden, aan de lage kant (Tabel 3). Al deze waarden zijn (veel) lager dan de waarden die met het computerprogramma zijn bepaald. Dit zou de suggestie kunnen geven dat metingen met de Fry-lens een te lage waarde opleveren voor de sluierluminantie. Uit de metingen bij de Drechtunnel betreffende de veldfactor, die in par. 5.7 zijn beschreven, bestaat daarentegen de indruk dat de metingen met de Fry-lens een hogere waarde opleveren dan met de "feitelijke" sluierluminantie overeen zou komen. Ook deze mogelijke factor biedt geen soelaas: wanneer L_{fry} inderdaad te hoog wordt gemeten, dan komen de berekeningen en metingen bij de Drechtunnel dicht bij elkaar, maar wordt het verschil bij de Zeeburgertunnel groter. En bij een te lage waarde is de afwijking precies omgekeerd!

4.7. De toepasbaarheid van de Vos-formule

Voorts moet met de mogelijkheid rekening worden gehouden dat de Vos-formule voor de onderhavige toepassing niet geldig is. Het uitgangspunt van de door Vos gegeven beschouwingen is dat de "waas" een fysiek, reëel aanwezige sluier is die ontstaat door lichtverstrooiing in de oogmedia. In zijn oorspronkelijke publikatie heeft Vos een aantal argumenten aangevoerd om deze stelling te onderbouwen (Vos, 1963). Zijn conclusie luidt: "Uit deze proeven is dan ook het bestaan van een nerveuze verblinding beslist niet komen vast te staan" (Vos, 1963, blz. 83). Ter toelichting: onder "nerveuze verblinding" verstaat Vos alle niet van strooilicht in de oogmedia afkomstige bijdragen tot de verblinding. Het onderzoek van Vos betreft verder vooral de studie naar de bijdrage van de afzonderlijke delen van het oog tot dit strooilicht. Er is enige reden om aan deze uitspraak te twijfelen; Vos beschrijft in detail hoe het effect van de verblinding vrij plotseling verandert bij de overgang van het gebied van fotopische waarneming naar scotopische waarneming. Vos verklaart dit op een nogal gewrongen wijze aan de hand van het Stiles-Crawford-effect, dat te maken heeft met de hoek waaronder het licht het netvlies treft. De meer voor de hand liggende verklaring dat deze vrij plotselinge overgang iets te maken zou kunnen hebben met het feit dat in het gebied van de scotopische waarneming de staafjes, en in het gebied van de fotopische waarneming de kegeltjes actief zijn, wordt door Vos niet nader uitgewerkt (Vos, 1963, blz. 11-16). Vos besluit de betreffende beschouwingen als volgt: "The impossibility to indicate other causes of glare than entoptic straylight with certainty, invites for a reorientation with respect to the goal of our research. Taking for granted the dominance of straylight as a source of glare...." (Vos, 1963, blz. 28). Tot nu toe is uit de praktijk gebleken dat het door Vos gekozen uitgangspunt met experimentele resultaten overeen komt. Er is veel aanvullend werk gedaan dat de uitspraak alleen maar lijkt te onderstrepen. Er moeten echter drie opmerkingen worden gemaakt.

Ten eerste is het waarschijnlijk maken dat strooilicht de belangrijkste verblindingseffecten veroorzaakt, geen bewijs dat andere factoren geen rol kunnen spelen; meer in het bijzonder is het gevaarlijk om een dergelijke "falsificatie" te extrapoleren naar gebieden die buiten het gemeten gebied vallen. Wanneer er echter naast het strooilicht, waarvan de realiteit niet betwijfeld kan worden, ook nog andere factoren tot de verblin-

ding kunnen bijdragen (neuronale effecten bijvoorbeeld) moet de verblindingswaarde altijd groter zijn dan hetgeen met de Vos-formule wordt berekend: er wordt iets toegevoegd aan het strooilicht. Uit Tabel 3A blijkt echter dat de berekende waarden van het strooilicht reeds groter (en soms veel groter) zijn dan de waarden die met de Fry-lens zijn gemeten. Een toename van L_{seq} zou dus alleen maar tot een nog grotere discrepantie leiden.

De tweede opmerking sluit daar direct op aan: de metingen van Vos zelf, en de vele metingen die voordien en nadien zijn uitgevoerd, hebben vrijwel uitsluitend betrekking op tamelijk kleine hoeken ten opzichte van de kijkrichting (Vos zelf gaat niet verder dan ca. 8 graden; Vos, 1963, blz.23). De moderne samenvatting van Vos, waarin wordt nagegaan of de gevonden resultaten ook voor tunnelverlichting kunnen worden toegepast, geeft een bevestiging - maar dan vooral in het gebied van de kleine en zeer kleine hoeken tot ten hoogste enige graden (Vos, 1983). De gebruikte gebieden van luminanties zijn in de meeste gevallen niet direct uit de publikaties af te lezen, maar betwijfeld wordt of de zeer hoge luminanties en zeer grote gezichtsveldhoeken zoals die bij tunnelingangen overdag aan de orde komen (zie Schreuder, 1964), in beschouwing zijn genomen. Hoge luminanties komen soms wel aan de orde. Zo haalt in Vos (1983) metingen van Heinemann (1951) aan die tot een achtergrondsluminantie van 100.000 cd/m² gaan. Interessant is dat Vos deze metingen als bevestiging voor de strooilichthypothese gebruikt, terwijl Guth (1973) dezelfde metingen gebruikt als ondersteuning van de neuronale hypothesen van verblinding.

De derde opmerking betreft de "integreerbaarheid" van de Vos-formule. Er is onderzoek gedaan naar de sommatie van de effecten van een aantal verblindingslichtbronnen die tegelijk in het gezichtsveld voorkomen. Het samengestelde effect blijkt gelijk te zijn aan de som van de effecten van de afzonderlijke verblindingsbronnen. Onbekend is echter of dergelijk onderzoek ook is gedaan voor zeer grote velden, die daartoe in een zeer groot aantal kleine (maar niet puntvormige) lichtbronnen gedacht worden te zijn onderverdeeld. Er zijn aanwijzingen dat vooral bij zeer hoge luminanties (meer dan ca. 5000 cd/m²) velden, die (grotendeels) in de periferie liggen, een aanzienlijke invloed hebben op de foveale waarneming. Het is onbekend op welke wijze de receptoren (de staafjes dus) in de periferie de foveale waarneming kunnen beïnvloeden; het effect volgt vooral uit de

vrij plotselinge "ineenstorting" van het visuele systeem bij hoge luminanties die een groot deel van het gezichtsveld beslaan (zie Schreuder, 1964; 1981). Eén van de weinige relevante bronnen van informatie is de studie van Vos (1977) over het nut van zonnebrillen. Vos citeert onder andere Fugate & Fry (1956), die vermelden dat bij een gezichtsveld van 51 graden en een luminantie van 10.000 cd/m² de waarneming bijna onmogelijk werd. Bij kleinere gezichtsvelden en dezelfde luminantie blijkt de hinder geringer, maar niet afwezig te zijn. Vos concludeert daaruit: "Lichthinder is dus duidelijk iets dat sommeert - zij het niet volledig - over het gezichtsveld" (Vos, 1977, blz. 11). Een meer voor de hand liggende conclusie zou echter zijn dat de lichthinder in aanzienlijke mate wordt bepaald door hetgeen zich in de periferie van het gezichtsveld afspeelt. Rechtstreekse waarneming van de "integratie" van de Vos-formule zijn echter niet beschikbaar. Vos zelf vindt dit overbodig: er is duidelijk aangetoond dat verblinding uitsluitend het gevolg is van strooilicht (Vos, 1983). De sommering (integreerbaarheid) hoeft niet apart te worden onderzocht (Vos, 1990). Een merkwaardige uitspraak, gezien hetgeen uit eerdere publikaties van Vos is aangehaald.

Overigens dient te worden bedacht dat de verschillende verblindingsformules die voor afzonderlijke lichtbronnen zijn afgeleid, zoals die van Vos, maar ook die van Fry en Stiles-Holaday, veel worden gebruikt, ook in gevallen waarbij er sprake is van integratie over aanzienlijke delen van het gezichtsveld. Deze toepassingen liggen vooral in het gebied van de binnenverlichting. Aanzienlijke afwijkingen zijn niet bekend, zodat de twijfels over de integreerbaarheid voor de toepassing van de Vos-formule voor de bepaling van L_{seq} in het ontwerpstadium van installaties voor tunnelverlichting gerechtvaardigd lijkt. Bij de validatie van een berekeningsmethode, waarbij hogere eisen worden gesteld aan de nauwkeurigheid, is de onderbouwing van de integreerbaarheid tamelijk wankel.

Als conclusie kan worden gesteld dat er theoretische vraagpunten bestaan omtrent de toepasbaarheid van de Vos-formule voor de validatie van rekenprogramma's die gebruikt moeten kunnen worden in de situaties bij tunnelingangen en meer in het bijzonder omtrent de integreerbaarheid van deze formule. Voor ontwerpdoeleinden lijkt het gebruik van de Vos-formule gerechtvaardigd te zijn.

4.8. Leeftijdseffecten

Vos heeft in verscheidene publikaties met nadruk gewezen op het belang van de leeftijdseffecten (Vos, 1963; 1983). Bij de meeste beschouwingen is aan deze belangrijke invloed voorbij gegaan. Voor de validatie van het computerprogramma is het buiten beschouwing laten van leeftijdseffecten van ondergeschikt belang, omdat deze effecten in beginsel op de metingen als ook op de berekeningen dezelfde invloed hebben. Iets anders is het wanneer het gaat om het ontwerp van een installatie voor tunnelverlichting. Hierbij dient met leeftijdseffecten rekening te worden gehouden. Het is nu niet duidelijk op welke wijze dit zou moeten gebeuren. Zie ook par. 6.7.

4.9. Onvolkomenheden in het programma

In het hier besproken validatierapport (Anon, 1990) worden diverse onvolkomenheden in het programma gesignaleerd, die mogelijk tot het verschil tussen de berekende en de gemeten waarden kunnen bijdragen. Zonder nadere informatie kan het belang van deze mededeling niet nader worden beoordeeld.

4.10. Conclusie

De validatie heeft dus niet het gewenste resultaat opgeleverd. Deze analyse laat zien dat zowel over de berekende waarden als over gemeten waarden onzekerheid bestaat. In par. 4.11 worden enige aanbevelingen gedaan om deze onzekerheden te verkleinen. Daarmee wordt de validatie verbeterd, hetgeen de gebruiksmogelijkheden van het computerprogramma vergroot.

4.11. Aanbevelingen

1. Aanvullende metingen. In de hierboven gegeven analyse van de discrepanties tussen berekende en gemeten waarden zijn we op verschillende plaatsen een mogelijke invloed van fouten of onvolledigheden in de metingen tegen gekomen. In een aantal gevallen kunnen - vrij simpel uit te voeren - aanvullende laboratoriummetingen een nuttige bijdrage leveren in het opvullen van lacunes in de kennis.

Aanbevolen wordt om een aantal metingen in het laboratorium uit te voeren waarbij aan een (gesimuleerde) tunnelingang de puntmetingen en de metingen

met de Fry-lens worden uitgevoerd, alsmede metingen van de sluierluminantie over grote delen van het gezichtsveld. Bij de metingen kunnen op eenvoudige wijze de gezichtsveldhoeken, de luminanties en de richtingen van de meetapparaten worden gevarieerd; een "run" met het computerprogramma kan gegevens opleveren over de mogelijke invloeden op het eindresultaat.

2. "Exacte" berekeningen. Aanbevolen is om, naast een aantal andere controles op het programma, de validatie van het computerprogramma uit te voeren aan de hand van een vergelijking tussen een "exacte" berekening en de benadering volgens het programma. Daarvoor dient een situatie te worden gecreëerd die exact kan worden berekend of ten minste met iedere gewenste graad van nauwkeurigheid kan worden benaderd. Deze laatste toevoeging is nodig omdat de Vos-formule niet analytisch integreerbaar is, en dus numeriek dient te worden benaderd.

Aanbevolen wordt om als situatie te kiezen een cirkelsymmetrische opstelling (om alleen de Θ -afhankelijkheid over te houden; immers er kan zonder probleem over Θ worden geïntegreerd). De cirkelsymmetrie noch de eenvoudige eenmalige integratie over Θ leveren enige restrictie op voor de generaliseerbaarheid van de uitkomst, omdat alle bedoelde systemen (oog, formules en lens) deze cirkelsymmetrie bezitten - met uitzondering overigens van het computerprogramma, hetwelk in cartesische coördinaten werkt.

Omdat een volledige cirkel moeilijk met rechte lijnen in een veelhoek kan worden benaderd, wordt geadviseerd om een cirkelsector (een "taartpunt" van bijvoorbeeld 60 graden) te gebruiken. Voor een dergelijke sector wordt L op een aantal (zeg eens vijftig) verschillende wijzen gevarieerd in afhankelijkheid van Θ . Met behulp van een numerieke methode wordt L_{seq} (met een naar believen gekozen nauwkeurigheid) bepaald; deze waarden worden vergeleken met de waarden van L_{seq} berekend volgens het programma. Op deze wijze kan worden beoordeeld onder welke omstandigheden er mogelijk verschillen tussen de twee gaan optreden. Het gaat steeds om berekeningen, die bovendien eenvoudig zijn wegens de cirkelsymmetrie. De omvang van het onderzoek kan dus beperkt blijven. Voor de numerieke benadering van de analytische oplossing van de Vos-formule kan de methode die door Walraven is ontwikkeld, worden gebruikt. Deze methode is beschreven door Vos et al. (1976). Naast een computerprogramma omvat de methode een set in het artikel afgedrukte tabellen waarin de uitkomsten zijn getabelleerd.

5. AANVULLENDE ANALYSE

5.1. Algemeen

In par. 2.3. is een uitgebreide samenvatting gegeven van het onderzoek dat in 1989 is uitgevoerd bij de Drechtunnel in Dordrecht (voor de details zie Schreuder, 1990). Bij de discussie is aangegeven dat de veldfactor f , die als een constante was ingevoerd, in de praktijk geen constante bleek te zijn, en bovendien op een min of meer systematische wijze afhing van de luminantie binnen en buiten de tunnel. Er zijn diverse aspecten aan te wijzen die kunnen leiden tot, of kunnen bijdragen aan, het niet-constant zijn van f . We zullen hieronder een opsomming geven van de mogelijke factoren. De suggesties zijn in willekeurige volgorde gegeven.

Het overgrote deel van deze factoren is in het verleden, bij het opstellen van het onderzoekprogramma, en bij de rapportage over de meetresultaten, reeds in detail bekeken. De erbij gebruikte overwegingen zijn echter niet steeds expliciet gemaakt en in rapportvorm vastgelegd. Daarom wordt in het onderhavige rapport aandacht besteed aan alle mogelijke invloedsfactoren. In een aantal gevallen hebben beperkingen in tijd en in financiën tijdens het oorspronkelijke onderzoek ertoe geleid dat bepaalde mogelijkheden niet in detail zijn onderzocht; het is met name een van de oogmerken van het onderhavige (aanvullende) onderzoek om deze factoren alsnog in meer detail te analyseren.

5.2. De afhankelijkheid van de waarnemers

De drempelwaarde van de contrastgevoeligheid C'' is niet waarnemer-onafhankelijk. Bij de oorspronkelijke bepaling van f is voor alle waarnemers dezelfde waarde van C'' gebruikt. Wanneer voor alle waarnemers de eigen waarde van C'' wordt gebruikt, blijken de spreidingen wat kleiner te worden; veel verandert er echter niet. Bij alle verdere berekeningen zijn de eigen waarden van C'' gebruikt. De waarden zijn gegeven in Tabel 4.

5.3. De definitie van het contrast

Het is gebruikelijk dat men bij beschouwingen waarbij contrasten aan de orde komen, uitgaat van de traditionele meting van het contrast. Deze

traditionele meting maakt gebruik van afzonderlijke contrastobjecten (meestal Landolt-ringen) die door een scherpe rand ten opzichte van de achtergrond worden begrensd. Bij de meting van het contrast speelt derhalve de gezichtsscherpte een zekere (onbekende) rol. Dit is geen probleem wanneer alle in de beschouwingen opgenomen contrasten op dezelfde wijze worden bepaald. Bij de onderhavige onderzoeken is dit echter niet het geval. C'' is bepaald aan de hand van metingen waarbij een sinusoidaal rooster is gebruikt. Dit wijkt op twee wijzen af van de gebruikelijke Landolt-ringen: ten eerste is er geen speciale voorgrond noch achtergrond, en ten tweede zijn er geen scherpe randen. De gezichtsscherpte speelt dus geen rol. Deze discrepantie kan een rol spelen bij de wijze waarop de contrastgevoeligheid afhangt van het adaptatieniveau. Het is te verwachten dat deze discrepantie hier geen rol van betekenis speelt; immers uit Tabel 2 blijkt dat ook bij (ongeveer) constant adaptatieniveau f systematisch afhangt van de luminanties.

5.4. De invloed van het adaptatieniveau

De contrastgevoeligheid hangt af van het adaptatieniveau. Het adaptatieniveau (de adaptatieluminantie) wordt gewoonlijk aangegeven met L_a . Het adaptatieniveau is niet direct gemeten, maar het is evenredig met L_{fry} , en L_{fry} varieert, zoals in Schreuder (1990) is aangegeven, over meer dan een decade. De evenredigheidsfactor tussen L_{fry} en L_a kan worden benaderd aan de hand van het feit dat bij de experimenten gevonden is dat $L_{fry} = 416$ cd/m² bij "stap 5 buiten", hetgeen ongeveer overeen blijkt te komen met een horizontale verlichtingssterkte van 100.000 lux (Schreuder, 1990). Uit eerdere metingen is bekend dat bij $E_{hor} = 100.000$ lux de waarde van de luminantie gewoonlijk in de orde ligt van 8000 cd/m² (Schreuder, 1964). In eerste benadering kan de adaptatieluminantie gelijk worden gesteld aan de gemiddelde luminantie in het gezichtsveld. Voor $L_{fry} = 37$ cd/m² (de laagste waarde van L_{fry} die bij de experimenten aan de orde kwam) geldt met de bovengenoemde aannamen $L_a = 700$ cd/m².

De relatie tussen de adaptatie luminantie en de drempelwaarde van de contrastgevoeligheid is o.a. door Blackwell in detail onderzocht; de resultaten zijn in het bekende CIE-document dienaangaande neergelegd (CIE, 1981). Daarin is de door de CIE gestandaardiseerde "visibility reference function" gegeven. Deze functie, die in detail is beschreven in CIE (1981,

blz. 9vv), en in Afbeelding 1 weergegeven, geeft aan hoe de drempelwaarde van de (relatieve) contrastgevoeligheid afhangt van de adaptatieluminantie (en dit voor specifiek omschreven referentie-condities). Uit Afbeelding 1 blijkt dat in het gebied van de bij de metingen in Dordrecht voorkomende luminanties (tussen 700 en 8000 cd/m²) de verschillen in de (relatieve) drempelcontrasten gering zijn. De waarden zijn in Tabel 5 opgenomen.

De in Dordrecht uitgevoerde metingen vertonen echter een aanzienlijke invloed van het buitenniveau op de waargenomen contrasten. Omdat niet alle waarnemers op gelijke wijze bij alle lichtniveaus waarnemingen hebben gedaan, heeft het geen zin om de contrasten zelf te vergelijken. Wel kan de veldfactor buiten worden bepaald.

Uit Tabel 5 blijkt dat de correctie van C'' voor verschillende buitenluminanties niet voldoende is om de afhankelijkheid van f te verklaren: er blijft een duidelijke afhankelijkheid van de buitenluminantie op f over. Mogelijk moet men deze afhankelijkheid zoeken in veranderingen in de rijtaak (zie hiervoor par. 5.5). Men kan ook veronderstellen dat f constant is; dit levert een vrij sterke invloed op C'' op die al evenmin te verwachten is (zie Tabel 5).

5.5. De rijtaak

De in Tabel 5 gevonden afhankelijkheid kan mogelijk het gevolg zijn van een invloed van het lichtniveau op de rijtaak. Gegeven de lichtniveaus die bij dit experiment aan de orde zijn geweest, is dit niet te verwachten, zeker niet omdat de adaptatie nauwelijks invloed kan hebben gehad. Ook zou de afhankelijkheid kunnen samenhangen met het tijdstip van de dag en de daarmee samenhangende variaties in de verkeersdrukke en -samenstelling in de Drechtunnel. De verkeerstellingen geven aan dat in de ochtend (wanneer het lichtniveau tamelijk laag is) het verkeersaanbod nauwelijks afwijkt van het aanbod midden overdag. In de avond is het aanbod iets lager (Stam, 1989) (zie Tabel 6). Ofschoon enige invloed op de rijtaak denkbaar is lijkt een factor twee in f niet waarschijnlijk.

Over de rijtaak kan nog een nadere opmerking worden gemaakt. In Schreuder (1990) is aangegeven dat de rijtaak, zoals die bij de proefnemingen bestond, in de meeste opzichten overeen stemt met de taak zoals die zich

aan een bestuurder presenteert wanneer deze een tunnel nadert en binnengaat. Het feit dat de waarnemer/bestuurder zich zeer wel bewust is te participeren in een proef beïnvloedt natuurlijk de algemene waakzaamheid ("alertness"). Dit is goed te rijmen met de verhoging van de waakzaamheid die bij het naderen van een tunnel te verwachten is. Voor een eventueel onderzoek van waarneembaarheid van objecten op de "gewone" open weg is deze proefopzet waarschijnlijk minder geëigend. Daar staat tegenover dat ook de metingen die op de open weg zijn gedaan, gebruikt kunnen worden bij de bepaling van de veldfactor bij een tunnelingang; immers men mag aannemen dat het niveau van de algemene waakzaamheid bij deze proefnemingen op de open weg en bij de tunnelingang gelijk zijn. Deze constatering is van belang voor de bepaling van de sluierluminantie (zie par. 5.7).

5.6. Leereffecten

Bij iedere psychofysische meting moet men rekening houden met een mogelijke invloed van leereffecten: voor meting van die aard is een zekere vaardigheid nodig, die op haar beurt weer afhangt van de graad van oefening (en van de motivatie, en van een groot aantal andere factoren). Alle veranderingen in de prestatie die afhangen van het aantal proeven dat reeds is uitgevoerd, worden gewoonlijk samengevat onder de term "leereffecten". Soms resulteert het leren in een systematische verschuiving van de resultaten, maar meestal leidt verdergaande oefening ertoe dat de niet-systematische "waarnemingsfouten" kleiner worden; in statistische termen betekent dit dat het gemiddelde (ongeveer) gelijk blijft, maar dat de spreiding geleidelijk kleiner wordt. In het onderhavige onderzoek is dit leereffect niet systematisch bekeken. Het effect is verwaarloosd omdat er bij globale beschouwing geen duidelijke effecten te zien waren, omdat bij een in visueel opzicht zeer eenvoudige "taak" nauwelijks leereffecten van welke aard dan ook zijn te verwachten, en omdat het om een relatief verschil gaat.

5.7. De sluierluminantie

De sluierluminantie speelt een belangrijke rol. Bij de proeven is L_{fry} gebruikt ter kenschetsing van de sluierluminantie. L_{fry} is op de bekende wijze gemeten met de Pritchard-meter met de Fry-lens. Zoals reeds in Hoofdstuk 4 is aangegeven, zijn er twijfels of met deze apparatuur inder-

daad L_{fry} wordt gemeten. Bovendien kunnen door de tamelijk indirecte wijze waarop voor iedere afzonderlijke meting L_{fry} (en daarmee L_d) zijn bepaald, ook nog andere toevallige en systematische fouten worden geïntroduceerd.

Het is momenteel niet mogelijk om een schatting te geven over de grootte van deze mogelijke toevallige en systematische fouten. Deze fouten kunnen worden geschat aan de hand van de resultaten van de in Hoofdstuk 4 beschreven validatie van het computerprogramma voor de berekening van de sluierluminantie.

5.8. Leeftijdseffecten

Het is gebruikelijk om bij alle bepalingen van de sluierluminantie en de effecten ervan op de visuele waarneming uit te gaan van jonge volwassenen met nominale gezichtsprestaties als waarnemer. Bij de proeven in de Drechttunnel was dit een goede benadering: de waarnemers behoren allen tot deze categorie. Het buiten beschouwing laten van de leeftijd van de waarnemer kan dus geen invloed hebben op het hier geconstateerde feit dat de veldfactor niet constant is.

Voor het toepassen van de resultaten van het onderzoek op het ontwerp van de verlichting van tunnels moet echter met de invloed van de leeftijd op de hinder die door verblinding wordt te weeg gebracht, rekening worden gehouden. Vos (1983) heeft hierop met nadruk gewezen. Op basis van gegevens van Allen & Vos (1967) vermeldt Vos dat het contrast voor een 70-jarige driemaal het contrast voor een twintigjarige (beiden nominale waarnemers) moet bedragen om aan de drempelwaarde te voldoen (Vos, 1983, blz. 20). Bovendien neemt de drempelwaarde zelf toe bij toenemende leeftijd. Uit andere studies is echter bekend dat mensen met visuele handicaps in aanzienlijke mate voor deze handicap kunnen compenseren (Schreuder, 1988). Omdat zowel het drempelcontrast als de sluierluminantie in de noemer, maar de gemeten contrastwaarde in de teller van de formule voor f voorkomen, is het niet op voorhand te voorspellen in hoeverre dergelijke leeftijdsfactoren van toepassing zijn op de veldfactor, of op de praktische contrasten zoals die bij de Drechttunnel zijn gemeten. Nader onderzoek lijkt echter gewenst.

5.9. Het verschil tussen de tunnelportalen

De Drechttunnel is niet symmetrisch: de visuele condities bij de Westelijke ingang (richting Breda) wijken in aanzienlijke mate af van de condities bij de Oostelijke ingang (richting Rotterdam). Dit is het gevolg van verschillen in verticale en horizontale krommingen in het wegverloop, en met de zonnestand. Zelfs midden overdag in de hoogzomer is er verschil in de belichting tussen een naar het Zuiden en een naar het Noorden gekeerde wand. Met dit verschil is rekening gehouden, onder de aanname dat de verschillen tussen de twee ingangen kunnen worden verdisconteerd door de waarden van L_{fry} voor iedere buis apart te gebruiken. Bij de eerdere analyse is het gemiddelde van deze twee waarden gebruikt. Ofschoon de waarden van L_{fry} voor de twee tunnelportalen nogal verschillen, blijkt de invloed op de uitkomst slechts gering te zijn.

5.10. De invloed van het daglicht

Bij de berekeningen is ervan uitgegaan dat de invloed van het daglicht, dat aan de ingang van buiten de tunnel binnen valt, slechts over ca. 10 m van invloed is. Deze waarde is ontleend aan Schreuder (1964), waaruit blijkt dat de horizontale verlichtingssterkte (bij 100% in het open veld) ter plaatse van het tunnelportaal tot 20% is afgenomen, en op een punt 10 meter in de tunnel tot minder dan 0,5% (zie Afbeelding 2). Onder aanname dat de luminantie evenredig is met de horizontale verlichtingssterkte ter plaatse, lijkt de invloed van het daglicht dat de tunnel binnen valt, inderdaad te kunnen worden verwaarloosd. Daarentegen is gebleken dat bij de metingen in de Drechttunnel het bij de ingang naar binnen vallende daglicht wel een invloed had op de luminanties in de tunnel. Deze metingen zijn niet systematisch uitgevoerd. Er is een controleberekening gemaakt waarbij is uitgegaan van deze niet-systematische metingen. De daaruit afgeleide daglichtfactor is vervolgens in de berekeningen verwerkt, waarbij de gemeten daglichtwaarde met een bepaalde factor (s) is vermenigvuldigd. Door aan s verschillende waarden toe te kennen is met de onzekerheid in deze factor rekening gehouden (zie verder par. 5.13).

Een andere factor is het daglicht dat bij de uitgang naar binnen valt. De Drechttunnel heeft zoals bekend een horizontale bocht. Bovendien zijn de wanden bekleed met een sterk spiegelende laag van geglazuurde tegels.

Tenslotte is de lengte van de tunnel niet meer dan ca. 400 meter. Deze factoren te zamen maken het waarschijnlijk dat onder een situatie met extreem sterk zonlicht de bijdrage van het daglicht dat bij de uitgang naar binnen valt tot de luminantie van de wanden dicht bij de ingang niet mag worden verwaarloosd. Dit zou kunnen betekenen dat de adaptatietoestand bij het binnenrijden van de tunnel hoger is dan de waarde van L_2 zoals die is gemeten; dit zou op zijn beurt kunnen leiden tot een lagere waarde van f (de cijfers zijn gemakkelijker te zien). Deze afwijking zou dan des te sterker zijn wanneer een hoog buitenniveau gecombineerd is met een laag niveau in de tunnel; immers dan is de bijdrage van het daglicht het sterkst. Uit de gedetailleerde gegevens van de proefnemingen (Schreuder, 1990) blijkt dit inderdaad het geval te zijn (Bijlage I). Aangezien de bijdrage tot de luminantie van de wanden niet apart is gemeten, kan een meer precieze uitspraak niet worden gedaan.

5.11. Het adaptatiedefect: L_{ruit} en L_{atm}

Bij de eerdere analyse is ervan uitgegaan dat L_{adef} verwaarloosd kan worden. Uit de metingen van Bourdy et al. (1987; 1988) blijkt dat er ook bij het hier aan de orde zijnde luminantiebereik van een adaptatie-effect sprake is. Het is echter niet mogelijk om uit die metingen precies te bepalen hoe groot dat effect bij de metingen in de Drechtunnel is geweest, en of er dus van een "adaptatiedefect" sprake kan zijn. Voorts is aangenomen dat zowel de voorruit van de auto als de atmosfeer perfect doorlatend zijn. Uiteraard is dat nooit het geval. Het is dus mogelijk dat de aannamen $L_{adef} = L_{ruit} = L_{atm} = 0$, tot zekere onnauwkeurigheden in de uitkomst kunnen leiden. Om een indruk te krijgen van de mogelijke invloed van deze onnauwkeurigheid, zijn ter controle enige berekeningen uitgevoerd met de aanname dat de adaptatieluminantie evenredig is met L_{fry} . In termen van formule [4] betekent dit dat voor L_d wordt gebruikt:

$$L_d' = L_d + p(L_{ruit} + L_{atm}) + qL_{adef}.$$

Om na te gaan of deze toevoegingen aan de sluiertluminantie van belang zijn, is een controleberekening uitgevoerd. Door aan p en q verschillende waarden toe te kennen is met de onzekerheid in deze factoren rekening gehouden (zie verder par. 5.13).

5.12. Helderheid van de achtergrond

De waarneembaarheid van objecten bij de tunnelingang hangt af van de luminantie in de drempelzone. Bij de metingen is echter gebruik gemaakt van donkere cijfers op een bord dat een heldere achtergrond vormde; de reflectiefactor van de witte verf op het bord was 0,85 (Biesheuvel & Planken, 1989). Dit is een veelvoud van de gemiddelde reflectiefactor van de oppervlakken die normaal in tunnels worden aangetroffen. De relatie tussen de luminantie van het bord en de luminantie in de tunnel is door de factor r weergegeven. Om na te gaan of deze factor die de adaptatieluminantie kan beïnvloeden, van belang kan zijn, is een controleberekening uitgevoerd. Door aan r verschillende waarden toe te kennen is met de onzekerheid in deze factor rekening gehouden (zie verder par. 5.13).

5.13. Deelresultaten

In de par. 5.10, 5.11 en 5.12 zijn vier factoren ingevoerd die aspecten representeren die van invloed kunnen zijn op de waarde van de veldfactor. Aangezien er geen gegevens ter beschikking staan waarmee deze factoren precies kunnen worden bepaald, zijn in Tabel 7 enige berekeningen weergegeven waarbij een aantal, willekeurig gekozen waarden van deze factoren zijn ingevoerd. Het blijkt dat de verschillende factoren wel degelijk invloed hebben op de waarde van de veldfactor. De belangrijkste resultaten zijn reeds genoemd: de meeste van de bij de eerste analyse gebruikte aannamen blijken inderdaad gerechtvaardigd te zijn, maar met het daglicht dat de tunnel binnenvalt dient meer rekening te worden gehouden dan oorspronkelijk is aangenomen.

De getalwaarden die uit de aanvullende analyse volgen, zijn iets hoger dan de getallen die uit de eerste analyse volgden. Deze verhoging dient te worden toegeschreven aan drie factoren, te weten:

1. Bij de aanvullende analyse is niet, zoals bij de eerste analyse, het gemiddelde van de drempelwaarden voor de contrastgevoeligheid gebruikt maar voor iedere waarnemer is zijn of haar "eigen" drempelwaarde gebruikt. Omdat niet alle waarnemers even veel ritten hebben gemaakt, kan dit tot een verschuiving in het eindresultaat leiden.
2. Bij de aanvullende analyse zijn de gegevens voor de twee tunnelingangen apart bepaald.

3. Bij de aanvullende analyse zijn alleen de metingen voor het buiten-niveau gebruikt die met stand 4 corresponderen. Dit is gedaan omdat alleen voor dat buitenniveau een aanzienlijk aantal metingen ter beschikking staat.

Als eindresultaat van de aanvullende analyse kan worden gesteld:

$$f = 6,044.$$

Afgerond komt dit erop neer dat f is ongeveer 6 is. Uit de eerste analyse was als eindresultaat opgegeven:

$$f = 4,5 \pm 0,9.$$

Aangenomen werd dat de waarde van f met een grote waarschijnlijkheid tussen 3,6 en 5,4 zou liggen.

De verbeterde waarde van 6 ligt dus inderdaad iets hoger. Gezien de onzekerheden die bij de eerste analyse zijn gesignaleerd, is het gerechtvaardigd om de "nieuwe" waarde $f = 6$ te gebruiken.

5.14. Conclusies

Uit de bespreking van de verschillende factoren die in par. 5.1 t/m 5.12 is gegeven, alsmede uit de deelluitkomsten die in par 5.13 zijn besproken, blijkt dat de oorspronkelijk geconstateerde wijze waarop de veldfactor afhankelijk bleek te zijn van de luminantie "buiten" niet verder verklaard kan worden. De eerder getrokken conclusie dat deze onduidelijke invloed voor de praktijk van ondergeschikt belang is, kan worden gehandhaafd: de afwijkingen doen zich vooral voor bij relatief lage waarden van de buitenluminantie, die eerder in het gebieden "schemer" of "donkere dag" thuis horen dan in het gebied "helder daglicht". En bij "schemer" of "donkere dag" is het een geringe extra inspanning om de verlichting in de tunnel iets hoger dan het strikte minimum af te stellen. In de praktijk doen zich bij de Drechtunnel nooit problemen voor.

De eerder geconstateerde afhankelijkheid van de luminantie "binnen" blijkt verklaard te kunnen worden door rekening te houden met het daglicht dat de

tunnel binnenvalt. De veldfactor zelf blijkt van een aantal van de bedoelde factoren af te hangen, maar deze afhankelijkheid is steeds gering ten opzichte van de inherente spreiding in de resultaten. De volgende factoren zijn daarbij bekeken, en bleken geen invloed van betekenis te hebben:

- * de definitie van het contrast;
- * de invloed van het adaptatieniveau;
- * de rijtaak;
- * leereffecten;
- * de sluierluminantie;
- * het verschil tussen de tunnelportalen;
- * het adaptatiedefect; L_{ruit} en L_{atm} ;
- * de helderheid van de achtergrond.

Bij de oorspronkelijke analyse zijn deze factoren voor het grootste deel buiten beschouwing gelaten. De nadere analyse toont aan dat dit gerechtvaardigd was.

Drie factoren die niet eerder waren beschouwd, blijken van belang te zijn voor de waarde van de veldfactor:

- * de afhankelijkheid van de waarnemers;
- * het verschil tussen de tunnelportalen;
- * de invloed van het daglicht.

Een vierde factor kan ook van belang zijn; hierover bestaan echter geen meetgegevens:

- * daglicht dat aan de uitgang de tunnel binnen valt.

De eerste twee hebben geen effect op de afhankelijkheid van f van de luminanties in en buiten de tunnel; ze leiden echter tot een nauwkeuriger bepaling van de veldfactor. Het resultaat van de aanvullende analyse dient daarom te worden gebruikt in plaats van het eindresultaat van de eerste analyse. De derde factor blijkt bovendien de verklaring te kunnen leveren voor de in de eerste analyse gevonden afhankelijkheid van f van het luminantieniveau in de tunnel. De vierde factor lijkt (tenminste kwalitatief gezien) van belang te kunnen zijn.

Ten slotte is een laatste factor noch bij de eerste noch bij de aanvullende analyse in beschouwing genomen:

- * de leeftijdseffecten.

Gezien de resultaten is het niet te voorspellen in hoeverre de leeftijds-effecten van toepassing zijn op de veldfactor.

Als eindresultaat van de aanvullende analyse kan worden gesteld:

$$f = 6,044.$$

Afgerond komt dit erop neer dat f is ongeveer 6 is.

6. VERGELIJKING MET ANDERE ONDERZOEKINGEN

6.1. Inleiding

Het onderzoek naar de veldfactor, zoals hier gepresenteerd, staat op zichzelf: noch op andere plaatsen, noch door andere onderzoekers is een dergelijk onderzoek uitgevoerd. Tot nu toe heeft vrijwel niemand zich met de meer psychologisch getinte vragen betreffende de eventuele interacties tussen de rijtaak, de kijktaak en de verlichting van tunnels bezig gehouden. Het is derhalve niet mogelijk om de resultaten van het onderzoek getalsmatig met de uitkomsten van ander onderzoek te vergelijken. Wat wel mogelijk is, is een vergelijking tussen de theoretische premissen, tussen de methoden van onderzoek, en tussen de op het onderzoek gebaseerde resultaten (meestal in de vorm van aanbevelingen of richtlijnen). In dit hoofdstuk zullen een aantal vergelijkingen worden gemaakt.

Er zij op gewezen dat reeds eerder een dergelijke vergelijking is gemaakt (Schreuder, 1983). Het eindresultaat van die vergelijking was dat het beginsel van de "sluierluminantiemethode" vrij algemeen werd aangehangen, zonder echter tot voor de praktijk bruikbare resultaten te leiden. In het laatste decennium is een aantal nieuwe onderzoeken uitgevoerd, zodat het nuttig is een hernieuwde vergelijking te maken. We zullen daarbij niet te veel de vergelijking uit 1983 herhalen.

Meer recent zijn, naast uiteraard het Nederlandse werk, de volgende instanties betrokken bij het onderzoek op het gebied van de verlichting van tunnelingangen:

- * University of Waterloo (Ontario, Canada)
- * Centre d'Etudes des Tunnels CETu (Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports, Direction des Routes) Bron (Lyon, Frankrijk)
- * Muséum National d'Histoire Naturelle (Laboratoire de Physique, appliquée aux Sciences Naturelles) Parijs (Frankrijk).
- * Stadtwerke Bremen (Duitsland)
- * Universität Darmstadt (Duitsland)

Zeer recent zijn de resultaten van Japans onderzoek ter beschikking gekomen. In een aantal tunnels zijn metingen uitgevoerd die op dezelfde wijze als de metingen in de Drechtunnel zijn opgezet. Een definitief rapport is nog niet beschikbaar; enige opmerkingen zullen worden gemaakt.

We zullen de belangrijkste resultaten van deze instituten in de volgende paragrafen in de hier gegeven volgorde in vogelvlucht bespreken. Vooraf nog enige opmerkingen:

- De VS, waar in het verleden veel onderzoek op het gebied van tunnelverlichting is uitgevoerd, ontbreken. Nieuw onderzoek dat voor het onderwerp van deze studie van belang is, is recentelijk niet uitgevoerd.
- De twee genoemde Franse instituten werken nauw samen: veel onderzoek dat in het Muséum wordt uitgevoerd, is opgedragen door CETu.
- Bremen en Darmstadt zijn toegevoegd, omdat daar enig interessant werk is uitgevoerd, ofschoon, zowel wat betreft omvang als wat betreft wetenschappelijke diepgang, van minder belang dan het werk van de andere instituten.

6.2. University of Waterloo (Ontario, Canada)

Het belangrijkste werk op het gebied van de verlichting van tunnels in de Universiteit van Waterloo, Canada, wordt uitgevoerd onder leiding van Adrian op de School of Optometry.

Met als basis zijn veel eerder (in 1963) uitgevoerde studies over de verblinding in relatie tot de waarneembaarheid van signaallichten heeft Adrian het reeds lang bekende "strooilichtbeginsel" ingevoerd bij het ontwerpen van de verlichting van tunnelingangen. Algemeen wordt deze aanpak de Methode Adrian genoemd. De eerste publikatie die een overzicht geeft van deze methode is Adrian (1982). De methode is gebaseerd op de gedachte dat de adaptatie uitsluitend wordt bepaald door de luminantie van het deel van het gezichtsveld waarop de blik is gericht, en de equivalente sluiertiluminantie die resulteert uit verblindingslichtbronnen in de periferie. De tunnelverlichting dient zodanig te zijn dat een vooraf gekozen contrast nog zichtbaar is ondanks de sluier.

Deze ideeën zijn algemeen aanvaard. Overigens is er nog steeds onduidelijkheid of ook in de situatie zoals die zich bij tunnelingangen voordoet (zeer grote gezichtsvelddelen met zeer hoge luminanties) alle temporele adaptatie-effecten bij het "zwarte gat" verwaarloosd mogen worden. Er zij opgemerkt dat adaptatie-effecten bij de overgangsverlichting bepaald NIET mogen worden verwaarloosd. Dit heeft consequenties voor de overgangsverlichting bij tunnelingangen.

De door Adrian gepropageerde methode bevat een aantal vereenvoudigingen:

- temporele effecten van de adaptatie worden verwaarloosd;
- voor de strooilichtformule wordt de (verouderde, maar eenvoudige) formule van Stiles-Holaday gebruikt;
- lichtverstrooiing in de atmosfeer en in de autovoornit worden verwaarloosd.

Wel wordt met de invloed van de leeftijd van de waarnemer rekening gehouden. Voor eventuele transiënte adaptatie-effecten (die echter alleen bij de overgangszone in rekening worden gebracht) wordt rekening gehouden door bij de proeven eerst 10 seconden de tunnelingang te fixeren. Met de transmissie van de atmosfeer wordt rekening gehouden door in plaats van een standaardcontrast van 0,25 een contrast van 0,3 à 0,35 te gebruiken.

Bij de kwantificering van de verlichting in de tunnelingang wordt gebruik gemaakt van subjectieve beoordelingen; het vermoeden bestaat dat deze subjectieve beoordelingen een doorslaggevende rol spelen bij het ontwerp.

In latere publikaties wordt in hoofdzaak hetgeen hier is beschreven, herhaald (Adrian, 1989; 1989a). Er worden enige suggesties gegeven om L_{seq} te meten, maar door de simpele meetapparatuur is een nauwkeurige meting niet te verwachten. Mondeling heeft Adrian een computerprogramma om L_{seq} te bepalen vermeld; in de publikaties blijft het echter beperkt tot een simpele grafische methode (waarbij niet is aangegeven hoe deze methode precies werkt, noch hoe deze moet worden gebruikt). Voor de waarneembaarheid van objecten in de tunnel wordt het Visibility Level VL gebruikt. Voor de drempelwaarde is VL 1; voor "makkelijker" waarneembare voorwerpen is VL > 1. Hiermee kan rekening worden gehouden met het feit dat door een rijtaak de waarnemingstaak relatief moeilijker wordt - de door ons bestudeerde "veldfactor". Kwantitatieve gegevens ontbreken.

De methode van Adrian is gebaseerd op eerder (vaak veel eerder) uitgevoerd onderzoek; er zijn geen nieuwe metingen gedaan.

De methode Adrian is nauwelijks geschikt voor praktische toepassingen. Het is niet bekend of deze methode in feite wordt toegepast. Adrian beweert zelf van wel, maar de aanbevelingen en richtlijnen die in Noord-Amerika gelden, wijken in sterke mate af van de door Adrian gegeven waarden.

Het is niet mogelijk om onze meetresultaten ermee te vergelijken, vooral ook omdat Adrian geen eigen metingen heeft uitgevoerd. Het belang van de "methode Adrian" is dus beperkt tot het inzicht dat de waarneming bij tunnelingangen gereduceerd wordt door de lichtsluier. Een "bewijs" dat adaptatie-effecten bij het "zwarte gat" geen rol spelen, is echter niet gegeven.

De meest recente publikatie gaat over de overgangsverlichting (Adrian & Fleming, 1990). De beschouwingen zijn moeilijk te interpreteren in termen van de mogelijke invloed van L_{adef} bij de waarneming in het tunnelportaal, maar de indruk bestaat dat deze invloed groter dan nul is. De door Adrian gegeven kromme geeft aan dat de adaptatie in de eerste seconde met een factor 10 afneemt.

6.3. Centre d'Etudes des Tunnels CETu

Het Centre d'Etudes des Tunnels CETu, gevestigd in Bron bij Lyon in Frankrijk is een onderdeel van het Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports, Direction des Routes. Het is belast met het ontwerp van de tunnels die in Frankrijk beheerd worden door de centrale overheid; dit houdt in dat naast vragen van ontwerp ook vragen van beheer, onderhoud enz. aan de orde komen. De resultaten van de overwegingen van het CETu worden ook door andere beheerders van tunnels in Frankrijk gebruikt. Deze resultaten spelen bovendien steeds een grote rol bij de aanbevelingen en richtlijnen van de PIARC, terwijl meer recent ook de inbreng in de CIE in belangrijkheid toeneemt. Kortom, het CETu is een belangrijke instelling voor zover het de verlichting van tunnels betreft.

Het CETu heeft een systeem voor de verlichting van tunnel opgesteld dat is toegespitst op de omstandigheden zoals die in Frankrijk voorkomen op de wegen die bij de centrale overheid in beheer zijn. Dit zijn uiteraard vrijwel uitsluitend wegen buiten de bebouwde kom. In tegenstelling tot landen als Nederland, België, Denemarken, Duitsland en Engeland komen op dit soort wegen tunnels vrijwel nooit in het vlakke land voor; wat dit betreft is Frankrijk, net als Oostenrijk en Zwitserland, als een "Alpenland" te beschouwen.

Het CETu-systeem is beschreven in een aantal publikaties van CETu (Novellas & Perrier, 1985; Tesson & Monié, 1989). In vele opzichten zijn deze publikaties echter onvolledig, en ze zijn zeer onduidelijk opgesteld. Het systeem is als zodanig voor anderen dan het CETu niet bruikbaar; het CETu heeft zelf dan ook een aantal recepten uit het systeem afgeleid, die in de Franse aanbevelingen zijn neergelegd (Anon, 1985).

Het CETu-systeem is gebaseerd op de strooilichttheorie. Uitgangspunt is de gedachte dat de tunnelverlichting tot taak heeft ervoor te zorgen dat de waarneembaarheid van objecten op iedere plaats in de tunnel aan een minimale voorwaarde voldoet. Deze voorwaarde is dat het object steeds even goed te zien is als in het interieur van de tunnel, waarbij ervan wordt uitgegaan dat een "volledige" adaptatie aan de verlichting van het interieur heeft plaats gevonden. Voor de praktijk betekent dit dat men eist dat de waarneembaarheid bij de ingangszones van de tunnel geen "dip" naar "beneden" vertoont; wel wordt geaccepteerd dat de waarneembaarheid in de tunnel minder is dan op de open weg.

De drempelwaarde van de contrastgevoeligheid wordt ontleend aan de door de CIE gestandariseerde Relative Contrast Sensitivity (RCS-kromme). De waarneembaarheid van objecten wordt gebaseerd op de stopafstand. Deze is naar believen te kiezen, dus er kan ook een andere dan de minimale stopafstand worden gekozen. Op deze wijze zou in beginsel met de rijtaak rekening kunnen worden gehouden. Dit gebeurt echter niet. Voor de bepaling van de afname van de waarneembaarheid wordt de Fry-formule gebruikt. Bij de uitwerking wordt aandacht besteed aan de volgende factoren:

- invloed van lichtverstrooiing in de atmosfeer en in de voorruit;
- invloed van de afmetingen van het waar te nemen object;
- invloed van het adaptatieniveau in de het interieur van de tunnel;
- invloed van de luminantie voor de tunnelingang;
- invloed van de rij snelheid.

Een aantal belangrijke factoren blijft echter buiten beschouwing:

- Bij de tunnelingang blijven alle adaptatie-effecten buiten beschouwing.
- Omdat wordt uitgegaan van de standaard RCS-krommen, blijven alle invloeden van de waarnemer (o.a. de leeftijd) buiten beschouwing.
- De rijtaak blijft buiten beschouwing.
- Het licht dat van buiten de tunnel binnen valt blijft buiten beschouwing.

Het opstellen van de richtlijn gebeurt als volgt:

- a. Vanaf ieder punt waar de automobilist/waarnemer zich bevindt, wordt op een afstand gelijk aan de gekozen stopafstand, een punt op de weg gekozen.
- b. In dit punt wordt een object gedacht.
- c. Nagegaan wordt hoe groot de luminantie in dat punt moet zijn om bij nadering dit object ook inderdaad op de stopafstand te kunnen ontwaren.
- d. De gevonden luminantiewaarden worden door een kromme verbonden. Deze kromme is gelijk aan de kromme die wordt aanbevolen.

Deze redenering vertoont overeenkomst met die van Adrian, waarbij gestreefd wordt naar een constant VL (zie par. 6.2). CETu beschouwt zichzelf dan ook als een aanhanger van de "Adrian school".

CETu heeft een aantal experimenten uitgevoerd om de aannamen in het CETu-systeem te toetsen. Deze experimenten zijn niet duidelijk beschreven. Het is daarom moeilijk zich een oordeel over de waarde van de experimenten te vormen. De indruk bestaat dat de experimenten nogal simplistisch zijn opgezet en uitgevoerd, en niet voldoende nauwkeurig zijn om voor de bedoelde toetsing te kunnen worden gebruikt. Bovendien moet worden geconstateerd dat de overeenkomst tussen de theorie (van Blackwell) en de experimenten niet goed is. Er lijken systematische verschillen aanwezig te zijn. Zo is er een veel grotere invloed van de rijnsnelheid gevonden dan men zou verwachten. Misschien heeft dit met de geringe afmetingen van het testobject te maken (wet van Ricco); misschien ook met de atmosferische transmissie. We zullen verder geen aandacht besteden aan deze "toetsing". Wel echter is van belang op te merken dat deze metingen geen aanleiding geven om een aanzienlijke invloed van de adaptatie bij het "zwarte gat" aan te nemen; de resultaten zijn niet strijdig met de door ons gebruikte aanname dat bij de tunnelingang L_{adef} verwaarloosd mag worden.

Naast het buiten beschouwing laten van alle aspecten van de waarnemer, en van de rijtaak, is het grootste bezwaar van deze aanpak het buiten beschouwing laten van de adaptatie-effecten. Niet alleen bij het "zwarte gat", maar ook in de overgang. Dit is ondervangen door in de aanbevelingen een "soort van" overgangsverlichting te definiëren. Omdat deze aannamen niet bleken te voldoen, heeft CETu aan het Muséum National d'Histoire Naturelle te Parijs opgedragen de adaptatie-effecten voor de overgangsverlichting te onderzoeken (zie par. 6.4). Daarbij is het onderzoek toege

spitst op de luminanties die in de overgangszone geïnstalleerd moeten worden, waarbij de overgangen die van de aanbevelingen zijn. Het resultaat is dat er, zoals uit par. 6.4 meer in detail blijkt, een aanzienlijk adaptatie-defect optreedt, zodat de door CETu aanbevolen verlichting van de overgangszone duidelijk niet voldoet. De experimenten van Bourdy gaven echter al evenmin een bevredigend antwoord: noch de CETu-kromme, noch de Bourdy-kromme voldoen blijkbaar aan de verlangens. Tesson (1988) stelt voor om de CIE-kromme (die door Tesson ten onrechte aan De Boer wordt toegeschreven), te blijven gebruiken.

6.4. Muséum National d'Histoire Naturelle

Zoals reeds is aangegeven, heeft de CETu, die in eerste instantie belast is met het ontwerp en het beheer van tunnels, voor het beantwoorden van een aantal meer fundamenteel getinte vragen op dit terrein opdrachten voor onderzoek verleend aan het Muséum National d'Histoire Naturelle te Parijs. Het onderzoek is uitgevoerd onder leiding van Bourdy.

Het onderzoek is toegespitst op de luminanties die in de overgangszone geïnstalleerd moeten worden. Zoals hierboven (par. 6.3) reeds is aangegeven, is dit een van de zwaarst wegende problemen in Frankrijk (waarschijnlijk ten onrechte overigens). Het resultaat van de onderzoekingen is hierboven reeds vermeld: noch de CETu-kromme, noch de Bourdy-kromme voldoen blijkbaar aan de verlangens, en men stelt voor om de Schreuder-kromme, die ook door de CIE is overgenomen, te blijven gebruiken (Tesson, 1988).

De onderzoekingen van Bourdy zijn echter van belang bij de onderhavige studie over de verlichting van de drempelzone. Uitgangspunt is de strooilichthypothese: directe luminantie en de (equivalente) strooilichtluminantie werken op dezelfde wijze, ze zijn dus additief. De eisen te stellen aan de verlichting hangen alleen af van de verlichtingssterkte op het netvlies, onafhankelijk van de herkomst van het licht (Bourdy et al., 1985).

Voor de tunnelingang wordt uitgegaan van de gedachte dat zowel op de open weg buiten, als in het tunnelinterieur er een evenwichtstoestand bestaat: er is in beide gevallen "volledige" adaptatie. Anders gezegd: de adaptatieluminantie is gelijk aan de luminantie in het gezichtsveld; nog anders

gezegd: er is geen adaptatiedefect. In de overgang echter waar de luminantie snel afneemt, blijft de adaptatie achter; er is dan wel een adaptatiedefect.

Ons probleem is of bij het "zwarte gat" met een adaptatiedefect rekening moet worden gehouden; in termen van de proefnemingen van Bourdy, waar de tunnelingang ligt. Dat er bij de overgangszone meestal van een zeker adaptatiedefect sprake is, wordt niet bestreden. In tegendeel; bij het verlichtingsontwerp wordt daarmee steeds rekening gehouden. Vandaar het belang dat aan de juiste verlichting van de overgangszone wordt gehecht. Dit - voor een deel nog onopgeloste probleem - ligt echter buiten het onderwerp van dit rapport; het wordt alleen besproken voor zover het van belang is bij het "zwarte gat".

Bourdy heeft een aantal ingenieuze experimenten uitgevoerd. Details zijn in de literatuur te vinden (Bourdy et al., 1985; 1987; 1987a). De gebruikte methode maakt het mogelijk het temporele verloop van de adaptatie te meten. De resultaten zijn duidelijk: er treedt bijna steeds een aanzienlijk adaptatiedefect op (dat zich in de experimenten uit in een "overshoot"). Deze overshoot hangt af van de luminanties buiten en binnen, en van de abruptheid van de overgang. Omdat bij de experimenten alleen een aantal in Frankrijk voorgestelde overgangen zijn gebruikt, is het moeilijk de resultaten te generaliseren, maar wel blijkt dat de overshoot meestal pas een aantal seconden na het binnengaan van de tunnel optreedt (ca. 10 sec) (Bourdy et al., 1987, 1988).

Dit effect is van belang voor het ontwerp van de overgangsverlichting in tunnels. Ofschoon de overgangsverlichting niet het onderwerp van de onderhavige studie is, kan worden gesteld dat de proefnemingen van Bourdy e.a. dezelfde richting wijzen als die van Adrian en van CETu: de oorspronkelijke, door Schreuder (1964) opgestelde, en door de CIE (1973) overgenomen kromme, waarmee de luminantie in de overgangszone wordt beschreven, blijkt voor de meeste praktische gevallen zeer goed te voldoen. Meer concreet: de vaak voorgestelde kortere overgangsverlichtingen (Japan, VS) blijken aan de korte kant te zijn. Voor het "zwarte gat" is echter van een adaptatiedefect niets te bespeuren. Op grond van deze metingen lijkt het dus gerechtvaardigd om, zoals bij onze proeven is gedaan, het adaptatiedefect buiten beschouwing te laten.

6.5. Stadtwerke Bremen

Het is nuttig om in de onderhavige bespreking van vergelijkbare systemen enige aandacht te besteden aan het werk dat in Bremen (Duitsland) onder leiding van Schröter wordt uitgevoerd. In deze stad zijn een aantal tunnels aanwezig. Om de uit de praktijk naar voren komende problemen het hoofd te kunnen bieden, zijn enige studies - vooral van praktische aard - uitgevoerd. De belangrijkste problemen zijn:

- a. De verlichting van de ingang van tunnels die "tegen de zon in" liggen, vooral wanneer de laagstaande zon vlak boven de ingang zichtbaar is.
- b. Het regelen van de verlichting van de tunnel in afhankelijkheid van het buitenniveau (daglicht).
- c. Juridische problemen met betrekking tot de waarneembaarheid van obstakels bij ongevallen. Daarbij gaat het er meestal om, of de verlichting aan de te stellen eisen voldoet - de eisen zijn echter meestal niet duidelijk gesteld.

Schröter gaat uit van een "mengsel" van de adaptatietheorie en de strooi-lichttheorie, ofschoon hij alleen het laatste noemt. De gebruikte verblindingsformule is ook een "mengsel": Fry en Hartmann. Er is een apparaat gebouwd dat volgens deze mengformule de L_{seq} meet. Ook wordt - voor een eerste globale beoordeling - het "systeem Darmstadt" (zie par 6.6) gebruikt. Over het door Schröter ingevoerde systeem is weinig gepubliceerd; gegevens zijn te vinden in Schröter (1985, 1989, 1990).

Voor het beantwoorden van de praktische vragen zoals die in Bremen naar voren komen, kan het systeem van Schröter waarschijnlijk van nut zijn; voor het meer algemene onderwerp van het ontwerp van de verlichting voor tunnelingangen is het systeem nauwelijks bruikbaar:

- de invloed van de atmosfeer en van de voorruit worden buiten beschouwing gelaten;
- de metingen zijn stationair;
- de theoretische uitgangspunten zijn onduidelijk en niet algemeen aanvaard.

Voor de vergelijking met de resultaten van onze metingen is het systeem - Schröter niet van belang; de aspecten van de rijtaak blijven geheel buiten beschouwing.

6.6. Universität Darmstadt

Eén van de steeds weer terugkerende problemen is de meting van L_{seq} . In eerdere hoofdstukken van dit rapport hebben we er reeds op gewezen; er zijn sterke vermoedens dat de veel gebruikte combinatie van de Pritchard-luminantiemeter met de Fry-verblindingslens niet oplevert wat men ervan verwacht; bovendien is het gebruik van de Fry-formule een achterhaalde zaak. De door Adrian (1989) genoemde combinatie van een Minolta-meter met "een" verblindingslens lijkt bepaald geen verbetering op te leveren. Over de verblindingslenzen kan geen oordeel worden gevormd omdat ze verder onbekend zijn, maar de Minolta-meters zijn voor precieze fotometrie niet nauwkeurig genoeg: het zijn in feite foto-belichtingsmeters. Adrian (l.c.) vermeldt in het voorbijgaan dat er nog meer combinaties bestaan; daarover is verder niets bekend.

Voor een groep onderzoekers onder leiding van Jainski (Universiteit van Darmstadt, Duitsland) was dit een reden om opnieuw terug te grijpen op de visuele fotometrie. Het resultaat was de verblindingsmeter "systeem Darmstadt". In beginsel is dit apparaat zeer eenvoudig: de waarnemer kijkt naar het te onderzoeken tafereel; tegelijk wordt een "testveld" in het gezichtsveld geprojecteerd via een zwak reflecterende spiegel, die de waarneming verder niet merkbaar beïnvloedt. Door nu de helderheid van het testveld te variëren, zodanig dat het net zichtbaar is, wordt de visuele drempel voor de contrastgevoeligheid gemeten. Wanneer in het gezichtsveld verblindingslichtbronnen voorkomen, worden die "meegenomen"; wanneer men alleen in de bijdrage van deze verblindingsbronnen is geïnteresseerd, wordt de meting herhaald met afgeschermd verblinding. De meting is in beginsel zeer eenvoudig, en geheel "to the point": op deze wijze wordt op een directe wijze de fysiologische verblinding gemeten. Het apparaat en de werking ervan wordt beschreven in de literatuur (Jainski & Gerdes, 1972; Gerdes & Schröder, 1973; Gerdes, 1977).

Het apparaat is dus al heel wat jaren beschikbaar. Veel wordt het echter bij de beoordeling van de verlichting van tunnelingen niet gebruikt. De redenen zijn:

- Iedere meting in het veld geeft alleen maar een "momentopname"; voor het ontwerp van een verlichtingsinstallatie voor een tunnelingang is echter een normwaarde nodig. Dit probleem doet zich voor bij alle systemen

(ook dat van Adrian; zie par. 6.2) dat gebaseerd is op het direct meten van L_{seq} .

- Alleen statische verblinding kan worden gemeten: de meettijd is te lang voor snel veranderende verschijnselen zoals die zich bij het binnenrijden van een tunnel voordoen.
- Visuele fotometrie is een zeer lastige zaak; redelijk reproduceerbare metingen vereisen een zeer geroutineerde fotometrist. De ervaring heeft geleerd dat dit soort werk enige, zelfs vele jaren oefening vereist - en sommige mensen "leren het nooit". Omdat de meting zo simpel lijkt, is de kans op foute waarnemingen zeer aanzienlijk.
- De bepaling van drempelwaarden (het "juist wel" of "juist niet" zichtbaar zijn van een visuele stimulus) is het moeilijkste soort visuele waarneming; het resultaat is sterk afhankelijk van de motivatie en van de waakzaamheid ("alertness") van de waarnemer. Dergelijke waarnemingen zijn slecht reproduceerbaar, zelfs bij een enkele waarnemer. Dit kan alleen worden ondervangen door de metingen zeer vaak te herhalen, en de uitkomsten vervolgens aan een statistische analyse te onderwerpen. Experimenteel onderzoek op dit gebied is dan ook zeer tijdsintensief - dit in tegenstelling tot de schijnbaar simpele wijze van het hanteren van het "systeem Darmstadt";
- De metingen zijn niet dupliceerbaar omdat het visuele systeem van de waarnemer/fotometrist als maat wordt gebruikt. Het is daarom nauwelijks mogelijk om de resultaten uit te drukken in (objectieve) fotometrische waarden. De fotometrische waarden zijn essentieel om de resultaten te kunnen inpassen in het ontwerp van een verlichtingsinstallatie.

Het "systeem Darmstadt" is handig bij het beoordelen van de globale toestand op een bepaald moment, en voor het vergelijken van onderling vergelijkbare situaties; voor het onderhavige doel (het ontwerp van de verlichting van tunnelingangen) is het niet bruikbaar.

Voor de vergelijking met de resultaten van onze metingen is het "systeem Darmstadt" niet van belang; de aspecten van de rijtaak blijven geheel buiten beschouwing.

6.7. Japanse studies

Zoals hierboven reeds is aangeduid, zijn in Japan kort geleden enige experimenten uitgevoerd die op dezelfde wijze zijn opgezet als de metingen

in de Drechttunnel. Een definitief rapport is nog niet beschikbaar. De resultaten zijn analoog aan de resultaten die in de Drecht-tunnel zijn gevonden; de waarde van de veldfactor lijkt wat groter te zijn, maar er zijn een aantal factoren aan te geven die dit verschil kunnen verklaren. Het heeft geen zin om de resultaten in detail te bespreken voordat nadere gegevens beschikbaar zijn. De voorlopige resultaten zijn samengevat door Yoshikawa (1991).

6.8. Conclusies

Uit de bovenstaande vergelijking tussen de uitkomsten van onze onderzoeken en de resultaten van andere studies komt naar voren:

- Onze onderzoeken zijn meer gedetailleerd en beter opgezet dan de andere studies waarvan resultaten beschikbaar zijn.
- Het lijkt gerechtvaardigd om, zoals bij onze experimenten is gedaan, de adaptatie bij het "zwarte gat" te verwaarlozen.
- Het toepassingsgebied van de resultaten van ons onderzoek kan worden verbreed door rekening te houden met de leeftijdsinvloeden ten aanzien van de verblinding.
- Het lijkt terecht dat met de invloed van het strooilicht in de atmosfeer en in de voorruit rekening wordt gehouden.
- Met de rijtaak is in geen van de hier beschreven studies rekening gehouden.
- Het is - gezien het laatste punt - niet mogelijk om de uitkomsten van onze veldfactormetingen rechtstreeks te vergelijken met andere metingen. Er is echter geen reden gebleken om aan de uitkomst te twijfelen.

7. SLOTCONCLUSIE

Uit de voorafgaande overwegingen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De veldfactor, zoals gemeten, en zoals geadapteerd in het onderhavige rapport, kan worden gebruikt om de situatie in de Drechtunnel te beschrijven.
- Het is niet zeker of ook in andere tunnels de situatie met dezelfde veldfactor kan worden beschreven.
- Er zijn enige factoren bij het onderhavige onderzoek buiten beschouwing gebleven, die, wanneer ze worden ingesloten, de onzekerheid omtrent de getalwaarden van de uitkomst vergroten. Meer in het bijzonder geldt dit voor de invloed van de leeftijd van de waarnemers.
- De validatie van het systeem laat nog een en ander te wensen over.
- De meting van de L_{seq} laat eveneens nog een en ander te wensen over.

De slotconclusie van de in dit rapport gepresenteerde nadere analyse van de eerder gegeven meetresultaten is de volgende. Het in Nederland onder auspiciën van de Directie Sluizen en Stuwen van Rijkswaterstaat ontwikkelde systeem voor het ontwerpen van de verlichting van de ingang van lange verkeerstunnels is veelbelovend; er is echter een aantal onzekere factoren die de toepassing als standaardontwerpmethode in de weg staan. Voor een deel zijn deze onzekere factoren door nadere studie wellicht op te lossen; een aantal andere onzekere factoren is echter inherent aan de situatie waarbij door weggebruikers waarnemingen moeten worden gedaan bij tunnels "in het veld".

Aanbevolen wordt om de bedoelde methode voorlopig in eerste instantie als nadere ondersteuning van op de traditionele wijze uitgevoerde ontwerpen te gebruiken.

De onderhavige studie betrof de ingangsverlichting; de overgangsverlichting is buiten beschouwing gebleven, ofschoon enige opmerkingen "in de marge" over dit onderwerp zijn gemaakt. Een nadere studie van de overgangsverlichting is aan te bevelen.

LITERATUUR

- Adrian, W. (1982). Investigations on the required luminance in tunnel entrances. *Lighting Res. Technol.* 14 (1982) 151.
- Adrian, W. (1989). A method for the design of tunnel entrance lighting. School of Optometry, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 1989.
- Adrian, W. (1989a). Visibility of targets; Model for calculation. *Lighting Res. Technol.* 21 (1989) 181-188.
- Adrian, W.K. & Fleming, M.L. (1990). Physiological basis to the lighting levels in the transition zone of tunnels. No 88SPL REF3. Lighting Research Institute, New York, 1990.
- Anon (1985). Guide de l'éclairage des tunnels routiers. CETu, Bron, 1985.
- Anon (1989). Beleuchtung von Tunneleinfahrtzonen. CIE-SLG Symposium Agno/Lugano, 12. Oktober 1989. SLG, Bern, 1989.
- Anon (1990). De validatie van het programmapakket sluierluminantie voor tunnelingangen. Verhoeven Raadgevende Ingenieurs, Amersfoort, 1990. (Niet gepubliceerd).
- Biesheuvel, M.A. & Planken, J.J.A. (1989). Bepaling f-factor tunnelingang. Afstudeeropdracht Hoger Technisch Onderwijs HTO, Rotterdam, 1989.
- Bourdy, C.; Chiron, A.; Cottin, C. & Monot, A. (1985). Role du défaut d'adaptation temporelle dans la chute de visibilité à l'entrée des tunnels. Contrat E.D.F. - C.N.R.S. No J.M. 122. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 1985.
- Bourdy, C.; Chiron, A.; Cottin, C. & Monot, A. (1987). Visibility at a tunnel entrance and the effect of temporal adaptation. CIE, Venice, 1987.
- Bourdy, C.; Chiron, A.; Cottin, C. & Monot, A. (1987a). Visibility at a tunnel entrance: Effect of temporal adaptation. *Lighting Res. Technol.* 19 (1987) 35-44.
- Bourdy, C.; Chiron, A.; Cottin, C. & Monot, A. (1988). Visibility at a tunnel entrance: Effect of temporal luminance variation. *Lighting Res. Technol.* 20 (1988) 199-200.
- CIE (1973). International recommendations for tunnel lighting, Publication No. 26. CIE, Paris, 1973.
- CIE (1981). An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance. Volume I: Technical foundations. Publication No. 19/2. CIE, Paris, 1981.

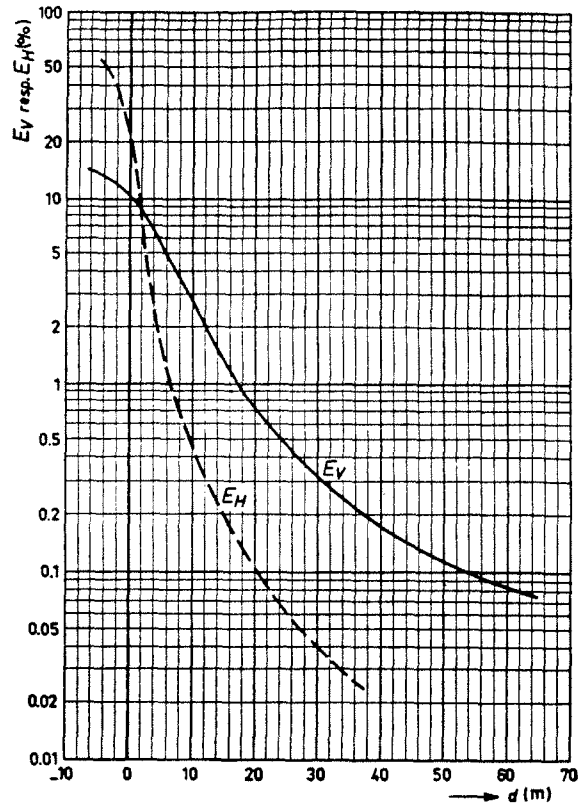
- CIE (1987). International lighting vocabulary (4th edition). Publication No. 17.4. CIE, Paris, 1987.
- CIE (1989). Guide for the lighting of road tunnels and underpasses (Draft). CIE, Paris, 1989.
- Dalderup, R. & Retera, W. (1989). Lichtmetingen Drechtunnel - Dordrecht. Philips Lighting BV, Eindhoven. (Niet gepubliceerd).
- Foucart, A. (1979). Verkeersregeling en automatisering van de technische diensten in de Drechtunnel te Dordrecht (Nederland). ACEC, Charleroi, 1979 (Overdruk uit ACEC-Tijdschrift Nr. 78/3-4).
- Gerdes, H.-R. (1977). Adaptationsleuchtdichte, physiologische Blendung; Erfahrungen mit dem Blendmessgerät "System Darmstadt". Unfall- und Sicherheitsforschung Strassenverkehr (1977) 363-367.
- Gerdes, H.-R. & Schröder, U. (1973). Über das Messen von Blendung. Lichttechnik 25 (1973) 433-436.
- Guth, S.L. (1973). On neural inhibition, contrast effects and visual sensitivity. Vision Research 13 (1973) 937-957.
- Heinemann, E.G. (1961). The relation of apparent brightness to the threshold for differences in luminance. J. Exp. Psychol. 61 (1961) 389-399.
- Jainski, P. & Gerdes, H.-R. (1972). Funktion und Anwendungsmöglichkeiten eines Blendungsmessgerätes. Lichttechnik 24 (1972) 279-282.
- Novellas, F. & Perrier, J. (1985). New lighting method for road tunnels. CIE Journal 4 (1985) 58-70.
- NSvV (1963). Aanbevelingen voor tunnelverlichting. Electro-techniek 41 (1963) 23-32; 46-53.
- NSvV (1989). Aanbevelingen voor de verlichting van lange tunnels voor het gemotoriseerde verkeer. (Ontwerp).
- Padmos, P. & Alferdinck, J.W.A.M. (1983). Verblindings bij tunnelingangen II: De invloed van atmosferisch strooilicht. Rapport IZF 1983 C-9. IZF-TNO, Soesterberg, 1983.
- Padmos, P. & Alferdinck, J.W.A.M. (1983a). Verblindings bij tunnelingangen III: De invloed van strooilicht van de autovoorrui. Rapport IZF 1983 C-10. IZF-TNO, Soesterberg, 1983.
- Schreuder, D.A. (1964). The lighting of vehicular traffic tunnels. Centrex, Eindhoven, 1964.
- Schreuder, D.A. (1981). De verlichting van tunnelingangen. R-81-26. SWOV, Leidschendam, 1981.
- Schreuder, D.A. (1988). Gezichtsvermogen en verkeersveiligheid. R-88-9. SWOV, Leidschendam, 1988.

- Schreuder, D.A. (1989). The field factor for the determination of tunnel-entrance luminance levels. In: Anon (1989).
- Schreuder, D.A. (1990). De veldfactor bij de bepaling van de verlichtingsniveaus bij tunnelingangen; Verslag van experimenteel onderzoek. R-90-10. SWOV, Leidschendam, 1990.
- Schreuder, D.A. & Oud, H.J.C. (1988). The predetermination of the luminance in tunnel entrances at day. R-88-13. SWOV, Leidschendam, 1988.
- Schreuder, D.A. & Swart, L. (1989). The determination of tunnel entrance luminance levels. In: Anon (1989).
- Schröter, H.G. (1985). Theorie der Tagesbeleuchtung von Tunnel-Einsichtstrecken. Stadtwerke Bremen, 1985.
- Schröter, H.G. (1989). Über die Prüfung der Beleuchtung von Einsichtstrecken - Symmetrische Beleuchtung - Gegenstrahlbeleuchtung - Zwei Beispiele. In: Anon (1989).
- Schröter, H.G. (1990). Tagbeleuchtung von Tunnel-Einsichtstrecken und Verkehrssicherungspflicht. (In voorbereiding).
- Stam, A. (1989). Resultaten meting tunnelverlichting Drechtunnel. Stam en Van Vuren, Organisatieadviseurs, Sliedrecht. (Niet gepubliceerd).
- Swart, L. (1990). Schleierleuchtdichte, Computerprogramme und "Field-factor" führen zur Ermittlung der Tunnelbeleuchtung in den Niederlanden. Licht 90, Rotterdam, Mai 1990. Tagungsberichte p.137-148. NSVV, Arnhem, 1990.
- Tesson, M. (1988). Etude du phénomène d'adaptation temporelle à l'entrée des tunnels routiers. CETu, Bron, 1988.
- Tesson, M. & Monié, B. (1989). Road tunnel lighting design: Simplification. Lighting Res. Technol. 21 (1989) 171-179.
- Van Bommel, J.W.M. & De Boer, J.B. (1980) Road lighting, Kluwer, Deventer, 1980.
- Van Houwelingen, A.W.M. (1989). Tunnelmetingen RWS. Oogziekenhuis Rotterdam (Niet gepubliceerd).
- Vos, J.J. (1983). Verblinding bij tunnelingangen I: De invloed van strooilicht in het oog. Rapport IZF 1983 C-8. IZF-TNO Soesterberg, 1983
- Vos, J.J. (1990). Persoonlijke mededeling.
- Vos, J.J.; Walraven, J. & Van Meeteren, A. (1976). Light profiles of the foveal image of a point source. Vision Research 16 (1976) 215-219.
- Yoshikawa, K. (1991). Short report on the experiments of the field factor for lighting level at the tunnel entrance zone. Preliminary draft report. Matsushita Electric, Osaka, 1991.

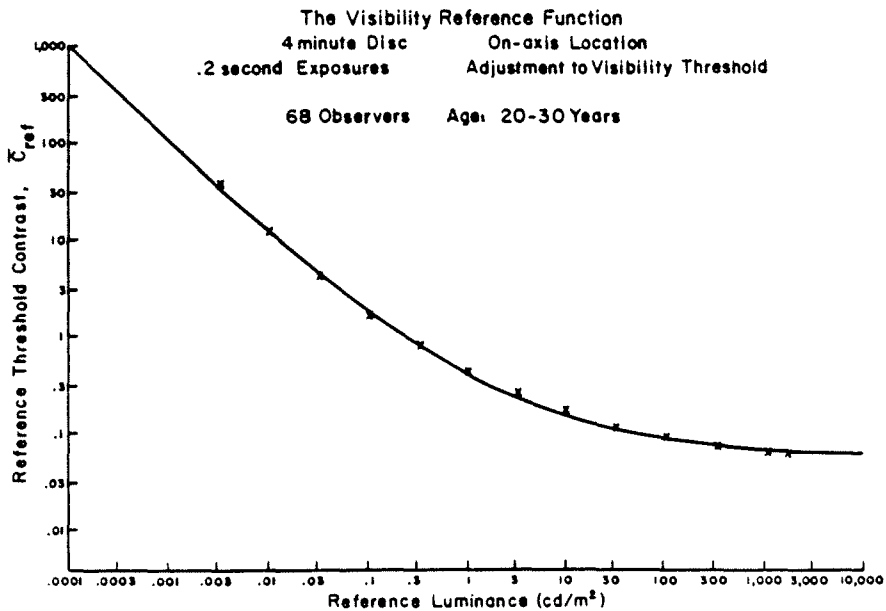
AFBEELDINGEN 1 EN 2

Afbeelding 1. Penetration of daylight. Horizontal and vertical illumination in % with horizontal illumination outside = 100%. d = distance to tunnel entrance. The graphs are constructed from calculated, partly from measured values (Source: Schreuder, 1964).

Afbeelding 2. The visibility reference function, representing values of C_{ref} as a function of L_{ref} . Data of Blackwell and Blackwell; curve fit suggested by Bodmann (Source: CIE, 1981).



Afbeelding 1. Penetration of daylight. Horizontal and vertical illumination in % with horizontal illumination outside = 100%. d = distance to tunnel entrance. The graphs are constructed from calculated, partly from measured values (Source: Schreuder, 1964).



Afbeelding 2. The visibility reference function, representing values of C_{ref} as a function of L_{ref} . Data of Blackwell and Blackwell; curve fit suggested by Bodmann (Source: CIE, 1981).

TABELLEN 1 T/M 7

Tabel 1. Meetresultaten. Gemiddelden van de drempelcontrasten voor verschillende combinaties van verlichting buiten en binnen (3-2 betekent stand 3 buiten, stand 2 binnen). Afstanden in meter van tunnelportaal.

Tabel 2. Relatie tussen het verschil in binnen en buitenniveau en f . Tussen haakjes: f -waarden bepaald aan de hand van minder dan 5 meetseries.

Tabel 3. Resultaten validatie computerprogramma.

Tabel 4. Contrastgevoeligheid van de proefpersonen.

Tabel 5. Invloed van buitenniveau (gemiddelden: gewogen gemiddelde). L_v : uit de contrastmetingen afgeleide sluiertluminantie. L_{adap} : benaderde adaptatieluminantie. C^{blckw} : uit CIE publ. 19/2 afgeleide drempelwaarde van de contrastgevoeligheid.

Tabel 6. Verkeersaanbod op verschillende tijdstippen (aantallen voertuigen per rijstrook per half uur; steeds rechter rijstrook in beide richtingen).

Tabel 7A. Waarden van de veldfactor. Gemiddelden voor verschillende stappen "buiten"; totaal gemiddelde. Deeluitkomsten voor verschillende waarden van de factoren p , q , r en s .

Tabel 7B. Waarden van de veldfactor. Stap "buiten" 4. Gemiddelden voor verschillende stappen "binnen"; totaal gemiddelde voor stap 4. Deeluitkomsten voor verschillende waarden van de factoren p , q , r en s .

Meetpunten	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
afstand	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40.. enz. meter	
.....contrasten (in %).....											
	buiten.....				ingang.....				overgang...		
verl										aant.	
1-2	18	18	18	18	.	.	.	.	35	.	30 35 35 35 n=2
1-3	15	18	18	24	.	.	24 35	.	35	.	35 32 37 32 32 n=4
2-0	12	12	12	.	.	.	53	.	.	.	53 53 53 53 n=1
2-1	14	14	14	12	.	35	.	35	.	.	39 39 40 35 n=5
2-2	12	12	12	24	.	.	.	.	35	.	35 35 35 53 n=1
2-4	24	24	24	.	.	.	35	.	.	.	24 35 35 35 n=1
3-1	14	17	19	24	.	12 12	.	.	.	53 44	44 42 44 44 n=5
3-2	12	12	12	15	.	24 24	.	.	35 35 35		35 33 30 33 n=6
3-3	12	14	14	18	24	12	.	.	35	.	35 26 28 28 40 n=5
3-4	12	12	12	12	.	.	24	.	.	24	20 24 24 28 n=3
3-5	12	12	12	18	.	24	.	.	12	.	24 20 20 28 31 n=3
4-2	12	12	12	14	12	14	12	19	44	.	33 35 39 38 35 34 33 n=33
4-3	12	12	12	14	17	14	15	19	20	.	36 20 33 34 32 32 33 n=41
4-4	11	11	11	12	11	15	12	15	16	.	21 24 21 20 21 26 28 n=47
4-5	12	12	13	13	12	16	15	13	12	.	17 26 18 18 20 24 29 n=46
4-6	11	11	12	12	11	12	12	14	.	.	12 12 16 15 16 21 24 n=39
5-3	9	12	12	14	.	12 18 12	.	.	44 12 45		36 35 31 29 n=13
5-4	9	10	10	12	.	12 12 12	.	.	.	24	22 22 24 26 n=6
5-5	9	9	9	9	12	.	12 12	.	.	18 12 24	17 17 17 17 n=7
5-6	7	9	9	12	.	9 12 12	.	.	.	10	10 10 13 17 n=7
[-----]											
gebruikte meetpunten											

Tabel 1. Meetresultaten. Gemiddelden van de drempelcontrasten voor verschillende combinaties van verlichting buiten en binnen (3-2 betekent stand 3 buiten, stand 2 binnen). Afstanden in meter van tunnelportaal.

Stap	Verschil in stappen "binnen" minus "buiten"				
	-2	-1	0	+1	+2
1				(7,8)	(11,2)
2		1,7	(3,5)	(6,1)	
3	1,1	1,9	3,9	(6,6)	(7,1)
4	1,2	1,7	3,5	4,9	5,4
5	1,2	2,1	3,3	3,5	

Tabel 2. Relatie tussen het verschil in binnen en buitenniveau en f. Tussen haakjes: f-waarden bepaald aan de hand van minder dan 5 meetseries.

	Afstand	L_{seq} berekend	L_{fry}	L_{seq} berekend min L_2
Drechttunnel				
	100 m	318	133	320
	200 m	997	276	382
	250 m	1099	234	311
Zeeburgertunnel				
	200 m	523	335	98

Tabel 3. Resultaten validatie computerprogramma.

Proefpersoon	Linker oog	Rechter oog
1	185*	125
2	185*	125
3	125*	125
4	125	185*
5	185	260*
6	125*	125
7	185*	125

* "Beste" oog

De modus van de "beste" ogen is 185.

Tabel 4. Contrastgevoeligheid van de proefpersonen.

Stap	f_{buiten}	C^{rel}	L_v	L_{fry}	$L_{fry}-L_v$	L_{adap}	C^{blckw}	C^{rel}	f_{corr}
1	20,78	0,048	38,53	37	-1,52	700	0,0734	1,000	20,78
2	18,99	0,053	24,75	98	73,25				
3	16,03	0,063	66,40	164	97,60				
4	9,78	0,102	86,54	268	181,46				
5	8,91	0,112	135,34	416	280,66	8000	0,0644	0,878	10,15
gem	10,96	0,092	86,86	263	176,55				

Tabel 5. Invloed van buitenniveau (gemiddelden: gewogen gemiddelde).

L_v : uit de contrastmetingen afgeleide sluierluminantie. L_{adap} : benaderde adaptatieluminantie. C^{blckw} : uit CIE publ. 19/2 afgeleide drempelwaarde van de contrastgevoeligheid.

Tijd	Aantal voertuigen
0600 - 0630	324
0630 - 0700	437
0700 - 0730	509
1000 - 1100; 1500 - 1600	445
2000 - 2030	288
2030 - 2100	233

Tabel 6. Verkeersaanbod op verschillende tijdstippen (aantallen voertuigen per rijstrook per half uur; steeds rechter rijstrook in beide richtingen).

Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8
p	0	0,1	0,3	0	0	0	0	0
q	0	0,1	0,3	0	0	0	0	0
r	4	4	4	4	1	1	1	1
s	0,3	0,3	0,3	0,7	0,7	0	0,2	0,25
gem stap 1	31,08	29,70	27,26	33,75	22,36	13,83	16,99	17,66
gem stap 2	31,42	29,21	25,63	39,14	23,01	4,90	12,09	13,56
gem stap 3	22,69	21,27	18,92	27,09	16,72	5,53	9,82	10,70
gem stap 4	12,38	11,64	10,42	14,52	8,96	3,47	5,60	6,04
gem stap 5	11,14	10,44	9,25	13,33	8,03	2,60	4,70	5,14
Totaal gem	14,22	13,36	11,94	16,76	10,30	3,84	6,36	6,88

Tabel 7A. Waarden van de veldfactor. Gemiddelden voor verschillende stappen "buiten"; totaal gemiddelde. Deeluitkomsten voor verschillende waarden van de factoren p, q, r, en s.

Nummer	1	2	3	4	5
p	0,3	0	0	0	0
q	0,3	0	0	0	0
r	1	1	1	1	1
s	0	0	0,3	0,2	0,25
gem stap 2	0,74	1,16	6,94	5,32	6,16
gem stap 3	1,06	1,65	5,82	4,65	5,26
gem stap 4	2,52	3,71	6,39	5,62	6,02
gem stap 5	3,52	4,97	6,78	6,25	6,52
gem stap 6	4,14	5,51	6,47	6,18	6,33
Totaal gem	2,44	3,47	6,46	5,60	6,04

Tabel 7B. Waarden van de veldfactor. Stap "buiten" 4. Gemiddelden voor verschillende stappen "binnen"; totaal gemiddelde voor stap 4. Deeluitkomsten voor verschillende waarden van de factoren p, q, r, en s.

BIJLAGE 1. Resultaten veldmetingen.

Rit nummer	Tunnel L _{lamp}	Buis	Buiten L _{fry}	Tunnel L _{twee}	Waarnemer Naam	C _{lab}	C _{tunnel}	Veldfact f
207	12	oost	37	21,25	MH	0,0077	0,35	16,58
68	12	west	37	21,25	MH	0,0077	0,24	11,37
205	23	oost	37	32,25	HM	0,0077	0,35	21,17
67	23	west	37	32,25	MH	0,0077	0,35	21,17
206	23	oost	37	32,25	HM	0,0077	0,35	21,17
66	23	west	37	32,25	MH	0,0077	0,24	14,52
65	3	west	98	27,50	MH	0,0077	0,53	15,08
70	5	west	98	29,90	MH	0,0077	0,35	10,63
71	5	west	98	29,90	MH	0,0077	0,35	10,63
64	5	west	98	29,90	MH	0,0077	0,35	10,63
208	5	oost	98	29,90	HM	0,0077	0,35	10,63
209	5	oost	98	29,90	HM	0,0077	0,53	16,09
69	12	west	98	36,50	MH	0,0077	0,35	12,34
210	71	oost	98	95,50	HM	0,0077	0,35	22,43
133	5	west	164	46,40	JodB	0,0108	0,23	4,70
204	5	oost	164	46,40	HM	0,0077	0,53	15,18
134	5	west	164	46,40	JodB	0,0108	0,12	2,45
203	5	oost	164	46,40	HM	0,0077	0,53	15,18
213	5	oost	164	46,40	HM	0,0077	0,24	6,87
75	12	west	164	53,00	MH	0,0077	0,35	11,10
132	12	west	164	53,00	JodB	0,0108	0,29	6,56
202	12	oost	164	53,00	HM	0,0077	0,35	11,10
63	12	west	164	53,00	MH	0,0077	0,35	11,10
74	12	west	164	53,00	MH	0,0077	0,29	9,20
212	12	oost	164	53,00	HM	0,0077	0,24	7,61
62	23	west	164	64,00	MH	0,0077	0,35	12,76
58	23	west	164	64,00	MH	0,0077	0,35	12,76
131	23	west	164	64,00	JodB	0,0108	0,12	3,12
211	23	oost	164	64,00	HM	0,0077	0,35	12,76
73	23	west	164	64,00	MH	0,0077	0,35	12,76
201	23	oost	164	64,00	HM	0,0077	0,35	12,76
200	71	oost	164	112,00	HM	0,0077	0,24	12,65
130	71	west	164	112,00	JodB	0,0108	0,24	9,02
72	71	west	164	112,00	MH	0,0077	0,24	12,65
199	71	oost	164	112,00	HM	0,0077	0,12	6,32
61	71	west	164	112,00	MH	0,0077	0,24	12,65
198	125	oost	164	166,00	HM	0,0077	0,24	15,68
129	125	west	164	166,00	JodB	0,0108	0,12	5,59
197	125	oost	164	166,00	HM	0,0077	0,12	7,84
59	125	west	164	166,00	MH	0,0077	0,35	22,87
60	125	west	164	166,00	MH	0,0077	0,24	15,68
111	12	west	268	79,00	AvG	0,0108	0,35	7,38
185	12	oost	268	79,00	JM	0,0160	0,24	3,41
195	12	oost	268	79,00	HM	0,0077	0,53	15,67
121	12	west	268	79,00	AvG	0,0108	0,35	7,38
125	12	west	268	79,00	JodB	0,0108	0,53	11,17
26	12	west	268	79,00	MvdB	0,0160	0,23	3,27
25	12	west	268	79,00	MvdB	0,0160	0,35	4,98
175	12	oost	268	79,00	JM	0,0160	0,35	4,98
120	12	west	268	79,00	AvG	0,0108	0,24	5,06
196	12	oost	268	79,00	HM	0,0077	0,38	11,24
223	12	oost	268	79,00	HM	0,0077	0,35	10,35
162	12	oost	268	79,00	ModB	0,0160	0,12	1,71
266	12	oost	268	79,00	JvdB	0,0108	0,53	11,17

Rit nummer	Tunnel L _{lamp}	Buis	Buiten L _{fry}	Tunnel L _{twee}	Waarnemer Naam	C _{lab}	C _{tunnel}	Veldfact f
232	12	oost	268	79,00	AS	0,0108	0,12	2,53
161	12	oost	268	79,00	ModB	0,0160	0,24	3,41
39	12	west	268	79,00	JM	0,0160	0,12	1,71
261	12	oost	268	79,00	AvG	0,0108	0,12	2,53
186	12	oost	268	79,00	JM	0,0160	0,24	3,41
151	12	oost	268	79,00	ModB	0,0160	0,35	4,98
231	12	oost	268	79,00	AS	0,0108	0,12	2,53
260	12	oost	268	79,00	AvG	0,0108	0,32	6,75
15	12	west	268	79,00	MvdB	0,0160	0,35	4,98
49	12	west	268	79,00	JM	0,0160	0,35	4,98
80	12	west	268	79,00	MH	0,0077	0,35	10,35
48	12	west	268	79,00	JM	0,0160	0,24	3,41
275	12	oost	268	79,00	JvdB	0,0108	0,53	11,17
30	12	west	268	79,00	MvdB	0,0160	0,23	3,27
274	12	oost	268	79,00	JvdB	0,0108	0,35	7,38
176	12	oost	268	79,00	JM	0,0160	0,12	1,71
152	12	oost	268	79,00	ModB	0,0160	0,29	4,13
110	12	west	268	79,00	AvG	0,0108	0,35	7,38
85	12	west	268	79,00	MH	0,0077	0,53	15,67
166	12	oost	268	79,00	ModB	0,0160	0,23	3,27
47	23	west	268	90,00	JM	0,0160	0,23	3,61
13	23	west	268	90,00	MvdB	0,0160	0,24	3,77
238	23	oost	268	90,00	AS	0,0108	0,12	2,79
269	23	oost	268	90,00	JvdB	0,0108	0,23	5,35
194	23	oost	268	90,00	HM	0,0077	0,35	11,43
265	23	oost	268	90,00	JvdB	0,0108	0,12	2,79
149	23	oost	268	90,00	ModB	0,0160	0,35	5,50
230	23	oost	268	90,00	AS	0,0108	0,12	2,79
118	23	west	268	90,00	AvG	0,0108	0,23	5,35
103	23	west	268	90,00	AS	0,0108	0,12	2,79
239	23	oost	268	90,00	AS	0,0108	0,12	2,79
184	23	oost	268	90,00	JM	0,0160	0,53	8,33
173	23	oost	268	90,00	JM	0,0160	0,23	3,61
218	23	oost	268	90,00	HM	0,0077	0,35	11,43
222	23	oost	268	90,00	HM	0,0077	0,35	11,43
23	23	west	268	90,00	MvdB	0,0160	0,29	4,56
102	23	west	268	90,00	AS	0,0108	0,53	12,34
24	23	west	268	90,00	MvdB	0,0160	0,29	4,56
141	23	oost	268	90,00	NS	0,0108	0,18	4,19
259	23	oost	268	90,00	AvG	0,0108	0,15	3,49
14	23	west	268	90,00	MvdB	0,0160	0,35	5,50
229	23	oost	268	90,00	AS	0,0108	0,12	2,79
272	23	oost	268	90,00	JvdB	0,0108	0,12	2,79
150	23	oost	268	90,00	ModB	0,0160	0,24	3,77
124	23	west	268	90,00	JodB	0,0108	0,35	8,15
104	23	west	268	90,00	AS	0,0108	0,12	2,79
240	23	oost	268	90,00	AS	0,0108	0,12	2,79
105	23	west	268	90,00	AS	0,0108	0,53	12,34
183	23	oost	268	90,00	JM	0,0160	0,24	3,77
38	23	west	268	90,00	JM	0,0160	0,23	3,61
6	23	west	268	90,00	ns	0,0108	0,12	2,79
46	23	west	268	90,00	JM	0,0160	0,35	5,50
165	23	oost	268	90,00	ModB	0,0160	0,35	5,50
273	23	oost	268	90,00	JvdB	0,0108	0,12	2,79

Rit nummer	Tunnel Llamp	Buis	Buiten Lfry	Tunnel Ltwee	Waarnemer Naam	C _{lab}	C _{tunnel}	Veldfact f
160	23	oost	268	90,00	ModB	0,0160	0,23	3,61
241	23	oost	268	90,00	AS	0,0108	0,12	2,79
258	23	oost	268	90,00	AvG	0,0108	0,18	4,19
119	23	west	268	90,00	AvG	0,0108	0,06	1,40
79	23	west	268	90,00	MH	0,0077	0,35	11,43
37	23	west	268	90,00	JM	0,0160	0,24	3,77
128	23	west	268	90,00	JodB	0,0108	0,12	2,79
159	23	oost	268	90,00	ModB	0,0160	0,24	3,77
84	23	west	268	90,00	MH	0,0077	0,35	11,43
174	23	oost	268	90,00	JM	0,0160	0,53	8,33
193	71	oost	268	138,00	HM	0,0077	0,24	10,59
221	71	oost	268	138,00	HM	0,0077	0,24	10,59
55	71	west	268	138,00	MH	0,0077	0,24	10,59
22	71	west	268	138,00	MvdB	0,0160	0,24	5,10
182	71	oost	268	138,00	JM	0,0160	0,18	3,82
5	71	west	268	138,00	ns	0,0108	0,12	3,78
12	71	west	268	138,00	MvdB	0,0160	0,29	6,16
192	71	oost	268	138,00	HM	0,0077	0,12	5,30
228	71	oost	268	138,00	AS	0,0108	0,24	7,55
227	71	oost	268	138,00	AS	0,0108	0,12	3,78
57	71	west	268	138,00	MH	0,0077	0,24	10,59
237	71	oost	268	138,00	AS	0,0108	0,12	3,78
29	71	west	268	138,00	MvdB	0,0160	0,35	7,44
257	71	oost	268	138,00	AvG	0,0108	0,12	3,78
140	71	oost	268	138,00	NS	0,0108	0,12	3,78
171	71	oost	268	138,00	JM	0,0160	0,12	2,55
147	71	oost	268	138,00	ModB	0,0160	0,29	6,16
54	71	west	268	138,00	MH	0,0077	0,35	15,45
56	71	west	268	138,00	MH	0,0077	0,24	10,59
264	71	oost	268	138,00	JvdB	0,0108	0,23	7,24
116	71	west	268	138,00	AvG	0,0108	0,09	2,83
236	71	oost	268	138,00	AS	0,0108	0,12	3,78
35	71	west	268	138,00	JM	0,0160	0,24	5,10
139	71	oost	268	138,00	NS	0,0108	0,12	3,78
44	71	west	268	138,00	JM	0,0160	0,24	5,10
83	71	west	268	138,00	MH	0,0077	0,24	10,59
117	71	west	268	138,00	AvG	0,0108	0,12	3,78
36	71	west	268	138,00	JM	0,0160	0,24	5,10
109	71	west	268	138,00	AvG	0,0108	0,12	3,78
148	71	oost	268	138,00	ModB	0,0160	0,12	2,55
45	71	west	268	138,00	JM	0,0160	0,12	2,55
78	71	west	268	138,00	MH	0,0077	0,24	10,59
158	71	oost	268	138,00	ModB	0,0160	0,12	2,55
4	71	west	268	138,00	NS	0,0108	0,12	3,78
190	71	oost	268	138,00	HM	0,0077	0,18	7,95
217	71	oost	268	138,00	HM	0,0077	0,29	12,80
164	71	oost	268	138,00	ModB	0,0160	0,18	3,82
256	71	oost	268	138,00	AvG	0,0108	0,12	3,78
181	71	oost	268	138,00	JM	0,0160	0,23	4,89
11	71	west	268	138,00	MvdB	0,0160	0,18	3,82
157	71	oost	268	138,00	ModB	0,0160	0,18	3,82
172	71	oost	268	138,00	JM	0,0160	0,35	7,44
271	71	oost	268	138,00	JvdB	0,0108	0,12	3,78
191	71	oost	268	138,00	HM	0,0077	0,24	10,59

Rit nummer	Tunnel L _{lamp}	Buis	Buiten L _{fry}	Tunnel L _{twee}	Waarnemer Naam	C _{lab}	C _{tunnel}	Veldfact f
21	71	west	268	138,00	MvdB	0,0160	0,18	3,82
180	125	oost	268	192,00	JM	0,0160	0,24	6,26
2	125	west	268	192,00	NS	0,0108	0,12	4,64
188	125	oost	268	192,00	HM	0,0077	0,18	9,76
138	125	oost	268	192,00	NS	0,0108	0,29	11,21
225	125	oost	268	192,00	AS	0,0108	0,06	2,32
115	125	west	268	192,00	AvG	0,0108	0,12	4,64
169	125	oost	268	192,00	JM	0,0160	0,24	6,26
10	125	west	268	192,00	MvdB	0,0160	0,16	4,17
137	125	oost	268	192,00	NS	0,0108	0,12	4,64
52	125	west	268	192,00	MH	0,0077	0,12	6,50
235	125	oost	268	192,00	AS	0,0108	0,12	4,64
270	125	oost	268	192,00	JvdB	0,0108	0,18	6,96
268	125	oost	268	192,00	JvdB	0,0108	0,18	6,96
216	125	oost	268	192,00	HM	0,0077	0,24	13,01
108	125	west	268	192,00	AvG	0,0108	0,18	6,96
220	125	oost	268	192,00	HM	0,0077	0,24	13,01
33	125	west	268	192,00	JM	0,0160	0,35	9,13
226	125	oost	268	192,00	AS	0,0108	0,24	9,28
114	125	west	268	192,00	AvG	0,0108	0,12	4,64
43	125	west	268	192,00	JM	0,0160	0,24	6,26
34	125	west	268	192,00	JM	0,0160	0,12	3,13
28	125	west	268	192,00	MvdB	0,0160	0,12	3,13
234	125	oost	268	192,00	AS	0,0108	0,12	4,64
155	125	oost	268	192,00	ModB	0,0160	0,12	3,13
53	125	west	268	192,00	MH	0,0077	0,12	6,50
123	125	west	268	192,00	JodB	0,0108	0,24	9,28
215	125	oost	268	192,00	HM	0,0077	0,24	13,01
179	125	oost	268	192,00	JM	0,0160	0,35	9,13
3	125	west	268	192,00	NS	0,0108	0,12	4,64
19	125	west	268	192,00	MvdB	0,0160	0,18	4,70
145	125	oost	268	192,00	ModB	0,0160	0,12	3,13
18	125	west	268	192,00	MvdB	0,0160	0,12	3,13
255	125	oost	268	192,00	AvG	0,0108	0,18	6,96
107	125	west	268	192,00	AvG	0,0108	0,12	4,64
146	125	oost	268	192,00	ModB	0,0160	0,12	3,13
156	125	oost	268	192,00	ModB	0,0160	0,12	3,13
127	125	west	268	192,00	JodB	0,0108	0,12	4,64
189	125	oost	268	192,00	HM	0,0077	0,12	6,50
263	125	oost	268	192,00	JvdB	0,0108	0,12	4,64
82	125	west	268	192,00	MH	0,0077	0,24	13,01
77	125	west	268	192,00	MH	0,0077	0,29	15,72
20	125	west	268	192,00	MvdB	0,0160	0,24	6,26
170	125	oost	268	192,00	JM	0,0160	0,24	6,26
42	125	west	268	192,00	JM	0,0160	0,12	3,13
9	218	west	268	285,00	NS	0,0108	0,12	5,73
178	218	oost	268	285,00	JM	0,0160	0,24	7,73
163	218	oost	268	285,00	ModB	0,0160	0,12	3,87
27	218	west	268	285,00	MvdB	0,0160	0,24	7,73
81	218	west	268	285,00	MH	0,0077	0,24	16,06
41	218	west	268	285,00	JM	0,0160	0,12	3,87
50	218	west	268	285,00	HM	0,0077	0,12	8,03
1	218	west	268	285,00	NS	0,0108	0,12	5,73
262	218	oost	268	285,00	JvdB	0,0108	0,18	8,59

Rit nummer	Tunnel Llamp	Buis	Buiten Lfry	Tunnel Ltwee	Waarnemer Naam	C _{lab}	C _{tunnel}	Veldfact f
113	218	west	268	285,00	AvG	0,0108	0,12	5,73
167	218	oost	268	285,00	JM	0,0160	0,12	3,87
51	218	west	268	285,00	MH	0,0077	0,12	8,03
267	218	oost	268	285,00	JvdB	0,0108	0,23	10,98
233	218	oost	268	285,00	AS	0,0108	0,12	5,73
214	218	oost	268	285,00	HM	0,0077	0,12	8,03
32	218	west	268	285,00	JM	0,0160	0,12	3,87
224	218	oost	268	285,00	AS	0,0108	0,24	11,45
112	218	west	268	285,00	AvG	0,0108	0,12	5,73
135	218	oost	268	285,00	NS	0,0108	0,12	5,73
106	218	west	268	285,00	AvG	0,0108	0,12	5,73
122	218	west	268	285,00	JodB	0,0108	0,12	5,73
8	218	west	268	285,00	ns	0,0108	0,12	5,73
177	218	oost	268	285,00	JM	0,0160	0,12	3,87
16	218	west	268	285,00	MvdB	0,0160	0,35	11,27
17	218	west	268	285,00	MvdB	0,0160	0,12	3,87
144	218	oost	268	285,00	ModB	0,0160	0,12	3,87
126	218	west	268	285,00	JodB	0,0108	0,12	5,73
136	218	oost	268	285,00	NS	0,0108	0,12	5,73
7	218	west	268	285,00	ns	0,0108	0,12	5,73
142	218	oost	268	285,00	NS	0,0108	0,12	5,73
219	218	oost	268	285,00	HM	0,0077	0,12	8,03
76	218	west	268	285,00	MH	0,0077	0,12	8,03
154	218	oost	268	285,00	ModB	0,0160	0,12	3,87
187	218	oost	268	285,00	HM	0,0077	0,12	8,03
40	218	west	268	285,00	JM	0,0160	0,12	3,87
153	218	oost	268	285,00	ModB	0,0160	0,12	3,87
31	218	west	268	285,00	JM	0,0160	0,12	3,87
143	218	oost	268	285,00	ModB	0,0160	0,12	3,87
168	218	oost	268	285,00	JM	0,0160	0,12	3,87
94	23	west	416	127,00	AS	0,0108	0,24	5,20
248	23	oost	416	127,00	AvG	0,0108	0,12	2,60
92	23	west	416	127,00	AS	0,0108	0,76	16,46
93	23	west	416	127,00	AS	0,0108	0,24	5,20
247	23	oost	416	127,00	AvG	0,0108	0,23	4,98
250	23	oost	416	127,00	AvG	0,0108	0,23	4,98
95	23	west	416	127,00	AS	0,0108	0,35	7,58
251	23	oost	416	127,00	AvG	0,0108	0,23	4,98
249	23	oost	416	127,00	AvG	0,0108	0,12	2,60
101	71	west	416	175,00	AS	0,0108	0,12	3,29
246	71	oost	416	175,00	AvG	0,0108	0,12	3,29
90	71	west	416	175,00	AS	0,0108	0,18	4,94
245	71	oost	416	175,00	AvG	0,0108	0,18	4,94
91	71	west	416	175,00	AS	0,0108	0,18	4,94
100	71	west	416	175,00	AS	0,0108	0,12	3,29
89	125	west	416	229,00	AS	0,0108	0,12	3,94
243	125	oost	416	229,00	AvG	0,0108	0,18	5,92
244	125	oost	416	229,00	AvG	0,0108	0,12	3,94
88	125	west	416	229,00	AS	0,0108	0,24	7,89
98	125	west	416	229,00	AS	0,0108	0,24	7,89
99	125	west	416	229,00	AS	0,0108	0,12	3,94
254	125	oost	416	229,00	AvG	0,0108	0,18	5,92
242	218	oost	416	322,00	AvG	0,0108	0,12	4,85
87	218	west	416	322,00	AS	0,0108	0,12	4,85

Rit nummer	Tunnel L _{lamp}	Buis	Buiten L _{fry}	Tunnel L _{twee}	Waarnemer Naam	C _{lab}	C _{tunnel}	Veldfact f
96	218	west	416	322,00	AS	0,0108	0,06	2,42
86	218	west	416	322,00	AS	0,0108	0,12	4,85
97	218	west	416	322,00	AS	0,0108	0,12	4,85
252	218	oost	416	322,00	AvG	0,0108	0,12	4,85
253	218	oost	416	322,00	AvG	0,0108	0,09	3,64