

AANBEVELINGEN VOOR DE VERLICHTING VAN LANGE TUNNELS VOOR HET
GEMOTORISEERDE WEGVERKEER

R-90-3

Dr.ir. D.A. Schreuder

Leidschendam, 1990

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

Voorwoord

Alfabetische lijst van gebruikte symbolen en afkortingen

1. Inleiding

2. Doel van de Aanbevelingen
 - 2.1. Oogmerken van de Aanbevelingen
 - 2.2. Doel en kenmerken van tunnelverlichting

3. Terminologie; Definities
 - 3.1. Zones en bijbehorende visuele problemen
 - 3.1.1. De toegangszone
 - 3.1.2. De drempelzone
 - 3.1.3. De overgangszone
 - 3.1.4. De centrale zone
 - 3.1.5. De uitgangszone
 - 3.1.6. Het "zwarte gat"-effect
 - 3.2. Luminanties
 - 3.2.1. De adaptatieluminantie
 - 3.2.2. De sluieryluminantie
 - 3.2.3. De luminantie in de toegangszone
 - 3.2.4. De luminantie in de drempelzone
 - 3.2.5. De luminantie in de overgangszone
 - 3.2.6. De luminantie in de centrale zone
 - 3.2.7. Afkortingen
 - 3.3. Stopafstand en snelheid
 - 3.3.1. Ontwerpsnelheid
 - 3.3.2. Stopafstand

4. Weg- en verkeerscondities
 - 4.1. De moeilijkheid van de rijtaak
 - 4.2. Snelheid en waarneembaarheid

5. Verlichting overdag
 - 5.1. De luminantie in de toegangszone
 - 5.1.1. De sluierluminantie bij tunnelingangen
 - 5.1.2. De bepaling van de sluierluminantie
 - 5.1.3. De benadering van de sluierluminantie
 - 5.2. De luminantie in de drempelzone
 - 5.2.1. Korte tunnels
 - 5.2.2. Het lichtniveau in de drempelzone
 - 5.2.3. De lengte van de drempelzone
 - 5.2.4. De luminantie van de wanden
 - 5.3. De luminantie in de overgangszone
 - 5.4. De luminantie in de centrale zone van de tunnel
 - 5.5. De verlichting van de uitgangszone
 - 5.6. Daglichtvariaties en verlichtingsregeling
 - 5.6.1. Wijzen van verlichtingsregeling
 - 5.6.2. Kunstlicht
 - 5.6.3. Daglichtroosters
 - 5.7. Gelijkmatigheid
 - 5.8. Verblindingsbegrenzing
 - 5.9. Vermijden van flikkereffecten

6. Verlichting bij nacht

7. Noodverlichting

- 7.1. Algemeen
- 7.2. Waarschuwing
- 7.3. Het lichtniveau

8. Onderhoud

- 8.1. Vervanging van lampen
- 8.2. Reinigen van de armaturen
- 8.3. Reinigen van de tunnelwanden
- 8.4. Onderhoud van de fotometers
- 8.5. Onderhoud van de armaturen

Literatuur

Afbeeldingen 1 t/m 6

Tabellen 1 en 2

VOORWOORD

De Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (NSvV) heeft in 1963 aanbevelingen voor de verlichting van verkeerstunnels uitgegeven [1]. Deze aanbevelingen hebben model gestaan voor de nadien door de Commission Internationale de l'Eclairage CIE uitgegeven internationale aanbevelingen [2], die op hun beurt de stoot hebben gegeven tot het invoeren van nationale codes en richtlijnen in vele landen. Aangezien er sinds het begin van de jaren zestig veel is veranderd, zowel op het gebied van de technologie van de verlichting van tunnels, als ook in het verkeer en in de economische en sociale omstandigheden, is een herziening van de aanbevelingen dringend gewenst.

Bij het opstellen van de nieuwe aanbevelingen voor de verlichting van verkeerstunnels is uitgegaan van de specifiek Nederlandse omstandigheden. Maar ook is voor zover mogelijk aansluiting gezocht bij de eveneens nieuwe aanbevelingen van de CIE [3]. Voor een deel zijn de onderhavige aanbevelingen gelijklopend aan het document van de CIE.

De ontwikkelingen op het gebied van de verlichting van tunnels gaan verder. De aanbevelingen hebben derhalve tot zekere hoogte het karakter van een "momentopname": te verwachten is dat binnen niet al te lange tijd een herziening nodig is. Hierbij dient speciaal aan twee onderwerpen te worden gedacht: de toepassing van het beginsel der sluiertluminantie bij het ontwerp van de verlichting voor tunnelingangen, en de verlichting van korte tunnels. Voor het eerste onderwerp is in de onderhavige aanbevelingen van een benaderingsmethode gebruik gemaakt waarbij de zogenaamde "veldfactor" (field factor) nog nader moet worden onderzocht; het tweede onderwerp is momenteel nog niet behandeld.

De aanbevelingen zijn besproken in de werkgroep "Tunnelverlichting" van de Commissie voor Openbare Verlichting van de NSvV. Deze werkgroep bestaat uit ir. H.J.C. Oud (voorzitter), ing. L. Swart (secretaris), ir. W.J.M. van Bommel, ing. T.D.J. van den Brink en dr.ir. D.A. Schreuder.

ALFABETISCHE LIJST VAN GEBRUIKTE SYMBOLEN EN AFKORTINGEN

- * candela: de eenheid van lichtsterkte (cd)
- * centrale zone: het tunnelgedeelte dat volgt op de overgangszone
- * drempelzone: het eerste gedeelte van de tunnel
- * E: de verlichtingssterkte in een punt van een oppervlak is het quotiënt van de lichtstroom op een oppervlakte-element dat dat punt bevat en de oppervlakte van dat element
- * E_e : verlichtingssterkte op het vlak van het oog (afkomstig van de verblindende lichtbron) (lux)
- * θ : hoek tussen kijkrichting en (verblindings)lichtbron (graden)
- * F: verkeersaanbod (voertuigen per rijstrook per uur)
- * $f_l(v)$: langswrijvingscoëfficiënt bij snelheid v
- * g: versnelling van de zwaartekracht
- * gebruikswaarde: lichtniveau op een bepaald moment
- * groepsremplace: het als groep vervangen van de lichtbronnen
- * h: helling (%)
- * ingangszone: de combinatie van drempelzone en overgangszone
- * L: luminantie: de fotometrisch gedefinieerde objectieve maat voor de "helderheid" van een lichtbron of van een verlicht vlak (cd/m^2)
- * L_a : adaptatieluminantie (cd/m^2)
- * L_{adef} : adaptatiedefect (cd/m^2)
- * L_{at} : luminantie van de atmosfeer (cd/m^2)
- * L_d : luminantie van het deel van het gezichtsveld waarop de blik is gericht (cd/m^2)
- * L_g : luminantie van de omgeving (cd/m^2)
- * L_h : luminantie van de tunnel (cd/m^2)
- * L_{in} : de gemiddelde wegdekluminantie in de centrale zone
- * L_{min} ; L_{max} ; L_R : minimale, maximale en gemiddelde wegdekluminantie (cd/m^2)
- * L_{seq} = equivalente sluiertiluminantie t.g.v. verstrooiing in het oog (cd/m^2)
- * L_{ru} : luminantie van de voorruit (cd/m^2)
- * L_{th} : de luminantie (op een plaats) in de drempelzone
- * L_{tr} : de luminantie (op een plaats) in de overgangszone
- * L_v : sluiertiluminantie: de luminantie van de lichtsluier die zich over het gezichtsveld van de bestuurder uitstrekt
- * L_w : luminantie van het wegdek (cd/m^2)

- * L_{20} : het gemiddelde van de luminanties van de oppervlakken die vallen binnen een kegel met een tophoek van 20 graden (2×10) waarvan de symmetrie-as recht vooruit ligt.
- * nieuwwaarde: lichtniveau bij nieuwe toestand (ontwerp)
- * nieuwwaardefactor: factor waarmee de normwaarde moet worden vermenigvuldigd om de nieuwwaarde (ontwerpwaarde) te vinden.
- * "no-break": systeem waarbij de verlichting bij stroomuitval zonder onderbreking blijft branden
- * normwaarde: laagst toegelaten lichtniveau (minimale gebruikswaarde)
- * overgangszone: het tunnelgedeelte volgend op de drempelzone
- * ontwerpsnelheid v_o : de snelheid (van het verkeer) die gebruikt is bij het ontwerp van de tunnel
- * p : de verhouding tussen L_{th} en L_{seq}
- * RT: perceptie-reactietijd (s)
- * tegenstraalsysteem: verlichtingssysteem waarbij het licht in hoofdzaak tegen de verkeersrichting in wordt gestraald
- * S_r : stopafstand: de afstand waarover een weggebruiker de weg moet kunnen overzien om zijn voertuig tijdig tot stilstand te kunnen brengen
- * toegangszone: het weggedeelte gelegen onmiddellijk voor de tunnelingang
- * uitgangszone: het gedeelte van de tunnel (bij de uitgang) waar het visuele systeem van de bestuurder wordt beïnvloed door de helderheid buiten de tunnel
- * v : snelheid (km/uur)
- * v_o : ontwerpsnelheid (km/uur)

1. INLEIDING

De hier gepresenteerde Aanbevelingen voor Tunnelverlichting betreffen de principes die aan de verlichting van tunnels voor gemotoriseerd verkeer ten grondslag liggen; ze geven fotometrische aanbevelingen waarmee effectieve tunnelverlichting bereikt kan worden. Daarbij wordt rekening gehouden met verkeersveiligheid, de doorstroming van het verkeer en het rijcomfort.

De mogelijkheden voor, en de beperkingen van, de waarneming van voorwerpen (obstakels) op de weg worden voor het overgrote deel bepaald - begrensd - door twee processen. Het eerste is de langzame adaptatie van het visuele systeem wanneer de lichtniveaus afnemen; het tweede hangt samen met de steeds aanwezige lichtsluier die zich over het gezichtsveld van de weggebruiker die de tunnel nadert, uitstrekt. Zoals verderop meer in detail zal worden beschreven, is deze lichtsluier in hoofdzaak afkomstig van licht dat verstrooid wordt in de oogmedia, in de atmosfeer en aan de voorruit van de auto's. Voor de situaties zoals ze zich in Nederland bij moderne tunnels voordoen is vooral het tweede van belang. Bij zeer licht gekleurde wegdekken, tunnelwanden en in geval van door zon beschenen sneeuw, is echter het eerste proces van belang.

De meeste aanbevolen waarden zijn uitgedrukt in luminanties. De gegeven luminantiewaarden gelden voor de gemiddelde situaties en voor normale verkeersomstandigheden; voor de gevallen waar de verkeersomstandigheden duidelijk zwaarder zijn dan normaal, dienen hogere waarden te worden overwogen. Omgekeerd kunnen voor zeer laag verkeersaanbod soms lagere waarden worden gebruikt. Algemene regels kunnen hiervoor niet worden gegeven, omdat een van geval tot geval uit te voeren beoordeling van de situatie onontbeerlijk is. Veelal maakt men voor dergelijke beoordelingen gebruik van specifieke metingen, al-dan-niet aan schaalmodellen uitgevoerd.

2. DOEL VAN DE AANBEVELINGEN

2.1. Oogmerken van de Aanbevelingen

De eisen die worden gesteld aan de verlichting van tunnels hangen van vele aspecten af; niet alleen de zichtomstandigheden van de bestuurders van de motorvoertuigen, maar ook het weer, de omstandigheden van weg en verkeer, de gewoonten en wettelijke bepalingen bij het wegverkeer, de constructie en de prestaties van de auto's enz. spelen een rol. Vele van deze factoren zijn lokaal bepaald. Voor zover mogelijk wordt in deze Aanbevelingen met deze factoren rekening gehouden, waarbij in het bijzonder aan de Nederlandse omstandigheden aandacht is besteed. Maar ook binnen Nederland kunnen verschillende situaties voorkomen, zodat het vaak nodig is de Aanbevelingen en het eruit afgeleide ontwerp van de tunnelverlichting nader aan te passen aan deze plaatselijke omstandigheden.

De Aanbevelingen gaan niet in op de theoretische overwegingen die eraan ten grondslag liggen; de aanbevelingen zijn op de praktijk toegespitst. Deze theoretische overwegingen zijn in detail besproken in de literatuur [4, 5, 6, 7]. In de bedoelde documenten is voorts een uitgebreide bibliografie gegeven. Praktische oplossingen zijn besproken en toegelicht in andere publikaties [8, 9, 10].

Deze Aanbevelingen betreffen in eerste instantie de lichtniveaus die in de tunnel gerealiseerd dienen te worden; de details van de in aanmerking komende ontwerpmethoden, berekeningsmethoden en verlichtingsmiddelen worden niet besproken.

De lichtniveaus worden uitgedrukt in luminanties en verlichtingssterkten. Onder de luminantie dient te worden verstaan de fotometrisch gedefinieerde objectieve maat voor de "helderheid" van een lichtbron of van een verlicht vlak; de luminantie wordt uitgedrukt in candela per vierkante meter (cd/m^2); daarbij is de candela de eenheid van de lichtsterkte.

De verlichtingssterkte geeft de lichtstroom aan die een oppervlak per m^2 treft; de eenheid voor de verlichtingssterkte is de lux. Voor details betreffende de definitie en de meting van de fotometrische grootheden en eenheden zij verwezen naar het door de CIE gepubliceerde woordenboek [11].

2.2. Doel en kenmerken van tunnelverlichting

Het doel van tunnelverlichting is ervoor te zorgen dat het verkeer, vooral bij dag, maar ook bij duisternis, de tunnel kan naderen, binnengaan en verlaten met de daartoe aangewezen snelheid (de ontwerpsnelheid) met een mate van veiligheid en rijcomfort die niet minder is dan die van de aangrenzende weggedeelten.

Dit kan worden bereikt wanneer ten eerste voldoende informatie verschaft kan worden over het wegverloop en de eventuele aanwezigheid van obstakels, daarbij inbegrepen andere voertuigen en hun beweging, en ten tweede wanneer de bestuurders hetzelfde gevoel van veiligheid kunnen ervaren als op de aangrenzende weggedeelten. Dit gevoel van veiligheid moet meer in het bijzonder worden gehandhaafd bij het naderen van de tunnel: anders kan het voorkomen dat bestuurders plotseling zullen remmen hetgeen tot gevaarlijke situaties aanleiding kan geven.

De volgende aspecten blijken van belang te zijn bij het verlichten van tunnels:

- het luminantieniveau van het wegdek en het onderste gedeelte van de wanden tot een hoogte van 1 à 2 meter
- de gelijkmatigheid van het luminatiepatroon op de weg
- de beheersing van de verblinding
- de beperking van storing door flikkereffecten.

De in deze Aanbevelingen gegeven waarden voor de luminantie dienen als minimale gebruikswaarden (normwaarden) te worden opgevat. Om de nieuwwaarden te bepalen, dient met een daartoe relevante nieuwwaardefactor rekening te worden gehouden. Deze factor hangt af van de vervuilingsgraad van de tunnel en kan tot 1,3 bedragen (zie Hoofdstuk 8).

3. TERMINOLOGIE; DEFINITIES

In deze Aanbevelingen wordt onder het begrip "tunnel" iedere overkluizing van de weg verstaan, ongeacht de lengte en de aard ervan. Louvres en andere constructies (roosters) die bedoeld zijn om het daglicht te temperen, worden beschouwd als een onderdeel van de tunnel. Het begrip "tunnel" wordt hier dus lichttechnisch gedefinieerd. Een civieltechnische definitie - de eigenlijke tunnelconstructie betreffende - zou derhalve voor sommige aspecten anders kunnen luiden.

3.1. Zones en bijbehorende visuele problemen

3.1.1. De toegangszone

De toegangszone is het weggedeelte gelegen onmiddellijk voor de tunnelingang. Voertuigbestuurders die de tunnel naderen moeten de tunnel in kunnen kijken. In Afbeelding 1 is een schets gegeven van de situatie zoals die zich aan een de tunnel naderende bestuurder kan voordoen. In Afbeelding 2 zijn schetsmatig een aantal van de hierna te bespreken termen aangegeven.

De situaties die wat betreft veiligheid en comfort het meest kritisch zijn, doen zich overdag voor. Een aanzienlijk deel van het probleem bestaat eruit dat het visuele systeem van de bestuurder die de tunnel nadert is ingesteld op het hoge luminantieniveau dat hoort bij de door daglicht verlichte open weg. Hierdoor is het moeilijk om goed de tunnel in te kunnen kijken. Het licht dat verstrooid wordt in de luchtlaag tussen de bestuurder en de tunnelingang, in de voorruit van de auto en in de ogen van de bestuurder, veroorzaakt een lichtsluier die de waarneming verder bemoeilijkt. In de meeste dagsituaties zijn de door de lichtsluier veroorzaakte visuele problemen doorslaggevend voor het verlichtingsontwerp van de tunnelingang.

3.1.2. De drempelzone

De drempelzone is het eerste gedeelte van de tunnel (Afbeelding 2). De visuele problemen van bestuurders die de tunnel naderen, zijn het grootst wanneer ze zelf nog buiten de tunnel zijn, maar er zo dicht voor zijn aan-

gekomen dat ze de tunnel in moeten kunnen kijken. Bij het ontwerp van de verlichting van de drempelzone moet rekening worden gehouden met de mogelijkheden en de beperkingen van de visuele waarneming van de autobestuurder die nog buiten de tunnel is, en dus met de luminanties in de toegangszone. Zoals in 3.1.1. aangegeven, overheerst daarbij meestal de luminantie van de lichtsluier. De lengte van de drempelzone hangt af van de ontwerp-snelheid en moet ongeveer gelijk zijn aan de daarmee corresponderende stopafstand. Dit is nodig omdat het einde van de drempelzone de achtergrond moet vormen waartegen eventuele objecten moeten afsteken wanneer ze worden waargenomen van een afstand gelijk aan de stopafstand. Het begrip stopafstand is omschreven in 3.3.2.

3.1.3. De overgangszone

De overgangszone is het tunnelgedeelte volgend op de drempelzone (Afbeelding 2). In de overgangszone neemt de luminantie af van het niveau aan het eind van de drempelzone tot het niveau in de centrale zone. Deze afname moet geleidelijk plaatsvinden om de autobestuurders de mogelijkheid te bieden tot een geleidelijke oogadaptatie aan het lagere niveau, of, meer precies, om een groot adaptatiedefect te vermijden. Dit effect kan anders leiden tot ernstige verstoringen van de nauwkeurigheid en het comfort van de visuele waarneming. De lengte van de overgangszone hangt af van de ontwerpsnelheid en het verschil in luminantie tussen het eind van de drempelzone en de centrale zone.

N.B. Soms wordt het begrip "ingangszone" gebruikt, waaronder wordt verstaan de combinatie van drempelzone en overgangszone.

3.1.4. De centrale zone

De centrale zone is het tunnelgedeelte dat volgt op de overgangszone (Afbeelding 2). De verlichting is gewoonlijk over de gehele lengte constant. Op grond van kostenoverwegingen kiest men in de praktijk voor een ingangszone van beperkte lengte; dit betekent dat de tijd niet toereikend is om een volledige adaptatie te bereiken. Ondanks een geleidelijke afname van de luminantie in de overgangszone moet overdag het luminantieniveau in de centrale zone hoger zijn dan dat van een verlichte weg bij nacht, om een voldoende nauwkeurigheid en comfort van visuele waarneming te kunnen waarborgen.

3.1.5. De uitgangszone

De uitgangszone is dat gedeelte van de tunnel waar het visuele systeem van de bestuurder wordt beïnvloed door de helderheid buiten de tunnel (Afbeelding 2). Wat betreft de waarneembaarheid is de situatie in de uitgangszone meestal niet erg kritisch omdat objecten in de uitgangszone als silhouet tegen de (heldere) uitgang afsteken.

Bij hoge verkeersintensiteiten, en bijgevolg bij korte volgafstanden, wordt het door de helderheid van de uitgang moeilijk om manoeuvres van voorliggers precies te beoordelen, vooral wanneer een groot voertuig als silhouet een aanzienlijk deel van de uitgang afschermt (zie par. 5.5).

3.1.6. Het "zwarte gat"-effect

Onder het zwarte-gat-effect verstaat men het effect dat optreedt wanneer weggebruikers een onvoldoend verlichte tunnelingang naderen. De ingang doet zich dan voor als een zwart gat waarin nauwelijks of geen details kunnen worden waargenomen. Dat kan er toe leiden dat de weggebruikers niet het vertrouwen hebben dat de weg in de tunnel vrij is, vooral wanneer er geen directe voorliggers zijn waaraan de mogelijkheid voor waarneming kan worden afgemeten. Soms zullen ze plotseling remmen, hetgeen tot gevaarlijke situatie kan leiden.

3.2. Luminanties

3.2.1. De adaptatieluminantie

De adaptatieluminantie L_a wordt ten eerste bepaald door de luminantie van het deel van de buitenwereld waarop de blik is gericht (L_d).

Verder wordt de adaptatieluminantie op een bepaald moment bepaald door de twee effecten die reeds in de Inleiding zijn genoemd, te weten de langzame adaptatie van hoge naar lage lichtniveaus en de sluierluminantie. De veranderingen in het lichtniveau worden niet steeds direct gevolgd door de adaptatie; de adaptatie kan achterblijven. Numeriek kan dit effect worden aangegeven door het adaptatiedefect en worden uitgedrukt in luminantiewaarden L_{adef} .

De sluiertluminantie L_v bestaat uit drie componenten: het licht dat wordt verstrooid in de oogmedia (L_{seq}), verstrooid in de atmosfeer (L_{at}) en in de voorruit van de auto (L_{ru}). Te zamen leidt dit tot:

$$L_a = L_d + L_{adef} + L_v = L_d + L_{adef} + L_{seq} + L_{at} + L_{ru}.$$

Zoals reeds is aangegeven, kan voor de gangbare omstandigheden in Nederland L_{adef} verwaarloosd worden. Opgemerkt zij dat in dit opzicht de moderne aanbevelingen afwijken van de oudere: die laatste waren meer toegespitst op de speciale gevallen waarbij L_{adef} niet verwaarloosbaar klein was. L_{seq} , L_{at} en L_{ru} kunnen in de praktijk zeer verschillende waarden aannemen. Bij heldere atmosfeer (zicht van 20 km of meer) en bij een schone ruit zijn waarden van $L_{at} = L_{ru} = 0,1 L_{seq}$ mogelijk. Dan is dus $L_a = 1,2 L_{seq}$. Bij gemiddelde troebele atmosfeer en bij een "gewone" vuile ruit zijn waarden van $L_{at} = L_{ru} = L_{seq}$ zeer wel mogelijk. Onder die omstandigheden is dus $L_a = 3 L_{seq}$.

3.2.2. De sluiertluminantie

Licht kan bij het passeren van optische media worden verstrooid. Verstrooiing vindt plaats in de atmosfeer, aan de voorruit van de auto en in de oogmedia. Het verstrooide licht doet zich aan de waarnemer voor als een "sluier" die het (belangrijkste deel van) het gezichtsveld bedekt. Het effect is een vermindering van alle contrasten zoals ze gezien worden. Het gevolg is een vermindering van de mogelijkheden voor de visuele waarneming. De sterkte van de sluier kan in luminantiewaarden worden uitgedrukt. Omdat het niet over een feitelijke luminantie gaat, spreekt men van de equivalente sluiertluminantie (L_{seq} , in cd/m^2 ; In sommige publicaties wordt L_{seq} aangeduid met L_e).

De equivalente sluiertluminantie kan worden berekend met behulp van de door Vos voorgestelde formule, die is afgeleid uit een aantal onderzoeken [8]. De formule luidt:

$$L_{seq}/E_e = \frac{10}{(\theta + 0,02)^2} + \frac{10}{(\theta + 0,02)^3} + \frac{10^6}{\exp(\theta/0,02)^2}$$

In deze formule is E_e de verlichtingssterkte op het oog (in Lux) en wordt θ in graden uitgedrukt.

De formule wordt gebruikt in het door de Rijkswaterstaat ontwikkelde computerprogramma waarmee L_{seq} kan worden bepaald. Soms gebruikt men een vereenvoudigde formule, die eveneens van Vos afkomstig is:

$$L_{seq}/E_e = a \left(\frac{1}{\theta^2} + \frac{1}{\theta^3} \right)$$

Hierin is a een evenredigheidsfactor.

In sommige gevallen kan de sluiertluminantie worden benaderd door L_{20} . Onder L_{20} wordt verstaan het gemiddelde van de luminanties van de oppervlakken die vallen binnen een kegel met een tophoek van 20 graden (2×10) waarvan de symmetrie-as (omwentelingsas) recht vooruit ligt (zie Afbeelding 3).

3.2.3. De luminantie in de toegangszone

De luminanties in de toegangszone zijn voor het ontwerp van de tunnelverlichting van essentieel belang. Voor het ontwerp kunnen deze luminanties met voldoende nauwkeurigheid worden gekenmerkt door de sluiertluminantie L_{seq} . Aan de hand van L_{seq} kan men bepalen welke luminantie in de tunnel noodzakelijk is. De bepaling van L_{seq} wordt verderop besproken (par. 5.1).

3.2.4. De luminantie in de drempelzone

Onder de luminantie op een plaats in de drempelzone wordt verstaan het gemiddelde van de luminantie van het wegdek en de onderste 2 meter van de wanden, gemeten over een dwarslijn op deze plaats. Deze wordt aangeduid met L_{th} . De dwarslijn wordt benaderd door een - in de lengterichting van de tunnel - zo smal mogelijke band. Deze luminantie wordt gemeten vanaf een afstand gelijk aan de bij de ontwerpsnelheid behorende stopafstand. Zie voor deze begrippen 3.3.1 en 3.3.2.

3.2.5. De luminantie in de overgangszone

Onder de luminantie op een plaats in de overgangszone wordt verstaan het gemiddelde van de luminantie van het wegdek en de onderste 2 meter van de wanden, gemeten over een zo smal mogelijke dwarsstrook op deze plaats. Deze wordt aangeduid met L_{tr} .

De luminantie wordt gemeten vanaf een afstand gelijk aan de bij de ontwerpsnelheid behorende stopafstand.

3.2.6. De luminantie in de centrale zone

L_{in} is de gemiddelde luminantie van het wegdek en van de onderste 2 meter van de wanden in de centrale zone (het interieur) van de tunnel.

Gewoonlijk wordt deze luminantie gemeten over een aantal dwarsstroken, steeds gemeten vanaf een afstand gelijk aan de bij de ontwerpsnelheid behorende stopafstand.

3.2.7. Afkortingen

In deze Aanbevelingen zijn diverse afkortingen voor o.a. de in de tunnel voorkomende luminanties gebruikt (L_{seq} , L_{th} enz.). Deze afkortingen zijn uit de Engelse taal afkomstig. Ze zijn ook in de Nederlandse aanbevelingen gebruikt, om een zo goed mogelijke aansluiting met de internationale literatuur, meer in het bijzonder met de door de CIE uitgebrachte aanbevelingen en rapporten te waarborgen.

3.3. Stopafstand en snelheid

3.3.1. Ontwerpsnelheid

Onder de ontwerpsnelheid wordt verstaan die snelheid die is gebruikt bij het ontwerp van de tunnel. Deze snelheid is maatgevend voor de vormgeving en de ontwerpelementen van de weg, zodat bestuurders van afzonderlijke voertuigen, niet gehinderd door het overige verkeer, bij die snelheid veilig kunnen rijden. De werkelijk in de tunnel gereden snelheden kunnen lager maar ook hoger zijn dan de ontwerpsnelheid. Deze omschrijving is gebaseerd op het RAW/SCW/SVT-boek Nomenclatuur van weg en verkeer [12].

3.3.2. Stopafstand

Onder stopafstand wordt verstaan de afstand waarover een weggebruiker de weg moet kunnen overzien om een eventueel aanwezig voorwerp (obstakel) te kunnen waarnemen en als zodanig te herkennen en om het voertuig tijdig tot stilstand te kunnen brengen, zonder daarbij zichzelf, het voorwerp of het

overige verkeer (vooral het achterop komende verkeer) in gevaar te brengen. Deze omschrijving is gebaseerd op de definitie van het begrip "stopzicht" (03119) uit de Nomenclatuur van weg en verkeer [12]. Deze afstand wordt mede bepaald door de waarden van reactietijd en remvertraging die als redelijk worden aangenomen, en van de gegeven snelheid, welke gelijk gesteld is aan de ontwerpsnelheid (3.3.1).

De stopafstand kan worden berekend met behulp van de volgende formule:

$$S_r = RT \frac{v_0}{3,6} + \frac{1}{3,6^2 \cdot g} \int \frac{v}{f_1(v) \pm h} dv$$

Waarin:

S_r = stopafstand (m);

v_0 = ontwerpsnelheid (km/uur);

RT = perceptie-reactietijd (s);

$f_1(v)$ = langswrijvingscoëfficiënt, afhankelijk van de snelheid v ;

g = versnelling van de zwaartekracht ($9,81 \text{ m/s}^2$);

h = helling (%).

Bij deze wijze van berekenen wordt rekening gehouden met het feit dat de wrijvingscoëfficiënt niet constant is, maar van de op ieder moment gereden snelheid afhangt. De toegepaste waarden zijn:

v_0	f_1
120 km/uur	0,32
90 km/uur	0,38
70 km/uur	0,435
50 km/uur	0,482

Deze waarden gelden voor een normale natte weg en normale, in redelijke toestand verkerende banden. In Afbeelding 4 is de stopafstand voor een aantal gevallen weergegeven. De waarden gelden voor een perceptie-reactietijd van 2 seconden. Afbeelding 4 is ontleend aan [15].

4. WEG- EN VERKEERSCONDITIES

4.1. De moeilijkheid van de rijtaak

De mate waarin het moeilijk is om de rijtaak uit te voeren wordt in het algemeen bepaald door de rijsnelheid, de intensiteit en de samenstelling van het verkeer en door het ontwerp van de weg en haar onmiddellijke omgeving. De moeilijkheid neemt toe met toenemende snelheid, met toenemende intensiteit - zij het met een maximum - en met de verscheidenheid en ingewikkeldheid van het wegontwerp. Het verkeersaanbod hangt meestal samen met de snelheid en het wegontwerp. Het verkeersaanbod is vooral van belang met het oog op het mogelijke gevaar in de tunnel. Derhalve hangt het benodigde lichtniveau in het tunnelinterieur af van het verkeersaanbod (par. 5.4). Echter, momenteel is het niet mogelijk deze afhankelijkheid precies te kwantificeren. Het verkeersaanbod is echter over het etmaal niet constant. Vaak wordt in de nacht het lichtniveau in de tunnel aangepast aan het verkeersaanbod. Meestal worden daarvoor regels gebruikt die uit de praktijk zijn afgeleid.

4.2. Snelheid en waarneembaarheid

De snelheid waarmee wordt gereden is voor de verlichting van tunnels van belang: hoe hoger de snelheid, des te groter de stopafstand. Een autobestuurder in de toegangszone moet derhalve, naarmate zijn snelheid hoger is, van een punt verder voor de tunnelingang de tunnel in kunnen kijken. Bij een grotere waarnemingsafstand van de tunnel wordt een groter gedeelte van het gezichtsveld ingenomen door de - meestal zeer heldere - hemel. Eventueel aanwezige voorwerpen worden gezien van een grotere afstand, en beslaan derhalve een kleinere hoek en zijn dus moeilijk zichtbaar. Tenslotte is gezien van een grotere afstand de luchtlaag tussen waarnemer en de tunnelingang dikker, zodat de lichtverstrooiing in de atmosfeer meer invloed heeft op de waarneming.

Hogere snelheden gaan dus gepaard met een vermindering in de waarneembaarheid. Om deze vermindering te kunnen compenseren, is het nodig om de luminantie in de tunnelingang te verhogen. Dit is de reden dat de aanbevelingen voor het lichtniveau in de drempelzone afhangen van de snelheid; bij een hogere snelheid is een hogere luminantie vereist.

Deze Aanbevelingen zijn gebaseerd op de ontwerpsnelheid en niet op de wettelijke snelheid of op de werkelijk gereden snelheid. Wanneer er een groot verschil bestaat tussen deze drie, kan men overwegen bij het ontwerp daarmee rekening te houden.

5. VERLICHTING OVERDAG

5.1. De luminantie in de toegangszone

5.1.1. De sluierluminantie bij tunnelingangen

De waarneming wordt bij het (overdag) naderen van de tunnel bemoeilijkt door een lichtsluier, die meestal uit drie componenten bestaat:

- het licht verstrooid in de atmosfeer (L_{at})
- het licht verstrooid in de voorruit van de auto (L_{ru})
- het licht verstrooid in de oogmedia van de waarnemer (L_{seq})

De invloed van deze drie componenten is onderzocht.

Bij afnemend meteorologisch zicht en bij toenemende vervuiling neemt de bijdrage van de lichtverstrooiing in de atmosfeer en aan de ruit toe; in vele gevallen is de bijdrage ervan in grootte vergelijkbaar met de bijdrage van de lichtverstrooiing in de oogmedia (L_{seq}). Wanneer de atmosfeer helder is en de ruit schoon, is de bijdrage tot L_v echter gering in vergelijking tot L_{seq} . Onder deze voorwaarden kan de bepaling van L_{th} worden gebaseerd op de waarde van L_{seq} wanneer daarbij een "ophoogfactor" wordt gebruikt waarin de bijdragen van de atmosfeer en de voorruit zijn verdisconteerd. Voor de aanbevolen waarden van L_{th}/L_{seq} zoals die in Tabel 1 zijn gegeven, is, op basis van praktijkervaring, met een ophoogfactor van 1,2 rekening gehouden (zie ook par. 3.2.1.).

Tabel 1 geldt dus voor een heldere atmosfeer en een schone voorruit. Daarbij is niet precies aangegeven wat "helder" en wat "schoon" is. Wanneer het gewenst is om, in sommige speciale gevallen, met een "troebele" atmosfeer of met "vuile" voorruit rekening te houden, kan de ophoogfactor expliciet en nauwkeurig worden bepaald volgens de methoden die door IZF-TNO daarvoor zijn aangegeven. Daarom zij verwezen naar de desbetreffende rapporten [16] en [17]. Zoals in par. 3.2.1. is aangegeven, is een ophoogfactor van 3 geen zeldzaamheid.

5.1.2. De bepaling van de sluierluminantie

De visuele situatie in de toegangszone wordt beschreven door de sluierluminantie L_{seq} . De Aanbevelingen zijn gebaseerd op een rechtstreekse be-

paling van de sluierluminantie, dit in tegenstelling tot de CIE-Guide waarin L_{20} als uitgangspunt voor de benadering van L_{seq} wordt gebruikt [3].

De sluierluminantie kan onder sommige omstandigheden worden gemeten; onder andere kan ze worden berekend, terwijl voor weer andere omstandigheden een benadering aan de hand van enige "vuistregels" in aanmerking komt.

Meting

In bestaande tunnels kan de sluierluminantie rechtstreeks worden gemeten wanneer men de beschikking heeft over een zogenaamde Pritchard-luminatiemeter voorzien van een zogenaamde Fry-lens. De meting heeft een aantal belangrijke beperkingen:

- de tunnel moet gereed zijn anders valt er niets te meten;
- de Fry-lens vertegenwoordigt niet de moderne stand van het wetenschappelijk onderzoek: de Fry-verblindingsformule waarop de lens is gebaseerd, is achterhaald door de Vos-formule;
- de meting van de sluierluminantie vereist speciale meetapparatuur en geoefend personeel. Een nauwkeurige meting onder praktijkomstandigheden is vaak moeilijk uitvoerbaar.

De meting van de sluierluminantie is nooit meer dan een "momentopname"; de bepaling van L_{seq} voor een aantal verschillende omstandigheden - een onontbeerlijke eis voor het ontwerp van de verlichting - neemt veel tijd. Deze beperkingen maken dat de rechtstreekse meting van L_{seq} niet zonder meer geschikt is voor het ontwerp van verlichtingsinstallaties van tunnels. Onder bepaalde omstandigheden kan van de meting van L_{seq} in situaties die analoog zijn aan die welke bij te ontwerpen tunnel zullen worden aangetroffen, de verderop te bespreken benaderingsmethoden op nuttige wijze ondersteunen. De directe bepaling van de sluierluminantie of de benadering ervan, bijvoorbeeld via L_{20} wordt veelvuldig gebruikt bij het in- of uitschakelen van de tunnelverlichting of van delen ervan (par. 5.6).

Berekening

Ten behoeve van het berekenen van L_{seq} zijn speciale computerprogramma's ontworpen, onder meer door de Rijkswaterstaat. Dit computerprogramma is gebaseerd op de zgn. Vos-verblindingsformule [8] die de relatie geeft tussen de door een puntvormige lichtbron teweeg gebrachte sluierluminantie

en de hoek tussen de lijn die het oog van de waarnemer verbindt met deze lichtbron en de kijkrichting. De bijdragen van afzonderlijke lichtpunten kunnen worden opgeteld. Deze formule kan worden gebruikt wanneer de geometrie van de tunnel bekend is en wanneer van de voor de waarneming van belang zijnde oppervlakken de luminantie bekend is. In de meeste gevallen kunnen deze luminanties worden bepaald onder gebruikmaking van eerder opgedane ervaringen uit de praktijk, en aan de hand van gegevens omtrent de geometrie van de tunnelingang en de materialen die bij de ingang zullen worden gebruikt. Op deze wijze kan de sluiertluminantie worden bepaald in het ontwerpstadium van de tunnel, en kan dus worden gebruikt bij het ontwerpen van de verlichtingsinstallatie.

Met het door de Rijkswaterstaat ontwikkelde computerprogramma kan de L_{seq} op een PC worden berekend. Daarvoor zijn de volgende gegevens nodig:

- gedetailleerde gegevens over het ontwerp van de tunnel (bouwtekeningen);
- gegevens over de te kiezen oogpositie (hoogte boven de weg en dwarspositie) en de waarnemingsafstand;
- gegevens over de luminantie van alle voor de waarneming van belang zijnde oppervlakken in de buurt van de tunnelingang, en wel voor alle relevante omstandigheden van weer, jaargetijde en zonnestand.

Dit programma wordt gebruikt in combinatie met een eveneens door de Rijkswaterstaat ontwikkeld programma waarmee op basis van de bouwtekeningen een perspectivische tekening kan worden gemaakt.

Het computerprogramma wordt tegelijk met de Aanbevelingen ter beschikking gesteld. De gebruiksaanwijzing van dit programma bevat nadere toelichting.

5.1.3. De benadering van de sluiertluminantie

Bij de hier geïntroduceerde benadering van de sluiertluminantie wordt gebruik gemaakt van de in de CIE-Aanbevelingen [3] gebruikte grootheid L_{20} als benadering van L_{seq} . Op basis van metingen die zijn uitgevoerd in tunnels in Nederland en in Japan kan worden gesteld dat:

$$L_{seq} = 0,1 * L_{20}$$

Er dient op te worden gewezen dat deze betrekking het gemiddelde van de metingen representeert; bij individuele tunnels kunnen aanzienlijke af-

wijkingen van deze regel optreden. Bij de hier gegeven benadering kan echter van het gemiddelde gebruik worden gemaakt. De betreffende metingen zijn voor een deel gepubliceerd in [4].

De CIE-Guide geeft drie bepalingswijzen voor L_{20} , die met de gegeven betrekking ook voor L_{seq} kunnen worden gebruikt:

- de meting
- de berekening
- benadering via een "vuistregel".

Meting

De meting van L_{20} is niets anders dan een normale luminantiemeting. De eenvoudigste methode is het gebruik van een standaard luxmeter waarbij op de cel een zodanig gedimensioneerde afschermconstructie is aangebracht dat alleen licht, afkomstig uit de gewenste richtingen (de kegel met de tophoek van 2×10 graden) de cel kan treffen. Ook is het mogelijk om een luminantiemeter te gebruiken, mits de meter uitgerust is met een sjabloon dat de afscherming voor het bedoelde hoekbereik waarborgt. Uiteraard moeten de meters inclusief deze afschermvoorzieningen worden gecalibreerd.

Berekening

Voor de berekening van L_{seq} kan gebruik worden gemaakt van de in de CIE-Guide gegeven benadering voor L_{20} . Deze luidt:

$$L_{20} = (a L_h + b L_w + c L_g)$$

waarin L_h , L_w en L_g de luminanties zijn van resp. de hemel, het wegdek en de omgeving, en a, b en c de fracties van het totale oppervlak binnen de kegel van 20 graden die de bedoelde onderdelen innemen.

Met gebruikmaking van de eerder gegeven betrekking $L_{seq} = 0,1 * L_{20}$, wordt deze betrekking:

$$L_{seq} = 0,1 (a L_h + b L_w + c L_g)$$

Bedacht moet worden dat deze formule een benadering is: ten eerste is gebruik gemaakt van de benaderde relatie tussen L_{seq} en L_{20} ; ten tweede zijn de luminanties L_h , L_w en L_g niet constant over de bedoelde onderdelen van het veld, en ten derde valt ook de tunnelingang binnen de hoek van 20

graden. Voor de bepaling van L_{seq} van afstanden van ca. 100 m of meer kan de bijdrage van de tunnelingang worden verwaarloosd, te meer omdat de luminantie van de tunnelingang overdag in de meeste gevallen laag is in vergelijking tot L_h , L_w en L_g . Wanneer de tunnelingang relatief groot is, of wanneer de luminantie L_{th} relatief hoog is, of wanneer de afstand tot de tunnelingang aanzienlijk minder dan 100 m is, dient het (in par. 5.1.1) besproken computerprogramma te worden gebruikt, en niet de hier gegeven benadering van L_{seq} .

Benadering met behulp van "vuistregels"

De CIE heeft een methode aanbevolen ten behoeve van het bepalen van L_{20} [3]. Met de gegeven betrekking $L_{seq} = 0,1 * L_{20}$ kan deze benadering ook voor L_{seq} worden gebruikt. Voorts is deze methode aan de Nederlandse omstandigheden aangepast door de specifieke bergtunnels weg te laten. Bij deze methode wordt uit een aantal schetsen van tunnelingen diegene gekozen die het meest "lijkt" op de tunnel waarvoor L_{seq} dient te worden bepaald. De schetsen zijn gegeven in Afbeelding 5. Bij iedere schets is een benaderingswaarde gegeven voor a , het getal dat de bijdrage van de hemel tot de totale kegel van 20 graden weergeeft.

De methode kan echter niet meer dan een vrij ruwe benadering zijn, omdat:

- de situatie bij de tunnelingang gesimplificeerd is;
- er geen rekening wordt gehouden met de positie van de zon; meer in het bijzonder, er wordt geen rekening gehouden met het mogelijk rechtstreeks in het gezichtsveld aanwezig zijn van de (ondergaande of opkomende) zon;
- de methode waarbij de schetsen gegeven in Afbeelding 5 worden gebruikt, nog niet op voldoende grote schaal getoetst is aan de resultaten gevonden in bestaande tunnels.

5.2. De luminantie in de drempelzone

5.2.1. Korte tunnels

In het algemeen hoeft een tunnel of een onderdoorgang overdag niet te worden verlicht wanneer de door het daglicht verlichte uitgang een groot deel van het gezichtsveld beslaat, gezien vanaf een punt op een afstand gelijk aan de bij de ontwerpsnelheid behorende stopafstand voor de ingang van de tunnel.

Omgekeerd dient de tunnel een (extra) verlichting voor overdag te hebben wanneer de uitgang alleen maar te zien is in een donkere lijst waarin voorwerpen van aanzienlijke afmetingen verborgen kunnen blijven.

De problematiek van de verlichting van dergelijke tunnels (samengevat onder de term "korte tunnels") komt in de onderhavige aanbevelingen niet aan de orde. De NSvV zal te zijner tijd een aparte publikatie over de verlichting van korte tunnels opstellen.

5.2.2. Het lichtniveau in de drempelzone

De waarde van de gemiddelde luminantie aan het begin van de drempelzone (L_{th}) is gegeven in Tabel 1. De luminantie is opgegeven als een verhouding tussen L_{th} en L_{seq} : $p = L_{th}/L_{seq}$. De waarden van p in Tabel 1 zijn in de tijd gerekend minimale waarden (normwaarden: minimale gebruikswaarden; "minimum maintained values"). Zowel uit laboratoriummetingen als uit praktijkervaringen blijkt dat voor de meeste daglichtsituaties p als constant mag worden beschouwd. In de schemering moet p echter hoger zijn dan uit Tabel 1 zou volgen. Zie ook par. 5.6.3.

Voor verschillende waarden van de ontwerpsnelheid zijn verschillende waarden van p opgegeven. Zo nodig kan voor andere waarden van de ontwerpsnelheid tussen de opgegeven waarden van p (lineair) worden geïnterpoleerd. De in Tabel 1 gegeven waarden voor p gelden zowel voor tunnels waarbij de drempelverlichting met behulp van kunstlicht is uitgevoerd als voor tunnels waarbij voor de drempelverlichting gebruik wordt gemaakt van zonerende roosters of van andere constructies die bedoeld zijn om het daglicht te temperen.

Vaak worden constructies gebruikt die niet "zondicht" zijn, zoals horizontale of verticale schotten, of ramen en galerijen. Met dergelijke constructies zijn hoge waarden van p te bereiken. Dit kan een voordeel zijn wat betreft het rijcomfort in de tunnel. Roosters die niet zondicht zijn kunnen alleen worden toegepast wanneer flikkereffecten ten gevolge van het zonlicht en harde schaduwen worden vermeden. Door een juiste keuze van de roosterelementen kunnen hinderlijke frequenties van lichtflitsen worden vermeden. Wanneer ook in andere opzichten bij het ontwerp met het vermijden van storingen rekening wordt gehouden - een zaak die meestal alleen

maar met behulp van het bestuderen van een schaalmodel kan worden bereikt - wordt voor p de waarde van 3,0 aanbevolen in plaats van de in Tabel 1 gegeven waarden. Wel moet de overgang tussen het eind van de drempelzone en het begin van de overgangszone met zorg worden ontworpen om te vermijden dat er op die plaats een "zwart gat" kan ontstaan. Algemene aanbevelingen zijn daarvoor niet te geven, maar de waarden voor p gegeven in Tabel 1 kunnen als eerste aanwijzing gelden. Details over het toepassen van roosters, en speciaal van niet-zondichte roosters zijn gegeven in [13] en [14].

In sommige landen, vooral Alpenlanden, wordt soms gebruik gemaakt van het zgn. "tegenstraalsysteem", waarbij het licht uit de verlichtingsarmaturen in hoofdzaak tegen de verkeersrichting in wordt uitgestraald. Daarmee kan worden bereikt dat het contrast tussen een voorwerp en zijn directe achtergrond (het wegdek) vergroot wordt. Hoe groter het contrast, des te beter kan het voorwerp worden waargenomen.

5.2.3. De lengte van de drempelzone

De totale lengte van de drempelzone moet ten minste gelijk zijn aan de stopafstand. Over het eerste gedeelte van de drempelzone moet de luminantie in de lengterichting gezien constant zijn, en gelijk zijn aan L_{th} , de waarde die geldt voor het begin van de drempelzone. Deze waarden zijn in Tabel 1 gegeven. De luminantie moet constant blijven over dat gedeelte van de weg dat de automobilist met zijn waarneming moet kunnen bestrijken, zo lang hij zelf nog buiten de tunnel is en zo lang hij nog een gedeelte van de hemel in het gezichtsveld heeft. Wanneer het punt is gepasseerd waarbij de hemel niet meer te zien is (verdwijnt achter de bovenrand van de voorruit) mag de luminantie in het corresponderende deel van de drempelzone geleidelijk afnemen tot een waarde die tenminste gelijk is aan $0,4 L_{th}$. Gewoonlijk wordt het punt waar deze afname begint zodanig gekozen dat het halfweg in de drempelzone ligt.

De afname van de luminantie in het tweede gedeelte van de drempelzone dient bij voorkeur geleidelijk en - op logaritmische schaal - lineair te geschieden, maar mag ook in stappen plaatsvinden. Wanneer van stappen gebruik wordt gemaakt, mag de luminantie op geen enkele plaats lager zijn dan die welke hoort bij de log-lineaire afname.

5.2.4. De luminantie van de wanden

De wanden in de tunnel kunnen, net als het wegdek, dienen als achtergrond voor eventuele obstakels. Dit geldt in het bijzonder voor het onderste gedeelte van de wanden. Met het oog hierop dient de gemiddelde luminantie van de wanden van de tunnel, tot aan een hoogte van ten minste 2 m boven het wegdek, tenminste gelijk te zijn aan de gemiddelde luminantie van het wegdek.

Zie voor de wijze van meten van de luminanties par. 3.2.4 t/m 3.2.6.

5.3. De luminantie in de overgangszone

Vanaf het einde van de drempelzone kan de gemiddelde luminantie (normwaarde) geleidelijk afnemen. De toelaatbare graad van afname is weergegeven in Afbeelding 6 in afhankelijkheid van de ontwerpsnelheid.

In de praktijk kan de luminantie in stappen afnemen. Bij iedere stap mag de luminantie niet meer dan in de verhouding 3:1 afnemen. Het luminantieniveau mag echter op geen enkele plaats lager zijn dan het niveau dat overeenkomt met de geleidelijke kromme zoals afgebeeld in Afbeelding 6. Aangezien de luminantie met stappen in de verhouding 3:1 mag afnemen, mag men aannemen dat het eind van de overgangszone is bereikt wanneer de luminantie het drievoud bedraagt van de luminantie die gekozen is voor de centrale zone van de tunnel.

De waarden voor de gemiddelde luminantie gelden zowel voor het wegdek als voor de wanden van de tunnel tot aan een hoogte van 2 m boven het wegdek.

5.4. De luminantie in de centrale zone van de tunnel

In Tabel 2 is de in de tijd gerekend minimale gebruikswaarde (normwaarde) gegeven van de gemiddelde wegdekluminantie in de centrale zone van de tunnel voor vier waarden van de ontwerpsnelheid in relatie tot de verkeersintensiteit. De verkeersintensiteit F wordt uitgedrukt in het verkeersaanbod per rijstrook per uur voor het zogenaamde "maatgevende spitsuur". De gemiddelde luminantie van de wanden van de tunnel dient, tot aan een hoogte van ten minste 2 m boven het wegdek, tenminste gelijk te zijn aan de gemiddelde wegdekluminantie.

Bij de bepaling van de nieuwwaarde die nodig is om de normwaarde te kunnen waarborgen, dient rekening te worden gehouden met de reflectie van het wegdek. Wanneer donkere wegdekken (zeer open asfaltbeton zonder lichtgekleurde toeslagmaterialen) worden gebruikt, dient de nieuwwaarde dienovereenkomstig hoger te worden gekozen.

5.5. De verlichting van de uitgangszone

Aan het eind van de tunnel is de oogadaptatie naar het daglicht buiten zeer snel, en aanvullende verlichting om deze adaptatie te vergemakkelijken is in de meeste gevallen niet nodig. Toch kan een extra verlichting bij de uitgang nuttig zijn om kleine voertuigen dicht bij de uitgang zichtbaar te maken wanneer ze dicht achter een groter voertuig rijden.

In tunnels met eenrichtingverkeer en een hoog verkeersaanbod kunnen voertuigen, vooral vrachtauto's, de uitgang afschermen. Wanneer het gaat om zeer lange tunnels met een laag luminantieniveau in de centrale zone, en wanneer de wanden en het plafond van de tunnel niet helder genoeg zijn om een deel van het daglicht via interreflecties de tunnel in te kaatsen, kan overwogen worden extra kunstverlichting te installeren in het laatste gedeelte van de tunnel. De praktijk in het buitenland heeft geleerd dat de beste resultaten worden bereikt wanneer deze extra verlichting wordt geïnstalleerd over ca. 60 m met een niveau dat het vijfvoudige bedraagt van dat in de centrale zone van de tunnel.

5.6. Daglichtvariaties en verlichtingsregeling

5.6.1. Wijzen van verlichtingsregeling

Het luminantieniveau in de toegangszone varieert met het daglicht. Om onder alle van belang zijnde omstandigheden te vermijden dat er zich aan het begin van de tunnel een "zwart gat" voordoet, moet de luminantie in het eerste gedeelte van de drempelzone tenminste gelijk zijn aan de fractie p van de bijbehorende waarde van L_{seq} . Daarbij gelden de waarden gegeven in Tabel 1. Dit vereist een voorziening om de verlichting in de drempelzone aan te passen aan veranderingen in het niveau in de toegangszone. Vrijwel steeds kiest men voor een automatische aanpassing, die wordt gestuurd door de luminantie in de toegangszone. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen

de gevallen waar de drempelzone door middel van kunstlicht wordt verlicht of waar roosters worden toegepast.

5.6.2. Kunstlicht

De aanpassing van het kunstlicht in de drempelzone aan variaties in het daglicht kan stapsgewijs plaatsvinden. De stappen moeten, uit overwegingen van waarneembaarheid, kleiner zijn dan een factor 5. Uit overwegingen van rijcomfort en ook van de bedrijfskosten zijn stappen van ten hoogste een factor 3 aan te bevelen. De minimale waarde van L_{th} wordt steeds bepaald door L_{seq} en de bijbehorende waarde van p volgens Tabel 1.

Ook wanneer het ontwerp zelf van de verlichting in de drempelzone is gebaseerd op L_{seq} , kan meestal L_{20} worden gebruikt voor de aanpassing van het lichtniveau in het begin van de drempelzone. Wanneer L_{20} wordt gebruikt voor de lichtregeling dient L_{20} gemeten te worden van een punt op een afstand voor de tunnelingang gelijk aan de stopafstand behorende bij de ontwerpsnelheid. De richting van de "as" van de kegel dient samen te vallen met de rijrichting.

Uit overwegingen van onderhoud dient de opname-eenheid rechts van de weg op een hoogte tussen 2 m en 5 m boven de weg te worden aangebracht, tenzij er een bocht naar rechts is. In dat geval dient de opname-eenheid op de middenberm of aan de linkerzijde van de weg te worden aangebracht. Toepassing van een zgn. zoom-objectief is aan te bevelen voor de selectie van de juiste beeldcompositie. De relatieve spectrale gevoeligheid van de meter dient overeen te stemmen met de internationale ooggevoeligheidskromme. Voorts dient de meter een goede stabiliteit en een geringe temperatuursafhankelijkheid te hebben.

Deze luminantiemeting geeft aan welke waarde van L_{th} vereist is; deze waarde kan worden ingesteld door het betreffende aantal lampen in te schakelen. Wanneer men de vereiste waarde van L_{th} preciezer wil bereiken, rekening houdend met eventuele kapotte lampen en met variaties in de wegdekreflectie, kan L_{th} direct worden gemeten met een tweede luminantiemeter. Men dient rekening te houden met het feit dat de vereiste waarde van L_{th} niet kan worden gemeten vanaf de positie van het oog van de waarnemer weggebruiker. Uit praktische overwegingen is de meetpositie meestal hoger dan de hoogste positie van de bestuurder in een vrachtauto. Dit betekent dat

de luminantie die wordt gemeten afwijkt van die welke door de weggebruikers wordt waargenomen. Een correctiefactor dient uit praktijkmetingen ter plaatse te worden afgeleid.

Hoe kleiner het verschil tussen de vereiste en de aanwezige L_{th} , des te beter de regeling en des te lager zijn de kosten van energiegebruik. In de praktijk is het niet mogelijk om de twee steeds gelijk te maken, omdat de verlichting in stappen is uitgevoerd die stuk voor stuk worden in- of uitgeschakeld. Hoe groter het aantal stappen, des te beter de regeling. Voor iedere installatie dient de meest economische oplossing te worden bepaald op basis van de kosten van de energie, de lampen en de loonkosten.

Men dient aandacht te besteden aan de reactietijd van het regelsysteem. Deze wordt vooral bepaald door de tijd die de lampen nodig hebben om, na het ontsteken, hun volle lichtstroom te bereiken (hogedruk natriumlampen ca. 2 minuten, lagedruk natriumlampen tot 10 minuten). Korte variaties in het niveau in de toegangszone - bijvoorbeeld ten gevolge van het passeren van een wolk - dienen buiten beschouwing te blijven. Met een snelle verandering in het niveau in de toegangszone ten gevolge van het opkomen van de zon of het verschijnen of verdwijnen ervan achter bergen of gebouwen, dient echter op snelle wijze rekening te worden gehouden.

Het verdient aanbeveling het systeem zodanig uit te rusten dat steeds de relevante luminanties en de gebruikte controlestand worden weergegeven, en bij voorkeur worden uitgeprint.

5.6.3. Daglichtroosters

In het verleden werden de lichttemperende constructies ten behoeve van het realiseren van de verlichting in de drempelzone, meestal "zondicht" uitgevoerd in de vorm van roosters. De lichtdoorlating van dergelijke roosters hing af van de zonnestand en van de vervuiling. Meer recent gebruikt men gewoonlijk zwarte, (niet "zondichte") lamellen. De doorlaatfactor van lamellenconstructies hangt slechts in geringe mate af van de invalshoek van het zonlicht en van het algemene lichtniveau. Bij lagere niveaus van het daglicht, en meer speciaal bij lagere zonnestanden gaat deze evenredigheid niet op. Vooral bij de situaties met een laag lichtniveau buiten de tunnel (schemer; zware neerslag) blijkt een aanvullende verlichting nodig te zijn. Het eventueel ontsteken van verlichting onder het rooster

nodig te zijn. Het eventueel ontsteken van verlichting onder het rooster dient te worden bepaald aan de hand van de feitelijk optredende luminantie onder het rooster. Bij een laag niveau van het daglicht moet het niveau in de drempelzone hoger zijn dan de waarden van Tabel 1. Het is onder die omstandigheden vaak nodig het licht dat door het rooster doorgelaten wordt, aan te vullen met kunstlicht. Het is gewenst om ten behoeve van deze aanvulling de tunnel te voorzien van een installatie waarmee L_{seq} continu kan worden bepaald, analoog aan de installatie beschreven in 5.6.2.

5.7. Gelijkmatigheid

De luminantie op het wegdek en de wanden tot een hoogte van 2 m boven het wegdek moet een goede gelijkmatigheid vertonen. Voor beide gevallen wordt een waarde van 0,4 voor de verhouding tussen de minimale en de gemiddelde luminantie aanbevolen (in schone toestand). In de lengterichting wordt voor de wegdekluminantie een verhouding van $L_{min}/L_{max} = 0,7$ langs het midden van iedere rijstrook aanbevolen.

Voor de methoden om de gelijkmatigheid van de luminantie te beschrijven, te berekenen en te meten, alsmede voor een vergelijking van de hier gegeven aanbeveling in relatie tot de aanbevelingen zoals ze worden gegeven voor de verlichting van verkeerswegen, zij verwezen naar het betreffende CIE-rapport [9].

5.8. Verblindingsbegrenzing

De waarneming kan ongunstig worden beïnvloed door verblinding; daarom is het van belang de verblinding te begrenzen. Daarbij is in tunnels alleen de fysiologische verblinding ("disability glare") van belang. De verblinding door de verlichtingsarmaturen in de tunnel dient zodanig te zijn begrensd dat de drempelwaardeverhoging T.I. voor alle zones en alle schakeltoestanden in de tunnel minder dan 15% bedraagt.

Voor de verblinding in tunnels kan een vereenvoudigde berekening worden gebruikt. T.I. wordt als volgt berekend:

$$T.I. = \frac{65 * L_S}{L_R 0,82}$$

voor L_R kleiner dan of gelijk aan 5 cd/m^2 , en

$$T.I. = \frac{95 * L_S}{L_R 1,05}$$

voor L_R groter dan 5 cd/m^2 .

Hierin is L_R de gemiddelde wegdekkluminantie en L_S de sluierluminantie ten gevolge van alle armaturen in het gezichtsveld tot een hoek van 20 graden boven de horizontaal (beide in cd/m^2).

Voor details over de berekening en de meting van de T.I. zij verwezen naar het desbetreffende rapport van de CIE [10].

5.9. Vermijden van flikkereffecten

Flikkereffecten zijn verstoringen in het rijcomfort ten gevolge van periodieke veranderingen in de luminanties in het gezichtsveld. Flikkereffecten kunnen afkomstig zijn van de armaturen in de tunnel of van de elementen van de daglichtroosters. De ernst van de storing hangt vooral af van de volgende factoren: het aantal veranderingen in de luminantie per seconde (de flikkerfrequentie), de luminantie van de lichtbronnen (armaturen of roosterelementen) ten opzichte van de achtergrond (het contrast), de totale duur van het flikkereffect en de scherpte van de lichtsterkteverdeling van de lichtbronnen. Derhalve is de storing afhankelijk van de rij snelheid en van de onderlinge afstand van de lichtbronnen, hun lichtsterkte en hun lichtsterkteverdeling.

In de centrale zone van een tunnel, die steeds met kunstlicht is verlicht, bestaat er in het algemeen gesproken geen storing ten gevolge van flikkereffecten wanneer de frequentie lager is dan 2,5 Hz of hoger dan 15 Hz.

Wanneer de afstand tussen de uiteinden van de armaturen kleiner is dan de lengte van de armaturen, hoeft voor storing niet te worden gevreesd omdat het patroon dan als een ononderbroken lijn wordt ervaren.

Dezelfde frequenties gelden in feite voor de ingangszone; hier behoeft men echter wegens de kleine lengte niet te vrezen voor flikkereffecten, zo lang aan de begrenzing van de verblinding volgens par. 5.8 is voldaan.

De ervaring heeft geleerd dat bij daglichtroosters, ten gevolge van de zeer hoge luminanties die de door de zon beschenen delen van de tunnel van het interieur van auto's kunnen krijgen, steeds hinder door flikkereffecten kan optreden, zo lang de frequentie lager is dan de fusiefrequentie. Deze kan voor de omstandigheden zoals die zich in tunnels voordoen op ca. 50 Hz worden gesteld. Dit effect is vooral van belang bij roosters die niet zondicht zijn, en waarbij de auto's (de voorruit, maar ook delen van het auto-interieur) door de zon worden beschenen. Het is niet mogelijk deze hinder in algemene termen aan te geven; de specifieke kenmerken van het roosterontwerp zijn meestal doorslaggevend. Voor details zij verwezen naar de betreffende literatuur [13].

6. VERLICHTING BIJ NACHT

Wanneer de tunnel een deel is van een traject met openbare verlichting, dient de verlichting in de tunnel tenminste gelijk te zijn aan de verlichting in de toegangszone, zowel wat betreft het niveau als de gelijkmatigheid.

Wanneer de tunnel in een overigens onverlichte weg ligt, dient de gemiddelde wegdekluminantie L_R tenminste 1 cd/m^2 te bedragen. De algemene gelijkmatigheid L_{\min}/L_R dient tenminste 0,4 te bedragen, en de langsgelijkmatigheid L_{\min}/L_{\max} tenminste 0,7. Deze waarden gelden voor iedere rijstrook in de tunnel.

De weg voorbij de uitgang van de tunnel dient verlicht te zijn tenminste over een lengte die overeen stemt met 5 seconden rijden met een snelheid gelijkaan de ontwerpsnelheid. De gemiddelde wegdekluminantie dient tenminste gelijk te zijn aan een derde van de luminantie in de tunnel in de buurt van de uitgang.

De nachtverlichting van de tunnel dient onder de eventuele bij de ingang en/of de uitgang aangebrachte daglicht temperende constructies te worden doorgetrokken.

7. NOODVERLICHTING

7.1. Algemeen

Bij onderbrekingen in de energievoorziening dient een noodvoorziening aanwezig te zijn waarmee tenminste een deel van de verlichting zonder enige onderbreking in werking blijft:

- om de kans dat automobilisten bij een plotseling uitvallen van de verlichting plotseling remmen en daarmee kettingbotsingen kunnen veroorzaken, te verminderen;
- om een redelijke verlichting te waarborgen, rekening houdend met een eventueel in te stellen (extra) snelheidslimiet;
- om het werk van de hulpverleningsploegen te vergemakkelijken in geval van ongevallen.

In het algemeen wordt gesteld dat tenminste 1/7 van de verlichting zonder enige onderbreking moet blijven branden ("no-break"); voor de eigenlijke noodverlichting wordt meestal een inschakeltijd van enige seconden geaccepteerd.

7.2. Waarschuwing

In geval van een storing in de verlichting dienen de automobilisten die de tunnel naderen tenminste 100-150 meter voor het tunnelportaal door een signaal te worden gewaarschuwd. De dan geldende snelheidslimiet dient te zijn aangegeven. Het signaal dient onzichtbaar te zijn wanneer het niet in gebruik is.

7.3. Het lichtniveau

De noodverlichting in de drempelzone en in de overgangszone dient aangepast te zijn aan de in geval van storing geldende snelheidslimiet. Het niveau in het interieur dient tenminste gelijk te zijn aan het nachtniveau. Het wordt aanbevolen om de noodverlichting zodanig uit te voeren dat 1/7 deel continu blijft branden ("no break"), terwijl bovendien 3/7 deel door een noodstroomvoorziening wordt bedreven. Het lichtniveau in noodbedrijf is daarmee 4/7 van het voor het interieur aanbevolen niveau.

8. ONDERHOUD

Het onderhoud van de verlichtingsinstallatie omvat de vervanging van de lampen, het reinigen van de armaturen, het reinigen van de tunnelwanden en het onderhoud van fotometers.

8.1. Vervanging van lampen

Bij de meeste lampen neemt de lichtstroom af gedurende de levensduur. Deze veranderingen dienen te worden bijgehouden teneinde de optimale cyclus van lampvervanging te kunnen bepalen.

Groepsremplace wordt aanbevolen. De vervanging dient te zijn aangepast aan de afname van de lichtstroom van de lampen en aan het uitvalspercentage van de lampen. De tijd dat de lampen in gebruik zijn, dient te worden geregistreerd. Dit geldt vooral voor de lampen in de ingangsverlichting en voor de nachtbranders.

8.2. Reinigen van de armaturen

Het is noodzakelijk om de armaturen periodiek te reinigen om een sterke terugval van de lichtopbrengst te voorkomen. Gewoonlijk wordt de tunnel gereinigd wanneer de lichtniveaus met 20 à 30% zijn afgenomen.

Bij zorgvuldig gesloten armaturen is het voldoende om de buitenkant van het afdekglas te reinigen. Het binnenwerk kan worden gereinigd tegelijk met de vervanging van de lampen. De frequentie van reinigen van de buitenkant van de armaturen hangt sterk af van de omstandigheden in de tunnel.

Het tijdstip voor reiniging wordt bepaald door de terugval van het lichtniveau te meten. Rekening moet worden gehouden met het feit dat de terugval in het lichtniveau niet alleen wordt bepaald door de vervuiling; er zijn ook andere factoren die de terugval van het lichtniveau kunnen beïnvloeden, te weten de temperatuur en de veroudering van de lampen. Men kan deze factoren bepalen door het lichtniveau zowel in het armatuur als in de tunnel buiten het armatuur te meten. Daarmee wordt de invloed van de vervuiling van de afdekruiten van de armaturen bepaald. Deze is maatgevend

voor de totale vervuiling in de tunnel. Aanbevolen wordt om de afdekruiten van de armaturen en de wanden van de tunnel steeds gelijktijdig te reinigen.

De armaturen dienen wat betreft de afdichting tegen water en stof ten minste te voldoen aan de eisen van de beschermingsklasse IP65 zoals beschreven in de IEC-Publikatie 598.

8.3. Reinigen van de tunnelwanden

De tunnelwanden vormen vaak een belangrijk gedeelte van de achtergrond voor objecten in het verkeer. Het is daarom van belang om te zorgen dat de wanden een hoge luminantie hebben; reiniging draagt ertoe bij dat deze hoge luminantie ook gehandhaafd blijft.

De frequentie waarmee de wanden dienen te worden gereinigd hangt sterk af van het materiaal waarmee de wanden zijn bekleed en van de situatie in de tunnel, daarbij inbegrepen het verkeer. In dit verband wordt aanbevolen de wanden te bekleden met een materiaal dat een gemakkelijke en grondige reiniging mogelijk maakt (bijv. geglazuurde tegels)

Het tijdstip voor de reiniging wordt op dezelfde wijze bepaald als eerder in par. 8.2 is aangegeven ten behoeve van de reiniging van de armaturen. Aanbevolen wordt om de wanden van de tunnel en de afdekruiten van de armaturen steeds gelijktijdig te reinigen.

8.4. Onderhoud van de fotometers

De fotometers die worden gebruikt om het lichtniveau in de toegangszone en in de drempelzone te regelen dienen periodiek te worden gecontroleerd. Ze dienen tenminste éénmaal per jaar opnieuw te worden geijkt en te worden gereinigd.

8.5. Onderhoud van de armaturen

Het onderhoud van de armaturen omvat de controle en vervanging - wanneer nodig - van de ophangbeugels, de afsluitingen en afdichtingen, enz. Het verdient aanbeveling de armaturen zodanig uit te voeren dat onderdelen

gemakkelijk toegankelijk zijn en gemakkelijk kunnen worden vervangen, zo mogelijk terwijl het huis van het armatuur in de tunnel blijft. Behalve het voor de hand liggende gemak van onderhoud is dit van belang om te vermijden dat de armaturen opnieuw dienen te worden uitgericht.

LITERATUUR

- [1] NSvV. Aanbevelingen voor tunnelverlichting. Electrotechniek 41 (1963) 23;46.
- [2] CIE. International recommendations for tunnel lighting. Publication No. 26. Commission Internationale de l'Eclairage CIE, Paris, 1973.
- [3] CIE. Guide for the lighting of road tunnels and underpasses. Publication No. 26/2 (Draft). CIE, Vienna, 1989.
- [4] CIE. Tunnel entrance lighting. Publication No. 61. CIE, Paris, 1984.
- [5] Schreuder, D.A. & Oud, H.J.C. The predetermination of the luminance in tunnel entrances at day. R-88-13. SWOV, Leidschendam, 1988.
- [6] Adrian, W. & Eberbach, K. On the relationship between the visual threshold and the size of the surrounding field. Lighting Research & Technology 1 (1969) 251-254.
- [7] Schreuder, D.A. De verlichting van tunnelingangen. R-81-26. SWOV, Voorburg, 1981.
- [8] Vos, J.J. Disability glare; A state of the art report. CIE Journal 3 (1984) 39-53.
- [9] CIE. Recommendations for the lighting for roads for motorized traffic. Publication No. 12/2. CIE, Paris, 1977.
- [10] CIE. Glare and uniformity in street lighting. Publication No. 31. CIE, Paris, 1976.
- [11] CIE. International Lighting Vocabulary. 4th Edition. Publication No. 17-4. CIE, Paris, 1987.
- [12] RAW/SCW/SVT. Nomenclatuur van weg en verkeer. SCW-Mededeeling 58 / SVT-Mededeeling 41. Driebergen, 1986.
- [13] Tan, T.H.; Van den Brink, T.D.J. & Swart, L. Tunnellinging. Lichtforschung 5 (1983) 2: 113-116.
- [14] Van den Brink, T.D.J. Experimenten met daglichtroosters bij tunnelingangen. DVK Nota 8701, Rijkswaterstaat, Den Haag, 1987.
- [15] Richtlijnen voor het ontwerpen van niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom; Voorlopige richtlijnen; Hoofdstuk IV Alignement. Rijkswaterstaat, Den Haag, 1989.
- [16] Padmos, P. & Alferdinck, J.W.A.M. Verblinding bij tunnelingangen II: De invloed van atmosferisch strooilicht. Rapport IZF 1983 C-9. IZF-TNO, Soesterberg, 1983.
- [17] Padmos, P. & Alferdinck, J.W.A.M. Verblinding bij tunnelingangen III: De invloed van strooilicht aan de autovoorraad. Rapport IZF 1983 C-10. IZF-TNO, Soesterberg, 1983.

AFBEELDINGEN 1 T/M 6

Afbeelding 1. Schets van de situatie bij een tunnelingang

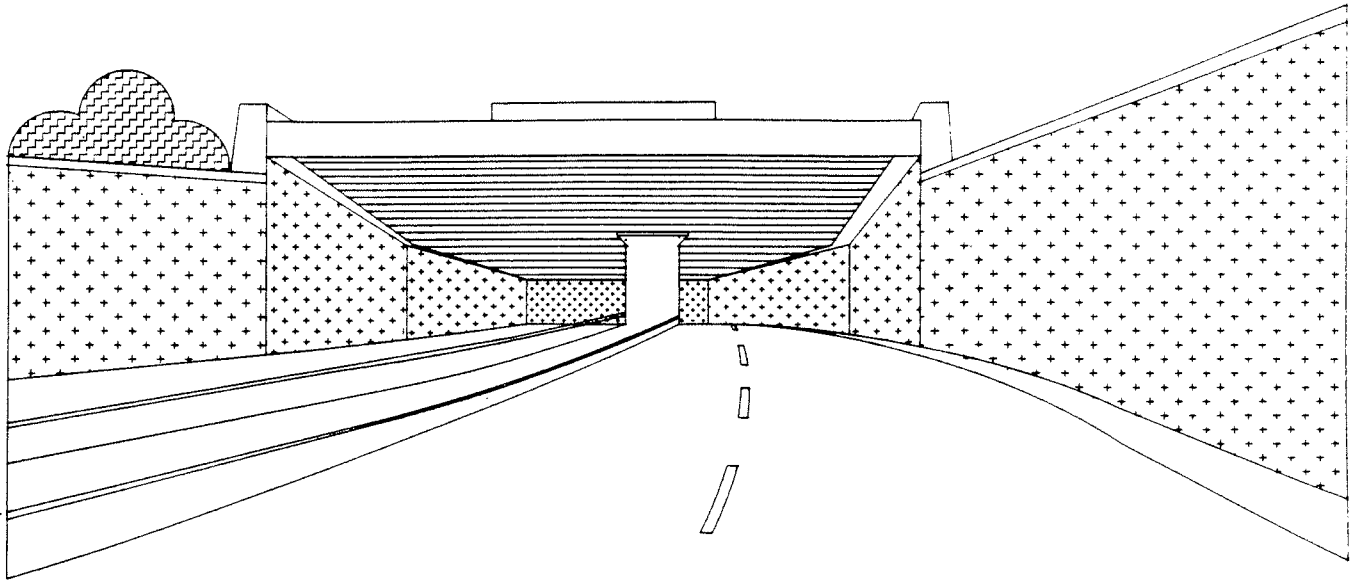
Afbeelding 2. De in deze Aanbevelingen gebruikte terminologie

Afbeelding 3. De geometrie behorende bij de zogenaamde verblindingsformules. θ is de hoek tussen de kijkrichting en de richting waarin de verblindingsbron wordt gezien.

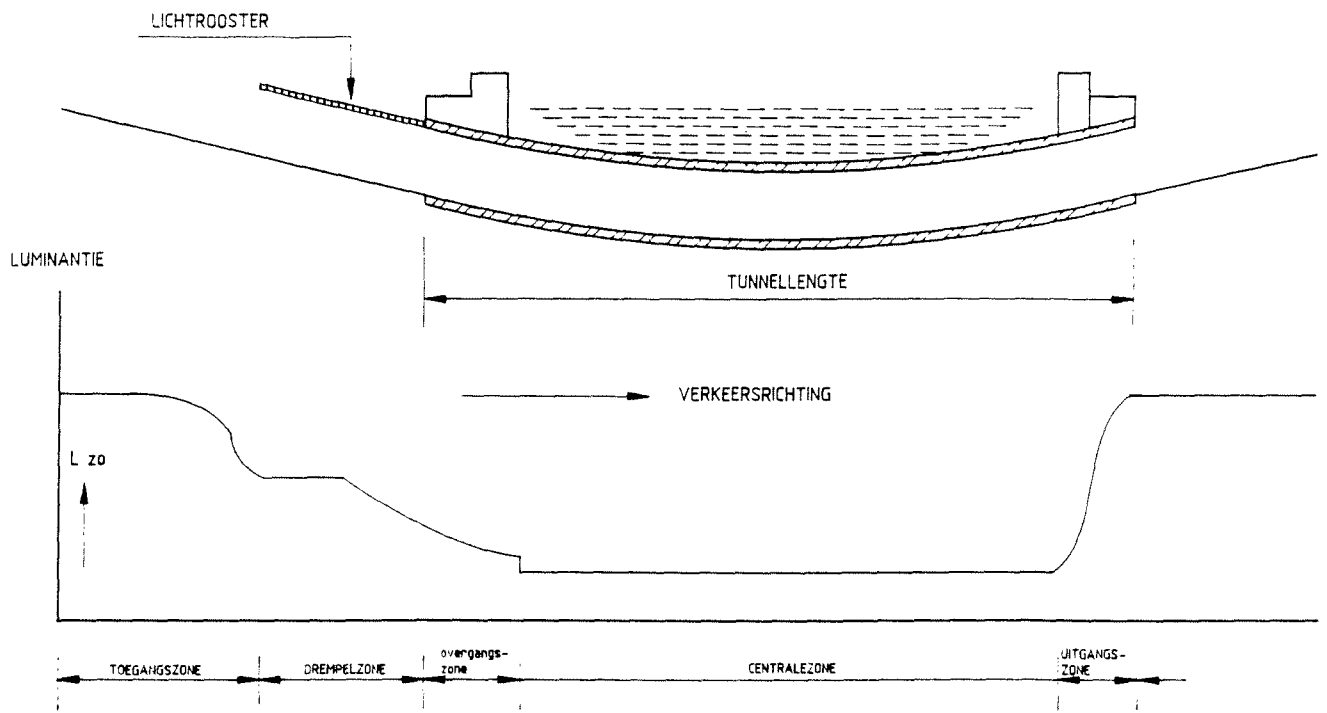
Afbeelding 4. De stopafstand (naar [15])

Afbeelding 5. Schetsen ter bepaling van L_{20} (ontleend aan [3])

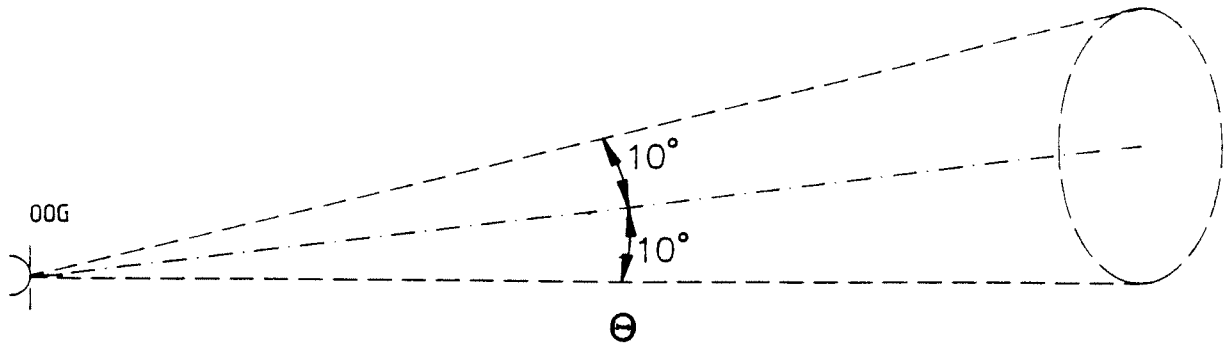
Afbeelding 6. De toelaatbare minimale luminantie in de overgangszone in lange tunnels (ontleend aan [3])



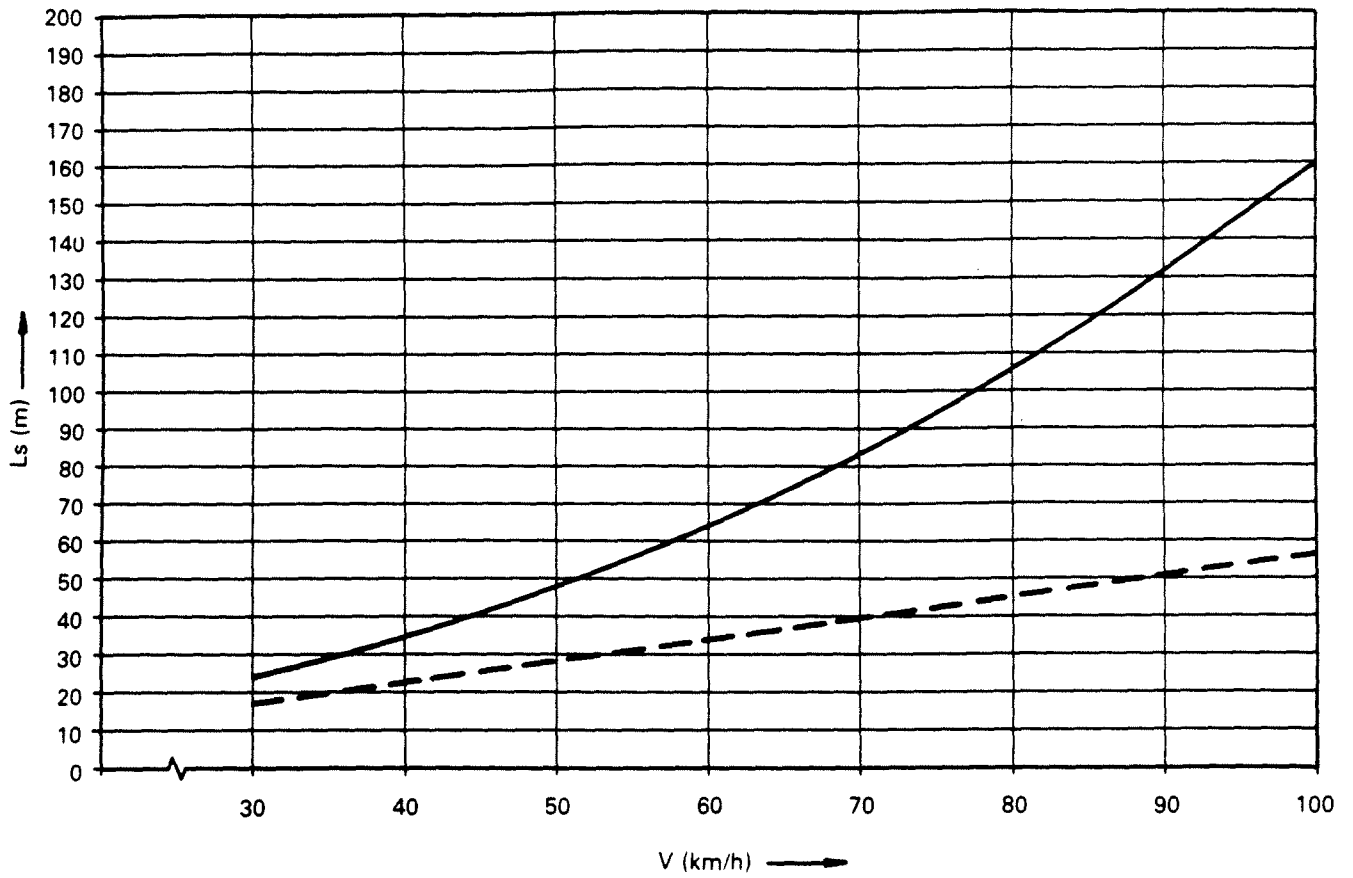
Afbeelding 1. Schets van de situatie bij een tunnelingang



Afbeelding 2. De in deze Aanbevelingen gebruikte terminologie

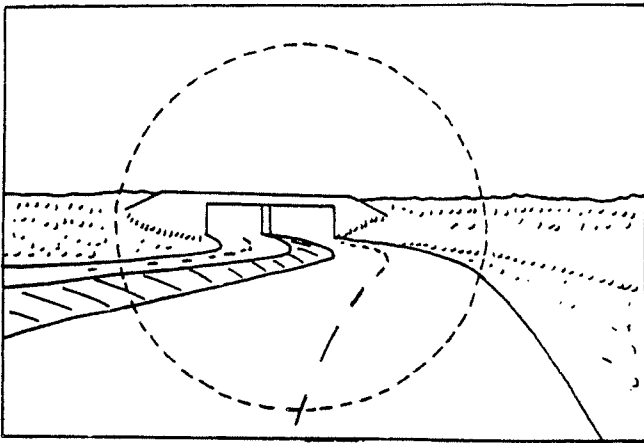


Afbeelding 3. De geometrie behorende bij de zogenaamde verblindingsformules. Θ is de hoek tussen de kijkrichting en de richting waarin de verblindingsbron wordt gezien.

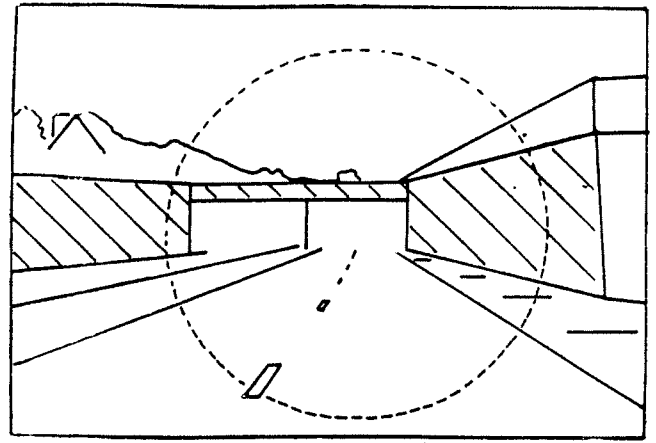


- stopzicht (L_s)
- - - afstand afgelegd in 2 sec.
perceptie-reactietijd.
- L_s = stopzichtafstand (m)
- v_o = beginsnelheid (m/sec)
- v_t = eindsnelheid = 0 (m/sec)
- p = hellingspercentage / 100
- g = versnelling van de zwaartekracht (9.81 m/sec²)
- $f_l(v)$ = relatie tussen de wrijvingscoëfficiënt in langsricting en de snelheid (zie tabel 2)

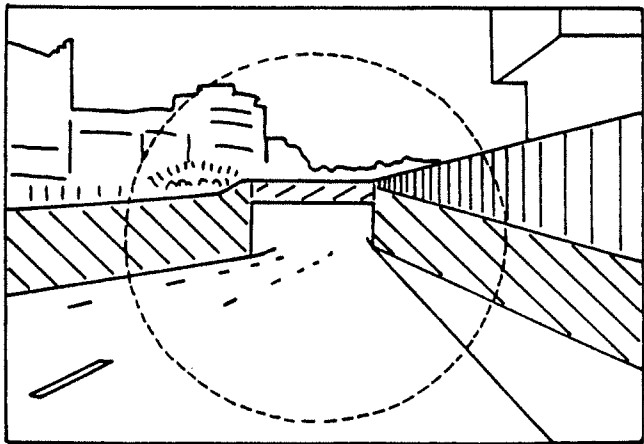
Afbeelding 4. De stopafstand (naar [15])



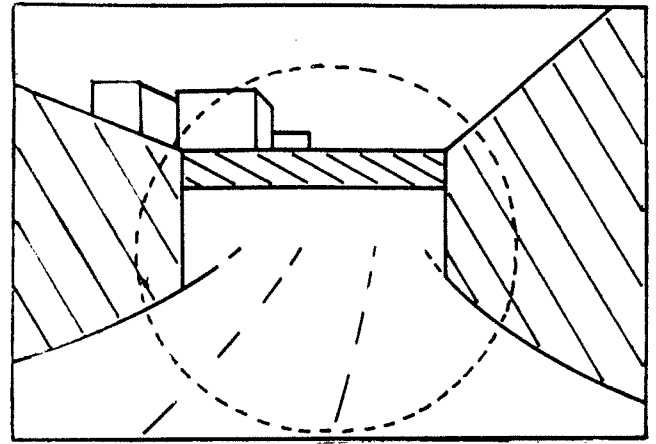
lucht 35%



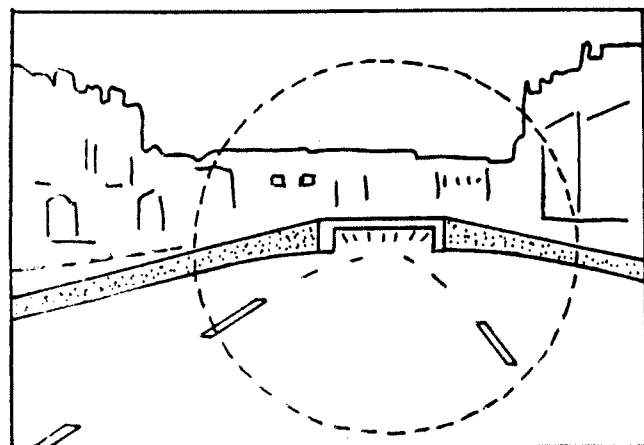
lucht 27%



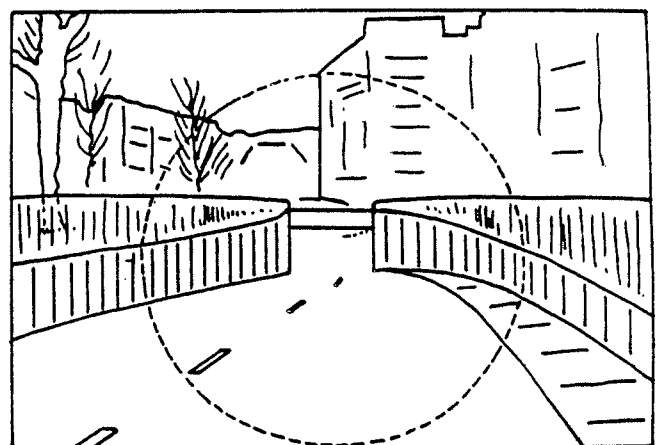
lucht 18%



lucht 14%

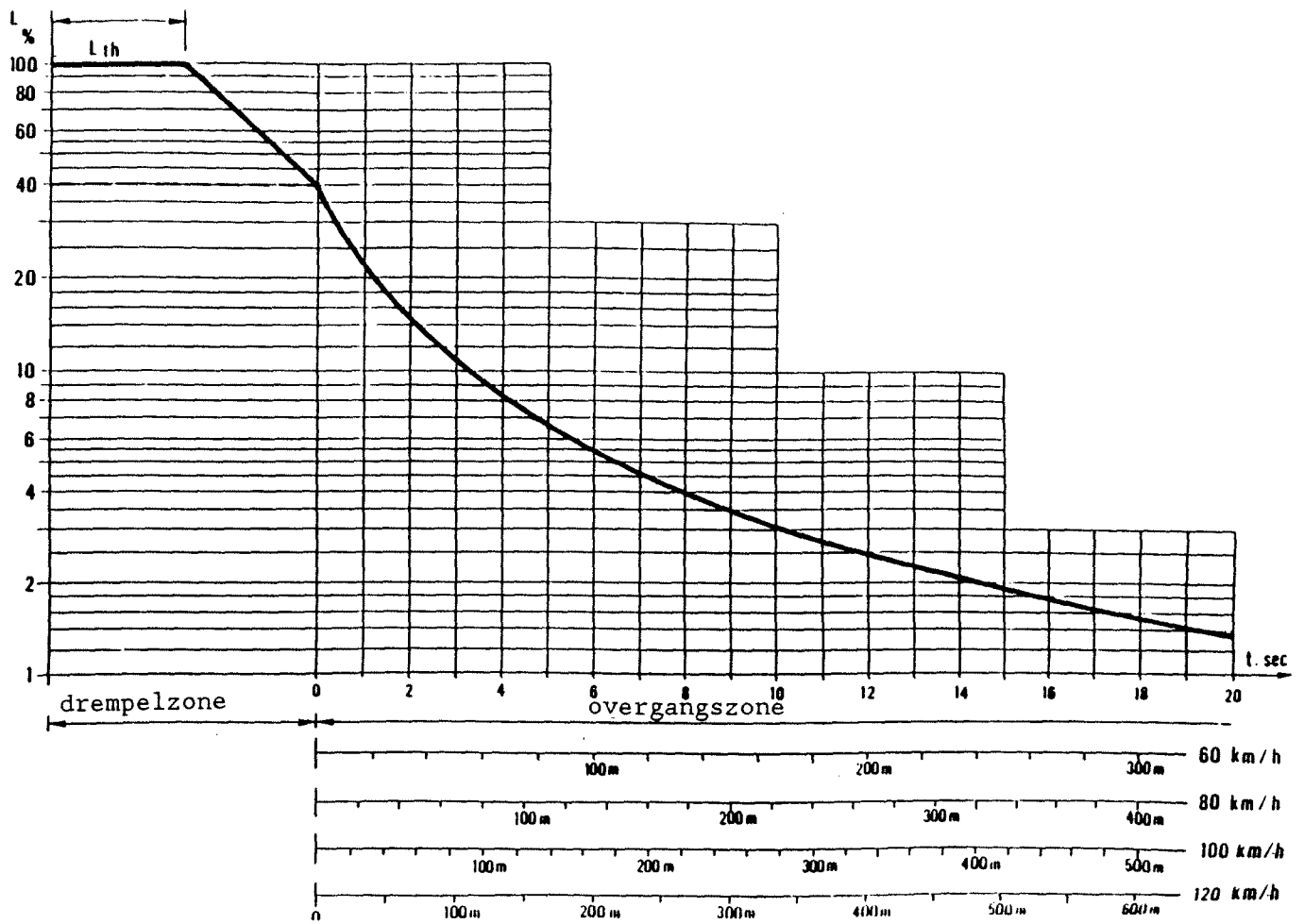


lucht 14%



lucht 3%

Afbeelding 5. Schetsen ter bepaling van L_{20} (ontleend aan [3])



Afbeelding 6. De toelaatbare minimale luminantie in de overgangszone in lange tunnels (ontleend aan [3])

TABELLEN 1 EN 2

Tabel 1. Aanbevolen waarden voor de verhouding tussen de luminantie in de drempelzone L_{th} en de equivalente sluierluminantie L_{seq}

Tabel 2. Aanbevolen waarden voor de gemiddelde luminantie (normwaarden) van het wegdek en van de wand tot 2 m hoogte in cd/m^2 (F = verkeersaanbod in voertuigen per rijstrook per uur per rijrichting voor het "maatgevend spitsuur").

Ontwerpsnelheid	$p=L_{th}/L_{seq}$
50 km/uur	0,6
80 km/uur	0,8
100 km/uur	0,9
120 km/uur	1,0

Tabel 1. Aanbevolen waarden voor de verhouding tussen de luminantie in de drempelzone L_{th} en de equivalente sluiertiluminantie L_{seq}

Ontwerp- snelheid	Verkeersaanbod f	
	laag f < 1000 vtg/uur	hoog f > 1000 vtg/uur
50 km/uur	3 cd/m ²	5 cd/m ²
80 km/uur	6 cd/m ²	8 cd/m ²
100 km/uur	8 cd/m ²	12 cd/m ²
120 km/uur	10 cd/m ²	15 cd/m ²

Tabel 2. Aanbevolen waarden voor de gemiddelde luminantie (normwaarden) van het wegdek en van de wand tot 2 m hoogte in cd/m² (F = verkeersaanbod in voertuigen per rijstrook per uur per rijrichting voor het maatgevend "spitsuur").