

VERLICHTING VOOR WEGVERKEER

Hoofdstuk A.4. (VK.WS 2.4)

Cursus weg- en straatverlichting 1982

Stichting Postakademiale Vorming Verkeerskunde

R-82-16

Dr.ir. D.A. Schreuder

Leidschendam, 1982

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

A.4. VERLICHTING VOOR WEGVERKEER

A.4.1. Inleiding

Een auto kan alleen maar worden bestuurd als de bestuurder de weg en wat daar zoal bijhoort, kan zien. Iets dergelijks geldt uiteraard ook voor de andere wijzen van deelnemen aan het wegverkeer. Deelnemen aan het verkeer is niet een uitsluitend visuele aangelegenheid, maar men kan zonder meer aannemen dat, tenminste bij de huidige stand van de techniek, er van wegverkeer geen sprake kan zijn wanneer er geen visuele informatie beschikbaar is.

Overdag is er veel visuele informatie beschikbaar. Overigens is het niet steeds zeker of die informatie van de goede "soort" is, en of die informatie steeds in voldoende mate aanwezig is. We kunnen echter constateren dat 's nachts (bij duisternis) dergelijke visuele informatie veelal afwezig is, of hoogstens in zeer geringe mate beschikbaar is. Wanneer er niets aan wordt gedaan, is wegverkeer bij duisternis vrijwel onmogelijk.

Dit is uiteraard geen nieuws. Reeds millenia lang wordt kunstlicht toegepast om bij de afwezigheid van (natuurlijk) daglicht toch een zekere graad van verkeer mogelijk te maken. Verkeersverlichting is dus een noodzaak voor verkeer; het is dus niet juist om verkeersverlichting alleen als een verkeersveiligheidsmaatregel te beschouwen. Aan de andere kant is het natuurlijk wel te verwachten dat de te bereiken graad van verkeersveiligheid op een of andere manier zal afhangen van de verlichting. Immers, het is genoegzaam bekend dat prestaties, en dan met name prestaties met een belangrijke of overheersende visuele component, sterk worden beïnvloed door de graad van verlichting. En de verkeersveiligheid hangt samen met het leveren van visuele prestaties in het verkeer. Wanneer deze twee relaties zo algemeen worden gesteld als hier

N.B. De tekst van dit hoofdstuk is voor een groot deel ontleend aan de door Prof. J.B. de Boer voor de vorige cursus weg- en straatverlichting opgestelde syllabus.

is gesteld, zullen geen serieuze tegenwerpingen worden vernomen. Problemen zullen echter wel ontstaan wanneer deze relaties worden gepreciseerd, en met name wanneer men probeert ze te kwantificeren.

Zoals reeds is vermeld, kan een auto alleen worden bestuurd wanneer de bestuurder de weg en wat er zoal bijhoort kan zien. Er wordt veel aandacht besteed aan het duidelijk zichtbaar maken van dit alles op basis van het voor de hand liggende idee dat het wegverkeer veiliger zal zijn naarmate de daarvoor in aanmerking komende dingen beter zichtbaar zijn.

De "daarvoor in aanmerking komende dingen" worden voorlopig globaal samengevat in het woord "object". Dit betekent dus in dit verband meer dan alleen maar voorwerp. Men kan daarbij aan het volgende denken. De bestuurder ziet een groot aantal details in zijn gezichtsveld - en vooral ook veranderingen van dit gezichtsveld en van details daarin - als gevolg van zijn eigen beweging ten opzichte van de weg en van de bewegingen van andere weggebruikers. De visuele taak van de bestuurder bestaat nu uit de waarneming in dit bewegende gezichtsveld van relevante details die hem betrouwbare informatie kunnen verschaffen over:

- a. het verloop van het deel van de weg dat hij in de komende 5 à 10 seconden verwacht af te leggen;
- b. zijn eigen positie en beweging ten opzichte van dit weggedeelte;
- c. de positie en beweging van voetgangers;
- d. de positie en de beweging van andere weggebruikers op of bij dit weggedeelte;
- e. de aanwezigheid en plaats van eventuele obstakels op dit weggedeelte;
- f. het feit of dit weggedeelte inderdaad volledig vrij en geschikt is om te berijden, indien geen obstakels worden waargenomen.

Men zou alle tot nu toe bedoelde details ter verkrijging van visuele informatie de "passieve" visuele signalen kunnen noemen ter onderscheiding van de "actieve" visuele signalen die door vast opgestelde verkeerslichten en door andere weggebruikers met hun auto-signaallichten worden gegeven. De waarneming en interpretatie van deze lichtsignalen behoren ook tot de visuele taak van de bestuurder. Dit heeft te maken met de functionele aspecten van de verlichting. Elders wordt hier nader op ingegaan.

Een bijzonderheid van de visuele taak van de bestuurder is dat deze

taak continu moet worden verricht en niet kan worden onderbroken door, zoals bij vrijwel andere activiteiten geoorloofd, de blik min of meer onopmerkzaam te laten dwalen. Bovendien moet de bestuurder - eveneens continu - een deel van zijn aandacht besteden aan het directe besturen van zijn voertuig, zodat hij niet, zoals bijvoorbeeld bij een laboratoriumexperiment, alle aandacht kan concentreren op het waarnemen en interpreteren van de hem getoonde details. Op de weg zal zijn visuele prestatie daarom altijd onder het in het laboratorium gevonden optimum blijven.

Uit de veelheid van bewegende details, zowel in het centrale als in het perifere deel van zijn gezichtsveld, moet de bestuurder nu diegene selecteren die hem de bovenvermelde informatie kunnen verschaffen. Zijn ervaring als chauffeur en het automatisme waarmee hij zijn bestuurdershandelingen uitvoert, kunnen de juistheid van deze selectie bevorderen en er toe bijdragen dat een groot deel van de totale aandacht beschikbaar blijft voor de visuele waarneming en de interpretatie daarvan. Het hangt mede van de kwaliteit van de verlichting af in hoeverre de relevante details opvallend en goed herkenbaar zijn, met andere woorden hoe gemakkelijk de selectie van details die de nodige informatie kunnen geven plaatsvindt en hoe betrouwbaar de uit de waarneming verkregen informatie is.

In een ander hoofdstuk is de bouw en werking van het gezichtsorgaan beschreven. Daar is aangegeven dat de zichtbaarheid in hoge mate afhangt van het lichtniveau: meer licht betekent als regel beter zichtbaar. Er is geen reden om aan te nemen dat dit voor de objecten die voor het wegverkeer van belang zijn, niet zou gelden. Maar een eenvoudig (monotoon stijgend, of zelfs een lineair) verband is niet te verwachten: vrijwel alle visuele functies vertonen voor hoge lichtniveaus een afvlakking, soms naar een asymptoot toe. En soms neemt bij toenemend lichtniveau de visuele functie weer af na een optimum (maximum) gepasseerd te zijn. Van groot belang is vervolgens het feit dat er geen een-eenduidig verband bestaat tussen de zichtbaarheid van objecten en de kans op ongevallen. Het hangt onder meer van allerlei uitwendige omstandigheden af of een bepaald object eigenlijk wel zichtbaar moet zijn. Immers, ook onder omstandigheden waarbij de zichtbaarheid van de ogenschijnlijk van belang zijnde objecten goed is - eigenlijk niet

beter kan zijn, zoals overdag bij helder weer - gebeuren er ongelukken die in verband zijn te brengen met onvoldoende visuele informatie. Het is daarbij overigens de vraag of dat aan het verschaffen of het verwerken van de informatie ligt.

En aan de andere kant van de schaal: bij algehele duisternis is wegverkeer niet of nauwelijks mogelijk. Maar of dat ook gevaarlijk is, is natuurlijk een andere zaak. Het heeft niet veel zin om van verkeersonveiligheid te spreken zonder verkeer. Het is niet altijd mogelijk om duidelijk aan te geven welke graad van zichtbaarheid relevante objecten moeten hebben om verkeer mogelijk te maken, en welke om veilig verkeer mogelijk te maken. En tenslotte moet nog een belangrijke factor worden vermeld: het verkeer 's nachts (en dus waarschijnlijk ook de verkeersonveiligheid 's nachts) wijkt af van die van overdag, niet alleen op grond van het verschil in het lichtniveau.

In het bovenstaande nemen "objecten" een belangrijke plaats in. Zoals de gedachtengang nu is opgebouwd, is het vooral van belang dat die objecten die gezien moeten worden, ook gezien kunnen worden (en ook gezien zullen worden). Het zal duidelijk zijn, dat de vraag wat nu eigenlijk gezien moet worden, over welke objecten visuele informatie verzameld moet worden, voor een groot deel wordt bepaald door de vraag wat er met die verzamelde informatie moet worden gedaan. Dit hangt weer af van de manoeuvre die mogelijkerwijs moet worden uitgevoerd in de betreffende situatie. Men kan op deze wijze bepaalde objecten aangeven die soms wel, en soms niet gezien behoren te worden; er zijn zelfs objecten aan te wijzen die maar beter helemaal onzichtbaar moeten blijven.

In een ander hoofdstuk van deze cursus wordt, onder de titel "Functionele vereisten" nader ingegaan op deze materie. Hier zullen we ingaan op de meer fundamentele relaties tussen visuele waarneming en een paar fotometrische aspecten. Dit betreft dan datgene wat verderop is aangeduid met de "aanbod" kant. De bedoelde relaties zijn voor het eerst op systematische wijze onderzocht door De Boer en diens medewerkers. We zullen hierna in hoofdzaak de beschrijving van De Boer volgen. Dit wordt gedaan omdat daarmee de onderlinge samenhang tussen de elementen duidelijk kan worden gemaakt.

Uiteraard heeft dit ook een bezwaar: het onderzoek is reeds vrij lang

geleden uitgevoerd, en de resultaten geven dus niet in alle opzichten de huidige stand van zaken weer. Dit is in twee opzichten in speciale mate het geval

- de beschouwingen van De Boer betreffende "aanbod"-zijde; verderop zal - aan de hand van de functie die de verkeersverlichting heeft - de "vraag"-zijde in detail worden besproken.
- bij de beschouwingen is een grote plaats ingeruimd voor wat De Boer noemt "het gemak van waarnemen", dit in tegenstelling tot de "betrouwbaarheid van waarnemen". Hierover is in de laatste jaren een geheel andere opinie ontstaan, niet in de laatste plaats omdat er een veel groter "energiebewustzijn" is ontstaan. Ook hierop wordt verderop nader ingegaan.

De beschouwingwijze van De Boer begint met de constatering dat de verlichting wordt bepaald door drie verlichtingstechnische parameters, die maatgevend zijn voor de kwaliteit van de verlichting:

1. de gemiddelde luminantie van het deel van het gezichtsveld, dat als achtergrond van de waar te nemen details dient; in verkeersverlichting is het wegdek het belangrijkste deel van deze achtergrond; in het hier volgende zal daarom de gemiddelde wegdekluminantie als bepalend voor deze eerste parameter worden beschouwd.
2. de gelijkmatigheid van de wegdekluminantie; en
3. de verblinding door in het gezichtsveld aanwezige lichtbronnen.

In het volgende zal worden getracht over de genoemde drie parameters kwantitatieve informatie te geven zowel vanuit het gezichtspunt van betrouwbaarheid als van gemak van waarnemen.

A.4.2. De gemiddelde wegdekluminantie ten behoeve van de betrouwbaarheid van waarneming

Het is moeilijk om in absolute zin een criterium op te stellen voor de betrouwbaarheid van waarnemen in wegverkeer. Dit probleem zou kunnen worden opgelost indien een kritische visuele taak zou kunnen worden gedefinieerd, die moet kunnen verricht om te garanderen dat onder verkeersomstandigheden voldoende visuele informatie kan worden verkregen. Eenmaal zo'n kritische taak bekend zijnde in termen van contrast, vorm, kleur, grootte en waarnemingstijd, zouden dan op grond van beschikbare resultaten over visuele prestaties de verlichtingsparameters, zoals ge-

middelste gezichtsveldluminantie, gelijkmatigheid en verblindingsbegrenzing kunnen worden vastgesteld, die gerealiseerd moeten zijn om de kritische taak te kunnen verrichten. Dit is de verderop te bespreken "functionele aanpak". Momenteel is er echter geen zekerheid omtrent zo'n kritische taak. Derhalve neemt men meestal genoegen met het poneren van zo'n taak; daarmee op de koop toe nemend dat men binnen het "aanbod"-aspect blijft.

Als kritische taak zou bijvoorbeeld kunnen worden gekozen een object ter grootte van 20 x 20 cm, dat op 100 m afstand gedurende 0,1 s in het gezichtsveld van de waarnemer aanwezig is met een tenminste te verlangen waarschijnlijkheid van bijvoorbeeld 90% moet kunnen worden gezien wanneer het luminantiecontrast 1/3 bedraagt (luminantieverschil van object en diens achtergrond is 1/3 van de achtergrondluminantie). Uit een extrapolatie van Figuur A.4.1. blijkt een gemiddelde waarnemer onder de omstandigheden die bij het registreren van deze waarnemingsresultaten golden, dat wil zeggen volledige concentratie op de visuele taak die in een homogeen, verblindingsvrij en volledig stationair gezichtsveld werd gepresenteerd, een gezichtsveldluminantie van ruim 0,1 cd/m² nodig te hebben om de beschreven kritische taak met 50% kans te kunnen zien. De gemiddelde waarnemer uit de leeftijdsgroep van 55 tot 64 jaar heeft ongeveer het dubbele niveau nodig voor deze visuele taak. In verkeer is meer dan 50% waarnemingskans nodig voor de betrouwbare informatie-inwinning. Figuur A.4.2. toont voor waarnemers uit een beperkte leeftijdsgroep de waarnemingskans als functie van de achtergrondluminantie. Uit de figuur blijkt dat om bijvoorbeeld een waarnemingskans van 90% te kunnen verzekeren het luminantieniveau ongeveer een factor 2 groter moet zijn dan voor 50% waarnemingskans.

De belangrijkste conclusie die uit het in de Figuren A.4.1. en A.4.2. gegeven onderzoekingsmateriaal kan worden getrokken, is dat in het gebied van helderheid dat zich bij wegverlichting voordoet de visuele prestatie sterk toeneemt met toenemende omgevingshelderheid, een conclusie die wordt bevestigd door proefnemingen die zowel in een open-lucht-laboratorium als in normaal verlichte straten werden gedaan.

Zo zijn er waarnemingen gedaan vanuit een met 50 km/h rijdende auto aan objecten van 20 x 20 cm² met 9% diffuse reflectie die op voor waarnemers onbekende plaatsen in de te volgen route waren gezet. De gemiddelde luminantie \bar{L} van het wegdek werd gemeten, evenals de luminantie L_0 van

de objecten en voor elk object dat van het deel van het wegdek L_r waartegen het object werd gezien. Steeds was $3 < L_r/L_o < 7,5$. De proeven werden gedaan met 4 waarnemers, leeftijd 24 tot 40 jaar, die tot taak hadden het moment aan te geven, waarop een object zichtbaar werd. Daarbij kon de afstand waarop een object werd gezien, worden geregistreerd. Het resultaat is weergegeven in Figuur A.4.3.

De open cirkels in de figuur geven de gemiddelde afstand l van de 4 waarnemers in één verlichte straat bij de luminantie \bar{L} van de betrokken straat. De figuur bevat tevens een kromme, die uit waarnemingen (bij gloeilampenlicht) werd berekend voor $L_r/L_o = 5$ en een waarnemingstijd t van 0,1 s voor waarnemers tussen 15 en 64 jaar.

A.4.3. De gemiddelde wegdekluminantie ten behoeve van gemak van waarneming

Het luminantieniveau heeft uiteraard ook invloed op het gemak van zien, omdat een zelfde visuele prestatie bij hogere gemiddelde luminantie van het gezichtsveld met minder inspanning kan worden verricht. Uit de literatuur zijn twee soorten onderzoeken bekend die informatie geven over het luminantieniveau dat ten behoeve van gemak van zien bij verkeersverlichting wenselijk is. De resultaten van beide soorten van onderzoek berusten op registratie van subjectieve beoordelingen. In de eerste plaats kan men waarnemers als "normale weggebruiker" een oordeel vragen over bestaande wegverlichtingsinstallaties.

Als voorbeeld dient een proef waarbij 16 waarnemers die hun oordeel over de helderheid uitdrukten in de cijfers van de volgende schaal: 1 slecht, 3 onvoldoende, 5 matig, 7 goed en 9 uitstekend.

Figuur A.4.4. geeft het gemiddelde oordeel over de helderheid van het wegdek voor elke installatie uitgezet tegen de in de betrokken installatie gemeten gemiddelde wegdekluminantie \bar{L} . Van de in totaal 70, waarvan 46 bij droog weer beoordeelde installaties waren er 28 vanuit een verkeersoogpunt niet belangrijke wegen. De getrokken lijn geeft de beste benadering van het verband subjectief oordeel - luminantie en toont dat bij $1,5 \text{ cd/m}^2$ (met een betrouwbaarheid van 95% tussen $1,3$ en $1,8 \text{ cd/m}^2$) het oordeel "goed" wordt uitgesproken.

Dergelijke proeven zijn tussen 1960 en 1975 op vele plaatsen uitgevoerd. Ofschoon methodologisch nogal wat is aan te merken op de opzet, en of-

schoon de spreiding waarmee de waarneming behept is, nogal groot is, hebben ze toch veel inzicht gegeven over het gewenste helderheidsniveau. Een tweede manier om het oordeel van weggebruikers over het lichtniveau te leren kennen is het registreren van het gedrag van de voertuigbestuurder ten aanzien van het gebruik van autolichten in de schemering en 's nachts op verlichte wegen. Deze proeven hebben indertijd een belangrijke rol gespeeld bij het bepalen van het meest gewenste helderheidsniveau; gezien de intussen zeer veranderde omstandigheden zijn ze vooral historisch van belang.

A.4.4. De gelijkmatigheid van het patroon van de wegdekluminantie ten behoeve van betrouwbaarheid van waarneming

De overgrote meerderheid van objecten op de weg wordt bij verlichting door vast opgestelde verlichtingsinstallaties in silhouet gezien, dat wil zeggen donker tegen een lichte achtergrond. De objecten op de donkerste plaatsen van het wegdek vertonen daarom gewoonlijk het kleinste contrast en zijn daarom meestal slecht, of zelfs helemaal niet, zichtbaar.

Kwantitatieve richtlijnen voor gelijkmatigheid ten behoeve van de betrouwbaarheid van waarneming kunnen daarom worden gebaseerd op een minimum vereiste zichtbaarheid van objecten tegen de donkerste wegdekdelen. Vanuit zo'n eis kan experimenteel worden vastgesteld hoe groot de luminantie van het donkerste wegdekdeel in verhouding tot de gemiddelde wegdekluminantie moet zijn.

Reeds in de jaren dertig zijn hiervoor voorstellen gedaan. Op basis van de verdeling van de verlichtingssterkten en de luminanties is een verdeling van contrasten van objecten te bepalen, en derhalve een verdeling van de zichtbaarheid van die objecten. Wanneer de reflectie van objecten overeenkomt met de gangbare kleding, dan noemt men de zichtbaarheid de "revealing power" van de installatie. Deze benaderingswijze heeft niet veel opgeleverd dat voor de praktijk bruikbaar was, omdat ook hier weer een punt ontbreekt: wat zijn nu eigenlijk de visueel kritische objecten? En wanneer men hiervoor op arbitraire wijze een voorwerp kiest (bijv. $20 \times 20 \text{ cm}^2$) dan kan de verdere analyse ook wat wel eenvoudiger blijven.

Soms zoekt men aansluiting aan de door Schreuder uitgevoerde proeven

ten behoefte van tunnelverlichting. Figuur A.4.5. toont een deel van de resultaten. In deze figuur is L_1 de gemiddelde luminantie van het middelste deel van het gezichtsveld en L_2 die van een donkere vlek hierin ter grootte van 1° . De figuur geeft de kleinste waarde van L_2/L_1 als functie van L_1 aan, nodig om het eerder genoemde kritische object in de donkere vlek te kunnen zien, indien dit object het contrast C ten opzichte van L_2 vertoont. Volgens Figuur A.4.5. moet bij de wegverlichting gebruikelijke luminanties van $1 \text{ à } 2 \text{ cd/m}^2$ $L_2/L_1 > 0,2$ zijn, indien het kritische object een contrast van $1/3$ vertoont. Gezien echter de sterke invloed van C op L_2/L_1 en het feit dat contrasten kleiner dan $1/3$ kunnen voorkomen, wordt een minimum waarde voor L_2/L_1 van $0,4$ als meer verantwoord beschouwd.

A.4.5. De gelijkmatigheid van de wegdekluminantie ten behoeve van gemak van waarneming

Een weg die voldoet aan het ten behoeve van betrouwbaarheid van waarneming in par. A.4.4. vermelde criterium van $L_2/L_1 > 0,4$ kan toch bij de gemiddelde weggebruiker de indruk "vlekkerig" geven. Deze subjectieve indruk is niet of moeilijk te correleren met visuele prestatie, maar kan in ongunstige gevallen een gevoel van ontevredenheid over de voorhanden verlichtingskwaliteit oproepen en valt als zodanig in het kader "gemak van waarneming".

Door De Boer en Knudsen zijn in een simulator proeven onder semi-dynamische waarnemingsomstandigheden gedaan. Aan 43 waarnemers werd gevraagd een oordeel te geven over een groot aantal in de simulator getoonde ongelijkmatigheidspatronen. Deze beoordelingen bleken goed te kunnen worden gecorreleerd met de "relatieve grootste luminantiegradient" S_{\max} , gedefinieerd als:

$$S_{\max} = \frac{\Delta L_{\max}}{\bar{L}} \cdot 100$$

waarbij ΔL_{\max} het grootste luminantieverschil voorstelt dat over een afstand 1 m dwars of 3 m langs over de weg voorkomt.

Het oordeel over de verlichtingsinstallatie bleek zowel van S_{\max} als van \bar{L} af te hangen. Deze onderlinge samenhang is van belang voor de

economie van de installatie. Immers goede gelijkmatigheid vraagt òfwel een kleine verhouding lantaarnhoogte tot lantaarnafstand (dus groter aantal lichtpunten per strekkende meter weglengte) òf lantaarns met zorgvuldig uitgevoerde lichtverdeling waarvoor relatief kostbare optiek nodig is. De toepassing van en vooral de controle op de parameter S_{\max} als maat voor de toelaatbare ongelijkmatigheid is in de praktijk niet eenvoudig.

De Grijs heeft (voor zig-zag- en portaalopstellingen) een behoorlijke correlatie gevonden tussen de subjectieve beoordeling volgens bovengenoemde schaal van een aantal verlichte straten en wegen met de verhouding L_{\max}/L_{\min} gemeten langs een lijn parallel aan de as van de weg (zie Figuur A.4.6.). Elke cirkel en driehoek stelt in deze figuur het subjectieve oordeel van ongeveer 20 waarnemers voor in één weg of straat. Voor het oordeel "goed" (7) moet $L_{\min}/L_{\max} > 0,7$ zijn. Dit criterium moet als additioneel aan het in par. A.4.4. gegevene worden beschouwd om zowel ten behoeve van betrouwbaarheid als gemak van waarneming goede gelijkmatigheid te garanderen.

Ook wat betreft de ongelijkmatigheid zijn veel dergelijke beoordelingsproeven uitgevoerd, die, hoewel meestal verschillen opleverend, toch in grote lijnen het bovenstaande hebben bevestigd.

A.4.6. Verblindingsbegrenzing ten behoeve van betrouwbaarheid van waarneming (begrenzing van disability glare)

De aanwezigheid van verblindende lichtbronnen in het gezichtsveld heeft een verhoging van de drempelwaarde van het waarneembare contrast tot gevolg. Dit effect wordt disability glare of ook fysiologische verblindings genoemd. Verblindingsbegrenzing in verkeersverlichting ten behoeve van betrouwbaarheid van waarneming bestaat in het voorschrijven van een maximale waarde van de vergroting van deze contrastdrempel die kan worden berekend uit het bekende verband tussen contrastgevoeligheid en gemiddelde gezichtsveldluminantie en de denkbeeldige sluijterhelderheid

L_{seq} veroorzaakt door de verblindende lichtbronnen volgens:

$$L_{\text{seq}} = k \sum_{i=1}^{i=n} \frac{E_i}{\theta_i^t}$$

waarin:

E_i = verlichtingssterkte in lx op het oog door de i^{de} verblindende lichtbron

θ_i = hoek tussen kijkrichting en richting waarin de i^{de} lichtbron wordt gezien (in graden)

k en t zijn constanten, ongeveer ter grootte van 10 en 2 respectievelijk.

Het resultaat van deze berekening kan worden weergegeven met Figuur A.4.7. (volgens Blackwell en Adrian).

De waarde van de toelaatbaar geachte toeneming van de contrastdrempel hangt af van het belang van de te verlichten weg vanuit een verkeers-oogpunt. Voor belangrijke verkeerswegen wordt 7% nog toelaatbaar geacht.

A.4.7. Verblindingsbegrenzing ten behoeve van gemak van waarneming (begrenzing van discomfort glare)

Deze begrenzing berust wederom op resultaten van registraties van subjectieve beoordelingen van verblindingsituaties, waarbij een groot aantal waarnemers gevraagd wordt hun oordeel over de graad van verblindingsituaties, bijvoorbeeld uit te drukken met getallen of daar tussen liggende waarden uit de schaal:

1 ondragelijk, 3 storend, 5 juist toelaatbaar, 7 bevredigend, 9 onopvallend.

Deze soort van beoordelingen zijn uitvoerig gedaan in simulatoren in het laboratorium. Simulatoren zijn voor dit soort onderzoek noodzakelijk om het vrij groot aantal parameters dat de graad van discomfort glare beïnvloedt in redelijke tijd en met voldoende nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid te kunnen variëren. Daarbij moet vanzelfsprekend worden bedacht dat dan in de eerste plaats informatie over de onderlinge samenhang van de genoemde parameters wordt verkregen die in absolute zin toetsing behoeft onder werkelijke omstandigheden van wegverkeer.

Uit dergelijke simulator-onderzoekingen blijkt dat de graad van discomfort glare door verblindingsituaties bepaald wordt door:

- de verlichtingssterkte door de verblindende lantaarns op het oog van de waarnemer veroorzaakt,
- de gemiddelde luminantie van het gezichtsveld,

- de hoek tussen kijkrichting en lantaarn i ,
- de schijnbare grootte van de lantaarn, bepaald door de ruimtehoek waaronder de waarnemer de lantaarn ziet,
- het aantal lantaarns in het gezichtsveld van de waarnemer,
- de kleur van het licht,
- de verdeling van de luminantie over de lantaarn,
- de vorm van de lantaarn.

De graad van discomfort glare (of glare mark) wordt in Nederland genoemd het verblindingsbegrenzingsgetal, G . De volledige formule van G luidt:

$$G = 13,84 - 3,31 \log I_{80} + 1,3 (\log I_{80}/I_{88})^{\frac{1}{2}} - 0,08 \log (I_{80}/I_{88}) + 1,29 \log F + C + 0,97 \log \bar{L} + 4,41 \log h' - 1,46 \log p.$$

Hierin is:

I_{80} en I_{88} de door de armaturen onder een hoek van 80° , resp. 88° , met de verticaal (naar beneden) uitgestraalde lichtsterkte (cd);

h' het verschil tussen ooghoogte en ophanghoogte (m);

F het schijnbaar lichtgevend oppervlak van de armaturen (m^2);

p het aantal zichtbare lichtbronnen per km weglengte;

C een factor die samenhangt met de gebruikte lichtkleur.

Bij toepassing van de in deze en de vorige paragraaf beschreven methoden voor de kwantitatieve beschrijving van de verblindingsbegrenzing blijkt dat gewoonlijk bij een waarde van de wegdekluminantie van 2 cd/m^2 en hoger, de verblindingsgraad $G = 7$ tot stringentere verblindingsbegrenzing leidt (in termen van toelaatbare lichtsterkte van de lantaarns onder kleine hoeken met de horizontaal) dan nodig indien volgens de in de vorige paragraaf beschreven methode een verhoging van de contrastdrempel van 7% wordt toegestaan. Het omgekeerde kan het geval zijn bij lagere wegdekluminanties.

A.4.8. Optische geleiding

In de vorige paragrafen zijn de drie kwaliteitscriteria (lichtniveau, gelijkmatigheid en verblindingsbegrenzing) behandeld die in fotometrische grootheden kunnen worden uitgedrukt. Een verdere kwaliteit van een verlichtingsinstallatie voor wegverkeer is de mate waarin de overzichtelijkheid van de verkeersweg en met name van het verloop ervan,

vooral op de niet continue gedeelten (bochten, kruispunten, splitsingen, verkeersknooppunten), wordt ondersteund door de verlichtingsinstallatie. Voor dit kwaliteitsaspect wordt de term optische geleiding gebezigd. Momenteel zijn er geen methoden beschikbaar waarmee de optische geleiding kan worden gekwantificeerd. Maar ondanks dat wordt bij de functionele benadering veel nadruk gelegd op de noodzaak om een goede optische geleiding te waarborgen. Dit in tegenstelling tot de traditionele benadering waar de geleiding meestal van ondergeschikt belang wordt beschouwd.

Optische geleiding is het geheel van maatregelen nodig om de weggebruiker een eenduidige en onmiddellijk herkenbare indruk van het verloop van de weg en van de door hem bereden rijstrook te geven over een afstand die is aangepast aan de veilige snelheid waarmee op het betrokken weggedeelte kan worden gereden. In de meest eenvoudige vorm, bijvoorbeeld op een landweggetje, wordt optische geleiding alleen verkregen doordat het al of niet verharde wegdek zich in het perspectief beeld van de omgeving, zoals de weggebruiker dit ziet, door helderheid en kleur onderscheidt van de onmiddellijke omgeving. Op de voor grote verkeersdichtheid en -snelheid gebouwde wegen zijn maatregelen als zorgvuldig uitgevoerde belijning van de weg, eventueel rijen van bermreflectoren nodig om een duidelijke optische geleiding te verkrijgen. Het effect van deze directe geleidingsmiddelen wordt in dit opzicht verder ondersteund door geleiderailconstructies, hagen, etc.

Overdag en op wegen zonder vaste verlichting zijn het uitsluitend deze voorzieningen waardoor optische geleiding wordt verkregen. Ook bij verlichting vanuit hoge masten kan, door het betrekkelijk geringe aantal lichtpunten per eenheid van weglengte en ook omdat - in het bijzonder op verkeersknooppunten - de plaatsing van de hoge masten geen verband houdt met het door de weggebruiker waargenomen verloop van de rijstroken, meestal geen sprake zijn van ondersteuning van de door de weg, de belijning en het wegmeubilair gegeven optische geleiding. In alle overige verlichtingsinstallaties dient echter gestreefd te worden naar een zo groot mogelijke harmonie tussen de belijning van de weg en de "lichtbelijning". Hieronder dan te verstaan: harmonie tussen de geprononceerde lijnen van de weg in het perspectief beeld, dat de weggebruiker ziet en de denkbeeldige lijnen die in dit beeld door de rijen lichtpunten gaan. Onregelmatigheden in deze lichtpuntrijs die

niet corresponderen met het verloop van rijbanen dienen te worden vermeden.

Op kruispunten en splitsingen kan de optische geleiding nog verder worden gestoord door onjuiste plaatsing van de lichtpunten, in het bijzonder bij installaties waar in verband met het secundaire karakter van de te verlichten weg een betrekkelijk laag lichtniveau met geringe gelijkmatigheid is gerealiseerd.

Tenslotte kan de kleur van het licht nog als middel voor optische geleiding worden genoemd. Dit wordt als zodanig in sommige steden toegepast waar verkeersaders voor doorgaand verkeer, bijvoorbeeld met lage-druk-natriumlampen zijn verlicht, terwijl andere lichtbronnen elders worden gebruikt.

FIGUREN

Figuur A.4.1. Drempelwaarde van de achtergrondluminantie L_S (cd/m^2) nodig om in 0,1 sec. de opening in een Landoltring te kunnen zien als functie van de grootte D van deze opening in boogminuten als gezien door de waarnemer en van het contrast C van de ring met de achtergrond.

$$C = (L_S - L_R) / L_S$$

De parameter a is de leeftijd van de waarnemers.

Figuur A.4.2. Achtergrondluminantie in cd/m^2 nodig om een Landoltring met $C = 0,2$ en $D = 2'$ in 0,1 sec. te kunnen doen waarnemen door het langs de abscis uitgezette percentage waarnemers uit één leeftijdsgroep.

Figuur A.4.3. Dynamische zichtbaarheidsproeven:

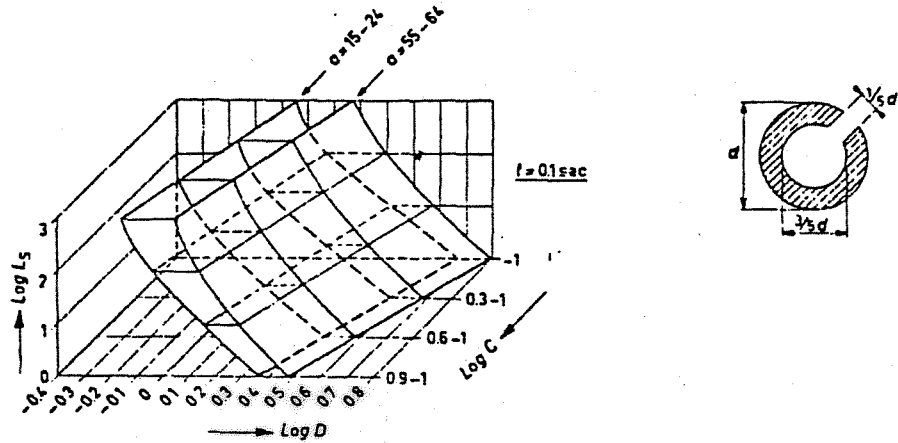
1. gemeten in verlichte straten;
2. berekend uit laboratoriumproeven.

Figuur A.4.4. Subjectieve waardering van de gemiddelde wegdekluminantie \bar{L} .

Figuur A.4.5. Minimum van L_2/L_1 om een object met contrast C in een donkere vlek met luminantie L_2 te kunnen zien in een omgeving met luminantie L_1 .

Figuur A.4.6. Appraisal of non-uniformity as a function of L_{\min}/L_{\max} , measured along a longitudinal line at 1/4 of the total width W of the road. The observer was on this line.

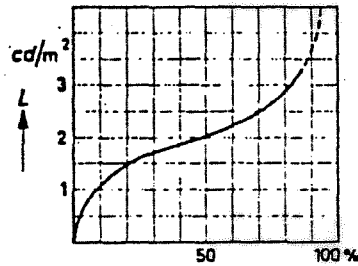
Figuur A.4.7. Het verband tussen de equivalente sluiertluminantie en de gemiddelde wegdekluminantie. Parameter is de relatieve toeneming van de contrastdrempel. De waarden gelden voor een object dat een hoek van 8 boogminuten beslaat. Gebaseerd op gegevens van Blackwell (1946). Volgens Adrian (1969).



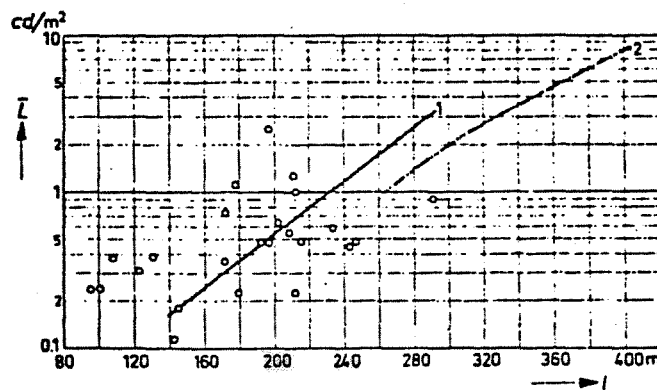
Figuur A.4.1. Drempelwaarde van de achtergrondluminantie L_S (cd/m^2) nodig om in 0,1 sec. de opening in een Landoltring te kunnen zien als functie van de grootte D van deze opening in boogminuten als gezien door de waarnemer en van het contrast C van de ring met de achtergrond.

$$C = (L_S - L_R) / L_S$$

De parameter a is de leeftijd van de waarnemers.

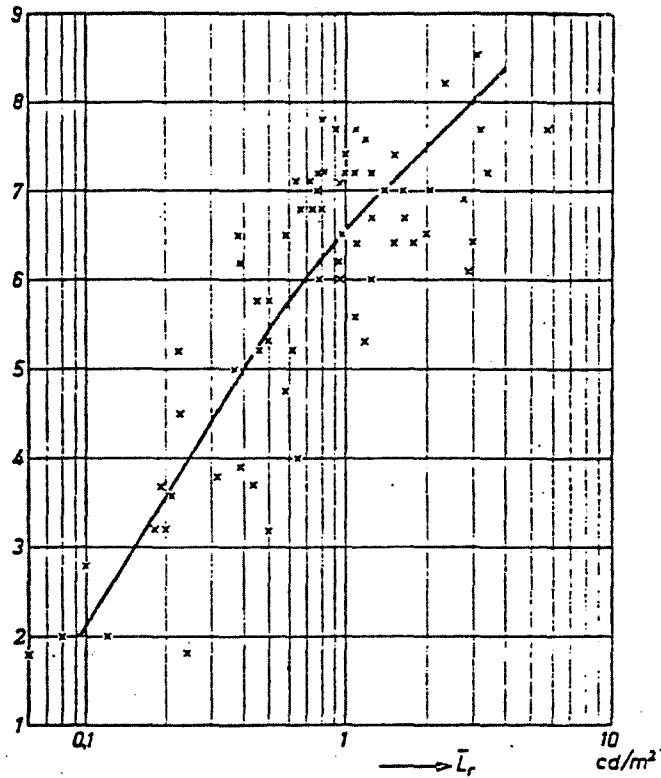


Figuur A.4.2. Achtergrondluminantie in cd/m^2 nodig om een Landoltring met $C = 0,2$ en $D = 2'$ in 0,1 sec. te kunnen doen waarnemen door het langs de abscis uitgezette percentage waarnemers uit één leeftijdsgroep.

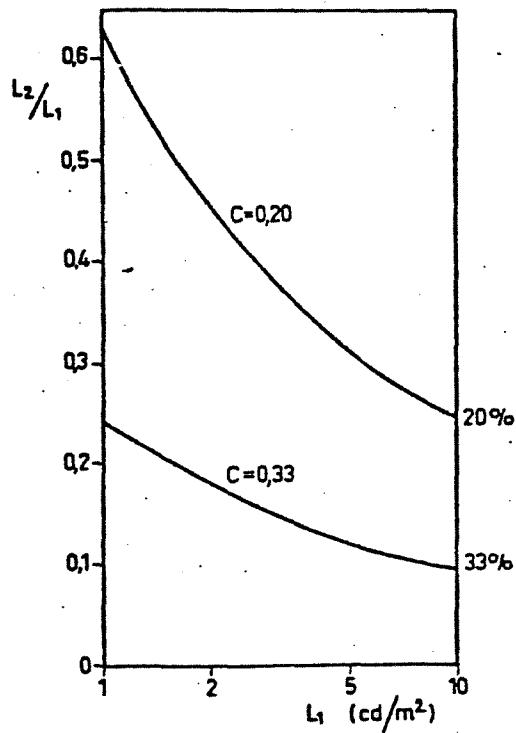


Figuur A.4.3. Dynamische zichtbaarheidsproeven:

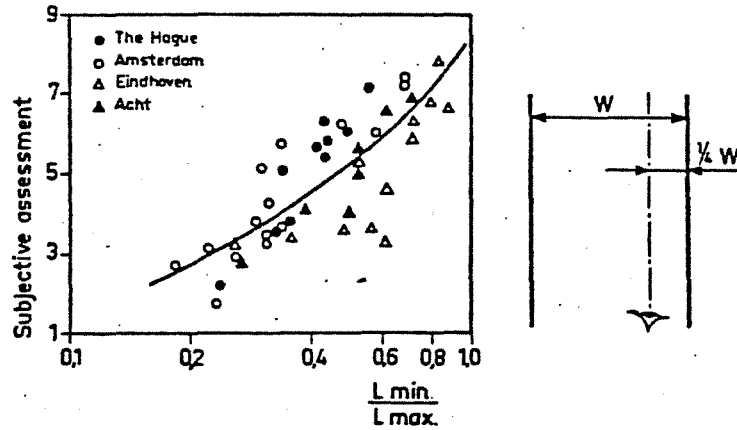
1. gemeten in verlichte straten;
2. berekend uit laboratoriumproeven.



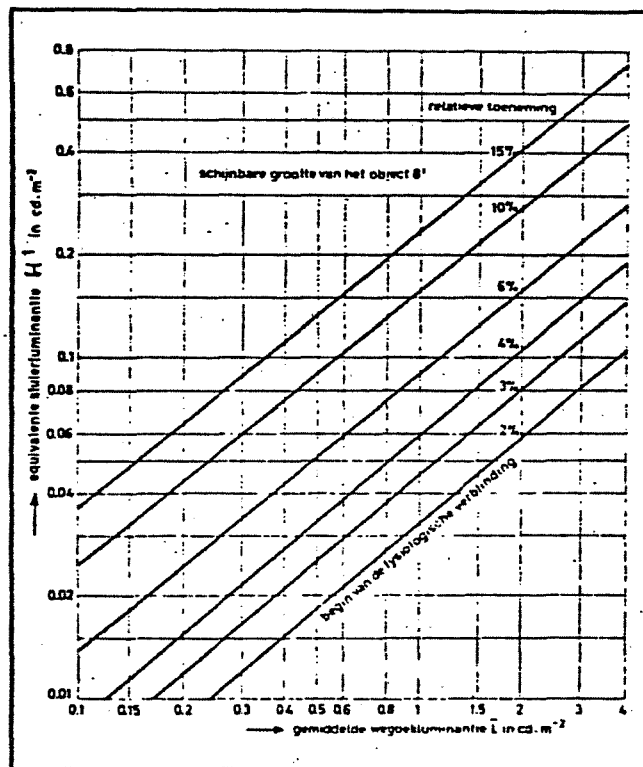
Figuur A.4.4. Subjectieve waardering van de gemiddelde wegdek-luminantie \bar{L} .



Figuur A.4.5. Minimum van L_2/L_1 om een object met contrast C in een donkere vlek met luminantie L_2 te kunnen zien in een omgeving met luminantie L_1 .



Figuur A.4.6. Appraisal of non-uniformity as a function of L_{min}/L_{max} , measured along a longitudinal line at $1/4$ of the total width W of the road. The observer was on this line.



Figuur A.4.7. Het verband tussen de equivalente sluiertluminantie en de gemiddelde wegdekkluminantie. Parameter is de relatieve toeneming van de contrastdrempel. De waarden gelden voor een object dat een hoek van 8 boogminuten beslaat. Gebaseerd op gegevens van Blackwell (1946). Volgens Adrian (1969).

LITERATUURLIJST BIJ A.4.

Boer, J.B. de (ed.). Public lighting. Eindhoven (1967) Centrex.
Hoofdstuk 1 en 2; en de daarin genoemde literatuurverwijzingen.

CIE. (TC-4.6). Glare and uniformity in road lighting installations.
Publication. Paris (1976) Commission Internationale de l'Eclairage
CIE.

CIE. (TC-4.6). Recommendations for the lighting of roads for motorised
traffic. Publication 12/2. Paris (1977) Commission Internationale de
l'Eclairage CIE.

Grijs, J.C. de. Visuele beoordeling verlichtingscriteria. Electrotech-
niek 50 (1972) nr. 12, 14, 15 en 17.

NSvV. Richtlijnen en aanbevelingen voor openbare verlichting. Electro-
techniek 52 (1974) nr. 15 en 53 (1975) nr. 2 en 5.

Symposium Blendung in der Strassenbeleuchtung, Zürich, 9-10 Sept. 1974.
Schweiz. Lichtt. Gesellschaft.