

DE THEORIE VAN DE VERKEERSVERLICHTING GEZIEN VANUIT DE VERKEERSKUNDE;
SPECIALE GEVALLEN; AANVERWANTE ONDERWERPEN EN AANBEVELINGEN VOOR
OPENBARE VERLICHTING

Hoofdstuk B.1. t/m B.4.

Cursus Weg- en straatverlichting 1982

Stichting Postakademiale Vorming Verkeerskunde

R-82-17

Dr.ir. D.A. Schreuder

Leidschendam, 1982

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

	<u>Blz.</u>
B.1. <u>De theorie van de verkeersverlichting gezien vanuit de verkeerskunde</u>	3
B.1.1. Inleiding	3
B.1.2. Verkeersveiligheid en comfort	5
B.1.3. Omvang en aard van de problemen	8
B.1.4. De functionele vereisten	9
B.1.5. De visuele vereisten	13
B.1.6. De lichttechnische eisen	14
B.1.7. Kosten/baten overwegingen	17
Tabellen, Figuren en Aanbevolen literatuur bij B.1.	25
B.2. <u>Speciale gevallen</u>	33
B.2.1. Inleiding	33
B.2.2. De verlichting van verkeerstunnels	33
B.2.3. Voetgangersoversteekplaatsen	37
B.2.4. Categorisering van wegen	43
B.2.5. Kruispunten	47
Annex en Literatuurlijst bij B.2.	49
B.3. <u>Aanverwante onderwerpen</u>	52
B.3.1. Inleiding	52
B.3.2. Constructieve aspecten van wegdekken	52
B.3.3. Wegmarkeringen	54
B.3.4. Bewegwijzering, verkeerstekens	55
B.3.5. Verkeerslichten	57
B.3.6. Verlichtingsmiddelen als wegmeubilair	59
B.4. <u>Aanbevelingen voor openbare verlichting</u>	61
Tabellen en Annexen bij B.4.	67

B.1. DE THEORIE VAN DE VERKEERSVERLICHTING GEZIEN VANUIT DE VERKEERSKUNDE

B.1.1. Inleiding

Het verkeer op de openbare weg is alleen mogelijk wanneer de verkeersdeelnemers een bepaalde, minimale, hoeveelheid visuele informatie hebben over de omgeving. Zonder dergelijke visuele informatie is het verkeer onmogelijk. Dit is natuurlijk geen principieel vereiste; het is heel goed mogelijk om aan een soort verkeer te denken waarbij dergelijke visuele informatie niet nodig is. Maar dit is hier niet zo van belang; het verkeer heeft zich nu eenmaal in een bepaalde richting ontwikkeld: zodanig dat momenteel deze visuele informatie onontbeerlijk is. Wat die informatie behelst, en op welke wijze die informatie dient te worden verschaft, zal verderop worden besproken. Voorlopig zullen we volstaan met de constatering dat de informatie verschaft moet worden. Men zou kunnen stellen dat het wegverkeer zoals het momenteel gangbaar is, ingesteld is op het verkrijgen van visuele informatie. Maar men kan nog een tweede constatering vermelden: het verkeer is ingesteld op de dagsituatie. Ook dit is niet een bewuste keuze maar meer een geleidelijk gegroeide gewoonte. Het doet er hier niet toe hoe dat zo is ontstaan; ook hier volstaan we met de constatering dat bij de beschouwing van het verkeersgebeuren in zijn totaliteit allereerst de dagsituatie voorop heeft gestaan. Dit geldt niet alleen voor de beschouwingen over de infrastructuur, het wegverloop en de wegbelijning, maar ook voor de verkeersregeling, de verkeersopvoeding, de voertuiguitrusting, de wegbeveiliging, de opleiding, enz. En eigenlijk is het nog sterker: kijkt men naar hetgeen als de norm voor de omstandigheden geldt, dan blijkt dit niet alleen de dagsituatie te zijn, maar het blijkt zelfs beperkt te zijn tot de situaties met goed daglicht (dus geen schemering), goed zicht (dus geen nevel of mist) en goed weer (dus geen regen of sneeuw). Deze toestand geldt als normaal (in de zin van norm, ook al zou mogelijk kunnen blijken dat deze situatie niet de meest voorkomende is). Van deze norm, of standaardtoestand gaat men gewoonlijk uit; alle andere omstandigheden worden als "uitzonderingen" beschouwd. Duisternis wordt beschouwd als een bijzondere toestand voor het wegverkeer, dit in vergelijking tot de daglichtsituatie. Aangezien het ver-

keer (tenminste voor zover het hier wordt behandeld) gebaseerd is op het verkrijgen van visuele informatie, is een alternatieve verlichting noodzakelijk; immers bij het ontbreken van licht is het verkrijgen van visuele informatie niet mogelijk. De normen van alternatieve verlichting worden samengevat onder de term "kunstlicht".

Op deze manier beschouwd is kunstlicht dus een verkeersvoorziening. Immers zonder kunstlicht is het wegverkeer onmogelijk, net zo goed als zonder wegen of zonder voertuigen.

Wanneer men de dagsituatie als maatgevend stelt, zou men geneigd kunnen zijn om te verlangen dat bij toepassing van kunstlicht de situatie ten behoeve van het verkeer even goed zou moeten zijn als de situatie beschouwd bij daglicht. Er is echter eigenlijk geen bepaalde reden aan te wijzen om de dagsituatie als een optimale situatie te beschouwen.

Er zijn nu twee mogelijke wegen om verder te komen. De eerste is om na te gaan welke visuele informatie nu eigenlijk nodig is, en op basis daaruit de eisen, te stellen aan het kunstlicht, af te leiden. Verderop zullen we op deze methode terugkomen: dit is de zgn. functionele aanpak. De tweede weg gaat ervan uit dat we globaal kunnen schatten welke informatie gewenst wordt om nog van een redelijke verkeersafwikkeling te kunnen spreken. In plaats van het bepalen van de optimale situatie betekent deze weg dat we volstaan met een "redelijke" situatie. De rechtvaardiging van deze keuze moet vooral worden gevonden in het feit dat er een praktische aanpak op kan worden gebaseerd. Het is echter nodig om te proberen de eerste weg - die principieel gesproken de enige goede is - verder te vervolgen. Op dit gebied wordt veel onderzoek uitgevoerd. De gedachte van een "redelijke" zichtbaarheid is gebaseerd op de volgende redenering: aangezien het verkeer bepaald wordt (grotendeels tenminste) door visuele factoren is verkeer zonder licht niet mogelijk. Anderzijds mag men verwachten dat het verkeer optimaal zal verlopen bij zeer goede lichtomstandigheden (bijv. vol daglicht). En het is te verwachten dat er een tussenvorm bestaat waarbij "redelijk" licht een "redelijk" verkeer mogelijk maakt. Uiteraard is "redelijk" niet precies te omschrijven. Ondanks dat zullen we het verlichtingstype dat hierbij hoort als een soort van nulniveau beschouwen, behorende bij het nulniveau van het verkeer. En we zullen het verlichtingstype aanduiden met basisverlichting. Deze basisverlichting kan als uitgangspunt worden genomen ten opzichte waarvan de verschillende andere verlichtingstypen

zullen worden vergeleken en niet, zoals meestal gebeurt, het daglicht. Over wat nog "redelijk" is, kan natuurlijk worden getwist. We kunnen er tenminste dit over zeggen: het behoeft niet optimaal te zijn, maar aan de andere kant moet het mogelijk zijn om op een met de dagsituatie vergelijkbare wijze aan het verkeer deel te nemen - dus zonder speciale training, en zonder speciale voertuigen. Bij "redelijk" zullen we echter wel mogen verwachten dat speciale oefening gewenst is en dat een speciale uitmonstering van de voertuigen noodzakelijk is.

Gedurende de laatste tientallen jaren heeft zich een geleidelijke ontwikkeling voorgedaan wat betreft de uitmonstering van de voertuigen, die (op basis van trial and error, en praktijkervaring en opinie) hebben geleid tot een algemeen aanvaarde opvatting over wat de basisverlichting zou moeten zijn. We doelen hier op het dimlicht. Het is niet gebruikelijk om het dimlicht als zodanig te beschouwen. Men beschouwt het dimlicht meestal als "kruisingslicht" d.w.z. het verlichtingssysteem dat door auto's wordt meegevoerd en bedoeld is om een bepaalde zichtbaarheid te waarborgen tijdens de ontmoeting met andere auto's. Het moge zo zijn dat dit een belangrijke functie van het dimlicht is, maar functioneel is het dimlicht duidelijk meer dan alleen een kruisingslicht. Het wordt wel eens omschreven als het beste compromis (tenminste dat momenteel op grote schaal beschikbaar is) tussen veel verlichten en weinig verblinding. Hier is vooral bedoeld op de ontmoeting met andere auto's. Wanneer we echter denken aan de ontmoeting tussen auto's en andere verkeersdeelnemers (fietsers, voetgangers) of tussen andere verkeersdeelnemers onderling, komen andere aspecten aan de orde. De behandeling van de positie van de automobilist dient hier dan ook meer als voorbeeld, de andere weggebruikers worden beslist niet vergeten!

B.1.2. Verkeersveiligheid en comfort

Zoals hierboven is aangegeven, dient de verlichting voor het wegverkeer beschouwd te worden als een verkeersvoorziening.

Het is de functie van verkeersvoorzieningen, de verkeersdeelnemer de mogelijkheden te bieden het einddoel van zijn tocht te bereiken op een veilige, vlotte en comfortabele manier, en dit tegen zo laag mogelijke kosten.

Bij de beschrijving van de verkeersveiligheid drukt men zich meestal uit in termen van verkeersonveiligheid. Dit is op zichzelf een aanvechtbare beslissing; men zou kunnen stellen dat de veiligheid een op zichzelf staande, algemene menselijke emotie is, die in heel andere termen kan worden beschreven dan in de afwezigheid van ongevallen. Vaak ook omzeilt men dit probleem door alleen maar over onveiligheid te praten. En onveiligheid kan op een bruikbare en kwantificeerbare wijze worden uitgedrukt in (aantallen en ernst van) ongevallen.

Het accent van vele verkeersveiligheidsmaatregelen ligt op het verlichten van de taken van de verkeersdeelnemers. Dit kan o.a. worden bereikt door:

1. Het verhogen van de uniformiteit van de optredende situaties. Dit vereist uniformiteit in wegontwerp, gedragsregels en voertuigontwerp;
2. Het vermijden of elimineren van situaties die voor de verkeersdeelnemers zeer moeilijk voorspelbaar zijn;
3. Het verbeteren van de waarneembaarheid van de situatie en het toepassen van speciale waarschuwingssystemen voor de nog niet geëlimineerde, moeilijk voorspelbare bewegingsbeperkingen.

De tweede eis die, wat betreft de functie, aan verkeersvoorzieningen kan worden gesteld, is de vlotheid. Daarbij moeten twee aspecten worden onderscheiden: de individuele reistijd en de totale verkeersprestatie. De eerste wordt gewoonlijk bij het comfort gerekend (niet geheel terecht overigens); de tweede is vooral een economische factor. Er bestaat een verband tussen de gemiddelde snelheid en de bij de snelheid behorende bereikbare verkeersintensiteit. Er bestaat een snelheid, waarbij de bereikbare verkeersintensiteit maximaal is. Deze intensiteit wordt beschouwd als de "capaciteit" van de weg. Hiermee hangt samen het zogenaamde afwikkelingsniveau. Uiteraard bestaat er een nauwe relatie tussen de veiligheid en de vlotheid. Het blijkt daarbij dat de onveiligheid bij zeer hoge en bij zeer lage verkeersintensiteit hoger is dan bij middelmatig hoge verkeersintensiteit.

Het bestaan van een relatie tussen verkeersonveiligheid en snelheid wordt zelden in twijfel getrokken. Het feit dat bij hogere snelheid de effectieve stopafstand zeer aanzienlijk toeneemt, zodat eventuele obstakels op grote afstand ontwaard moeten worden, gevoegd bij het feit dat de meeste auto's bij hoge snelheid moeilijk bestuurbaar zijn, en

dat de ernst van de afloop van botsingen sterk afhangt van de snelheid op het moment van botsing, lijkt een voldoende duidelijke aanwijzing te geven.

Als derde criterium is aangegeven het comfort. Wat is comfort? Het is een verzameling van een aantal begrippen. Het wordt deels een soort "rest-term" van momenteel onbekende veiligheids- en vlotheidsaspecten beschouwd. Deels is het gerelateerd aan de individuele rijnsnelheid, en deels aan de inspanning nodig voor het besturen van het voertuig. In de moderne psychologische beschouwingen worden meestal ook andere aspecten mee in het beeld betrokken. Zo kan men aannemen dat het idee "comfort" in relatie kan worden gebracht met de mate waarin aan behoefte is voldaan. Twee gezichtspunten verdienen hier genoemd te worden.

Ten eerste neemt men meestal aan dat een mens "optimaal" functioneert bij een bepaald activatieniveau. Een te laag niveau van activatie beïnvloedt de prestatie nadelig doordat men slaperig en sloom reageert, maar ook een te hoog niveau is niet goed omdat men dan snel afgeleid en geïrriteerd raakt. De bron van mentale energie is niet onbeperkt: inspanning moet verdeeld worden over de verschillende onderdelen van een taak en dat gebeurt gewoonlijk op grond van de specifieke eisen die de taak stelt.

Ten tweede is bekend dat bij vrij zoekgedrag het aftasten van het gezichtsveld meer frequent gebeurt wanneer de taak als moeilijker wordt ervaren. Een taak (of een situatie) waarbij een grotere inspanning wordt vereist, is dus minder comfortabel, met name natuurlijk wanneer er van een uitgesproken zware belasting sprake is. Maar omgekeerd zou men zich ook kunnen voorstellen dat bij een situatie die als comfortabel wordt ervaren het zoekgedrag zodanig wordt gewijzigd dat de "scanning" minder frequent plaatsvindt. En hier ontstaat dan een mogelijke relatie met de verkeersveiligheid: het behoort tot de mogelijkheden dat de situatie die als comfortabel wordt ervaren en waarin de scanning dus weinig frequent is, in feite een zeer secure visuele waarneming vereist - een hoge frequentie van scanning dus. Het gevolg is dus duidelijk: men zou gemakkelijk belangrijke dingen over het hoofd kunnen zien, kunnen missen.

Verder kunnen we, in relatie tot wat men veelal onder "comfort" verstaat, ook wijzen op de subjectieve ervaringen betreffende veiligheid. Uit

studies (ondermeer wat betreft de verlichting van woonstraten en woonerven) is bekend dat er een relatie bestaat tussen verlichting en de gevoelens van welbevinden en subjectieve veiligheid. Dit betreft comfort in de betekenis van rijcomfort en van leefcomfort. Bij de behandeling van verlichting voor het verkeer komt het begrip comfort ook nog in een heel ander verband aan de orde: het comfort wat betreft de verlichting zelf, en dan meer speciaal wat betreft de verblindingsbegrenzing en (in mindere mate) wat betreft de ongelijkmatigheid van het luminantiepatroon. Deze twee aspecten van comfort zijn elders besproken.

Tenslotte de kosten. Wat zijn de kosten? De kosten omvatten alle uitgaven ten laste van de overheid en de individuen om het verkeerssysteem operationeel te maken/te houden. Bij de kosten horen dus: kosten van ongevallen, kosten van tijdverlies door congestie, aanleg- en onderhoudskosten van het wegennet, belasting en slijtagekosten, maar ook "kosten" betreffende andere schaarse goederen zoals frisse lucht, stilte, ruimte, enz., en ook de "kosten" van menselijk leed ten gevolge van ongevallen. De algemene beschouwingen over kosten hebben meestal een relatie tot de overwegingen betreffende kosten/baten, of ook tot de analyse van de doelmatigheid van maatregelen ter bevordering van het verkeer of van specifieke aspecten daarvan (bijvoorbeeld de veiligheid). Op dit gebied vindt veel onderzoek plaats.

B.1.3. Omvang en aard van de problemen

1. Het verkeer en de verkeersonveiligheid

In de geïndustrialiseerde landen, zoals Nederland, is het gemotoriseerde wegverkeer een zeer belangrijke factor. In Tabel B.1.1. is een aantal globale gegevens opgenomen die dit kunnen illustreren. Naast de vele voordelen die het verkeer biedt, is er echter ook een aanzienlijke schade die door het verkeer aan de maatschappij wordt toegebracht. We zullen ons hierbij vooral richten op de ongevallen die in het verkeer plaatsvinden. Het algemene probleem van de verkeersonveiligheid is in detail besproken in "Tien jaar verkeersonveiligheid in Nederland" (SWOV, 1976). In Figuur 1 t/m 3 zijn een paar gegevens hieruit geciteerd.

De nachtelijke situatie wordt gekenmerkt door de afwezigheid van daglicht, waarbij dus nacht en duisternis gelijk zijn gesteld. Dit is niet overal gebruikelijk; niet zelden wordt onder "nacht" verstaan het tijdverloop na "'s avonds laat", bijvoorbeeld tussen middernacht en zes uur. In weer andere gevallen wordt onder nacht verstaan het tijdverloop tussen zonsondergang en zonsopgang.

2. Verkeersveiligheidsmaatregelen

Letsel en dood ten gevolge van verkeersongevallen kan op drie wijzen worden verminderd, respectievelijk voorkómen.

Ten eerste door maatregelen op grond waarvan de bestuurder op zodanige wijze hun voertuig kunnen (en zullen) besturen dat botsingen achterwege blijven. Andere "schade" is echter wel mogelijk: energie- en geldgebruik, lawaai, stress, tijdverlies, enz. Maatregelen die op deze wijze werken worden gerekend tot de "pre-crash"-maatregelen. Zij betreffen het rijgedrag van bestuurders en het wegontwerp.

Ten tweede kunnen maatregelen worden genomen die er toe leiden dat de botsingen, zo die al plaatsvinden, een minder ernstige afloop hebben. Andere schade kan echter wel optreden. Deze maatregelen worden aangeduid als "crash"-maatregelen. Zij betreffen voertuigen, het wegontwerp en het wegmeubilair.

Ten derde zijn er de "post-crash"-maatregelen. Hieronder worden verstaan de maatregelen die de lange-termijngevolgen van de botsing in ernst verminderen. Zij betreffen hulpverlening, enz.

B.1.4. De functionele vereisten

Zoals uit het voorgaande blijkt, wordt onder de functie van verkeersverlichting verstaan: het mogelijk maken dat het verkeer ook 's nachts kan worden afgewikkeld waarbij speciaal wordt gelet op het verschaffen van visuele informatie. De verlichting moet dus aan bepaalde vereisten (functionele vereisten genaamd) voldoen, om de functie zoals hier gegeven, te kunnen vervullen.

De functie van de verkeersverlichting - daaronder begrepen de openbare verlichting - volgt derhalve rechtstreeks uit het feit dat het niet ge-

durende het hele etmaal "licht" is. Er bestaat een "dag" en een "nacht", gekenmerkt door (of gedefinieerd aan de hand van) de aanwezigheid van natuurlijk licht bij dag en de afwezigheid ervan bij nacht. Het totale verkeersgebeuren kan door deze afwezigheid 's nachts op verschillende wijzen worden beïnvloed:

- a. direct door afwezigheid van licht;
- b. indirect door een aantal fysische en meteorologische factoren die met de afwezigheid van licht en zonnestraling samenhangen (mist, regen, ijzel, nat wegdek, enz.);
- c. indirect door een aantal sociale en psychologische factoren die samenhangen met het feit dat voor het grootste deel van de bevolking overdag andere bezigheden heeft als 's avonds ('s nachts) (werken/niet werken, alcoholgebruik, verkeerssamenstelling, enz.).

Deze invloedsfactoren kunnen eigenlijk niet los van elkaar worden bekeken. Ten eerste bestaat er een onderlinge samenhang. Ten tweede zijn de factorengroepen a. en b. niet eenduidig met dag of nacht verbonden. Zo is er 's nachts meer mist dan overdag, maar mist komt ook overdag voor. Ten derde is er een groot verschil in lengte van dag en nacht, zowel bij vergelijking van verschillende jaargetijden, als bij het vergelijken van verschillende landen. Tenslotte is werken/niet werken niet vast aan dag/nacht verbonden.

Om het probleem tot hanteerbare proporties terug te brengen, zal in het hierna volgende de nadruk liggen op de problemen die voor het verkeer ontstaan doordat het licht ontbreekt.

Het gaat dus om de problemen die het gevolg zijn van de afwezigheid van (natuurlijk dag-)licht, waarbij het verkeer in drie aspecten kan worden beïnvloed: veiligheid, vlotheid en comfort. Vlotheid en comfort kunnen te zamen, maar apart van de veiligheid worden behandeld.

Men kan nu de volgende probleemstelling formuleren: aan welke eisen wat betreft functie en uitvoering moet de verlichting (de verlichtingsmiddelen) voldoen om de hierboven genoemde problemen van veiligheid en/of comfort te kunnen oplossen, zonder door ongewenste (ongunstige) neven-effecten andere problemen te verzwaren.

Voor het opstellen van de functionele vereisten (wat moet "het systeem" kunnen doen) is het nodig om te weten welke informatie de bestuurder/weggebruiker/verkeersdeelnemer nodig heeft (wat van "het systeem" verwacht kan worden). Dit alles betreft de functie van de verlichting ten behoeve van het verkeer, en met name van het (gemotoriseerde) wegverkeer.

De openbare verlichting heeft echter nog een aantal andere functies, zoals:

- beschermen van gebouwen en terreinen en bevorderen van de persoonlijke veiligheid en bestrijding van de misdaad, met name door het politietoezicht gemakkelijker en meer effectief te maken;
- bevorderen van de aantrekkelijkheid van het nachtelijk beeld van straten, wegen, pleinen en stadsgedeelten;
- bevorderen van de "leefbaarheid" van woongebieden en winkelgebieden, meer speciaal ten behoeve van de daar vertoevende en zich verplaatsende voetgangers en van spelende kinderen.

Ten behoeve van het opstellen van functionele eisen voor de verlichting gaan we uit van de volgende grondgedachte: de verkeersveiligheid wordt gediend door:

- verhoging van de uniformiteit per situatie
- vermijden van conflictsituaties
- verbetering van de informatieverschaffing.

Dit kan als volgt worden toegespitst.

1. Bij het verhogen van de uniformiteit per situatie wordt enerzijds bereikt dat het aantal en vooral de diversiteit van de beslissingen die de bestuurder neemt kleiner wordt, en anderzijds dat hij op vele van de te nemen beslissingen kan worden voorbereid. Wel is het nodig dat de situatie duidelijk en ondubbelzinnig als zodanig is aangeduid, en onder alle gangbare omstandigheden (inclusief nacht) duidelijk als zodanig is te herkennen. Dit aspect is van belang bij de elders besproken categorisering van wegen. Op basis van de criteria van uniformering worden aan de wegverlichting bepaalde eisen gesteld. Het is ongewenst dat binnen één categorie van wegen verlichtingsinstallaties worden toegepast die onderling sterk uiteenlopen. Helaas blijkt dit (vaak uit kostenoverwegingen) niet steeds te vermijden. Dit betekent omgekeerd dat de bijdrage van de verlichting tot de uniformiteit ook niet groot

kan zijn. Ook de lichtkleur, die in dit verband nog al eens wordt genoemd, is maar beperkt bruikbaar, mede omdat door de introductie van hogedruk-natriumlampen het vroeger bestaande duidelijke onderscheid (geel en wit) niet meer bestaat.

2. Het vermijden van conflictsituaties vermindert niet de diversiteit van de te nemen beslissingen noch het feit dat ze wellicht onverwacht zijn, maar wel hun aantal. De rol van de (openbare) verlichting is daarbij slechts beperkt, omdat de verlichting niet de plaats inneemt van het nemen van een beslissing. Dit is wel het geval bij vele verkeerskundige en civieltechnische maatregelen.

3. Wanneer de kwaliteit van de informatieverschaffing wordt verbeterd, moeten nog steeds dezelfde beslissingen in dezelfde aantallen worden genomen. Aangezien de informatie vooral betreft de uitgangspunten van waaruit de beslissingen worden genomen, kunnen foutieve en onvolledige beslissingen voor een deel worden vermeden. Voorts is het eenvoudiger de resultaten van de op basis van de beslissing uitgevoerde manoeuvre te beoordelen; de terugkoppeling is beter. Het zal duidelijk zijn dat vooral op dit gebied de verlichting een belangrijke bijdrage kan leveren. Voor het verder uitwerken van de functionele vereisten te stellen aan de verlichting zullen we ons dan ook vooral met dit aspect van de verbetering van de informatie-overdracht bezighouden.

Samenvattend is dus te stellen: de functie van de verlichting moet worden gezocht in het verschaffen en/of verbeteren van visuele informatie op basis waarvan beslissingen worden genomen, die op hun beurt nodig geworden zijn door het opdoemen van objecten. De beslissingen leiden tot manoeuvres en het is de juistheid van de manoeuvres die in laatste instantie bepalen of van een veilig verkeer kan worden gesproken of niet. (Analogieën zijn op te stellen voor de andere grondfuncties vlotheid, comfort en kosten). Het komt er dus op neer dat het tot de functie van de verlichting kan worden gerekend om "objecten" beter zichtbaar te maken. Dit zal verderop worden besproken onder de aanduiding visuele vereisten.

B.1.5. De visuele vereisten

Het door (individuele) mensen deelnemen aan het verkeer is te beschrijven in termen van een hiërarchie van beslissingsprocessen. De hiërarchie zoals die meestal wordt gebruikt, is toegespitst op bestuurders van motorvoertuigen. Deze kan echter met geringe wijzigingen ook voor andere categorieën weggebruikers worden gebruikt. Deze individuele gedragingen leiden tot een gedrag van de verkeersstroom als geheel. Maatregelen die deze verkeersstroom beïnvloeden worden genomen door de overheid, eveneens op basis van een beslissingsproces. De twee groepen beslissingsprocessen hebben dus aanrakingspunten, maar ook verschilpunten. Wat betreft de verlichting is de situatie globaal als volgt: de overheid neemt beslissingen die leiden tot omstandigheden die de individuele beslissingen van bestuurders zo laten verlopen dat de kans op botsingen minder wordt.

De beslissingsprocessen die voor het daadwerkelijk besturen van het voertuig van belang zijn, zijn ondergebracht in het manoeuvreniveau.

Er is reeds gesteld dat het tot de functie van verlichting kan worden gerekend om "objecten" beter zichtbaar te maken. Het begrip "object" kan hierbij van alles betekenen. Voor ieder van de drie niveaus waarin het manoeuvregedrag kan worden onderverdeeld is een aantal manoeuvres aan te geven, die ieder weer hun specifieke relevante objecten hebben. Op deze wijze kan voor ieder relevant object worden bepaald op welke wijze en op welk tijdstip dit object zichtbaar moet zijn. Daarmee kan voor ieder object de voor de manoeuvre benodigde ruimte worden gegeven. Wanneer de benodigde ruimte bekend is, kan daaruit worden afgeleid aan welke eisen de verlichting moet voldoen om te zorgen dat de beschikbare ruimte tenminste even groot is als de benodigde ruimte. Op deze wijze kunnen fotometrische en geometrische eisen worden afgeleid uit de visuele vereisten.

Het blijkt dat de fotometrische en geometrische eisen kunnen worden beschreven in termen van de wegdekluminantie (gemiddelde en verdeling), de verblinding en de geleiding. Men kan derhalve spreken van lichttechnische eisen.

B.1.6. De lichttechnische eisen

1. De eisen

Het manoeuvregedrag kan in enige elementaire manoeuvres worden beschreven: "stoppen, snelheid veranderen, uitwijken, gewoon doorrijden". Van deze vier is voor "stoppen" de meeste tijd (ruimte, afstand) nodig.

Wanneer geëist wordt dat de manoeuvre "stoppen" steeds kan worden uitgevoerd dient de waarneembaarheidsafstand zo groot te zijn dat de bedoelde manoeuvre nog kan worden uitgevoerd zonder eigen voertuig, het betreffende object waarvoor gestopt moet worden en het achteropkomende verkeer in gevaar te brengen, dus tenminste zo groot als de minimale stopafstand. Wanneer behalve eisen omtrent de veiligheid ook eisen worden gesteld omtrent het rijcomfort dient de waarneembaarheidsafstand van het relevante object aanzienlijk groter te zijn dan de minimale stopafstand. (N.B. Waarnemen is hier als term in de algemene betekenis gebruikt. Het object moet niet alleen ontwaard worden, maar ook als zodanig herkend).

Wanneer op een weg waar met hoge snelheid wordt gereden, aan de eis "mogelijkheid tot stoppen" moet worden voldaan, moet de weg plus de daartoe relevante objecten tot op een paar honderd meter te overzien zijn.

In de praktijk doen zich twee situaties voor, waarbij mogelijkerwijze gestopt zou moeten kunnen worden:

- a. de weg loopt niet door (bijvoorbeeld T-kruising);
- b. de weg is geblokkeerd (bijvoorbeeld stilstaande auto's).

In geval a. (T-kruising) moet het verloop van de weg over een paar honderd meter te overzien zijn. De weg zelf is in het perspectivische beeld nauwelijks te zien. Wel goed zichtbaar op die afstand is het patroon van de lichtpunten omdat die veel hoger zijn. Dit wordt visuele of optische geleiding genoemd. Visuele geleiding kan dus, met kunstverlichting, 's nachts beter zijn dan overdag. Voertuigverlichting is echter onvoldoende. Uitzondering daarop: wanneer met hoofdlicht kan worden gereden en wanneer retroreflectoren van zeer goede kwaliteit worden gebruikt, en natuurlijk ook bij lage rijsnelheid.

In geval b. (blokkering): objecten zelfs zo groot als auto's zijn op

een paar honderd meter niet precies te localiseren, zelfs als men ze kan ontwaren en herkennen. Daarom zijn voor op de rijbaan stilstaande auto's en vergelijkbare objecten (obstakels) aparte signalen onontbeerlijk, zowel overdag als 's nachts. Goede openbare verlichting kan wel het vlug en goed herkennen van obstakels makkelijk maken; voor het localiseren is echter meer informatie nodig.

De elementaire manoeuvre "snelheid veranderen" lijkt op de elementaire manoeuvre "stoppen". De eisen, die erop worden gebaseerd, met name betreffende de waarneembaarheidsafstand, zijn echter minder zwaar.

De "uitwijkmanoeuvre" betreft (vaak de binnen de rijstrook blijvende) koersveranderingen die nodig zijn voor het ontwijken van kleine obstakels zoals stenen, dozen, gaten in de weg, enz. Waarneembaarheid van het betreffende object betekent ook hier: tenminste zichtbaarheid en herkenbaarheid. Het gaat hier meestal om obstakels die niet met opzet zijn aangebracht, en dus meestal niet van signaallichten of reflectoren zijn voorzien.

Kleine onverlichte objecten zonder reflectoren zijn alleen zichtbaar wanneer ze met voldoende contrast afsteken tegen hun achtergrond, meestal het wegdek. Hiertoe is het nodig dat het wegdek een bepaalde minimale gemiddelde luminantie heeft, dat de gelijkmatigheid van het luminantiepatroon zo goed is dat er geen grote donkere plekken zijn. Voorts is het gewenst dat de verticale verlichtingssterkte op de voorvlakken van de objecten gering is. Toelichting: Een hoge luminantie is wenselijk om een goede contrastgevoeligheid te kunnen waarborgen. Kleine objecten kunnen in donkere plekken "verdwijnen". Een lage verticale verlichtingssterkte op verticale voorvlakken draagt bij tot een hoog contrast tussen object en achtergrond.

Behalve deze manoeuvres dient nog te worden vermeld dat kleine correcties op de koers, snelheid, enz. nodig zijn. Hierbij zijn vooral van belang: snelheid of afstand aanhouden en laterale positie aanhouden.

In een aantal van de hierboven gegeven gevallen gaat het om de waarneembaarheid van kleine objecten of kleine delen van grote objecten, die waargenomen dienen te worden op basis van het contrast dat zij vormen met hun directe achtergrond, veelal het wegdek. De visuele prestatie hangt af van de adaptatietoestand. Deze wordt in eerste instantie be-

paald door de luminantie van het wegdek. Op grond hiervan kunnen eisen betreffende de wegdekluminantie worden geformuleerd.

Tenslotte dienen de verlichtingsmiddelen geen onacceptabele verblinding te weeg te brengen.

2. Conclusies

- Allereerst is een goede visuele geleiding van belang over tenminste enige honderden meters. De zichtbaarheid van het wegdek zelf is hiervoor van minder belang. De bijdrage van de openbare verlichting bestaat vooral uit duidelijkheid van het patroon van lichtpunten. Wanneer geëist wordt dat de manoeuvre "stoppen" kan worden uitgevoerd, is het noodzakelijk dat de betreffende obstakels (met name auto's) van een adequate signaalverlichting zijn voorzien. De bijdrage van de openbare verlichting is vooral gelegen in de verbetering van het waarnemen van de obstakels.

- Voor de "uitwijkmanoeuvre" is het vereist dat het wegdek een voldoende hoge en gelijkmatige luminantie heeft, en dat objecten een voldoende groot contrast vertonen.

- Storing door verblinding moet worden vermeden.

De vraag of een wegdekverlichtingsinstallatie aan zijn functie voldoet, kan worden beantwoord wanneer bekend is in hoeverre aan lichttechnische (fotometrische en geometrische) eisen is voldaan, te weten:

- het gemiddelde luminantieniveau
- de ongelijkmatigheid van het luminantiepatroon
- de verblinding
- de optische geleiding.

3. Criteria voor aanwezigheid van verlichting

De hierboven gegeven beschrijving van de lichttechnische eisen is toegepast op wegen met openbare verlichting.

Het is een andere vraag of aan deze of dergelijke eisen kan worden voldaan met andere verlichtingsmiddelen. Deze vraag kan ook anders worden gesteld: Welke wegen moeten van een openbare verlichting worden voorzien?

Voor wegen binnen de bebouwde kom komt deze vraag niet aan de orde omdat, los van een eventuele verkeersfunctie, alle wegen een openbare verlichting moeten hebben uit overwegingen van burgerlijke veiligheid.

Voor wegen buiten de bebouwde kom wordt de beslissing betreffende wel of niet verlichten genomen op basis van het wegverkeer. Uit het voorgaande blijkt dat zowel de rijsnelheid van belang is als de verkeerssituatie. Bij hoge snelheid is het wegverloop met dimlicht niet, met hoofdlicht vaak al evenmin, voldoende duidelijk zichtbaar.

Ook is de reikwijdte van autoverlichting niet voldoende om bij matige of hoge snelheid objecten voldoende duidelijk te laten afsteken tegen de achtergrond.

In beginsel hangt het antwoord op de vraag: Openbare verlichting of autoverlichting?, van dezelfde fundamentele grootheden af als het antwoord op de vraag: Welk niveau van openbare verlichting is gewenst?

Aangezien de fundamentele grootheden wel kwalitatief maar slechts ten dele kwantitatief kunnen worden gegeven, is het gebruikelijk om de vragen apart te beantwoorden. Het al dan niet verlichten hangt af van

- de rijsnelheid (en de wegcategorie)
- de verkeersintensiteit
- de complexiteit van de verkeerssituatie.

Dit is nader uitgewerkt in een ander hoofdstuk van deze cursus.

B.1.7. Kosten/baten overwegingen

1. Inleiding

In het proces van beleidvorming is het wetenschappelijk onderzoek een schakel die van groter belang wordt naarmate de problematiek waar het beleid zich mee bezig houdt, gecompliceerder is. De verkeersonveiligheid vormt een zeer ingewikkelde problematiek en voor het wetenschappelijk onderzoek dat het verkeersveiligheidsbeleid moet onderbouwen, is dan ook een belangrijke taak weggelegd - zowel nationaal als internationaal.

Het ingrijpen in de maatschappelijke processen en het sturen hiervan in de gewenste richting noemen we beleid.

Binnen het huidige beleid heeft het bestrijden van de verkeersonveiligheid een hoge prioriteit. Een consequentie daarvan is dat verkeersmaatregelen die een negatieve invloed zouden kunnen hebben op de verkeersonveiligheid in feite ongewenst zijn. Dit heeft tot gevolg dat voor iedere verkeersmaatregel steeds moet worden nagegaan wat het effect op de verkeersveiligheid is.

Bij een beleid dat primair gericht is op het realiseren van bepaalde doeleinden speelt het effect en het rendement van de middelen met betrekking tot deze doeleinden de belangrijkste rol. Dit betekent dat bij het kiezen van de middelen ter bestrijding van de verkeersonveiligheid niet per definitie gedacht moet worden aan symptoombestrijding, maar ook niet alleen aan oorzaakbestrijding. Middelen gericht op symptoombestrijding mogen niet uit principe achterwege gelaten worden, zeker niet wanneer ze effectiever zijn dan middelen gericht op oorzaakbestrijding. Het gaat uiteindelijk om het rendement van de middelen.

Wanneer meer dan één maatregel in aanmerking komt die niet tegelijk kunnen worden uitgevoerd, is een prioriteitenstelling nodig. Uiteraard verdient in beginsel de maatregel met het hoogste nut de voorkeur. Om dat te bepalen is een kosten/baten-analyse nodig. In sommige gevallen is dit een eenvoudige boekhoudkundige analyse.

Complicaties zijn dat de kosten en de baten niet steeds in dezelfde eenheid (bijvoorbeeld geld) kunnen worden uitgedrukt, en dat de beschikbare middelen (bijv. het budget) niet onbeperkt zijn. Prioriteitenstellingen voor maatregelen die nog genomen moeten worden is moeilijk, omdat vaak zowel de kosten als de baten geschat moeten worden. Daarbij moet steeds worden bedacht dat zowel bij de kosten als bij de baten "imponderabilia" een rol kunnen spelen; bijvoorbeeld de kosten van menselijk leed bij ongevallen, maar ook als bijkomende factor bij economische of juridische maatregelen, en aan de andere kant de baten van individuele vrijheid, individuele of collectieve menswaardigheid, kosten van hinder, de baten van rijcomfort enz.

Vooraf voor lange-termijnplanning is dit moeilijk; men volstaat meestal met alleen het verkeersaspect of alleen het veiligheidsaspect te bekijken en de andere kosten en baten als "randvoorwaarde" te beschouwen.

2. De kosten van openbare verlichting

De kosten van de aanleg van openbare verlichting zijn betrekkelijk eenvoudig te bepalen. Wanneer de keuze is gemaakt over de toe te passen lichtbronnen, armaturen en masten, zijn de bijbehorende kosten (in beginsel tenminste) te bepalen. Moeilijker wordt het wanneer men dient te bepalen welk gedeelte van de elektrische installatie tot de kosten van de verlichtingsinstallatie moet worden gerekend. Dit kan belangrijk worden wanneer aanzienlijke afstanden moeten worden overbrugd met hoogspanningsmasten, die ook voor andere doeleinden nodig zijn. Hoe men het echter ook rekent, de kosten van de aanleg van een installatie voor openbare verlichting bedragen op zijn hoogst een paar procent van de bouwkosten van een weg.

Waren de kosten van aanleg te verwaarlozen ten opzichte van de totale kosten van de bouw van de weg, wat betreft de lopende kosten, nodig voor het in bedrijf houden van het geheel, is dit beslist niet het geval. De exploitatiekosten van de openbare verlichting kunnen, afhankelijk van tijd en verlichtingsinstallatie als volgt worden verdeeld: lampkosten 30-40%, kWh-kosten 40-60%, arbeidsloon e.d. 10-30%. (Hierop wordt in een ander hoofdstuk van deze cursus nader ingegaan.)

Dit alles is opgegeven voor verlichtingsinstallaties binnen de bebouwde kom. Dergelijke getallen worden ook gevonden wanneer men kijkt naar verlichte autosnelwegen en autowegen buiten de bebouwde kom.

Steeds blijkt dat de exploitatie van de openbare verlichting een belangrijke post is. Voor autosnelwegen wordt wel 1/3 van de totale onderhoudskosten genoemd!

De meest voor de hand liggende, en daarom ook meest toegepaste, methode om de bedrijfskosten te drukken is het toepassen van lampen die een hoge relatieve lichtstroom hebben, zeker als dit gepaard gaat met een lange levensduur.

Elders in deze cursus wordt in detail ingegaan op deze kostenkwesties.

Tot voor kort was het gebruikelijk om de kosten gemaakt voor de energie ten behoeve van installaties voor openbare verlichting zonder meer in geld om te rekenen, en dan ze op te tellen bij de andere kosten. Mede omdat in Nederland elektrische energie eigenlijk nog goedkoop was, werd

het door deze handelwijze niet bepaald aangemoedigd om zuinig om te springen met de energie.

Hierin is tijdens en na de zogenaamde "energiecrisis" van 1973/1974 plotseling verandering gekomen. Merkwaardig natuurlijk, want zoveel is er sindsdien niet veranderd. Ruwe grondstoffen waaruit energie wordt geproduceerd zijn weliswaar duurder geworden, maar zoveel invloed heeft dat niet op het prijsniveau van het eindprodukt - elektriciteit.

Wel kan men constateren dat "men" in Nederland, en langzamerhand ook in onze nabuurlanden, zich bewust is geworden van het feit dat er slechts eindige energiereserves bestaan op aarde.

Actiegroepen en sommige individuele mensen gaan op kruistocht om energieverspilling te bestrijden. Op zich natuurlijk een goede zaak, maar het is niet steeds voor ieder even duidelijk wanneer eigenlijk van verspilling sprake is.

Dit is in hoge mate relevant voor ons onderwerp, omdat juist de openbare verlichting zo vaak als mikpunt wordt gekozen. Dit is wel verklaarbaar; ten eerste "timmert de openbare verlichting erg aan de weg", juist door het feit dat het "openbare" verlichting is, en voorts is het niet zonder meer duidelijk, zeker niet voor voetgangers of fietsers, om te schatten hoeveel licht een automobilist nu eigenlijk wel nodig heeft om veilig te kunnen rijden.

Vele studies zijn hiervoor uitgevoerd. Steeds blijkt dat verlichting slechts een klein gedeelte van het energiebudget beslaat, en openbare verlichting daarvan weer een klein gedeelte. Toch doet de overheid zijn uiterste best om overal waar het maar even kan te besparen op de openbare verlichting, dit met het oog op wat genoemd wordt het "psychologische" effect - ook al heeft het voor de energiehuishouding van Nederland geen enkele wezenlijke betekenis. Op de achtergrond van deze ijver ligt echter meer een streven tot kostenbeperking dan tot energiebesparing. Elders in deze cursus wordt hierop teruggekomen.

3. De baten van openbare verlichting

Het is bekend dat in het wegverkeer, en dan met name bij duisternis, veel slachtoffers vallen. Voorts is hierboven aangegeven dat voor het op

de juiste waarde beoordelen van een maatregel (zoals bijvoorbeeld het aanbrengen van openbare verlichting van een bepaald kwaliteitsniveau) zowel de kosten van die maatregel als de baten ervan bekend moeten zijn; wanneer deze maatregel bovendien nog vergeleken moet worden met andere maatregelen, dan moet ook nog de verhouding kosten/baten bekend zijn.

De kosten van openbare verlichting zijn hierboven besproken; over de baten gaat de onderhavige paragraaf. De baten kunnen, voor zover het de verkeersveiligheid betreft, worden uitgedrukt in de reductie van het aantal ongevallen dat resulteert uit het aanbrengen van een openbare-verlichtingsinstallatie van een bepaalde kwaliteit; aangezien de registratie van andere ongevallen zeer onvolledig is, beperkt men zich als regel tot verkeersdoden. (Men moet onderscheid maken tussen het aantal ongevallen waarbij doden vallen, en het aantal doden zelf; immers bij sommige ongevallen komt meer dan één persoon om). In sommige landen is de registratie van ongevallen voldoende goed om ook de letselongevallen voor verdere (statistische) verwerking te kunnen gebruiken.

Voor we de verwerking van de statistische gegevens nader toelichten, moeten nog een paar opmerkingen vooraf worden gemaakt.

Ten eerste is het onjuist om de reductie in het aantal verkeersongevallen als de enige "benefit" van openbare verlichting te beschouwen. De vlotheid van de verkeersafwikkeling, het rijcomfort, de esthetische aspecten, en vooral de burgerlijke veiligheid en misdaadpreventie worden aanzienlijk verbeterd door een goede openbare verlichting. Kwantificatie van deze aspecten (hetzij doordat de aspecten in beginsel niet te kwantificeren zijn, of doordat betrouwbare gegevens ontbreken) is echter momenteel niet mogelijk.

Ten tweede kleven er methodologische onvolkomenheden aan de meeste ongevallenstudies die op dit gebied zijn uitgevoerd. Deze studies zijn meestal van het type "voor- en nastudies". Het is gebruikelijk om daarbij de "statistic" k te gebruiken, die is gedefinieerd als

$$k = (A/B)/(a/b)$$

waarin:

- A het aantal ongevallen bij nacht na de installatie van openbare verlichting
- B het aantal ongevallen bij nacht vóór de installatie van openbare verlichting
- a het aantal ongevallen bij dag na de installatie van openbare verlichting
- b het aantal ongevallen bij dag vóór de installatie van openbare verlichting.

De gedachte is dat de algemene trends in de verkeersontwikkeling, waarmee bij voor/nastudies steeds rekening moet worden gehouden, voldoende in rekening worden gebracht door de dag/nacht-verhoudingen voor en na te vergelijken. Hieraan kleven twee bezwaren: het is bekend dat bij de trendmatige veranderingen van het verkeer ook de verdeling van het verkeersaanbod over het etmaal verandert, en dat bovendien met weersinvloeden (strengere winters, enz.) rekening moet worden gehouden. Dit kan, door bij de voor- en na-studies een "controlegroep" te gebruiken (dat wil zeggen een weggedeelte waarbij de voor- en naperiode wat betreft de verlichting niet verschillen) gekenmerkt door $k' = (A'/B') (a'/b')$. Wanneer de dag/nachtverhouding alle trends voldoende zouden beschrijven, zou $k' = 1$ zijn.

Voorts moet men er rekening mee houden dat men bij het aanbrengen van openbare verlichting niet alleen een reductie van de nachtelijke ongevallen mag verwachten op basis van de verbeterde waarnemingscondities: lichtmasten zijn obstakels, zodat men mag verwachten dat er, zowel 's nachts als overdag, ongevallen bijkomen als gevolg van botsingen met lichtmasten.

In de hierna genoemde voorbeelden is niet steeds met dit alles rekening gehouden; in de opgegeven publikaties is hierover vrijwel nooit iets vermeld. Toch worden de studies hier opgesomd, omdat ten eerste er geen betere waarden bekend zijn, en ten tweede omdat deze waarden zeer vaak worden geciteerd. Gezien het bovenstaande moeten ze dus met enige voorzichtigheid worden gehanteerd.

Men kan natuurlijk ook een heel andere weg inslaan. Wanneer men stelt dat de functie van verkeersverlichting is om de veiligheid te bevorderen, is het logisch om het verband tussen de kwaliteit van de verlichting enerzijds en de ongevallen anderzijds te onderzoeken. Daarbij gaat men dus zoeken naar de functie $N = f(Q)$, waarbij N het aantal ongevallen is en Q de kwaliteit van de verlichting. Wanneer men - gemakshalve - de gemiddelde luminantie \bar{L} als maat voor de kwaliteit gebruikt, krijgt men dus $N = f(\bar{L})$. Het is te verwachten dat de grafiek van deze functie de volgende kenmerken vertoont: bij lage \bar{L} (zoals behoort bij dimlicht) behoort een bepaalde waarde van N . Bij toenemende \bar{L} neemt N monotoon af met een afnemende helling, om bij hoge \bar{L} te naderen naar een eindwaarde. Men kan het verloop van deze functie - in beginsel tenminste - kwantitatief bepalen op de volgende wijze: men neemt een onverlicht wegvak, telt - bijvoorbeeld gedurende een jaar - de ongevallen. Men brengt vervolgens een verlichting aan met een niveau \bar{L}_1 ; weer worden gedurende een jaar de ongevallen geteld. Dit herhaalt men voor de luminantie $\bar{L}_2, \bar{L}_3, \text{ enz.}$, tot dat men aan de eindwaarde komt. Onderwijl wordt, o.a. door controlegroepen te bestuderen, met geleidelijke, algemene verandering in het ongevallenpatroon rekening gehouden. Aan deze methode kleeft slechts één bezwaar, maar het bezwaar is dan ook volstrekt onoverkomelijk: de lengte van de weg die beschikbaar moet zijn, is veel te groot, zelfs wanneer men beschikt over betrouwbare gegevens omtrent ongevallen met gewonden - en dus niet alleen, zoals in Nederland, over ongevallen waarbij doden zijn gevallen. Uit de in Annex B.2. gegeven berekeningen volgt dat (bij een overschrijdingskans van 5%) men al gauw de beschikking moet hebben over duizenden kilometers weg, zeker wanneer het gaat om kleine stappen in N - wanneer men dus de functie op een nogal nauwkeurige wijze wil beschrijven.

We hebben hier te maken met een in beginsel aantrekkelijke manier om de baten van de openbare verlichting te bepalen; helaas is het een manier die voor praktische toepassing niet in aanmerking komt. Wellicht is het in de toekomst mogelijk om zgn. conflicten als alternatieve maat voor onveiligheid te gebruiken. Dan zou een dergelijke methode als hierboven beschreven wellicht mogelijkheden bieden.

4. Openbare verlichting als maatregel tegen ongevallen

In de loop van de laatste 25 jaar is er een aanzienlijk aantal onderzoeken uitgevoerd om de baten van openbare verlichting te kunnen bepalen. Vrijwel steeds betrof het voor- en nastudies, waarbij een weg of weggedeelte met goede openbare verlichting in de naperiode werd vergeleken met hetzelfde weggedeelte zonder openbare verlichting (of onder zeer slechte verlichting) in de voorperiode. De betreffende weggedeelten werden steeds verlicht omdat dit om andere redenen dan de proefneming nodig werd gevonden; deze weggedeelten waren dus niet "random" gekozen, zoals eigenlijk zou moeten om van een gecontroleerd experiment te kunnen spreken. Voorts is vrijwel nooit aangegeven wat "goede" verlichting precies betekent.

De meest recente van de vele verzamelingen van gegevens is die welke is uitgebracht door de OECD Road Research Group on Improving Road Safety at Night (OECD, 1980). Een nog uitgebreidere studie is in bewerking bij de Commission Internationale de l'Eclairage CIE.

In deze rapporten zijn de meeste betrouwbare studies besproken. Een overzicht is gegeven in Tabel B.1.2., die ontleend is aan het OECD-rapport en gebaseerd is op CIE-gegevens en zowel wegen binnen als buiten de bebouwde kom betreft.

Het is niet zo eenvoudig uit al dit materiaal een conclusie te trekken. Met name is het niet geoorloofd - om redenen die hierboven zijn aangegeven - om zomaar het gemiddelde van de opgegeven besparingen te nemen. Men concludeert echter meestal tot de uitspraak dat goede straatverlichting een reductie van ca 30% in de nachtelijke letselongevallen kan opleveren. Gezien de waarden opgegeven in Tabel B.1.2. lijkt dat wel gerechtvaardigd.

	1965	1970	1974	1976
<u>Arbeidsvolume</u>				
Totaal	4536	4751	4830	4868
Transport-opslag en communicatiebedrijven	304	305	309	310
<u>Aardolieproducten</u>				
Totaal (mln kg)			22191	24431
motorbenzine			3202	3659
autogas			126	211
autogasolie			1350	1766
subtotaal			4678	5636
% van totaal			21,1	23,1
<u>Nationaal inkomen</u>				
Totaal (mln gld)	56177	93704	156290	192320
Transport-opslag- en communicatie- bedrijven	4176	7132	11040	14060
% van totaal	7,4	7,6	7,1	7,3
<u>Rijksbelastingen op kasbasis</u>				
Totaal (mln gld)	16292	29020	50741	66232
inkomsten+loonbel.	6225	11522	22546	28660
motorrijtuigenbel. (particulier)	60	190	356	624
idem (bedrijven)	291	488	669	852
bijz.verbruiksbel. auto's		413	579	1008
accijns lichte olie	684	1476	2041	2381
subtotaal verkeer enz.	1035	2567	3645	4865
% van totaal	6,4	8,8	7,2	7,3

Tabel B.1.1. Het economische belang van het verkeer

Land		Afname	Statistisch significant
Engeland	1	45%	+
	2	23%	+
	3	30%	+
	4	50%	-
	5	16%	-
	6	34%	-
	7	17%	-
	8	13%	-
Zwitserland		36%	+
Zweden		45%	?
Australië	1	57%	+
	2	21%	+
	3	29%	+
USA	1	65%	?
	2	48%	?
	3	22%	?
	4	44%	?

A. Wegen voor gemengd verkeer binnen de bebouwde kom.

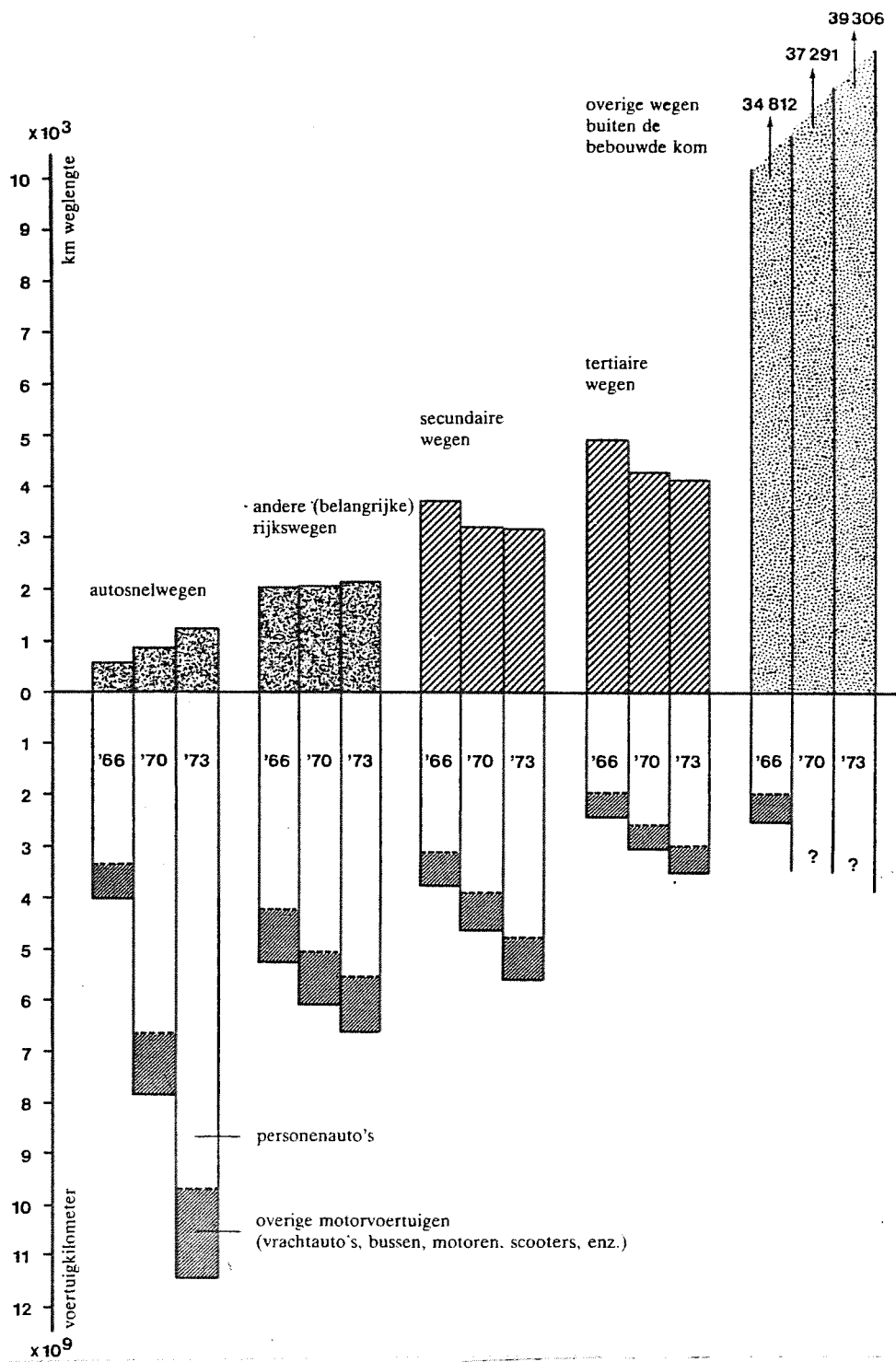
Land		Afname	Statistisch significant
Engeland	1	48%	-
	2	76%	+
	3	38%	+
	4	toename 48%	-
	5	toename 65%	-
	6	53%	+
	7	61%	+
Zweden		46%	+

B. Wegen voor gemengd verkeer buiten de bebouwde kom.

Land		Afname	Statistisch significant
Engeland	1	27%	-
	2	56%	-
	3	55%	-
	4	48%	-
Japan	1	38%	+
	2	54%	+
	3	44%	+
USA	1	52%	+
	2	62%	-
	3	62%	+
	4	62%	+

C. Autosnelwegen.

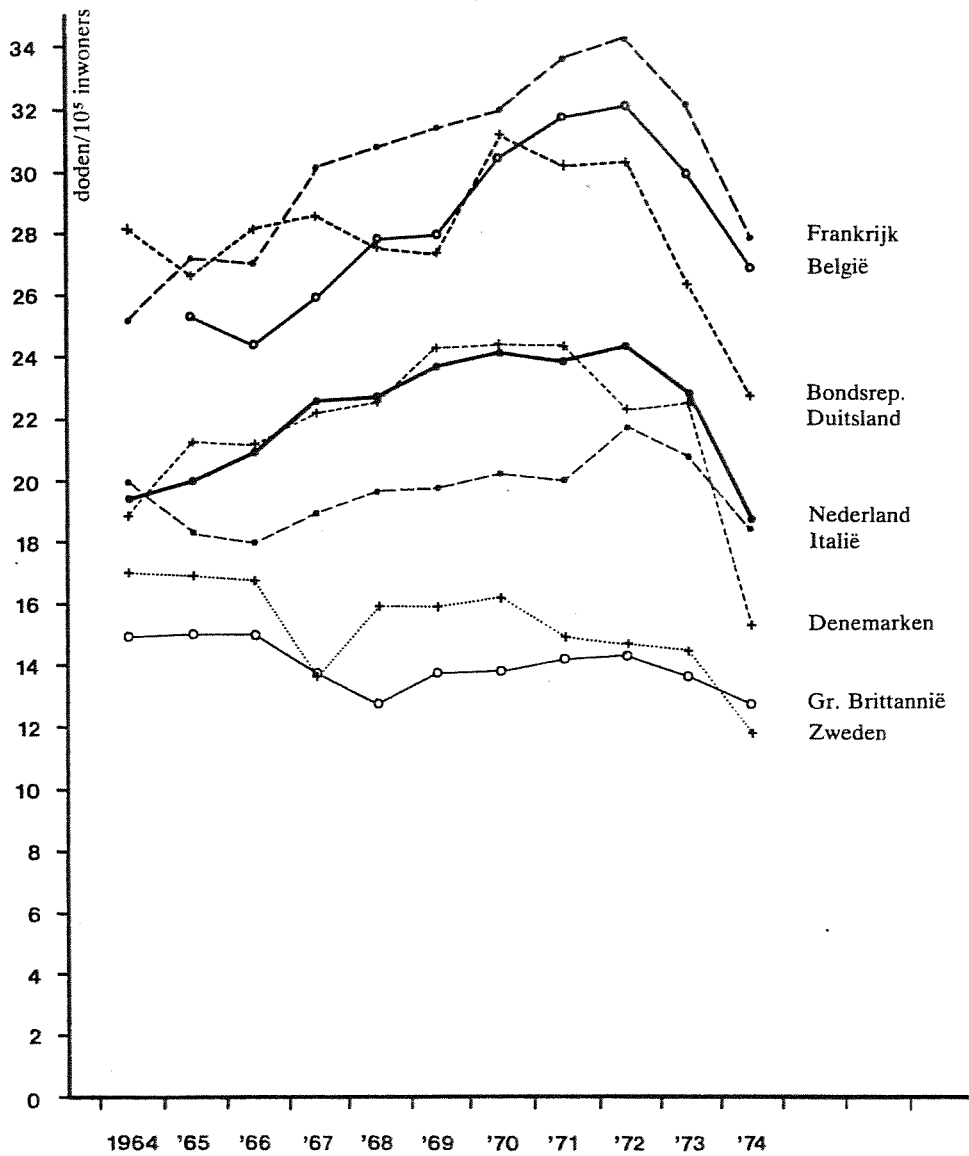
Tabel B.1.2. Invloed van verlichting op nachtongevallen.



Weglengten van en aantallen (motor)voertuigkilometers op diverse categorieën wegen buiten de bebouwde kom in de jaren 1966, 1970 en 1973.

Figuur B.1.1.

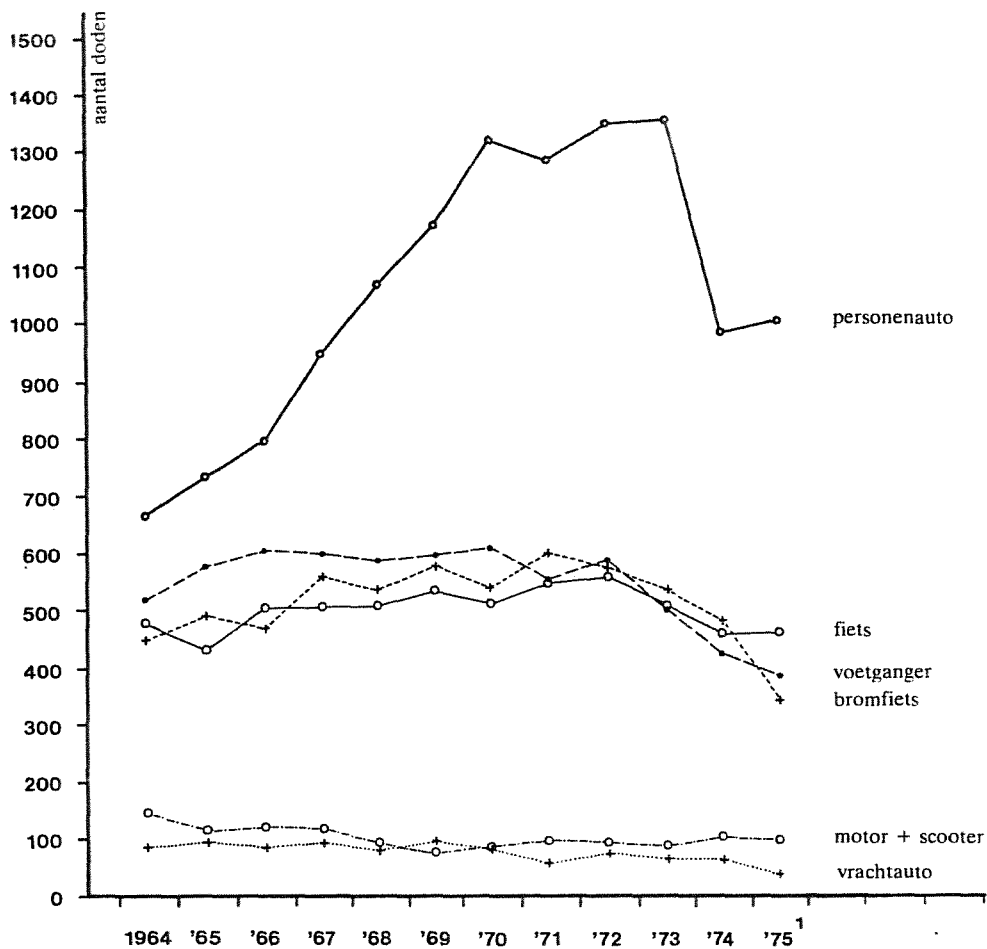
Figuur B.1.1. Weglengten van en aantallen (motor)voertuigkilometers op diverse categorieën wegen buiten de bebouwde kom in de jaren 1966, 1970 en 1973.



Figuur B.1.2.

Ontwikkeling van de aantallen verkeersdoden per 100.000 inwoners van acht Europese landen in de jaren 1964 t/m 1974.

Figuur B.1.2. Ontwikkeling van de aantallen verkeersdoden per 100.000 inwoners van acht Europese landen in de jaren 1964 t/m 1974.



1) voorlopige cijfers

Figuur B.1.3. Ontwikkeling van de aantallen verkeersdoden naar wijze van deelname aan het verkeer in de jaren 1964 t/m 1975.

Figuur B.1.3. Ontwikkeling van de aantallen verkeersdoden naar wijze van deelname aan het verkeer in de jaren 1964 t/m 1975.

AANBEVOLEN LITERATUUR BIJ B.1.

De literatuur omtrent de verlichting van het verkeer is nogal verspreid over een aantal tijdschriften en brochures verschenen.

Hieronder worden een paar werken gegeven die enerzijds een goed overzicht geven van het gebied, en anderzijds aanwijzingen geven voor verder studiemateriaal.

- Asmussen, E. Wetenschappelijk onderzoek naar het verkeers- en vervoerssysteem; toegespitst op de verkeersveiligheidsaspecten. De Ingenieur 85 (1973) 20: 410 t/m 413.
- Boer, J.B. de & Schreuder, D.A. Nieuwe ontwikkelingen op het gebied van weg- en straatverlichting ten behoeve van de verkeersveiligheid. In: Intertraffic '72, Internationaal Congres over Verkeerstechniek, Elektronische dag, 26 mei 1972. Amsterdam (1972) RAI.
- Boer, J.B. de (ed.). Public lighting. Eindhoven (1967) Centrex.
- CBS. Verkeersongevallen op de openbare weg (naar jaar). 's-Gravenhage, Staatsuitgeverij.
- CIE. Street lighting and accidents. Publication No. 8. Paris (1960) Commission Internationale de l'Eclairage CIE. (Nieuwe druk in voorbereiding).
- CIE. Compte rendue 18e Session, London, 1975. Publication No. 36. Paris (1976) Commission Internationale de l'Eclairage CIE.
- CIE. Recommendations for the lighting of roads for motorised traffic. Publication No. 12-2. Paris (1977) Commission Internationale de l'Eclairage CIE.
- CIE. Proceedings 19th Session, Kyoto, 1979. Publication No. 50. Paris (1980) Commission Internationale de l'Eclairage CIE.
- Elenbaas, W. Light sources. (1972) MacMillan.

- "Highway capacity manual". Washington, D.C. (1965) Highway Research Board.
- "Lichttechnische Gemeinschaftstagung, Tagungsbericht", Amsterdam, 13.-16. Juni 1978. (1978) Lichttechnische Gesellschaft e.V.
- NSVV. Richtlijnen en aanbevelingen voor openbare verlichting. Electrotechniek 52 (1974) nr. 15 en 53 (1975) nr. 2 en 5. (Aanvulling daarop: Het lichtniveau van de openbare verlichting in de bebouwde kom. Electrotechniek 55 (1977) 90-91).
- OECD. Lighting, visibility and accidents. Paris (1971) Organisation for Economic Co-operation and Development.
- OECD. Two-lane rural roads: Design and traffic flow. Paris (1972) Organisation for Economic Co-operation and Development.
- OECD. Adverse weather, reduced visibility and road safety. Paris (1976) Organisation for Economic Co-operation and Development.
- OECD. Road safety at night. Paris (1980) Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Schreuder, D.A. Grondslagen voor de verkeersverlichting. Polyt. Tijdschrift B. 30 (1975) 10: 333 t/m 338.
- Schreuder, D.A. Voertuigverlichting binnen de bebouwde kom. R-76-7. Voorburg (1976) Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV.
- SCW. Wegverlichting en oppervlaktetextuur. Arnhem (1974) Stichting Studiecentrum Wegenbouw.
- SWOV. Stads- en dimlichten binnen de bebouwde kom. Rapport 1969-6. Voorburg (1969) Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV.

- SWOV. Bouwstenen voor het beleidsplan verkeersveiligheid. R-74-10 I t/m V. Voorburg (1974) Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV.
- SWOV. Tien jaar verkeersonveiligheid in Nederland; Een beschrijving van de omvang en de ontwikkeling van het verkeer en de verkeersonveiligheid in Nederland sinds 1964. Publikatie 1976-3N. Voorburg (1976) Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV.
- "Wegontwerp en wegverlichting tegen de achtergrond van de verkeersveiligheid". Preadviesen Congresdag 1974, Utrecht, 6 december 1974. 's-Gravenhage (1974) Vereniging Het Nederlandsche Wegencongres.

In de volgende tijdschriften worden vaak artikelen gepubliceerd betreffende verlichting en verkeer:

Nederlandse taal

- Elektrotechniek
- Wegen
- Polytechnisch tijdschrift

Engelse taal

- Lighting Research and Technology (UK)
- Lighting Design and Application (USA)

Duitse taal

- Licht (vroeger Lichttechnik)

Overige

- Lux (Frankrijk)
- Ljuskultur (Zweden)

B.2. SPECIALE GEVALLEN

B.2.1. Inleiding

In het voorafgaande heeft de nadruk gelegen op de verkeersverlichting, dat wil zeggen de verlichting voor doorgaande weggedeelten, met de daarbij behorende kruispunten. Daarbij stond de verkeersfunctie centraal. Wegverlichting, en meer algemeen openbare verlichting, heeft echter ook nog andere functies. Deze functies omvatten onder meer het bewoonbaar en bereikbaar maken van woongebieden en dan speciaal voor voetgangers en fietsers, het leveren van een bijdrage tot de handhaving van de openbare veiligheid (politie-surveillance etc.), het economisch en toeristisch attractief maken van stadsgedeeltes, gebouwen, pleinen, enz. Deze punten worden in deze cursus niet verder besproken.

Voorts bestaat er een aantal toepassingsgebieden van openbare verlichting die wel het verkeer dienen, maar niet als gewone wegverlichting kunnen worden beschouwd. Hieronder vallen de in dit hoofdstuk besproken verlichting van tunnels en van voetgangersoversteekplaatsen.

Tenslotte wordt enige aandacht gewijd aan de principes van het in categorieën onderbrengen van wegen, en de consequenties daarvan voor de wegverlichting.

B.2.2. De verlichting van verkeerstunnels

1. Algemeen

Tunnels, viaducten, enz., komen veelvuldig voor. De lengte kan enkele meters bedragen, maar ook vele kilometers. In een vlak, dichtbevolkt land als Nederland worden tunnels gebruikt wanneer zeer druk verkeer een obstakel ontmoet, en wanneer een gelijkvloerse kruising of een brug niet in aanmerking komen (rivieren, kanalen, landingsbanen van vliegtuigen, enz.).

De verlichting van tunnels levert alleen voor het snelverkeer problemen op.

2. Lange tunnels

Het zal blijken dat de lengte van de tunnel van doorslaggevend belang is bij de bepaling van de noodzakelijke verlichting.

- Een tunnel wordt lang genoemd, wanneer de uitgang, ook al is die zichtbaar van een punt vóór de tunnelingang, geen invloed van betekenis heeft op de zichtbaarheid van objecten in de tunnel. Dit kan reeds het geval zijn bij tunnels met een lengte van 80 à 100 m.

- Een tunnel wordt kort genoemd, wanneer men van een punt gelegen op enige afstand vóór de ingang, de uitgang en de omgeving voorbij de uitgang duidelijk kan waarnemen maar wanneer tevens de "donkere lijst" (dat is de vorm waarin de tunnel zich voordoet) zo breed is dat een flink object onzichtbaar kan worden. Dit komt vaak voor bij tunnels waarvan de lengte tussen de 30 à 40 meter en de 80 meter ligt.

- Nog kortere tunnels worden onderdoorgangen genoemd. Dit betekent dat de donkere lijst zo smal is dat het zicht niet merkbaar wordt beïnvloed. Het probleem bij de verlichting van lange tunnels is dat het uit overwegingen van kosten en energiegebruik onmogelijk is om de tunnel even helder te verlichten als de open weg. Tunnels zijn overdag altijd veel donkerder dan de weg. De automobilist moet, buiten zijnde, in de tunnel iets kunnen zien, en bij het binnenrijden moet de gevoeligheid van zijn ogen zich kunnen aanpassen aan het lage niveau in de tunnel. Dit leidt tot drie hoofdproblemen:

A. Het eerste gedeelte van de tunnel mag niet al te veel donkerder zijn dan de open weg er dichtbij. Uitgebreid laboratoriumonderzoek heeft uitgewezen dat $L_2/L_1 > 0,1$ moet zijn (waarbij L_2 de luminantie in het eerste gedeelte, de zgn. drempelzone, van de tunnel, en L_1 de luminantie buiten). Tot nu toe is het zeer moeilijk gebleken een dergelijke waarde te bereiken, en zeker om deze waarde gedurende vele jaren te handhaven. Noch kunstlicht noch - door roosters - getemperd daglicht blijkt geheel te voldoen. Maar de praktijk heeft wel uitgewezen dat voor het met aanzienlijke snelheid, en zonder duidelijke hinder, doorrijden van een tunnel de verhouding tussen L_2 en L_1 niet veel minder mag zijn dan 0,1. Een probleem is dat, vooral in bebouwde gebieden, maar ook in bergland, de waarde van L_1 niet steeds eenduidig kan worden vastgesteld. Het lijkt er echter op dat dit probleem een oplossing heeft gekregen tenminste

voor die gevallen waarin L_1 niet al te hoog is, zeg lager dan ca. 4000 cd/m^2 hetgeen overeenkomt met de niet-helemaal-volle zon op een niet-al-te-licht-gekleurde achtergrond. Bij deze niet al te hoge waarde kan L_1 worden bepaald aan de hand van de relatie

$$L_1 = L_2 + L_{\text{seq}} + L_v$$

waarin L_{seq} de equivalente sluiertluminantie is afkomstig van de omgeving aan de tunnelingang (die daarbij als verblindingslichtbron wordt beschouwd!) en L_v de sluiertluminantie die het gevolg is van luchtverstrooiing in de atmosfeer en eventueel in de autovoorraad.

Overigens moet de invloed van L_v op het geheel nog worden onderzocht.

B. Wanneer de automobilist dicht bij de tunnelingang is gekomen, kan zijn visuele systeem zich aan de lagere luminantie gaan aanpassen. Hiervoor is aanzienlijke tijd nodig. De tijd hangt af van de waarde van L_1 en van L_3 , de luminantie in het tunnelinterieur. Bij sommige zeer lange bergtunnels wordt L_3 laag gekozen, zodat de tijd (de adaptatietijd) lang is. Voor tunnels van 500 m tot 2 km wordt meestal voor L_3 een waarde van 10 cd/m^2 gekozen. Bij $L_1 = 8000 \text{ cd/m}^2$ (een hoge, maar toch vrij vaak voorkomende waarde) bedraagt de adaptatietijd 10 tot 15 s.

Voor de bepaling van het verloop van de luminantie tussen het aller-eerste stuk van de tunnel (met luminantie L_2) en het interieur (met luminantie L_3) kan men weer gebruik maken van bovengenoemde betrekking die meer algemeen kan worden geschreven als

$$L_a = L_f + L_{\text{seq}} + L_v$$

waarin L_a de adaptatieluminantie is, en L_f de luminantie van dat gezichtsveldgedeelte hetwelk op de fovea (het midden van het netvlies) wordt afgebeeld. De luminantie op ieder punt in de tunnel mag dan ca. $0,1 L_a$ bedragen.

Afhankelijk van de rijsnelheid bedraagt het daarmee corresponderend tunnelgedeelte (de overgangszone) 100 tot 500 m. Het verdient aanbeveling om de luminantie in de overgangszone geleidelijk of in een niet te klein aantal stappen (bijv. 4) af te laten nemen naar binnen toe. Ook

bij de bepaling van de adaptatietijd is met elementen van rijcomfort rekening gehouden.

C. De verlichting van het interieur van een tunnel moet adequaat zijn. Voor tunnels van 500 m à 2 km lengte wordt meestal $L_3 = 5 \text{ à } 10 \text{ cd/m}^2$ genomen. Dit resulteert in een niet al te gecompliceerde aanleg, en maakt speciale voorzieningen bij de uitgang minder noodzakelijk. Bij zeer lange tunnels in berglanden wordt vaak ca. 2 cd/m^2 toegepast. Het niveau moet echter steeds aanzienlijk hoger zijn dan voor een normale weg 's nachts, deels vanwege de speciale gevaren van het rijden in tunnels, en deels omdat de volledige adaptatie aan een niveau van zeg 1 cd/m^2 vele minuten kan duren.

D. Behalve deze problemen van meer fundamentele aard is er nog een aantal meer praktische problemen te vermelden. Deze hebben te maken met

- het dimmen van de verlichting 's nachts
- het schakelen van de verlichting in de schemering
- installatiemethoden
- onderhoud, reiniging van de installatie
- installatiewijzen (langs, dwars, lijnverlichting, enz.)
- ingangsverlichting: lampen of roosters
- elektrische aansluiting, noodverlichting
- verkeersbewaking (keuze lamptypen, enz.).

3. Korte tunnels

Onderdoorgangen behoeven overdag niet te worden verlicht. Korte tunnels zijn hier omschreven als die tunnels die zo kort zijn dat de automobilist er gemakkelijk doorheen kan zien (zie par. 2.). Het zichtbaarheidsprobleem is bij korte tunnels geheel anders dan bij lange tunnels. Wanneer er geen ander verkeer in de tunnel is, is verlichting niet of nauwelijks nodig, want het wegverloop is zonder meer te zien en alle eventuele obstakels steken (met een groot contrast) af tegen de achtergrond achter de tunnel, die uiteraard een luminantie heeft direct vergelijkbaar met die van de voorgrond van de tunnel, dus met L_1 . Verlichting is alleen nodig voor automobilisten, maar vooral voor eventuele voetgangers en fietsers in de tunnel, en voor 's nachts.

Geheel anders is de situatie wanneer de tunnel druk bezet is met voertuigen. Meestal wordt dan een groot deel van de uitgang afgedekt, en het meest kritische zichtbaarheidsprobleem bestaat eruit dat eventuele obstakels (dit kunnen bijv. motorrijders zijn) niet afsteken tegen de zeer heldere uitgang, maar - en dit dus met een relatief gering contrast - tegen de achterzijde van auto's. De combinatie is uiteraard nog ongunstiger: de toch al tamelijk geringe contrasten worden nog aanzienlijk minder zichtbaar omdat het resterende gedeelte van de uitgang dat wel zichtbaar is gebleven als een verblindingslichtbron gaat fungeren. Een volledige verlichting, als een lange tunnel, zou dan nodig zijn. Meestal is dat echter niet nodig. Ten eerste hebben bij het bepalen van de minimale verhouding van L_2/L_1 overwegingen van rijcomfort een zekere invloed gehad, een invloed die bij korte tunnels niet nodig is. Voorts is het verkeersbeeld in korte tunnels vrijwel steeds dynamisch. Hiermee is bedoeld dat vrijwel steeds zowel de waarnemer als de eventuele obstakels in beweging zijn. Verder zijn rij snelheden meestal laag (in het bijzonder binnen de bebouwde kom) zodat de remweg kort is, en tenslotte is het verblijf in korte tunnels meestal zo kort dat de eigenlijke oogadaptatie nog maar nauwelijks kan beginnen.

Uit het voorgaande blijkt dat het aanbrengen van een "drempelverlichting" van zeg 10 à 20 m niet veel nut heeft. Een aantal mogelijke oplossingen zijn gegeven in de aanbevelingen van de CIE, samengevat in Tabel B.2.1. Hierbij zij opgemerkt dat de aanbevelingen uit deze tabel nog vraagtekens oproepen; ook hier is onderzoek door CIE en PIARC aan de gang.

B.2.3. Voetgangersoversteekplaatsen

1. Verkeerskundige aspecten

Een voetgangersoversteekplaats (VOP) is een door een zebrapad gemarkeerde oversteekplaats, waarop de daar aanwezige voetgangers onbelemmerde doorgang moet worden verleend. Er bestaat groot verschil tussen de verschillende nationale reglementen betreffende rechten en plichten, gebruik en uitmonstering van VOP's zelfs in naastliggende landen. Dit maakt dat de resultaten van onderzoek in die landen onderling moeilijk

te vergelijken zijn, nog afgezien van verschillen in verkeer, situatie, enz.

Aangezien voetgangersoversteekplaatsen allereerst zijn bedoeld om overstekende voetgangers op de rijbaan te beschermen, ligt het voor de hand om allereerst te onderzoeken of VOP's een wezenlijke bijdrage leveren tot de verkeersveiligheid. Gezien de reeds gesignaleerde grote verschillen tussen landen is een dergelijk onderzoek moeilijk uitvoerbaar. Verscheidene studies hebben de volgende globale resultaten gehad:

- op weggedeelten tussen kruisingen zijn VOP's (ongezien hun uitrusting) over het algemeen nauwelijks minder gevaarlijk dan gewone, onbeschermden weggedeelten;
- bij geregelde kruisingen hebben oversteekplaatsen een andere betekenis; deze worden grotendeels overgenomen door "voetgangersfasen" bij de verkeerslichten. Wanneer (bijvoorbeeld 's nachts) de verkeersregeling uitgeschakeld is, fungeert de oversteekplaats uiteraard weer als VOP;
- VOP's blijken buiten de bebouwde kom vrijwel niet voor te komen.

Uit een studie in 10 Nederlandse grote gemeenten blijkt dat 97% van de VOP's op of dichtbij kruisingen liggen. Ook is gebleken dat 50% van de voetgangersdoden op deze VOP's valt, en 50% op de overige 3%.

Onderzoek heeft aanleiding gegeven tot de volgende suggesties:

- a. zebrapaden (VOP's) tussen kruisingen dienen te worden vervangen door met lichten geregelde oversteekplaatsen, door voetgangerstunnels of -bruggen of dienen te worden verwijderd;
- b. zebrapaden op of bij kruisingen dienen te worden vervangen door aparte "voetgangersfasen" bij de verkeersregeling.

Tenslotte zijn er richtlijnen in bewerking voor de verschillende uitvoeringsvormen, uitgedrukt in de intensiteit van voetgangers- en wegverkeer, wegbreedte, wegcategorie, enz.

Dit betekent natuurlijk niet dat op slag een verbetering van de situatie te verwachten is, het blijft zo dat ook overstekende voetgangers recht hebben op (minimale) bescherming.

2. Functionele vereisten van VOP-verlichting

VOP's dienen om voetgangers de onbelemmerde doorgang te verlenen over de weg, waar ze anders "vogelvrij" zullen zijn. Dit houdt in dat het overige verkeer overstekende voetgangers op VOP's niet alleen voorrang moet verlenen, maar ook niet mag hinderen.

Hiervoor dient aan een aantal voorwaarden te worden voldaan, voorwaarden die kunnen worden aangeduid als functionele vereisten. Deze zijn:

- a. de automobilist (bromfietser, enz.) dient tijdig op de hoogte te zijn dat hij een VOP nadert;
- b. de preciese locatie van de VOP (het zebrapad) moet goed kunnen worden bepaald;
- c. de aanwezigheid van eventuele overstekende voetgangers op de VOP moet duidelijk kunnen worden geconstateerd;
- d. de aanwezigheid van voetgangers op het naastliggende voetpad dient duidelijk te kunnen worden geconstateerd, en dan vooral de eventuele bedoeling van de voetganger om te gaan oversteken;
- e. de voetganger moet eventuele naderende voertuigen kunnen zien;
- f. de overstekende voetganger moet een gefundeerd vertrouwen kunnen hebben dat de automobilist die de VOP nadert, hem ook inderdaad kan zien.

Op VOP's zonder verkeerslichten is punt a. een kwestie van signalisering van de VOP, de punten b., c. en d. hebben te maken met de verlichting van de VOP en zijn omgeving, e. heeft te maken met de signalisering van voertuigen, terwijl bij f. een mengsel van vele factoren een rol speelt. Aangezien de signalering van voertuigen buiten het hier te behandelen onderwerp valt, zullen vooral punt a., b., c. en deels d. aan de orde komen. Op basis van deze functionele vereisten kunnen lichttechnische uitvoeringseisen worden opgesteld.

3. Uitvoeringseisen voor VOP-verlichting

Voor de signalisering (pre-signalisation) van VOP's dienen signalen te worden aangebracht die op voldoende afstand de betekenis duidelijk kunnen overbrengen. Voor stadsverkeer (10 à 15 m/s) is een tijd van 3 à 5 s minimaal noodzakelijk, dus de signalen dienen op een afstand

van ca. 50 m duidelijk zichtbaar, opvallend en herkenbaar te zijn. Het zebrapad zelf is daartoe ongeschikt. Additionale signalen zijn nodig. Het wettelijke verkeersteken (bord 84b), zelfs inwendig verlicht, is te klein en te onopvallend op 50 m afstand om als waarschuwing te dienen. Een mogelijke verbetering is: op 15 à 25 m vóór de zebra (dus bij tweerichtingsverkeer aan weerszijden) het bord 84b aanbrengen, indien nodig inwendig verlicht, en in bijzondere (uitzonderings-)gevallen aanvullen met een geel knipperlicht en/of additionele wegmarkeringen.

De preciese locatie van de VOP kan alleen worden aangegeven door de zebra zelf. Markeringen op de stoep, en vooral verticale signalen zijn niet voldoende nauwkeurig te relateren aan de plaats op de weg; spijkers, verkeersknopen en dwarsstrepen zijn niet voldoende opvallend, in het bijzonder bij druk verkeer. Hieruit volgt dat voor een goede localiseerbaarheid het zebrapatroon onder alle omstandigheden van verkeer en weer duidelijk zichtbaar moet zijn. (Het is nog een zaak voor verder onderzoek wat hierbij precies onder duidelijk zichtbaar dient te worden verstaan, en van welke afstand.)

Het is gebleken dat een duidelijke zichtbaarheid wordt gewaarborgd door een goed contrast in luminantie tussen de "witte" en "zwarte" strepen van de zebra en dit voor de verschillende verlichtingswijzen (daglicht, autoverlichting, openbare verlichting, en hun combinaties) en zowel voor droog als voor nat wegdek.

Hiervoor is vereist dat de kleur (totale reflectie) van de materialen die voor de "witte" en de "zwarte" strepen worden gebruikt verschillend is, maar dat hun textuur gelijk is of tenminste gelijksoortig. Hierdoor wordt een redelijk contrast gewaarborgd, terwijl wordt vermeden dat er "omslagpunten" ontstaan (hieronder wordt verstaan dat het "wit" bij bepaalde lichtinvalsrichtingen lichter is dan het "zwart", maar bij andere lichtinvalsrichtingen donkerder. Dit zou nog te accepteren zijn, ware het niet dat daartussen de omslagpunten liggen waarbij "wit" en "zwart" dezelfde luminantie hebben - het zebrapad is dan onzichtbaar). Voor wegen waarbij vooral de verlichting met autokoplantaarns van belang is, moet het "zwart" glad en donker zijn, het "wit" ruw of zelfs retroreflecterend. Voor wegen waarbij autoverlichting een ondergeschikte rol speelt, maar waarbij hetzij openbare verlichting of dagverlichting (of beide) van overheersend belang zijn, moet het "zwart" diffuus

en het "wit" glad zijn (niet te glad; er moet aan minimale eisen van stroefheid worden voldaan). Het is van het grootste belang dat het verschil tussen "wit" en "zwart" ook bij nat wegdek gewaarborgd blijft; vandaar het compromis dat de textuur van beide gedeelten analoog is. Tenslotte moet in vele gevallen rekening worden gehouden met zebrapaden die zijn verwijderd: het zwart teren van het witte gedeelte kan tot aanzienlijke kleur- en textuurverschillen leiden, zodat het vaak lijkt alsof het zebrapad nog aanwezig is. Aan deze gezamenlijke eisen kan worden voldaan door plastic plaatvormige markeringsmaterialen, en door sommige soorten betontegels. In het algemeen blijkt dat zowel het "wit" als het "zwart" moeten worden voorzien van markeringsmaterialen. Het zonder meer wit maken (bijv. met markeringsverf) van de witte strepen voldoet als regel niet. Aangezien vrijwel alle zebrapaden in gebieden met openbare verlichting liggen, heeft het aanbrengen van retroreflecterend materiaal als regel niet veel zin. Veelal wordt daardoor de dagzichtbaarheid slechter (hetgeen een nadeel is), en de opvallendheid van het zebrapad gezien vanuit het standpunt van de overstekende voetganger beter (hetgeen eerder een nadeel dan een voordeel is).

Aangezien voetgangers (zeker 's avonds) over het algemeen donkere kleding dragen, en slechts bij zeer hoge uitzondering retroreflecterende kleding, verdient het de voorkeur om de aanwezigheid van een overstekende op de VOP, of een voetganger op het voetpad dicht bij de VOP, aan de naderbij komende automobilist kenbaar te maken door te zorgen dat de voetganger als een donker silhouet afsteekt tegen een relatief lichtere achtergrond. Dit is de normale situatie bij openbare (straat-) verlichting. De eerste aanbeveling is dan ook om te zorgen dat de openbare verlichting in het weggedeelte waar de VOP ligt, adequaat is. Adequaet betekent, zoals elders is toegelicht, als regel een gemiddelde wegdek-luminantie van 2 cd/m^2 , gecompleteerd met bepaalde eisen over de ongelijkmatigheid en de verblinding. Ook wanneer de luminantie veel lager is blijft het "negatieve" contrast bestaan: ook de waarde van dit contrast blijft meestal vrij hoog, maar omdat de contrastgevoeligheid bij lage luminantie veel lager is dan bij hoge luminantie, zal de voetganger toch onzichtbaar kunnen blijven. Afgezien van de, in dit opzicht meestal onefficiënte autokoplantaarns (verblinding van

tegenliggers, van voetgangers) komt hier vooral een additionele verlichting van de VOP in aanmerking. Het blijkt bij additionele verlichting, ondanks het feit dat de meeste voetgangers donkere kleding dragen, meer efficiënt om te streven naar een positief contrast, waarbij dus de voetganger licht afsteekt tegen een donkere achtergrond. Redenen hiervoor zijn:

- a. de verlichting behoeft slechts een klein stuk weg te bestrijken, kan daarom relatief goedkoper zijn, en kan ook in een andere kleur worden uitgevoerd;
- b. het zebrapad zelf wordt goed verlicht;
(de punten a. en b. komen de signalering ten goede)
- c. door het positieve contrast wordt de voetganger niet alleen als een silhouet zichtbaar; ook delen van de voetganger kunnen apart worden gezien, zoals de stand van het hoofd; dit is van belang om te kunnen schatten of de voetganger van zijn kant de naderende auto heeft gezien;
- d. het systeem is minder gevoelig voor weersinvloeden dan conventionele straatverlichting.

Nadelen zijn:

- a. verblinding van automobilist en voetgangers is niet steeds te vermijden;
- b. bij tamelijk goede maar toch nog onvoldoende openbare verlichting moet de additionele verlichting een hoge intensiteit hebben om nog een "positief" contrast te kunnen waarborgen.

Soms wordt als bezwaar van additionele verlichting aangevoerd dat voetgangers de indruk krijgen beter op te vallen dan ze in werkelijkheid doen.

In 1961 heeft de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde aanbevelingen voor de verlichting van VOP's gegeven. Deze aanbevelingen zullen worden aangevuld betreffende:

- striktere beschrijving van de VOP's die een additionele verlichting nodig hebben.
- aanpassing van de fotometrische waarden, met name voor VOP's op wegen die "bijna voldoende" zijn.
- meer nadruk op de aanbevelingen voor VOP's op of nabij kruispunten.

Voorts worden door een ambtelijke werkgroep van het Ministerie van Ver-

keer en Waterstaat richtlijnen uitgewerkt voor de aanleg en uitmonstering van VOP's met name in relatie tot de wegcategorie.

B.2.4. Categorisering van wegen

1. Algemeen

Bij de reeds eerder gegeven beschouwingen over beschikbare en benodigde bewegingsruimte is aangegeven dat tot de maatregelen waarmee de verkeersveiligheid is gediend, behoren diegene waarbij de weggebruikers in staat worden gesteld beter de beschikbare en benodigde ruimte te schatten. Dergelijke maatregelen zijn samengevat onder de verzamelterm "informatieverschaffing". Een belangrijke groep maatregelen die daartoe kunnen worden gerekend, worden samengevat in de term "categorisering van wegen". Hieronder wordt verstaan maatregelen waarmee wegen in een klein aantal onderling duidelijk verschillende categorieën met voor de categorieën typerend verkeersgedrag worden ingedeeld, en waarbij bovendien ervoor wordt gezorgd dat de weggebruiker weet tot welke categorie de weg behoort waarop hij zich bevindt en met welk verkeersgedrag hij rekening dient te houden. Dergelijke categorisering zijn dus gericht op de weggebruikers. Natuurlijk zijn er ook andere indelingsprincipes mogelijk, zoals indeling naar juridische status en naar wegbeherende instanties. Dergelijke indelingsprincipes zijn voor organisatorische doeleinden van belang. Ze zullen hier niet verder worden besproken.

De voornaamste reden om tot categorisering van wegen - zoals hier beschreven - over te gaan is inderdaad van informatorische aard. Op iedere categorie weg zijn bepaalde verkeersdeelnemers en ook bepaalde manoeuvres te verwachten, zodat per categorie er verschillende waarden van de benodigde bewegingsruimte te verwachten zijn (natuurlijk binnen iedere categorie met een bepaalde spreiding). Wanneer soorten wegen van dezelfde categorie steeds aan vergelijkbare ontwerpcriteria voldoen, is bovendien per categorie een bepaalde beschikbare bewegingsruimte te verwachten. Wanneer tenslotte de aanduiding van de categorie aan alle weggebruikers duidelijk is, kan men verwachten dat steeds meer de weggebruikers hun gedrag aanpassen aan de categorie, zodat op de lange duur ook een homogeniserende werking (per categorie

dus) verwacht kan worden. Daartegenover staat dat, wanneer er enige systematiek aanwezig is zonder consequente categorie-indeling, er gemakkelijk verwarring en misverstand kan optreden, omdat dan - soms ten onrechte - waargenomen wegkenmerken toch worden geassocieerd met verkeerskenmerken.

2. Categorie-indeling van wegen

Het is uit kostenoverwegingen niet realistisch om te eisen dat alle wegen, ook die met geringe intensiteit, wat betreft de grootte van de beschikbare en benodigde bewegingsruimte aan de allerhoogste eisen voldoen. Dit leidt dus tot een aantal categorieën die in een schaal kunnen worden ondergebracht volgens een hiërarchie van manoeuvreerinspanning. Deze inspanning neemt toe naarmate er meer bewegingsbeperkingen (fricties) in dwars- en/of langsrichting zijn. Voor een logische en consistente hiërarchische opbouw is het gewenst dat de frictie in dwarsrichting en die in langsrichting per categorie ongeveer even sterk zijn.

Aan een doelmatige categorie-indeling van wegen kunnen de volgende functionele vereisten worden gesteld:

1. Binnen de wegcategorie consistentie van kenmerken.

De afzonderlijke elementen van het wegontwerp dienen een minimale spreiding in bewegingskenmerken van de voertuigen op die weg te bewerkstelligen. Uiteraard is hierbij van groot belang de gebods- en verbodsbepalingen die bepaalde wegen toedelen aan bepaalde categorieën voertuigen, en van die voertuigen bepaalde gedragingen eisen, resp. verbieden. Voorbeeld: de autosnelweg met restricties in voertuigcategorieën, in snelheid en gedrag.

2. Binnen de wegcategorie continuïteit van de kenmerken. De informatie over beperkingen in de manoeuvreer ruimte dient permanent en over de gehele lengte van de weg aanwezig te zijn.

3. Binnen de wegcategorie uniformiteit in de kenmerken. Hierboven is al aangegeven dat grote uniformiteit, dus geringe variatie in de kenmerken om drie redenen wenselijk is: ten eerste kan door deze geringe variaties de schatting van bewegingsruimte nauwkeuriger worden gemaakt, ten tweede leidt een geringe variatie in het wegontwerp vanzelf tot een

geringe spreiding in voertuigbewegingskenmerken, hetwelk weer gunstig is voor het juist schatten van de bewegingsruimte, en ten derde zal - met name wanneer de categorie-indeling logisch is en consequent wordt doorgevoerd - de voorspelbaarheid van bewegingskenmerken steeds toenemen.

4. De verschillende wegcategorieën herkenbaar voor de weggebruiker: categorieën zijn beter te herkennen naarmate zij geringer in aantal zijn en onderling beter te onderscheiden.

De onderscheidbaarheid van categorieën is beter bij het toepassen van dichotome kenmerken - al dan niet aanwezig - en van redundante kenmerken - meer dan één kenmerk steeds gelijktijdig al dan niet aanwezig. Over het maximaal toelaatbare aantal categorieën heerst nog enige onzekerheid. Dit aantal wordt in feite bepaald door het maximale aantal goed onderscheidbare gedragspatronen. Het is immers voor de weggebruiker niet zinvol om twee categorieën in te voeren waarbij voor de ene categorie hetzelfde gedragspatroon wordt verlangd als voor de andere. Uiteraard kan een dergelijk onderscheid voor andere doeleinden wel van belang zijn, bijv. voor administratieve doeleinden.

Op grond van bovenstaande overwegingen kunnen de volgende ontwerpkenmerken worden gekozen:

- al dan niet ongelijkvloerse kruisingen
- al dan niet gescheiden rijbanen
- al dan niet vrijliggende fietspaden
- al dan niet gemengd verkeer
- al dan niet aansluitingen op de bebouwing.

De keuze van de combinatie van deze hoofdkarakteristieken hangt af van de verkeersintensiteit die aanwezig is (of te verwachten is), de locatie (al dan niet binnen de bebouwde kom) en de functie van de weg. De verdere ontwerpdetails behoren daaraan te worden gekoppeld.

3. Consequenties voor de verlichting

Er zijn twee aspecten te onderscheiden:

1. Heeft de indeling in categorieën consequenties voor het verlichtingsontwerp?

2. Kan de wegverlichting een bijdrage leveren tot de herkenbaarheid of onderscheidbaarheid van verschillende categorieën?

Bij de functionele vereisten van wegcategorieën is gesteld dat binnen de categorie de kenmerken consistent moeten zijn, continu, uniform en herkenbaar. Een van de zeer "in het oog lopende" kenmerken is de verlichting - allereerst de aanwezigheid, maar ook de soort. Het is daarom gunstig wanneer bepaalde categorieën van wegen steeds, en zeker binnen hetzelfde wegvak, verlichting hebben die niet te zeer verschillend is.

Anderzijds komt verlichting als primaire kenmerk van categorieën niet in aanmerking. Het zeer opvallende verschil tussen wel of geen verlichting is geen bruikbaar kenmerk, omdat enerzijds alle wegen binnen de bebouwde kom verlicht zijn (ongeacht hun categorie) en anderzijds buiten de bebouwde kom wegen van alle categorieën soms wel en soms niet verlicht zijn. Een tweede kenmerk, de lichtkleur, is door de toepassing van hogedruk-natriumlampen veel minder bruikbaar. Niet alleen is de dichotomie wit/geel verdwenen, maar de kleurverschillen zijn te gering om door een leek in één oogopslag duidelijk te worden waargenomen. Ditzelfde geldt in nog sterkere mate voor andere ontwerpkenmerken van de verlichting: hoewel luminantieniveau, masthoogte, opstellingswijze, enz., van grote invloed zijn op de kwaliteit en het effect van de verlichting, zijn de verschillen zelfs tussen de uitersten niet voldoende groot om als hoofdkenmerk voor categorie-indeling te worden gebruikt. Dit ondanks het feit dat openbare verlichting een aantal eigenschappen heeft - met name continuïteit - die gunstig zijn voor een toepassing als categoriekenmerk.

Dit houdt een grotere vrijheid voor het verlichtingsontwerp in: bij het ontwerp hoeft geen rekening te worden gehouden met het feit dat de verlichting tot doel heeft de categorieën van wegen aan te duiden. Deels omdat het vaak het normale uitvloeisel is van het ontwerp, maar ook wel met opzet, wordt toch vaak de verlichting gebruikt als secundair (dus in feite redundant) categoriekenmerk. Dit kan een belangrijk aspect zijn: wanneer een bepaalde weg- of verkeerssituatie bijna steeds samengaat met een vaste verlichtingssituatie, dan kan een on-

gunstige en mogelijk zelfs gevaarlijke verwarring optreden in die gevallen waarbij een dergelijke weg- of verkeerssituatie niet samengaat met de gebruikelijke verlichting. Met name geldt dit voor de rol die de verlichting kan spelen bij het signaleren van kruispunten e.d.; en meer in het algemeen bij elementen die afwijken van datgene wat bij de betreffende categorie hoort.

Tenslotte nog een ander aspect van de categorie-indeling van wegen. Het is een uit de praktijk geboren regel dat wegen met geringe intensiteit een verlichting van mindere kwaliteit (en kwantiteit) hebben. Om dit in aanbevelingen of richtlijnen te kunnen weergeven, is een indeling van wegen nodig. Gebruikelijk is een indeling gebaseerd deels op ontwerpcriteria (autosnelweg bijvoorbeeld) deels op de plaats van de betreffende wegen in de hiërarchie van het verkeersnetwerk (wijk- en buurtstraten bijvoorbeeld). Hoewel met dergelijke indelingen goede resultaten zijn te boeken, blijft de situatie toch onbevredigend, met name omdat de gebruikte termen en aanduidingen soms voor meerdere uitleggingen vatbaar zijn. Een nadere studie, en betere definities, is dan ook gewenst.

B.2.5. Kruispunten

Uit verkeerskundig oogpunt zijn plaatsen waar verkeersstromen elkaar kruisen steeds ongunstig, zowel wat betreft veiligheid als ook wat betreft doorstroming. Wegen, d.w.z. stromen van wegverkeer, kunnen op één niveau worden afgewikkeld; dan krijgt men kruispunten. Een deel van de problemen kan worden opgelost door de stroom in de tijd te scheiden (verkeersregeling). Wanneer de verkeersstroom op beide aders gering is, volstaat men met voorrangregels (hetzij algemeen: rechts voorrang, of specifiek door de kruising als voorrangskruising uit te voeren).

Het feit dat er meer dan één verkeersstroom op het zelfde moment van hetzelfde kruisingsvlak gebruik maakt, leidt tot specifieke functionele vereisten, ook van de verlichting:

1. Weggebruikers moeten hun eigen weg kunnen zien, ook voorbij de kruising.

2. Weggebruikers moeten - van te voren - weten dat er een kruising genaderd wordt.
3. Weggebruikers moeten - tijdig - kunnen waarnemen wat voor een kruispunt het is.
4. Verkeer op de kruisende weg en op het kruispunt zelf moet ruim op tijd waargenomen worden. Dit geldt ook voor kruisend langzaam verkeer en voor voetgangers.

Wanneer het kruispunt niet van openbare verlichting wordt voorzien, dan moet door de eigen, meegevoerde, automobiilverlichting aan al deze eisen worden voldaan, met de uitzondering dat nadering van auto's uit de zijweg door hun lichten wordt gemarkeerd. Er bestaan richtlijnen waarin is beschreven bij welke verkeersintensiteit de kruising door middel van openbare verlichting verlicht dient te worden. Ook is globaal aangegeven hoe bij verschillende uitvoeringsvormen van de kruising de verlichting het beste kan worden geplaatst (NSvV, 1974).

Om aan de eerste eis te voldoen, dient de verlichting tenminste 150 à 200 m voorbij het kruispunt door te lopen. Aan de tweede en derde eis kan worden voldaan door de verlichting van de kruisende weg ook van opzij duidelijk zichtbaar te maken en eventueel de verlichting van de twee wegen verschillend te maken (kleur, ophanghoogte). Tenslotte kan aan de vierde eis (de belangrijkste) alleen worden voldaan wanneer het kruisingsvlak zelf en de directe omgeving ervan met een behoorlijk niveau verlicht zijn. Het niveau moet tenminste even hoog zijn als datgene wat op de weg met de "hoogste" categorie nodig is. Wanneer de weg verder onverlicht is, kan het nuttig zijn om een overgang tussen het verlichte en onverlichte deel te maken (bijvoorbeeld 100 m met een niveau dat 1/3 bedraagt van het niveau op het kruispunt).

De specifieke kenmerken van het kruispunt kunnen worden gekenmerkt door de plaatsing van de lichtpunten en ondersteund door bewegwijzering, wegmarkeringen, enz. Algemene regels zijn moeilijk te geven. Elders in deze cursus worden enige voorbeelden gegeven.

ANNEX bij B.2.

BEREKENING VAN DE BENODIGDE WEGLENGTE

Verkeersongevallen kunnen worden beschreven in termen van een statistisch kansverschijnsel. Dit verschijnsel kan worden beschreven met een binomiale verdeling, gekenmerkt door $\mu = pn$ en $\sigma = \sqrt{pqn}$. Daarin zijn p en q de alternatieve kansen (bijv. p : een gebeurtenis, bijv. een ongeval, vindt plaats, en $q = 1 - p$), n de steekproefgrootte, μ het gemiddelde en σ de standaardafwijking van de populatie waaruit de steekproef is getrokken. Bij kleine p (d.w.z. $q \approx 1$) gaat de binomiale verdeling over in een Poissonverdeling met $\mu = pn$ en $\sigma = \sqrt{\mu}$. Wanneer het populatiegemiddelde ongeveer 10 is of groter, dan kan de Poissonverdeling worden benaderd d.m.v. een normale verdeling.

Stel de verwachtingen vóór en na het invoeren van een maatregel (hier dus het aanbrengen of verbeteren van openbare verlichting) zijn μ_1 en μ_2 . We stellen $\mu_1 > \mu_2$ (anders zou verlichting niet positief bijdragen!). Voor de verdeling van het verschil van twee onafhankelijke normale verdelingen geldt $\mu_v = \mu_1 - \mu_2$ en $\sigma_v = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}$. Beide verdelingen zijn door een normale verdeling benaderde Poissonverdelingen, dus $\sigma = \sqrt{\mu}$. Als μ_1 en μ_2 niet te zeer verschillen, dan zijn σ_1 en σ_2 bijna even groot, dus $\sigma_v = \sigma\sqrt{2}$.

We voeren nu de volgende hypothese in: μ_v is ongelijk nul (en wel $\mu_v > 0$). Bij een eenzijdige overschrijdingskans van 2,5% dan wordt de hypothese verworpen wanneer $\mu_v < 1,96 \sigma_v$ is. Dit gegeven wordt gebruikt om na te gaan hoe groot de steekproef moet zijn om een reductie van bijvoorbeeld één procent met de bedoelde significantie te bepalen. Daarvoor wordt verder uitgegaan van de gelijkheid $\mu_v = 1,96 \sigma_v$.

Nu is $\mu_v = \mu_1 - \mu_2$. Voor een reductie van één procent is dus:

$$\mu_v = (1,00 - 0,99)\mu.$$

Verder is $\sigma_v = \sigma\sqrt{2}$; $\sigma = \sqrt{\mu}$ en $\mu = pn$ (Poissonverdeling), p is hierbij het dodenquotiënt of gewondenquotiënt.

Hieruit volgt dat

$$\mu_v = 0,01\mu = 1,96\sqrt{2}\sqrt{\mu}$$

$np = 76800$; het aantal doden (of gewonden) nodig om een reductie van één procent te kunnen constateren.

Wanneer men aanneemt dat op een autosnelweg het dodenquotiënt ca. $1,5 \cdot 10^{-8}$ bedraagt (doden per vtg. km) en op andere wegen ca. $4,5 \cdot 10^{-8}$; en dat op de autosnelweg 50.000 voertuigen per etmaal passeren en op een "andere" weg ca. 17.000, dan volgt voor p (wanneer de proef een jaar duurt):

$$\left. \begin{aligned} p &= 365 \cdot 50000 \cdot 1,5 \cdot 10^{-8} = 0,274 \\ \text{resp. } p &= 365 \cdot 17000 \cdot 4,5 \cdot 10^{-8} = 0,279 \end{aligned} \right\} \text{ dus ca. } 0,27$$

Wanneer men aanneemt dat het gewondenquotiënt ca. 25 maal zo hoog is, volgt voor p ongeveer 6,8.

Hieruit volgt dat men, voor een vóór- en nastudie, beide één jaar beslaande, bij een verwachte reductie van één procent, een proeftraject nodig heeft van ca. 280 000 km. Wanneer men ook verkeersgewonden in de proef kan betrekken, is voor 1% reductie ca. 11 000 km weg nodig. Wanneer de reductie groter is, kan het proeftraject evenredig korter worden gekozen. Zie onderstaande tabel.

Aangezien bij de berekeningen uitgegaan is van etmaalgemiddelden voor het verkeer, geldt het resultaat ook voor de dag- en nachtsituatie in totaal. Bij het bestuderen van de nachtsituatie dienen de getallen in de tabel verhoogd te worden volgens de verhouding verkeer totaal / verkeer bij nacht, eventueel gecorrigeerd voor een verschil in ongevallenquotiënt.

Reductie	Benodigde weglengte (km)	
	doden	gewonden
1%	280 000	11 000
2%	140 000	5 500
5%	56 000	2 200
10%	28 000	1 100
20%	14 000	550

LITERATUURLIJST BIJ B.2.

Boer, J.B. de (ed.). Public lighting. Eindhoven (1967) Centrex.

CIE. International recommendations for tunnel lighting. Publication No. 26. Paris (1973) Commission Internationale de l'Eclairage CIE.

Kraay, J.H. & Slop, M. Safety of pedestrian crossing facilities. Publication 1974-2E. Voorburg (1974) Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV.

Narisada, K. & Yoshikawa, K. Tunnel entrance lighting. Lighting Res. & Technol. 6 (1974) 9-18.

NSVV. Aanbevelingen voor de verlichting van voetgangersoversteekplaatsen. (1961) Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde.

NSVV. Aanbevelingen voor tunnelverlichting. Electrotechniek 41 (1963) 23; 46.

Schreuder, D.A. The lighting of vehicular traffic tunnels. Eindhoven (1964) Centrex.

Schreuder, D.A. Marking and lighting of pedestrian crossings. Intern. Lighting Rev. 15 (1964) 2: 75-77.

Schreuder, D.A. De verlichting van tunnelingangen; Een probleemanalyse omtrent de verlichting overdag van lange tunnels. R-81-26. Voorburg (1981) Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV.

SWOV (J.H. Kraay). Rules of conduct for pedestrians and motorists on or near zebra crossings. In: NATO-CCMS-Report No. 27. Washington, D.C. (1974) U.S. Depart. of Transportation.

"Wegontwerp en wegverlichting tegen de achtergrond van de verkeersveiligheid." Preadviesen Congresdag Utrecht, 6 december 1974.

's-Gravenhage (1974) Vereniging Het Nederlandsche Wegencongres.

B.3. AANVERWANTE ONDERWERPEN

B.3.1. Inleiding

Onder dit onderwerp wordt een aantal aspecten samengevat.

Deels betreft het het wegdek als onderdeel van de verlichtingsinstallatie. Voorts betreft het ondersteuning en aanvulling van de geleidingsfunctie van de verlichting (wegmarkeringen, bewegwijzering) en de ondersteuning van de verkeersfunctie (verkeerstekens en verkeerslichten). En tenslotte dient men te bedenken dat verlichtingsmiddelen ook "wegmeubilair" zijn.

B.3.2. Constructieve aspecten van wegdekken

1. Algemeen

Het wegdek kan als een essentieel onderdeel van de verlichtingsinstallatie worden beschouwd. Daarbij zijn de reflectie-eigenschappen van belang: het is gebleken dat de luminantie van het wegdek, en niet de verlichtingssterkte (het licht dat de weg treft) van belang is.

2. De lichtreflectie

De reflectie wordt numeriek uitgedrukt in de luminantiefactor q volgens $L = qE$. Zowel het invallende licht als het teruggekaatste licht kan alle richtingen hebben; derhalve zou q een vierdimensionale grootte zijn. Zoals reeds is aangegeven, is de richting van waaruit L wordt bepaald, vastgelegd, zodat q in een tweedimensionale figuur (reflectie-indicatrix) kan worden weergegeven. Deze indicatrix kan op haar beurt weer worden gekarakteriseerd door een klein aantal (3) kengrootheden.

Aangezien het gaat om de reflectie van licht aan het oppervlak van het wegdek, is het voor de hand liggend om te proberen de lichtreflectie te relateren aan de geometrie van het oppervlak (de textuur). Noch een theoretische benadering, noch de praktische aanpak heeft echter veel opgeleverd. Wel is gebleken dat de textuur voor een aantal andere factoren van groot belang is, factoren die een nauwe relatie hebben met de ver-

keersverlichting. Zo blijkt dat een "open textuur", waarbij grote openingen in de weg bestaan, die bovendien met elkaar in verbinding staan, het afvloeien van regenwater sterk bevordert. Dit heeft - naast voordelen voor de stroefheid - vooral belang voor het rendement van zowel openbare verlichting als voor verlichting door middel van autokoplantarns. Binnen de Stichting Studiecentrum Wegenbouw wordt veel onderzoek naar deze effecten uitgevoerd, waarbij naast aan de genoemde factoren aandacht wordt besteed aan de bestrijding van opspattend water - een factor die tijdens of kort na regen de zichtbaarheid in druk verkeer zeer nadelig kan beïnvloeden. Met name wordt onderzocht hoe men dergelijke "zeer open" wegdekken kan realiseren, terwijl tevens wordt voldaan aan eisen van levensduur, kosten, vorstbestendigheid, enz.

3. Samenstelling

Het is duidelijk dat niet alleen de textuur maar ook de samenstelling van de top laag van het wegdek van belang is voor de lichtreflectie. Hierbij zijn vooral van belang: de soort van het bindmiddel (cement, bitumen, teer, enz.), de korrelgrootteverdeling (met name de grootste fractie), de aard van de steenslag (licht, donker, enz.) en de aard van de constructie (bijv. oppervlakbehandelingen). Gezien het grote aantal variabelen is het niet te verwachten dat er een zeer eenvoudig verband tussen samenstelling en lichtreflectie zal bestaan. Details en definities zijn elders behandeld.

Over het algemeen geldt het volgende:

- Bij cement speelt het bindmiddel de overheersende rol, bij bitumen en teer de steenslag. Cementbetonwegen zijn dan ook bijna altijd licht van kleur (hoge q_p) en vertonen bij oordeelkundig aangebrachte textuur een lage spiegel factor S_1 . Het verschil tussen droog en nat is meestal aanzienlijk.
- In droge toestand wordt bij asfaltbeton de q_p allereerst bepaald door de "kleur" van de steenslag. Dit geldt ook voor de daglichtfactor en de autokoplantarnfactor AKF. Een hoge q_p kan bereikt worden door een hoog percentage van lichte (bijvoorbeeld kunstmatige) materialen te gebruiken.
- Het verschil in reflectie tussen droge en natte toestand wordt vooral bepaald door de textuur. Een textuurdiepte van ca 1 mm is gewenst (zie Mededeling 34 van de SCW)

- De constructiemethode heeft grote invloed op de textuur, vooral wanneer men let op oppervlakbehandelingen.

B.3.3. Wegmarkeringen

1. Algemeen

De functies van wegmarkeringen zijn in eerste instantie:

- het duidelijk maken van de dwarspositie van het voertuig met name de dwarspositie binnen de rijstrook.
- het aangeven van het verloop van de weg met name het verloop van bochten op korte afstand van de auto.
- het aangeven van bepaalde aspecten van gewenst of vereist verkeersgedrag (stopstrepen, dubbele strepen in tunnels, zebra's).

Men kan daaraan nog toevoegen minder belangrijke functies die te maken hebben met het schatten van de eigen snelheid, met de routegeleiding enz.

2. Zichtbaarheid

Uiteraard is het essentieel dat wegmarkeringen gezien kunnen worden om aan deze functies te kunnen voldoen. Aangezien zelf-lichtende markeringen nog nauwelijks worden gebruikt, dient er een bepaald - liefst groot - verschil te bestaan in reflectie-eigenschappen tussen de markering en de directe achtergrond (als regel het wegdek). Bovendien moet dit verschil aanwezig blijven bij alle voorkomende lichtomstandigheden (dag, autoverlichting, openbare verlichting) en bij alle voorkomende weersomstandigheden (droog weer, regen, mist, sneeuw, enz.). En tenslotte moet dit verschil gedurende lange tijd, ook bij intensief verkeer, gehandhaafd blijven.

Voor droog weer en veelzijdig invallend licht (daglicht, openbare verlichting) moet de diffuse reflectie verschillen. Bij verlichting met autolantaarns is dit niet genoeg; de markeringen moeten retroreflecterend zijn om redelijke zichtbaarheid te kunnen waarborgen. Bij nat weer is, zoals gezegd, vooral de textuur maatgevend voor wat er met de reflectie

gebeurt; voor daglicht en openbare verlichting is dus een zeker textuurverschil tussen markering en wegdek noodzakelijk. Voor autoverlichting komt daar nog bij dat een waterlaag de retroreflecterende werking van markeringsmaterialen met glasparels (verf, plastic, enz.) vrijwel volledig teniet doet. Momenteel bestaan er twee typen markeringen die al deze eisen kunnen verenigen. Ten eerste de reflecterende verkeersknopen. Deze hebben echter weer nadelen: ze zijn tamelijk duur en er kan geen doorgaande streep meer worden gemaakt. Het vaak gehoorde bezwaar van kwetsbaarheid bij sneeuwploegen is te ondervangen door adequate maatregelen. Het extra gevaar voor motorrijders lijkt denkbeeldig te zijn: noch uit ongevallenstudies noch uit gedragsobservaties is er iets van gebleken. De tweede in aanmerking komende markering is de zogenaamde geprofileerde markering ("ribbelreflexlijnen" e.d.).

B.3.4. Bewegwijzering, verkeerstekens

1. Algemeen

Hoewel de functie voor het verkeer, en ook de juridische status, nogal verschillen, is de technische uitvoering van wegwijzers en verkeerstekens analoog. Wegwijzers dienen voor de routegeleiding; ze bevatten meestal (een aantal) plaatsnamen en afstanden, en moeten dus gelezen worden. Een verkeerd waarnemen of het geheel missen van het bord kan hinder opleveren en soms zelfs gevaar, maar heeft op zich geen juridische consequenties. Verkeerstekens daarentegen zijn vrijwel steeds uitsluitend van symbolen (figuren) voorzien. Verkeerd, of niet waarnemen kan juridische consequenties hebben.

Twee aspecten zijn dus van belang: de herkenbaarheid/opvallendheid van het bord als zodanig; en de leesbaarheid van de boodschap (woorden en/of symbolen).

De opvallendheid is vooral gediend met een duidelijke plaatsing, beperking van het aantal borden, enz., en is dus vooral situatief bepaald.

De leesbaarheid wordt bepaald door:

- luminantiecontrast tussen letters/tekens en de achtergrond
- luminantie van bord en omgeving

- kleur/kleurcontrast
- grootte en vorm van letters/tekens.

Over deze zaken bestaan diverse normen en aanbevelingen.

Wanneer het gaat om verkeerstekens met symbolen wordt de "leesbaarheid" uiteraard bovendien bepaald door de mate waarin het symbool bekend is en te interpreteren is.

Tenslotte is de houdbaarheid van belang, zowel wat betreft het bord zelf, als van de bevestiging. Bij de houdbaarheid kunnen aspecten van botsingsgevaar een rol spelen.

2. Verlichtingsaspecten

Wegwijzers en verkeerstekens kunnen worden uitgevoerd met of zonder hun eigen verlichting. Eigen verlichting kan zijn: van buiten aangestraald of inwendig verlicht. Overwegingen van waarneembaarheid overdag spelen een rol. Ook kunnen maatregelen worden gewenst die de waarneembaarheid - tenminste gedeeltelijk - waarborgen bij uitvallen van (een deel van) de eigen verlichting. Hierover bestaan normen en aanbevelingen. De verdere verlichting 's nachts is van weinig betekenis (aanwezigheid en kwaliteit van de openbare verlichting).

Bij wegwijzers en verkeerstekens zonder eigen verlichting maar bij openbare verlichting zijn van belang:

- De lichtkleur van de openbare verlichting. Als regel wordt gesteld dat verkeerstekens bij lage-druk natriumverlichting een eigen verlichting moeten hebben. Soms wordt volstaan met de tekens retroreflecterend uit te voeren waarbij wordt verwacht dat de auto's tenminste dimlicht voeren, ook bij openbare verlichting.
- De plaatsing ten opzichte van de lichtmasten. Wanneer borden recht onder of kort voor lichtpunten van de OV worden aangebracht, zijn ze meestal slecht zichtbaar. Plaatsing kort na de lichtpunten van de OV (0,6 à 1 x de ophanghoogte) is aan te bevelen.

Bij wegwijzers en verkeerstekens zonder eigen verlichting en zonder openbare verlichting dient de waarneembaarheid te worden gewaarborgd door de verlichting met autokoplantaarns. Als regel worden de borden

retroreflecterend uitgevoerd. Van belang zijn daarbij:

- De reflectiewaarden van, en vooral het verschil in reflectiewaarde tussen, letters (tekens) en de achtergrond (een klein verschil leidt tot een gering contrast, een groot verschil tot overstraling. Bij hoge reflectie van lichte letters of tekens moet als regel de donkere achtergrond ook reflecterend worden uitgevoerd).
- De waarneembaarheid bij dag. Ook de diffuse reflectie van letters (tekens) en achtergrond dient voldoende te verschillen.
- Weerinvoeden. Sommig retroreflecterend materiaal verliest zijn retroreflecterende werking wanneer het door water (regen of dauw) wordt bedekt. Bij het ontwikkelen van nieuwe materialen wordt ernaar gestreefd de invloed van water te verkleinen.

B.3.5. Verkeerslichten

1. Algemeen

Onder verkeerslichten verstaat men allereerst de driekleurige lichten die dienen voor het regelen van het wegverkeer. Ook horen erbij de rijstrookindicatie (kruis- en pijllichten), voetgangerslichten en diverse soorten waarschuwingslichten en lichten voor het regelen van het verkeer van speciale verkeerscategorieën (bijv. bussen).

Bij de driekleurige lichten is de kleur van de lichten het gegeven dat de weggebruiker moet kunnen ontwaren om te weten wat hij doen moet. Ca. 8% van de mannen is kleurenzwak. Daarom worden de kleuren zo gekozen dat ook zij zo goed mogelijk de kleur kunnen waarnemen. Bovendien is de positie van de lichten voorgeschreven: rood boven, groen onder, enz.

Behalve de kleur zijn ook lichtsterkte, lichtsterkteverdeling, helderheidsverdeling over de lens, afmetingen, vorm en afmetingen van eventuele symbolen zoals voetgangers, fietsers of richtingspijlen, in normbladen vastgelegd. Er zijn drie aspecten die in verband met de openbare verlichting dienen te worden besproken: het fantomeffect, de intensiteit, en de kleur in relatie tot de kleur van de wegverlichting.

2. Verlichtingsaspecten

Het fantoomeffect is het verschijnsel dat licht dat van buitenaf de lens van het verkeerslicht treft, wordt verstrooid en/of gereflecteerd in de lantaarn zelf en vervolgens gedeeltelijk weer naar buiten treedt. Dit uittredende licht heeft dezelfde kleur als het in werking zijnde signaal. Verwarring tussen wel of niet in werking zijnde signalen is dus mogelijk. Het fantoomeffect kan vooral storend zijn bij laagstaande, met de verkeersrichting meestralende zon. Hoewel er middelen bestaan om het fantoomeffect te beperken, is een geheel bevredigende oplossing nog niet gevonden. Onderzoek op dit gebied is in uitvoering.

De intensiteit van verkeerslichten in de hoofdrichting (bundelas) is in de meeste landen bij normen of aanbevelingen geregeld. Zo geldt in Nederland dat de intensiteit van rood en geel tenminste 300 cd moet bedragen en voor groen tenminste 250 cd (NEN 3322). Deze waarden zijn echter te hoog voor nachtelijke situaties, vooral voor wegen zonder openbare verlichting. Het wordt noodzakelijk geacht dat verkeerslichten tenminste twee niveaus hebben. Voor 's nachts wordt in NEN 3322 aangegeven: tenminste 25 cd en ten hoogste 100 cd. Een uitzondering wordt soms gemaakt voor wegen waar veel lichtreclames, winkelatalages en andere afleidende lichten aanwezig zijn.

De kleurgrenzen voor het geel van verkeerslichten is in NEN 3322 beschreven. Nu blijkt dat het kleurpunt van natriumlicht niet alleen binnen dit kleurgebied ligt, maar ook zeer dicht bij het kleurpunt van de meest gangbare verkeerslichten. Hoewel de verkeerslichten niet monochromatisch zijn, is toch de kleur geel dezelfde als die van het (monochromatische) licht van lage-druk natriumlampen. Het is dus niet denkbeeldig dat een geel verkeerslicht op een met lage-druk natriumlampen verlichte weg niet opvalt. Uiteraard zou dit te verbeteren zijn door voor het verkeerslicht een andere kleurgebied te kiezen; in de praktijk is dit echter nauwelijks mogelijk. De opvallendheid van het verkeerslicht moet dus op een andere wijze worden gewaarborgd.

De opvallendheid kan worden bevorderd door een geschikte plaatsing te kiezen, bijvoorbeeld zo dat het verkeerslicht in het perspectivische beeld duidelijk buiten de rij van straatlantaarns valt, en voorts door

opvallende achtergrondschilden en masten te gebruiken - zoals die overigens in NEN 3322 worden aangegeven. Ook is het gewenst om meer dan één verkeerslantaarn aan te brengen, bijvoorbeeld zowel links als rechts van de rijbaan.

B.3.6. Verlichtingsmiddelen als wegmeubilair

Voor openbare verlichting zijn lichtmasten nodig. Deze masten kunnen echter op hun beurt weer worden beschouwd als wegmeubilair, d.w.z. ze zijn objecten waartegen gebotst kan worden. Men dient derhalve maatregelen te nemen die de botsing met lichtmasten onmogelijk maken of tenminste de ernst van de gevolgen ervan verminderen. Deze maatregelen kunnen van ingrijpend belang zijn voor het verlichtingsontwerp.

1. Obstakelvrije zones. Uit onderzoek is gebleken dat, zelfs bij auto-snelwegen, auto's die van de weg afraken zelden ver buiten de wegrand komen. Eén van de meest efficiënte maatregelen om botsingen met lichtmasten te voorkomen is om een obstakelvrije zone te creëren. De waarde van 10 m, zoals in de richtlijnen is aangegeven, is het meest praktische compromis. De lichtmasten moeten dan wel hoog zijn, of de lichtverdeling van de armaturen moet een vrij smalle bundel vertonen, of de mastarm (de "outreach") moet groot zijn, wil men vermijden dat zeer veel licht op de berm komt. Bovendien zijn middenbermopstellingen (conventioneel of lijnverlichting) alleen mogelijk wanneer de middenberm 20 m breed is of meer.

2. Lichtmasten die weinig weerstand opleveren bij botsing. De uitvoeringsvormen en nadere details zijn elders beschreven. Voertuigen kunnen nog aanzienlijke schade oplopen. De botskans kan echter, afhankelijk van de mastafstand, vrij klein zijn.

3. Geleiderailconstructies. Wanneer een obstakelvrije zone van 10 m niet te realiseren is en wanneer lichtmasten star moeten worden uitgevoerd, kunnen botsingen worden vermeden door het aanbrengen van geleiderailconstructies (soms vangrails genoemd; gezien hun eigenlijke werking is echter de term geleiderailconstructie beter. Een geleiderailconstructie voorkomt dat het voertuig de berm doorkruist, en geleidt het voer-

tuig langs het obstakel zonder dat het voertuig zo zeer wordt vertraagd dat de inzittenden letsel oplopen, zonder dat het voertuig terug op de weg wordt geëkaatst, en zodanig dat de constructie zelf ook na de botsing nog min of meer functioneren kan).

Een geleiderailconstructie is echter zelf weer een obstakel; een botsing ermee kan tot schade leiden en soms tot letsel, afhankelijk van de gebruikte constructie. Voorts zijn de constructies duur, en vereisen een aanzienlijke ruimte. Voor een tweezijdig-uitgebouwde flexibele constructie is 1,5 à 2 m nodig. De werking wordt plaatselijk belemmerd wanneer de lichtmasten tussen de liggers van de constructie worden geplaatst, zodat bij een middenbermopstelling bij voorkeur twee geleiderailconstructies worden geplaatst. De middenberm moet dan 4 à 5 meter breed zijn. Bij een smallere berm dient een minder flexibele constructie worden toegepast. De consequentie daarvan is dat de schade en de kans op letsel bij botsingen groter is. Daarom is de plaatsing van de lichtmasten in de zijberm vaak te verkiezen. De keuze wordt uiteraard sterk beïnvloed door de kostenaspecten van de verschillende alternatieven. Er is reeds eerder aangegeven dat een goede verlichting zowel met middenbermopstelling als met zijbermopstelling te realiseren is.

B.4. AANBEVELINGEN VOOR OPENBARE VERLICHTING

Traditioneel worden wat betreft de openbare verlichting, zoals reeds eerder opgemerkt, twee hoofdlijnen gevolgd. Dit zijn:

1. Het streven naar een maximale zichtbaarheid van (kleine) objecten.
2. Het streven naar een zo groot mogelijke mate van rijcomfort.

Uiteraard komen deze twee gezichtspunten ook gecombineerd voor. (Het derde gezichtspunt, hier aangegeven met de term functionele aanpak, is tot nu toe vooral beperkt gebleven tot kwalitatieve beschouwingen). De beschouwingen waarbij zichtbaarheid vooropstaat, en die waarbij rijcomfort vooropstaat, lopen zeer ver parallel. Dit is verklaarbaar omdat ten eerste de overwegingen van rijcomfort historisch direct uit de overwegingen van zichtbaarheid zijn voortgekomen, zodat wellicht beter gesproken kan worden van zichtcomfort. Het verschil wordt nog kleiner wanneer voor de zichtbaarheid niet van de drempelwaarden wordt uitgegaan (detecteerbaarheid) maar van: voldoende zichtbaar voor veilig verkeer. Ten tweede is het bij beide beschouwingswijzen gebruikelijk om zich in eerste instantie te beperken tot een zeer bepaald wegtype, en wel tot de middelmatige drukke, belangrijke stadsstraat met gemengd verkeer, gescheiden voetpaden en bovendien tot een droog wegdek. Ten derde gaat men er in beide gevallen van uit dat de nachtelijke situatie alleen wat betreft het algemene lichtniveau verschilt in de dagsituatie.

Deze principiële gelijksoortigheid leidt ook tot een gelijksoortig resultaat. Zo volgt uit een vergelijking tussen de verlichting middels autolantaarns en middels openbare verlichting, dat de laatste steeds de voorkeur verdient. Voorts valt de nadruk op de zichtbaarheid van objecten - meestal kleine - die gewoonlijk een lage reflectie hebben. Dit leidt tot de wenselijkheid om de objecten als donker silhouet te doen afsteken tegen de achtergrond, die helder moet zijn om een hoog adaptatieniveau en dientengevolge een groot gezichtsscherpte, enz. te verkrijgen en bovendien geen donkere plekken mag vertonen omdat daarin deze kleine objecten zouden kunnen verdwijnen. Tenslotte dient het gunstige geheel niet verstoord te worden door overmatige verblindings. Hieruit volgt dat - in de hier aangeduide beschouwingswijze - de kwaliteit van een verlichtingsinstallatie beschreven kan worden door drie grootheden die noodzakelijk en voldoende zijn, te weten de wegdekhelderheid (-lumi-

nantie), de ongelijkmatigheid van het helderheidspatroon (luminantiepatroon) en de verblinding.

Het is echter te verwachten dat een geheel ander beeld ontstaat wanneer de functionele aanpak gebaseerd wordt op de waarneembaarheid van die objecten die op basis van de analyse van de rijtaak als belangrijk naar voren komen - objecten die te maken hebben met de waarneembaarheid van de koers en de route en niet zozeer met de waarneembaarheid van kleine objecten. Te verwachten is dat de visuele - of optische - geleiding als zeer belangrijk criterium naar voren zal komen.

Pas in dit stadium ontstaat er een verschil ten gevolge van de twee beschouwingswijzen zichtbaarheid en comfort. Bij de beschouwingswijze met als basis de zichtbaarheid worden de drie criteria beschreven door het minimale gemiddelde luminantieniveau voor redelijke waarneming, de ongelijkmatigheid met als voornaamste criterium het absolute minimum en de verblinding (disability glare).

Komt de nadruk te liggen op rijcomfort (of zoals aangegeven, eigenlijk zichtcomfort), dan worden de criteria beschreven door een voldoende subjectieve helderheid die weer wordt gekwantificeerd door een bepaalde gemiddelde wegdek-luminantie, een acceptabele graad van ongelijkmatigheid gekwantificeerd door de maximaal optredende luminantiegradiënten en de verblindingshinder (discomfort glare).

In de meeste aanbevelingen voor openbare verlichting zijn deze beginselen terug te vinden. Meestal worden daarbij getalwaarden opgegeven waarbij men zowel aan eisen van zichtbaarheid als die van zichtcomfort tracht te voldoen. Een van de problemen daarbij is dat men vaak deze twee criteria niet gescheiden houdt. Deels is dit het gevolg van gebrek-kig inzicht in de fundamentele aspecten die daarbij aan de orde komen, maar ook bestaat de indruk dat soms - misschien om meer indruk te maken - voorwaarden die met zichtcomfort te maken hebben, worden gepresenteerd alsof ze zichtbaarheidscriteria (en daarmee "automatisch" veiligheids-criteria) zijn. Een overzicht van een aantal recente aanbevelingen voor openbare verlichting is gegeven in Annex B.4. Een gedetailleerde bespreking van vele aanbevelingen vond plaats tijdens een interessant CIE-symposium in Birmingham in 1979. De vele interessante voordrachten zijn niet apart gepubliceerd.

In vrijwel alle gevallen zijn de aanbevelingen toegespitst op de luminantietechniek. Hierbij kan worden opgemerkt dat in sommige gevallen de meting en berekening van wegdekkluminanties als een te zware opgave wordt beschouwd. De luminanties worden dan niet opgenomen in de Aanbevelingen, maar daarvoor in de plaats komen andere grootheden waarbij onder normale omstandigheden verwacht kan worden dat de luminanties niet te sterk zullen afwijken van de gewenste waarden.

Zowel door de Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) als de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (NSvV) zijn Aanbevelingen voor Openbare Verlichting uitgegeven.

Wij zullen ons concentreren op de nederlandse situatie. De NSvV-Aanbevelingen zijn opgesteld vóór, maar uitgegeven kort na de zogenaamde energiecrisis van 1973. Dit lijkt op het eerste gezicht een niet-relevante opmerking; voor zover het de inhoud van de Aanbevelingen betreft is dit ook inderdaad niet relevant. Maar wel bleek dat, met name wegens de andere manier waarop men sinds 1973 over energiegebruik (energieverbruik zegt men dan) in de openbaarheid pleegt te spreken, de vorm van de Aanbevelingen, en in sommige opzichten zelfs de bewoordingen (het stuk heet "Richtlijnen") niet steeds werden gewaardeerd. Dit heeft geleid tot een aantal aanvullingen op deze Aanbevelingen. Naast - of misschien beter gezegd in plaats van - de zorg om de energiebesparing is er de laatste jaren sprake van een sterk streven naar financiële besparing.

Recentelijk heeft deze bemoeienis van de centrale overheid geresulteerd in een brochure die is uitgegeven door de SVEN onder auspiciën van het Ministerie van Economische Zaken in samenwerking met de Rijkswaterstaat en de NSvV. Deze brochure bevat ook aanbevelingen voor openbare verlichting. We zullen op deze brochure nog terugkomen; we zullen eerst echter de NSvV-Aanbevelingen (en die van de CIE) nader bekijken.

Vooraf nog drie algemene opmerkingen. Ten eerste zijn de bedoelde aanbevelingen maar zeer ten dele gebaseerd op functionele vereisten van de soort als hierboven zijn besproken; ze zijn veeleer gebaseerd op gezond verstand en praktijkervaring. Ten tweede zijn beide aanbevelingen vooral van toepassing op drukke wegen, met name die met vooral gemotoriseerd

verkeer. Dit betekent dat aan woonstraten, winkelgebieden, enz., weinig of geheel geen aandacht is besteed, en dat aan de vraag welke straten of wegen voor openbare verlichting in aanmerking komen, slechts een gering belang is ingeruimd in vergelijking tot de vraag hoe de kwaliteit en kwantiteit van de verlichting moet zijn wanneer voordien tot het aanbrengen van een installatie voor openbare verlichting is besloten. En ten derde een belangrijk feit, dat echter vaak over het hoofd wordt gezien. De aanbevelingen leiden tot een goede verlichting en niet tot minimaal bruikbare. Ze hebben wat wel wordt genoemd een zeker didactische waarde - ze leiden tot een verlichting waar men eer mee kan inleggen. Uiteraard is er zeer wel plaats voor dergelijke aanbevelingen maar er is zeker zoveel behoefte aan andere aanbevelingen namelijk die welke aangeven wat "nog net kan". Men drukt het wel als volgt uit: de huidige NSvV- en CIE-aanbevelingen mikken op installaties die een rapportcijfer "7 à 8" verdienen; maar er is ook grote behoefte aan aanbevelingen die tot het rapportcijfer 6 (of zelfs 6-) leiden. Een aanzet daartoe is gegeven in de genoemde brochure van de SVEN. Het is overigens nog een punt van discussie of het opstellen van dergelijke "marginale" aanbevelingen tot de taak van de NSvV (en van de CIE) behoort, of niet.

Wat betreft de NSvV-Aanbevelingen, is het eerste uitgangspunt van de aanbevelingen, dat bij "goede" openbare verlichtingsinstallaties niet alleen dient te worden voldaan aan eisen betreffende de veiligheid, maar dat ook eisen van vlotheid en vooral van comfort een belangrijke rol spelen, terwijl anderzijds de "kosten" zo gering mogelijk moeten zijn (daarbij inbegrepen milieubelasting e.d.).

Een tweede uitgangspunt voor de aanbevelingen is dat alle wegen binnen bebouwde gebieden van een openbare verlichting moeten zijn voorzien, hetzij ten behoeve van het wegverkeer of voor de burgerlijke veiligheid. De vraag welke wegen onverlicht kunnen blijven, dient zich dus alleen voor rurale wegen aan.

Het derde uitgangspunt van de aanbevelingen is dat getalwaarden over de minimale waarden van de gemiddelde wegdeklluminantie, de luminantieverdeling en de verblindingsbegrenzing dienen te worden gegeven voor alle wegen die van een verlichting dienen te worden voorzien en die een duidelijke verkeersfunctie hebben. Echter zijn alle wegen en straten, zoals bijv. woonstraten, pleinen, parkeerplaatsen, enz., die niet direct voor

het rijdende gemotoriseerde wegverkeer van belang zijn, buiten de internationale aanbevelingen gehouden. Ze worden in de NSvV-Aanbevelingen wel aangeduid, maar al evenmin in detail besproken.

Deze geringe aandacht is bij de aanvulling uit 1977 tot zekere hoogte aangevuld. Maar de echte woonstraten, woonerven, enz., die toch ook een zekere, zij het geringe, verkeersfunctie hebben, zijn nog steeds niet behandeld. Wel bestaan er enige suggesties voor aanbevelingen.

In overeenstemming met wat hierboven is gesteld, wordt als belangrijkste kwaliteitscriterium steeds de wegdekluminantie L gehanteerd. Dit is mede van belang omdat veranderingen in de vereisten voor L rechtstreeks grote financiële repercussies kunnen hebben. Voorts worden gewoonlijk twee getallen opgegeven als grenswaarden van de ongelijkmatigheid van het luminantiepatroon. Zoals hierboven reeds is aangegeven zijn dat U_0 en U_L . Ook bij verblindingsbegrenzing is rekening gehouden zowel met eisen van veiligheid (disability glare; drempelwaardeverhogingen TI) als met eisen van comfort (discomfort glare; verblindingsbegrenzingsgetal G). Overigens zij opgemerkt dat in de Nederlandse aanbevelingen wordt volstaan met het opgeven van G -waarden. Een nadere uiteenzetting hierover is gegeven in par. A.4.6. en A.4.7.

Over het vierde kwaliteitscriterium, de optische (of visuele) geleiding, zijn geen getalwaarden opgegeven. Wel worden in uitgewerkte voorbeelden e.d., aanwijzingen gegeven op welke wijze een zo goed mogelijke geleiding kan worden gewaarborgd.

De aanbevelingen, vooral de Nederlandse, bevatten een grote hoeveelheid gegevens over ontwerpaspecten van de openbare verlichting zoals gegevens over lampen, armaturen, lichtmasten, opstellingswijzen, enz., maar ook over berekening en meting van luminanties, verblinding, enz.

In Tabel B.4. zijn de belangrijkste gegevens opgenomen uit de CIE-Recommendations en uit de NSvV-Richtlijnen en Aanbevelingen - inclusief de later gegeven aanvullingen. Voorts zijn de belangrijkste aanbevelingen opgenomen uit de reeds genoemde SVEN-brochure van Economische Zaken. Duidelijk blijkt dat de verschillen veel meer te vinden zijn in omschrijving van de karakteristieken van wegen en verlichtingsinstallaties

dan in de aanbevolen getalwaarden (met name van de gemiddelde wegdeklu-
minantie). Hier blijkt duidelijk dat het van groot belang is om een
goede, duidelijke, acceptabele en toepasbare indeling van wegen te heb-
ben.

Zoals al eerder is aangegeven zijn de beschrijvingen van de lichttech-
nische eisen toegespitst op wegen met openbare verlichting. Het is een
andere vraag of aan deze of dergelijke eisen kan worden voldaan met
andere verlichtingsmiddelen. Deze vraag kan ook anders worden gesteld:
Welke wegen moeten van een openbare verlichting worden voorzien?

Voor wegen binnen de bebouwde kom komt deze vraag niet aan de orde. Los
van de eventuele verkeersfunctie moeten alle wegen uit overwegingen van
burgerlijke veiligheid een openbare verlichting hebben.

In beginsel hangt het antwoord op de vraag: Openbare verlichting of au-
tomobiolverlichting?, van dezelfde fundamentele grootheden af als het
antwoord op de vraag: Welk niveau van openbare verlichting is gewenst?

Voor wegen buiten de bebouwde kom wordt de beslissing betreffende wel of
niet verlichten genomen op basis van het wegverkeer. Uit het voorgaande
blijkt dat zowel de rijsnelheid als de verkeerssituatie van belang is.
Bij hoge snelheid is het wegverloop met dimlicht niet, met hoofdlicht
vaak al evenmin, voldoende duidelijk zichtbaar. Ook is de reikwijdte van
autoverlichting niet voldoende om bij matige of hoge snelheid objecten
voldoende duidelijk te laten afsteken tegen de achtergrond.

Dit alles geldt in de eerste plaats voor "gewone" wegen. Er zijn ook
aanbevelingen opgesteld voor speciale gevallen. Zo zijn er door de
NSvV aanbevelingen gedaan voor de verlichting van tunnels, en van voet-
gangersoversteekplaatsen. Door de CIE zijn aanbevelingen voor tunnels,
voor autosnelwegen en voor "speciale punten" gegeven. Aanbevelingen
voor fietspaden, voor woonstraten en voor woonerven van de NSvV zijn
in voorbereiding.

Criteria voor het aanbrengen van verlichting op wegen buiten de bebouwde kom*)

wegtype criteria	AUTOSNELWEGEN	AUTOWEGEN EN WEGEN VOOR GEMENGD VERKEER		
		dwarsprofiel	autowegen	wegen voor gemengd verkeer**
minimum verkeersintensiteit in aantal motorvoertuigen (mvt) per etmaal waarbij verlichting noodzakelijk is	<p>gemiddeld 10 000 per rijstrook of onafhankelijk van de verkeersintensiteit bij rijbanen met 4 of meer rijstroken per rijrichting</p>		<p>30 000 In beide richtingen</p> <p>20 000 In beide richtingen</p> <p>10 000 In beide richtingen</p>	<p>20 000 In beide richtingen</p> <p>15 000 In beide richtingen</p> <p>6000 In beide richtingen</p>
bijzondere punten of omstandigheden die verlichting wenselijk kunnen maken	<ul style="list-style-type: none"> — bochten in de hoofdrijbaan met een straal ≤ 500 m — het plaatselijk ontbreken van een voldoende brede middenberm — korte afstanden tussen aansluitingen — weggedeelten korter dan 1 km en gelegen tussen twee verlichte weggedeelten — knooppunten met hoge verkeersbelasting — tunnels, zie: Aanbevelingen voor tunnelverlichting. — wegen die over meer dan 1 km geen vluchtstrook hebben met inbegrip van daarin voorkomende bruggen — storende of misleidende verlichting in de naaste omgeving van de weg — filevorming bij beweegbare bruggen — plaatsen waar veelvuldig mist voorkomt 	<ul style="list-style-type: none"> — gelijkvloerse kruispunten: bij meer dan 2500 mvt/etmaal of 250 mvt in het avondspitsuur op de kruisende weg, te meten volgens afbeelding 1.1 of bij meer dan 1500 mvt/etmaal of 150 mvt in het avondspitsuur op de afslaande weg, te meten volgens afbeelding 1.1i — belangrijke veranderingen van het dwarsprofiel — weggedeelten korter dan 1 km en gelegen tussen twee verlichte weggedeelten — filevorming bij beweegbare bruggen, spoorwegovergangen en verkeerslichten — storende of misleidende verlichting in de naaste omgeving van de weg — plaatsen waar veelvuldig mist voorkomt — oversteekplaatsen voor voetgangers of fietsers en bromfietzers — bushaltes — tunnels, zie Aanbevelingen voor tunnelverlichting. — vele of scherpe bochten — excessief vrachtverkeer 		

*) Wegen binnen de bebouwde kom worden altijd van openbare verlichting voorzien.

**) Wegen met parallelwegen of vrijliggende fietspaden worden ten aanzien van de verlichting als autowegen beschouwd.

uit:

Wegdeklinantie en verblinding voor wegen waarvoor verlichting wordt aanbevolen.

WEGTYPE		WEGDEKLUMINANTIE			VER- BLINDINGS- BE- GRENZINGS- GETAL G
		gemiddeld \bar{L} (cd.m ⁻²)	gelijkmatigheid		
			$L_{min,abs}/\bar{L}$	L_{min}/L_{max} in langrichting	
Buiten de bebouwde kom	Autosnelwegen, autowegen en wegen voor gemengd verkeer	≥ 2	≥ 0,4	≥ 0,7	≥ 6 ³⁾
Binnen de bebouwde kom	Autosnelwegen	≥ 2	≥ 0,4	≥ 0,7	≥ 6
	Hoofdverkeerswegen, al of niet met gescheiden rijbanen ¹⁾	≥ 2 ²⁾	≥ 0,4	≥ 0,7	≥ 6
	Wijkstraten, al of niet met gescheiden rijbanen	≥ 2	≥ 0,3	≥ 0,6	≥ 6
	Buurtstraten	≥ 1	≥ 0,2	≥ 0,5	≥ 5
	Woonstraten Parkeerterreinen				
Bijzondere punten	Oversteekplaatsen voor voetgangers en fietsers Overgang verlicht — onverlicht wegvak Spoorwegovergangen Benzinestations				Gemiddelde horizontale verlichtingssterkte $\bar{E}_H \geq 5$ lux. Gemiddelde horizontale verlichtingssterkte $\bar{E}_H \geq 10$ lux. gelijkmatigheid: $E_{H, min}/\bar{E}_H \geq 0,5$ Zie: Aanbevelingen voor de verlichting van voetgangersoversteekplaatsen (NSVV 1967) Zie: Hoofdstuk 3.7 Zie: Hoofdstuk 3.7 Zie: Hoofdstuk 3.7

1) Hieronder mede begrepen: stadsstructuurwegen, ringwegen en radiaalwegen. Onder stadsstructuurwegen worden de hoofdverkeerswegen in een tangenciaal opgebouwd stedelijk wegennet verstaan. In een radiaal opgebouwd stedelijk wegennet vormen ringwegen en radiaalwegen de hoofdverkeerswegen.

2) Bij zeer gecompliceerde verkeerssituaties en voor representatieve wegen en plannen wordt 4 cd.m⁻² aanbevolen.

3) Voor autosnelwegen, autowegen en wegen voor gemengd verkeer in een donkere omgeving: G = 7.

Bovenstaande tabel beantwoordt de vraag hoe verlichten volgens de N.S.v.V.-1975-aanbevelingen.

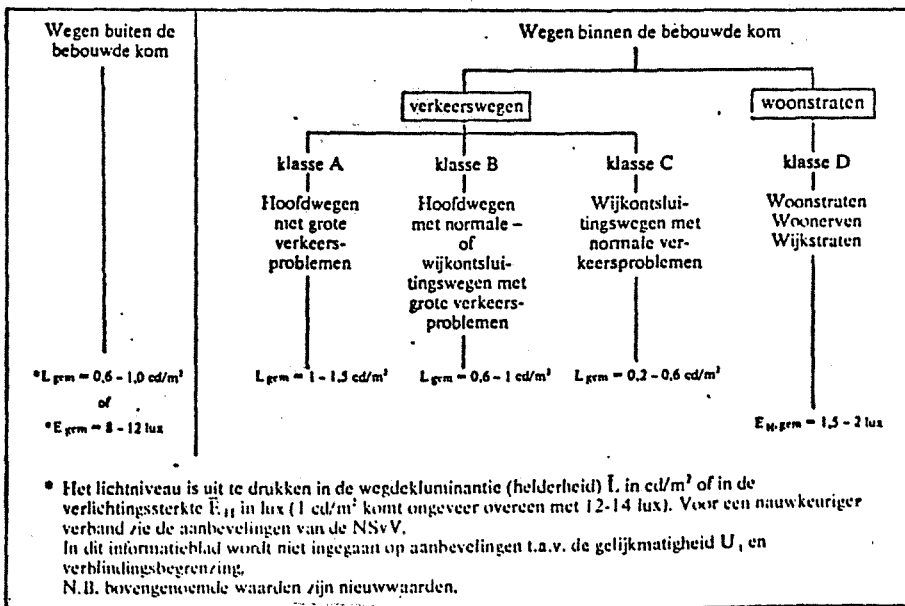
A. <u>Woonstraten</u>	$\bar{E}_h \geq 5 \text{ lux}$	1. <u>Straten met hoofdzakelijk woonfunctie en geringe verkeersintensiteit.</u> $\bar{E}_h = 5 \text{ lux}$	
B. <u>Buurtstraten</u>	$\bar{L} \geq 1 \text{ cd.m}^{-2}$		2. <u>Straten met woon- en verkeersfunctie en matige verkeersintensiteit.</u> $\bar{L} = 1 \text{ cd.m}^{-2}$
C. <u>Wijkstraten</u> al of niet met gescheiden rijbanen	$\bar{L} \geq 2 \text{ cd.m}^{-2}$		3. <u>Belangrijke wegen met gemengd verkeer en grote verkeersintensiteit.</u> $\bar{L} = 1,5 \text{ cd.m}^{-2}$
D. <u>Hoofdverkeerswegen</u> al of niet met gescheiden rijbanen	$\bar{L} \geq 2 \text{ cd.m}^{-2}$		4. <u>Wegen, weggedeelten en kruispunten met gemengd verkeer bij een onoverzichtelijke en gecompliceerde verkeerssituatie en zeer grote verkeersintensiteit komt sporadisch voor.</u> $\bar{L} = 2 \text{ cd.m}^{-2}$
E. <u>Autosnelwegen</u>	$\bar{L} \geq 2 \text{ cd.m}^{-2}$	Buiten beschouwing gelaten; komen binnen de bebouwde kom zelden voor.	

Tabel B.4.3. Richtlijnen voor het lichtniveau binnen de bebouwde kom

(Elektrotechniek 56 (1978) 12: 918)

Tabel B.4.3. Richtlijnen voor het lichtniveau binnen de bebouwde kom

(Elektrotechniek 56 (1978) 12: 918).



Tabel B.4.4.

Classification des voies

Composition du trafic	Volume et Vitesse du Trafic (I)	Caractéristiques des voies	Exemples	Classe
Automobile seule	Circulation importante et rapide	Voies à chaussées séparées, sans croisement à niveau et à accès entièrement contrôlé	Autoroutes, routes express	A
		Autres voies réservées à la circulation automobile	Routes, voies de contournement, radiales, etc.	B
	Circulation importante mais à vitesse modérée (< 70 km/h)	Voies importantes réservées à la circulation automobile		C
Tout véhicule et piétons	Tout véhicule Vitesse modérée (< 70 km/h)	Voies urbaines ou non, importantes avec piétons et/ou véhicules lents sur voies séparées ou non.	Routes traversant une agglomération	C
	Circulation importante avec forte proportion de piétons ou de véhicules lents	Voies urbaines, Voies de centres commerciaux	Rues importantes, rues commerçantes	D
	Vitesse et volume limités	Voies reliant des ensembles résidentiels au réseau de voies de catégorie A à D		E
	Vitesse et volume très limités	Voies de dessertes locales		non classées

(I) Lorsque les caractéristiques géométriques de la voie sont inférieures à celles des voies de même type et de même densité de circulation, il est conseillé d'installer un éclairage de qualité plus élevée que le niveau recommandé. Dans le cas inverse, il sera justifié d'adopter, pour des raisons d'économie, une qualité d'éclairage légèrement inférieure aux recommandations.

Classe de voies	Nature des abords	Luminance moy. de la chaussée en service L moy.	Coefficient d'uniformité de luminance		Limitation de l'éblouissement Indice de confort G
			uniformité générale U_0	uniformité longitudinale U_1	
A	quels qu'ils soient	2 cd/m ²	0.4	0.7	6
B	clairs sombres	2 cd/m ² 1 à 2 cd/m ²	0.4	0.7	5 6
C	clairs sombres	2 cd/m ² 1 cd/m ²	0.4	0.7	5 6
D	clairs	2 cd/m ²	0.4	0.7	4
E	clairs sombres	1 cd/m ² 0.5 cd/m ²		0.5	4 5

ANNEX B.4.2.

3-2 Recommendation for Local Lighting

The local lighting shall be provided as follows:

1) Interchanges

Table 3-1

Traffic volume through (veh/day)	over 50,000		below 50,000 over 20,000		below 20,000 over 10,000		below 10,000
Traffic volume In and Out (veh/day)	over 20,000	below 20,000	over 15,000	below 15,000	over 5,000	below 5,000	—
Scale of lighting	A		B		C		D

A: The lighting installations are to be provided on the main carriageways for through traffic, the acceleration lanes, the deceleration lanes and ramp ways. The average luminance level to be provided is 1 cd/m².

B: The installation scale is to be about 75% of "A" above described.

C: The installation scale is to be about 50% of "A".

D: Lighting installation is installed only around the noses between the main carriageways and in or out flowing ramp ways.

2) Junctions

Table 3-2

Traffic volume 50,000 veh/day and above	Average luminance 1 cd/m ²
Traffic volume below 50,000 veh/day	About 50% of above

Tabelle 2. Richtwerte für ortsfeste Beleuchtung von Straßen innerhalb bebauter Gebiete - Abschnitte außerhalb von Knotenpunkten

1	Straßenquerschnitt																																									
	mit Mittelstreifen														ohne Mittelstreifen																											
2	Verkehrsstärke bei Dunkelheit in Kfz/(h · Fahrstreifen)																																									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28															
3	Überschreitungsdauer in h/Jahr																																									
	≥ 200				≥ 300				≥ 300				≥ 300				≥ 200				≥ 300				≥ 300				< 300				< 300									
4	L _n		U _l		KB		L _n		U _l		KB		L _n		U _l		KB		L _n		U _l		KB		L _n		U _l		KB		L _n		U _l		KB		L _n		U _l		KB	
	5	Ortsstraßen bebaut, ruhender Verkehr auf/an der Fahrbahn																																								
6	bebaut, kein ruhender Verkehr auf/an der Fahrbahn																																									
7	anbaufrei, kein ruhender Verkehr auf/an der Fahrbahn																																									
8	Kraftfahrstraßen (Z. 331 SIVO) zul. V > 70 km/h																																									
9	zul. V ≤ 70 km/h																																									
10	Autobahnen (Z. 330 SIVO) zul. V > 110 km/h																																									
11	zul. V ≤ 110 km/h																																									

Dabei bedeuten:

L_n Nennleuchtdichte in cd/m², U_l Längsgleichmäßigkeit, KB Klasse der BlendungsbegrenzungBei Lichtpunktabständen < 30 m ist U_l um den Betrag 0,05 zu erhöhen,> 40 m kann U_l um den Betrag 0,05 verringert werden.Für die Gesamtgleichmäßigkeit gilt: L_n ≥ 0,4 (ausgenommen Spalte 27)