

VERLICHTING VOOR HET VERKEER

Syllabus College Verkeerstechniek Bijzondere Onderwerpen (e16)
TH-Delft, Afdeling der Civiele Techniek, Wegenbouw en Verkeers-
techniek

R-80-4

Dr.ir. D.A. Schreuder

Voorburg, 1980

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

1. Algemene inleiding
 - 1.1. Het menselijk gezichtsorgaan
 - 1.2. Fotometrie
 - 1.3. Lichtbronnen

2. Functionele aspecten van openbare verlichting
 - 2.1. De algemene functie van verkeersvoorzieningen
 - 2.2. De functie van de verkeersverlichting
 - 2.3. Functionele eisen
 - 2.4. Visuele vereisten
 - 2.5. Lichttechnische eisen
 - 2.6. Conclusies
 - 2.7. Slotopmerkingen

3. De uitvoering van openbare verlichting
 - 3.1. Aanbevelingen voor openbare verlichting
 - 3.2. Criteria voor de aanwezigheid van verlichting
 - 3.3. Installaties voor openbare verlichting
 - 3.3.1. Het ontwerp in het algemeen
 - 3.3.2. Lampen en armaturen
 - 3.3.3. De invloed van het wegdek
 - 3.3.4. Installatiegeometrie
 - 3.3.5. Ontwerpmethoden

4. Kosten/baten overwegingen
 - 4.1. Inleiding
 - 4.2. De kosten van openbare verlichting
 - 4.2.1. De aanleg
 - 4.2.2. Het bedrijf
 - 4.2.3. De energie
 - 4.3. De baten van openbare verlichting
 - 4.3.1. Algemeen
 - 4.3.2. De relatie tussen verlichtingsniveau en verkeersveiligheid
 - 4.3.3. Openbare verlichting als maatregel tegen ongevallen

5. Aanbevolen literatuur

1. ALGEMENE INLEIDING

1.1. Het menselijk gezichtsorgaan

Het menselijk gezichtsorgaan bestaat uit:

- Het oog: hier wordt de optische afbeelding van de buitenwereld gemaakt door de lens en het hoornvlies op het netvlies. In het netvlies liggen de lichtgevoelige receptoren (staafjes en kegeltjes). Hier worden de invallende lichtkwanten omgezet in zenuwpulsen.
- De oogzenuw: hier worden de elektrische pulsen, opgewekt in de zenuwkanalen in het netvlies verder geleid naar de hersenen.
- De hersenen: in een bepaald gedeelte van de hersenschors worden de door de zenuwkanalen doorgeleide elektrische pulsen op een momenteel geheel onbekende wijze omgezet in een bewust beeld van de buitenwereld.
- Hulporganen: de oogbol kan bewegen in de oogkas, een holte in de schedel. Voorts zijn er een aantal spieren die de bewegingen van de oogbol bewerkstelligen.

De gevoeligheid van de netvliesreceptoren hangt af van de golflengte van het licht. Deze afhankelijkheid is voorts voor de twee soorten receptoren weer verschillend. De kegeltjes, die bij hoge intensiteiten werkzaam zijn, hebben hun hoogste gevoeligheid voor licht waarvan de golflengte 555 nm bedraagt. Voor licht met langere, maar ook voor dat met kortere golflengte is de gevoeligheid minder; een licht met een golflengte groter dan 760 nm of kleiner dan 390 nm zijn de kegeltjes geheel ongevoelig. De kromme die de relatie tussen de (relatieve) gevoeligheid en de golflengte weergeeft, wordt de ooggevoeligheidskromme (of V_λ kromme) genoemd. Voor de staafjes die bij lage lichtintensiteiten werkzaam zijn, geldt een analoge relatie die echter naar kortere golflengten is verschoven (de zgn. V'_λ kromme).

Licht van verschillende golflengten kan een verschillende kleurindruk teweeg brengen. Zo correspondeert rood licht met een golf-

lengte van meer dan 620 nm. Geel correspondeert met ca. 580 - 590 nm, groen met 500 - 540 nm en blauw met 460 - 480 nm. Dit zijn allemaal spectrale kleuren. Wit licht kan worden samengesteld uit tenminste drie goed gekozen spectrale kleuren, meer in het algemeen kan iedere kleur worden samengesteld door drie standaard-kleuren in een bepaalde verhouding te mengen.

Wanneer de kegeltjes werkzaam zijn spreekt men van dagzien of van fotopisch zien. Kleurzien is mogelijk; de gezichtsscherpte is hoog; met name het centrum van het gezichtsveld maakt kritische waarneming mogelijk (foveale waarneming). Wanneer de staafjes werkzaam zijn spreekt men van nachtzien of scotopisch zien. Kleurwaarneming en scherpe onderscheiding van details is niet mogelijk; de fovea is ongevoelig. Het tussengebied wordt vaak aangeduid met schemerzien of mesopisch zien. Bij de lichtniveau's die bij verlichting van het nachtelijk wegverkeer gebruikelijk zijn, is er nog sprake van een tamelijk sterke werking van de kegeltjes. Het blijkt dan ook dat in de meeste gevallen geen grote fouten worden gemaakt wanneer de fotopische kromme wordt gebruikt voor alle verdere beschouwingen.

1.2. Fotometrie

Licht is elektromagnetische straling. Meer precies: men spreekt van licht wanneer het gaat om elektromagnetische straling die een lichtindruk teweeg kan brengen; zoals aangegeven kan dit alleen wanneer de golflengte tussen ongeveer 390 en 760 nm ligt. Van andere golflengten is er dus geen sprake van licht - ook al spreekt men soms van infrarood of ultraviolet licht!

Zoals reeds is aangegeven, levert niet iedere straling evenveel licht op. De elektromagnetische straling moet worden "gewogen" volgens de ooggevoeligheidskromme (de V_λ kromme).

$$d\phi = V_\lambda \cdot dP$$

waarbij ϕ de hoeveelheid licht (de lichtstroom) is en P de hoeveelheid elektromagnetische straling (het uitgestraalde vermogen).

Wanneer een lichtbron elektromagnetische straling van verschillende golflengte uitstraalt, en niet voor iedere golflengte evenveel, is de totale door deze lichtbron uitgestraalde lichtstroom als volgt weer te geven

$$\phi = \int V_{\lambda} P_{\lambda} d\lambda$$

waarin P_{λ} de verdeling van het elektromagnetisch vermogen van de golflengte is. De lichtstroom wordt uitgedrukt in lumen (lm). De discussie daarvan is dezelfde als voor de Watt.

Lichtbronnen stralen niet naar alle richtingen even sterk. Om dit aan te geven is de lichtsterkte I ingevoerd.

$$I = \frac{d\phi}{d\Omega}$$

waarin Ω de ruimtehoek is. De lichtsterkte wordt uitgedrukt in kaars of candela (cd). Men kan zich dit als volgt voorstellen: men neemt de lichtstroom ϕ in een eindig grote ruimtehoek $\Delta\Omega$. (Een ruimtehoek, uitgedrukt in steradialen, is bepaald door het oppervlak dat door de begrenzende lijnen van die ruimtehoek wordt gesneden uit een bol met eenheidsstraal en de lichtbron als middelpunt. De steradiaal of sr is dus dimensieloos: $[m^2/m^2]$.) Vervolgens laat men de ruimtehoek naar 0 naderen: de limietovergang levert de lichtsterkte op. Dit houdt in dat de lichtsterkte alleen te definiëren is voor een puntvormige lichtbron. Wanneer de lichtbron niet puntvormig is, maar een zekere uitgebreidheid heeft, dan kan men de helderheid (of meer nauwkeurig gezegd, de luminantie ervan) als volgt aangeven

$$L = \frac{dI}{dA}$$

Voor een oneindig klein gebiedje ter grootte van dA kan wel weer de lichtsterkte dI worden gedefinieerd. Het luminantiebegrip speelt een belangrijke rol in de verlichtingskunde. De luminantie wordt uitgedrukt in cd/m^2 .

Wanneer licht op een oppervlakte valt, dan wordt dit vlak verlicht. Deze verlichting wordt gekwantificeerd door de verlichtingssterkte E in te voeren, volgens

$$E = \frac{d\phi}{dA}$$

waarin A het oppervlak voorstelt. De verlichtingssterkte (uit te drukken in lux, lx) is dus eigenlijk een lichtstroomdichte. De dimensie is derhalve $[lm/m^2]$.

Het oppervlak, op dergelijke wijze verlicht, zal het licht als regel niet allemaal absorberen, maar deels reflecteren (en vaak ook deels doorlaten). Uiteraard is de totale hoeveelheid licht constant, zodat de coëfficiënten van reflectie, transmissie en absorptie samen de eenheid opleveren

$$\rho + \tau + \alpha = 1.$$

Vooraf het gereflecteerde licht is vaak van belang, met name in het hier aan de orde zijnde gebied van het verkeer. Het licht kan ten dele weer in het oog van een waarnemer terecht komen, zodat het betreffende oppervlak eigenlijk als een lichtbron gaat fungeren. Ook dan kan men dus spreken van de luminantie van dat oppervlak.

Het moet worden gezegd dat het stelsel van fotometrische grootheden en eenheden niet erg logisch aandoet. Momenteel wordt daar dan ook over gediscussieerd. Van belang is op te merken dat de lichtopbrengst van een lichtbron kan worden uitgedrukt in de verhouding tussen opgeleverde lichtstroom $[lm]$ en het opgenomen vermogen $[W]$. De effectiviteit is dus uit te drukken in lm/W , een in essentie dimensieloos getal: immers de integraal van V_λ (dat zelf weer een verhoudingsgetal is) komt er in voor. Empirisch wordt voor deze integraal de waarde van 680 gevonden: geen enkele lichtbron kan dus een hogere "rendement" hebben dan 680 lm/W .

1.3. Lichtbronnen

Voor de praktische verlichtingskunde kunnen drie processen in aanmerking komen bij de lichtopwekking:

- "Zwarte" straling: Hierbij wordt een lichaam tot gloeien gebracht. Zoals bekend uit de wetten van Raleigh, Planck en Wien wordt bij toenemende temperatuur steeds meer vermogen uitgestraald. Bovendien neemt de golflengte waarbij dit vermogen wordt uitgestraald af. Wanneer de temperatuur hoog genoeg wordt kan een gedeelte van het uitgestraalde vermogen vallen in het golflengtegebied waarbij van lichtgebaarwording sprake is. Bij een temperatuur van ca. 6000° valt het maximum van de lichtuitstraling in het golflengtegebied met maximale lichtgevoeligheid. Een dergelijke "gloeilamp" heeft dus de hoogst mogelijke lichtopbrengst. Deze is echter aanzienlijk minder dan 680 lm/W omdat een aanzienlijk gedeelte van het uitgestraald vermogen bij golflengten boven 760 nm en onder 390 nm terecht komt - feiten die bij alle zonnebaders maar al te goed bekend zijn. Technisch toepasbare materialen hebben steeds een smeltpunt ver onder de 6000° zodat in de praktijk gloeilampen - die tegenwoordig bestaan uit een door elektrische stroom verhitte draad of spiraal van wolfram - geen lichtopbrengst hebben van meer dan 15 à 25 lm/W.

- Gasontladingen: Wanneer men in een gas of damp twee elektroden aanbrengt met zeer verschillende elektrische spanning, dan zullen elektronen uit de negatief geladen elektrode (kathode) te voorschijn komen en zich naar de positief geladen elektrode (anode) bewegen. Onderweg zullen deze elektronen botsen met de gasatomen en deze tot zekere hoogte ioniseren waarbij dan een of meer elektronen uit deze atomen worden weggeschoten. De ionen zijn dus positief geladen en bewegen zich naar de kathode. Onderweg kunnen zij zich recombineren met vrij rondvliegende elektronen. Hierbij komt de energie die nodig was voor het ioniseren weer vrij, en wel in de vorm van een stralingskwant. Het hangt nu maar af van de chemische samenstelling van het gas, van de aangelegde elektrische spanning, van de gasdruk en van nog een paar parameters af of de met dit stralingskwant corresponderende golflengte in

het zichtbare gebied uitkomt. Is dit het geval, dan kan men van een lichtbron (of gasontladingslamp) spreken.

- Fluorescentie: Wanneer een stralingskwant een atoom of molecule treft, kan ionisatie optreden. Wanneer echter de energie te gering is, wordt het elektron niet helemaal uit het atoom of molecule weggeslingerd, maar komt terecht in een "hogere" of energierijkere baan. Na zekere tijd valt dit elektron terug in een lagere of minder energierijke baan; dit kan een paar maal gebeuren tot uiteindelijk het beginniveau (grondniveau) weer is bereikt. Bij het terugvallen wordt weer energie in de vorm van stralingskwanten uitgestraald; de energie per kwant is dus ten hoogste gelijk aan de energie van het oorspronkelijk botsende kwant, maar meestal geringer.

Lagere energie per kwant correspondeert met een langere golflengte; op deze manier kan energie die met kortgolvlige en dus onzichtbare straling correspondeert, worden omgezet in langgolvlige en dus zichtbare straling. Dit proces heeft fluorescentie, de stoffen die deze eigenschappen vertonen heten fosforen.

In de praktijk worden drie typen lichtbronnen toegepast. Allereerst de gloeilampen. Deze bestaan zoals gezegd uit een door elektrische stroom tot gloeien gebrachte wolfram spiraal. Ondanks de reeds gesignaleerde lage lichtopbrengst worden ze op zeer grote schaal toegepast. Ze zijn namelijk goedkoop, klein, ze hebben een min of meer continu spectrum en hebben dus een goede kleurweergave, en ze zijn ook in kleine eenheden te maken.

Alle andere in de praktijk op grote schaal toegepaste lichtbronnen zijn gasontladingslampen. Soms wordt rechtstreeks gebruik gemaakt van de gasontlading afkomstige straling. Meestal is het betreffende gas natrium.

Wanneer dit natrium in lage druk wordt toegepast, krijgt men een lamp die een zeer hoge lichtopbrengst (tot ca. 200 lm/W) paart aan een zeer slechte kleurweergave: al het licht wordt bij één enkele golflengte uitgestraald; het licht heeft dus maar één kleur (monochromatisch licht). De toepassingen zijn dus beperkt: alleen daar waar kleurweergave geen rol speelt, bijvoorbeeld bij wegverkeer

buiten bebouwingen, bij railverkeer, beveiliging van gebouwen, enz. Door hun zeer hoge lichtopbrengst zijn ze daar echter juist weer zeer geschikt. Verder zijn deze lampen (SOX lampen genoemd) groot en duur, hetgeen de toepassingsgebieden nog verder beperkt.

Wanneer het natriumgas op een hoge druk wordt toegepast, ontstaat ten gevolge van veelvoudige botsingen tussen atomen en ionen een zgn. lijnverbreding in het spectrum; dit wil zeggen dat het spectrum brede banden heeft en dus op een continu spectrum lijkt. Deze lampen (SON lampen) hebben een goede kleurweergave, zijn klein en duur, en hebben een hoge lichtopbrengst (tot ruim 120 lm/W). Omdat ze niet in kleine eenheden bestaan, en omdat de lichtopbrengst minder is dan die van SOX lampen, zijn ook deze lampen niet voor alle toepassingsgebieden even geschikt.

In andere typen van gasontladingslampen wordt ook gebruik gemaakt van het fluorescentie-effect. Hierbij is het gebruikte gas meestal kwikdamp.

Een ontleding in een lagedruk-kwiklamp levert vrijwel geen zichtbaar licht op, alleen maar straling in het (kortgolfige) ultraviolet. Met gebruikmaking van juist gekozen fosforen kan men zichtbaar licht creëren. Deze zgn. fluorescentiebuizen zijn goedkoop en hebben een goede kleurweergave, maar door hun grote afmetingen en tamelijk lage lichtopbrengst (zowel totaal als relatief: 60 à 80 lm/W) is hun toepassingsgebied beperkt.

Bij hogedruk-kwiklampen komt veel van de uitgestraalde energie in het zichtbare gebied terecht (blauw en groen). Toepassing van fosforen levert een kleine, goedkope lamp met redelijke kleureigenschappen maar een tamelijk lage lichtopbrengst (40 - 60 lm/W) op. Ondanks de nadelen is de "kleurgecorrigeerde hogedruk-kwiklamp" in de meeste landen de lamp bij uitstek voor openbare verlichting.

Tenslotte nog dit: gloeilampen kunnen zonder meer op het elektrisch net worden aangesloten. Gasontladingslampen niet; wanneer deze ontstoken zijn vertonen zij een negatieve stroom-spanningskarakteristiek. Bij toenemende stroom neemt de brandspanning af, hetgeen weer tot stroomtoename zou leiden, enzovoorts. Een stroombegrenzer is dus nodig, het zgn. voorschakelapparaat. Dit v.s.a. heeft boven-

dien vaak nog andere functies ($\cos \phi$ correctie, starter, enz.). Men zou deze stroombegrenzing kunnen bereiken door de lamp in serie met een weerstand op het net aan te sluiten. Deze oplossing is, gezien vanuit het energieverbruik, onaantrekkelijk omdat de warmte die in de weerstand wordt ontwikkeld alleen maar verlies betekent. Toch wordt deze oplossing toegepast in de zgn. menglichtlampen. Hier wordt de ontladingsbuis in serie met een gloeidraad geschakeld. Hierdoor wordt tenminste een gedeelte van de opgenomen energie omgezet in zichtbare straling. Maar zoals reeds is gezegd, meestal wordt de stroom gestabiliseerd door middel van een zelfinductie, die in serie met de lamp wordt geschakeld.

Lampen worden nooit los gebruikt, maar steeds in een armatuur (of ornament). De functie van het armatuur is drieledig:

- . de elektrische aansluiting van de lamp
- . de bescherming tegen invloeden van weer, temperatuur, enz.
- . het richten van het licht.

Dit laatste punt is van belang: een lamp straalt zijn licht in allerlei richtingen uit, ook in richtingen waar dat licht helemaal niet nodig is. Met behulp van lenzen, prisma's of spiegels wordt het licht zo van richting veranderd dat het daar terecht kan komen waar we het willen hebben. Uiteraard dienen deze optische hulpmiddelen te worden aangepast aan het lamptype en het toepassingsgebied.

Voor welk toepassingsgebied een bepaalde lichtbron geschikt is, hangt dus van een combinatie van eigenschappen af. De belangrijkste hiervan zijn:

1. De specifieke lichtstroom, uitgedrukt in lm/Watt
2. De kleur van het licht en/of de kleurweergave-index
3. De afmetingen van de lamp
4. De vermogens, resp. de lichtstroomeenheden die gerealiseerd kunnen worden.

We zullen deze punten nogmaals de revue laten passeren.

1. De specifieke lichtstroom

Dit is de grootheid die aangeeft met elk rendement een lamp het toegevoerde vermogen omzet in zichtbare straling. De waarde ervan wordt uitgedrukt in lm/W en bepaalt in belangrijke mate de variablele kosten van een verlichtingsinstallatie. Van de huidige lichtbronnen varieert deze waarde van 0,1 lm/W voor een waskaars tot 180 lm/W voor een lagedruk-natriumlamp (zie ook de tabellen gegeven in par. 3.3.2.). Het theoretisch maximum bedraagt zoals gezegd 680 lm/W.

2. De kleur van het licht en/of de kleurweergave-index

Deze eigenschappen zijn duidelijk te maken als we ons de gloeilamp en de lagedruk-natriumlamp voor de geest halen. De kleur van gloeilampenlicht wordt als "wit" ervaren en de voorwerpen in onze omgeving hebben in dit licht de vertrouwde kleur. De kleurweergave-index van een dergelijke lamp wordt per definitie gelijkgesteld aan 100. Het licht van de lagedruk-natriumlamp heeft een uitgesproken kleur (geel-oranje) en de kleuren van voorwerpen veranderen in schakeringen van licht en donker. Hiermee is evenwel niet gezegd dat elke lamp die "wit" licht geeft automatisch tot een goede kleurweergave aanleiding zal geven. Zo is het zeer wel mogelijk het licht van een lagedruk-natriumlamp te mengen met licht van een blauwe spectrale kleur, de complementaire kleur, met als eindresultaat de kleurindruk "wit". De kleurweergave van een dergelijke lamp zal niettemin zeer slecht zijn. Om licht te verkrijgen met goede kleurweergave-eigenschappen is het nodig dat voldoende straling in een aantal golflengtegebieden aanwezig is. Aangezien de waarde van $V_{\lambda} < 1$, zal het duidelijk zijn dat een dergelijke lichtbron om deze theoretische reden al nooit meer de 680 lm/W kan halen. In de praktijk zien we dan ook vrij algemeen bij toename van de specifieke lichtstroom de kleurweergave-index dalen. De moderne fluorescentiebuizen en de metaaljodide-lampen hebben evenwel in dit opzicht een interessante ontwikkeling te zien gegeven.

Uit de kleurentheorie is gebleken dat het voor goede kleurweergave-eigenschappen niet nodig is dat "alle" golflengten uit het

zichtbare deel van het spectrum aanwezig zijn. Indien straling van drie golflengtegebieden met maxima bij resp. 460, 540 en 610 nm in het spectrum aanwezig is, dan worden hoge waarden voor de kleurweergave-index bereikt. Men is er in geslaagd fluorescentiepoeders te bereiden met een hoog stralingsrendement en maxima in de genoemde golflengtegebieden.

Iets dergelijks is ook gelukt in de metaalhalogenidelampen waarvan, uitgaande van een halogenide voldoende metaalionen in een gasontlading kan brengen en nuttig gebruik kan maken van hun resonantiestraling, door namelijk elementen toe te voegen die de "gaten" in het kwik spectrum kunnen opvullen. Echter bij de mogelijke temperaturen blijkt dat de dampspanning van deze elementen zelf zo gering is dat een onvoldoende concentratie van de atomen in de gasontlading gerealiseerd wordt. In een patent van ca. 1900 wordt al vermeld, dat de dampspanning van sommige verbindingen (bijv. zouten) hoger kan zijn dan die van het metaal. Pas gedurende de laatste decennia heeft dit principe geleid tot die lampen waarvan de verzamelnaam "metaalhalogenide-lampen" luidt. Enkele voorbeelden zijn de HPI lamp (Na-Tl-In-jodide) en de tin-lamp (tin-chloride en tin-jodide).

3. De afmetingen van de lamp

Er blijkt een samenhang te bestaan tussen de bundelspreiding en de lampafmetingen in relatie tot de optiekafmetingen. Om de afmetingen van de armaturen nog binnen bepaalde grenzen te houden blijkt in de praktijk dat sommige lichtverdelingen met bepaalde lampen niet realiseerbaar zijn, hetgeen de toepasbaarheid van de lamp beïnvloedt.

4. De vermogens, resp. de lichtstroomeenheden die gerealiseerd kunnen worden

Bij sommige lamptypen is het moeilijk kleine vermogens te realiseren met behoud van de hoge specifieke lichtstroom. Dit vormt een praktische ondergrens van het vermogen van het lamptype. Voor weer andere typen kan gelden dat de afmetingen van de lamp erg snel toenemen met het vermogen, waardoor weer een praktische

bovengrens gegeven is. De beschikbare lampvermogens variëren van de orde van milliwatt tot 10 kilowatt.

2. FUNCTIONELE ASPECTEN VAN OPENBARE VERLICHTING

2.1. De algemene functie van verkeersvoorzieningen

Voordat de functie van de verkeersverlichting kan worden besproken, moet eerst de functie van verkeersvoorzieningen worden bekeken. Deze is: het de verkeersdeelnemers mogelijk maken zich op een veilige, vlotte en comfortabele manier, en tegen minimale kosten, te verplaatsen. Het doel van de verplaatsing is veelal van sociale of economische aard.

Er zijn derhalve drie sets van functionele vereisten te stellen aan verkeersvoorzieningen. De kosten worden steeds als afhankelijk hiervan beschouwd.

Wat is veilig? Absolute veiligheid bestaat niet. Wel kan worden gesproken van een bepaalde mate van (on)veiligheid. Deze kan op een aantal manieren worden uitgedrukt. De meest algemene: aantal doden (gewonden) per tijdseenheid, eventueel per inwoner. Deze algemene definitie is nuttig bij het vergelijken van maatregelen bedoeld ter vermindering van (verkeers)onveiligheid (één van deze maatregelen is het aanbrengen/verbeteren van verkeersverlichting). Een meer specifieke definitie: aantal doden en/of gewonden per afgelegde reizigerskilometer. Dergelijke definities worden gebruikt bij het vergelijken van alternatieve maatregelen voor specifieke weggedeelten of specifieke groepen verkeersdeelnemers. Schade-ongevallen kunnen niet worden gebruikt omdat ze zeer onvolledig worden geregistreerd.

Wat is vlot? Vlotheid heeft twee aspecten: de individuele reistijd en de totale prestatie. 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 horende bereikbare verkeersintensiteit (dit wordt aangegeven in het zgn. basisdiagram). Er bestaat een snelheid waarbij de bereikbare verkeersintensiteit maximaal is. Deze intensiteit wordt beschouwd als de "capaciteit" van de weg.

Wat is comfort? Een scherpe definitie kan niet worden gegeven. Het is deels een soort "restterm" van momenteel onbekende veiligheids- en vlotheidsaspecten. Deels is het gerelateerd aan de individuele rijnsnelheid, en deels aan de inspanning nodig voor het besturen van het voertuig. Omdat er geen goede definitie is, is er ook geen kwantitatieve maat. Kwalitatief kan het worden uitgedrukt in de moeilijkheid van de verplaatsing. Het kan niet worden uitgedrukt in de zgn. "level of service". De niveau's van "level of service" zijn namelijk omschreven in termen van soepelheid van de verkeersstroom, de veilige rijnsnelheid, de kans om congesties te ontmoeten, en de kans op ongevallen.

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 slijtage-kosten, maar ook "kosten" betreffende andere schaarse goederen zoals frisse lucht, stilte, ruimte enz., en ook de "kosten" van menselijk leed ten gevolge van ongevallen.

2.2. De functie van de verkeersverlichting

Bij de huidige stand van de techniek worden de voertuigen in het wegverkeer grotendeels bestuurd op basis van de visuele informatie die "real time" uit de omgeving wordt verkregen. Verlichtingstechnische hulpmiddelen worden toegepast om deze informatiever-schaffing ook bij duisternis mogelijk te maken. Deze hulpmiddelen worden samengevat onder "verkeersverlichting"; ze zijn als zodanig in te delen bij de verkeersvoorzieningen. Anders gezegd: onder de functie van verkeersverlichting wordt 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.

In de traditionele verlichtingskunde heeft men nooit moeite gehad om aan te geven wat het doel is van de verkeersverlichting, en hoe deze verlichting - in principe tenminste - zou moeten worden uitgevoerd. Het is immers bekend dat de meeste bezigheden in het volslagen duister moeilijk of geheel niet meer uitvoerbaar zijn, en ook dat bij de gangbare - vrij povere - verlichting 's nachts relatief veel meer verkeersongevallen gebeuren dan overdag. De oplossing ligt voor de hand; wanneer de verkeersverlichting zo wordt uitgevoerd dat de situatie weer ongeveer is als die overdag is, zullen de ongevallen ook wel verdwijnen. Dus veel licht van alle kanten - net als overdag - en de zaak is gezond. Zoals te verwachten was, worden inderdaad de ongevallen minder wanneer men dit zo doet. Toch is de zaak niet rond, in het geheel niet. Immers, behalve dat 's nachts het (natuurlijke) daglicht ontbreekt - logisch, want dat is de definitie van "nacht" - zijn bij het nachtelijk verkeer ook ongeveer alle andere relevante verkeerselementen anders: verkeerssamenstelling, snelheidsverdeling, verkeersdichtheid; leeftijdsverdeling, vermoeidheid, alcoholgebruik en reismotivatie van de weggebruikers, enz. Allemaal factoren die met de verlichting geen verband houden. Voorts zijn er een aantal factoren die indirect met de aanwezigheid of afwezigheid van zonnestraling samenhangen, zoals neerslag, ijzel of mistvorming, enz. Het is dus wel wat naïef om te denken dat alleen het weer verlichten zo als overdag de problemen zal oplossen.

De gedachtefout zit erin dat in de traditionele aanpak geen aandacht is besteed aan de vraag waar de verlichting nu eigenlijk voor dient. Men ging er van uit dat het genoeg is om de "objecten" flink te verlichten, en dat de waarneming dan wel - net als overdag - "vanzelf" goed zou gaan. De misvatting ligt erin dat ten eerste overdag de waarneming helemaal niet goed gaat - de vele ongevallen overdag maken dit duidelijk - en dat voorts waarneming nooit "vanzelf" goed gaat. Tenslotte is de traditionele aanpak ook in de praktijk - ondanks vele goede verlichtingsinstallaties - vastgelopen omdat het enige toetsingscriterium was de praktijkervaring zoals die werd beleefd door de mensen met gezond verstand.

Nu zijn gezond verstand en praktijkervaring nog maar nauwelijks bruikbare leermeesters bij de gewone gevallen; ze falen echter volledig bij onverwachte en vooral bij nieuwe situaties.

De beperkte mogelijkheden en vooral de misgrepen van de traditionele aanpak hebben geleid tot de "functionele aanpak" in de verlichtingskunde ten behoeve van het wegverkeer bij duisternis. De grondgedachte is dat er een stelsel verkeersvoorzieningen ter beschikking wordt gesteld waarmee de "afstand" tussen mensen die met elkaar in relatie willen treden, wordt verkleind. De functie van deze verkeersvoorzieningen (wegen, met alles wat daarbij hoort, o.a. ook de verlichting) is: het de weggebruiker - vooral bestuurders van motorvoertuigen - het mogelijk te maken het einddoel van zijn tocht op een geschikte wijze te bereiken. Geschikt wil daarbij zeggen: zonder onderweg ergens tegenaan te botsen (een eis van veiligheid), met redelijke snelheid (een eis van vlotheid of doorstroming) en zonder buitensporige inspanning (een eis van rijcomfort). Het spreekt vanzelf dat daarbij de "kosten" minimaal moeten zijn. Op deze manier kunnen vier eisenpakketten worden opgesteld waaraan verkeersvoorzieningen dienen te voldoen (daarbij inbegrepen de verkeersverlichting) namelijk die welke te maken hebben met veiligheid, vlotheid, comfort en kosten. Het is overigens een (juist) gebruik om de kosten als afhankelijke variabele te beschouwen, en om de eisen van vlotheid onder te brengen bij het comfort, zodat er twee overblijven: veiligheid en comfort. Uit een nadere uitwerking blijkt dat deze groepen van eisen steeds kunnen worden uitgedrukt in de waarneembaarheid van objecten, en dat het verschil niet ligt in geheel andere eisen, maar meer in een verschil in zwaarte. Voor de verkeersveiligheid moet de verkeersverlichting aan bepaalde voorwaarden voldoen, voor verkeerscomfort worden de voorwaarden zwaarder, maar de aspecten blijven dezelfde.

Wanneer men wil nagaan of een bepaald verlichtingstype aan de te stellen eisen voldoet, kan men deze eisen proberen uit te drukken in een mate van waarneembaarheid van objecten die met "vraag" kan

worden aangeduid; de verlichtingsinstallatie zelf vertegenwoordigt een bepaald "aanbod". Aan de te stellen eisen wordt dus voldaan wanneer het aanbod tenminste gelijk is aan de vraag.

De aspecten waar het hier om gaat betreffen de mogelijkheid om het verloop van de weg te volgen, de positie in dwarsrichting, de eigen beweging en de positie ten opzichte van andere zich eveneens bewegende weggebruikers te bepalen, en de mogelijkheid om verkeersobstakels zo tijdig te kunnen ontwaren dat ze nog kunnen worden vermeden. In lichttechnische termen uitgedrukt betekent dit dat bepaalde minimale eisen worden gesteld aan de visuele geleiding, aan de algemene helderheid (of gemiddelde wegdekluminantie, ten behoeve van hoge visuele prestatie), aan de verdeling van de wegdekluminantie (de gelijkmatigheid, ten behoeve van het waarnemen van kleine objecten) en aan de verblinding (om verstoring van de waarneming te kunnen voorkomen).

In beginsel komen twee typen verlichting in aanmerking, namelijk de autoverlichting(autokoplantaarns) en de vaste straatverlichting (openbare verlichting). We zullen ons in het navolgende vooral met de openbare verlichting bezig houden. Met autoverlichting alleen kan nl. in de grote meerderheid van de gevallen niet aan minimale eisen van veiligheid en zeker niet aan die van comfort worden voldaan.

De functie van de verkeersverlichting - daaronder begrepen de openbare verlichting - volgt derhalve rechtstreeks uit het feit dat het niet gedurende 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. We zullen hier nader op ingaan. 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. Ten slotte is werken/niet werken niet vast aan dag/nacht verbonden:

- er zijn zondagen en vrije dagen,
- in de winter valt een deel van de normale werktijd in de duisternis,
- er zijn veel mensen met verschoven werktijden.

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 zullen te zamen, en apart van de veiligheid worden behandeld. De kostenaspecten zullen verderop worden besproken.

De probleemstelling kan nu aldus worden geformuleerd: 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) neveneffecten andere problemen te verzwaren.

Voor het opstellen van de functionele vereisten (wat moet "het systeem" kunnen doen) is het nodig om te weten (op basis van een analyse van de rijtaak) welke informatie de bestuurder/weggebruiker/

verkeersdeelnemer nodig heeft (wat van "het systeem" verwacht kan worden).

Voor gevallen waarbij het "zicht" door andere oorzaken dan alleen de duisternis (alcoholgebruik, mist, enz.) wordt verminderd dient te worden nagegaan in hoeverre de visuele vereisten moeten worden aangepast. Te verwachten is dat een nadere analyse zal leiden tot een antwoord op de volgende vragen:

- In welke gevallen en met welke middelen kan de oorzaak van die extra zichtsvermindering worden weggenomen?
- In welke mate dienen de fotometrische en geometrische eisen te worden gewijzigd (verzwaard) om aan de veranderde functionele en/of visuele eisen te kunnen voldoen?
- In welke gevallen zijn de verstoringen van het "zicht" zo ernstig dat door een verzwaring van de fotometrische en geometrische eisen niet aan de functionele vereisten kan worden voldaan, m.a.w. wanneer dienen andere maatregelen dan verlichting te worden genomen?

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.

2.3. Functionele eisen

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 moet nemen, 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 of onvolledige beslissingen voor een deel worden vermeden. Voorts is het eenvoudiger de resultaten van de op basis van de be-

slissing 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.

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.

2.4. 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 de auto van belang zijn, zijn ondergebracht in het manoeuvreniveau.

Bij meer gedetailleerde beschrijvingen blijkt het nuttig te zijn dit niveau nog verder op te splitsen in die sub-niveau's, genaamd het operatieniveau, het tactische niveau en het sturniveau. De gedragingen behorende bij de beslissingen op deze niveau's worden genoemd: samengestelde manoeuvres, enkelvoudige manoeuvres en manoeuvredelen.

Ten behoeve van het beschrijven van het manoeuvregedrag kan worden gedefinieerd:

A. De voor het manoeuvreren beschikbare bewegingsruimte. Deze wordt bepaald door de aanwezigheid, positie en positieverandering van andere weggebruikers, de geometrie van de weg, gedragsregels, en signalen.

B. De voor het manoeuvreren benodigde ruimte, begrensd door stabiliteit en manoeuvreerbaarheid van het voertuig, (stroefheids)eigenschappen van de weg en de prestatiemogelijkheden van de bestuurder en eveneens uiteraard door de gewenste manoeuvre.

Maatregelen ter vergroting van de verkeersveiligheid op basis hiervan zijn als volgt te groeperen:

1. Vergroting van de beschikbare bewegingsruimte
2. Vermindering van de benodigde ruimte
3. Verbetering van de schatting door de weggebruikers van beschikbare en benodigde ruimte
4. Vergroting van de door de weggebruiker gehanteerde marge tussen geschatte beschikbare en geschatte benodigde ruimte.

De onder 1. en 2. genoemde maatregelen kunnen veiligheid en/of de vlotheid van het verkeer beïnvloeden. Dit hangt af van het feit of de extra marge geschapen door dergelijke voorzieningen in het normale gedrag wordt opgebruikt en dientengevolge of er al dan niet iets resteert van de extra veiligheidsmarge.

De onder 3. genoemde groep maatregelen - informatieverschaffing - kan eveneens zowel de vlotheid als de veiligheid verbeteren. Ten aanzien van veiligheid is het effect te beschrijven als een vermindering van overschatting van beschikbare ruimte en een verminde-

ring van onderschatting van benodigde ruimte, hetgeen kan resulteren in een afname van het aantal riskante inhaalmanoeuvres. Een verhoogde vlotheid kan resulteren uit een vermindering van de onderschatting van beschikbare ruimte en een vermindering van de overschatting van benodigde ruimte. Dit zal dan kunnen blijken in een afname van het aantal ten onrechte niet benutte inhaal mogelijkheden. Deze effecten treden op bij ongewijzigde subjectieve veiligheidsmarge.

De onder 4. genoemde groep maatregelen betreffen de beïnvloeding van de subjectieve veiligheidsmarge, zoals voorlichting, propaganda, opvoeding. Dit betreft vergroting van het als minimum beschouwd verschil tussen geschatte beschikbare en geschatte benodigde ruimte. Een dergelijke subjectieve veiligheidsmarge heeft slechts betekenis voor de verkeersveiligheid wanneer de beschikbare en benodigde ruimte zelf juist worden geschat. Deze maatregelen zijn dus secundair tegenover verbetering in de informatieverschaffing.

Manoeuvres kunnen in verband met bovenstaande worden beschreven als die bezigheden die nodig zijn om de bewegingskenmerken van het voertuig zo te veranderen dat de benodigde ruimte kleiner wordt dan de beschikbare.

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 niveau's waarin het manoeuvregedrag is onderverdeeld (te weten het operatieniveau, het tactische niveau en het sturniveau) zijn 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 het object zichtbaar moet zijn. Daarmee kan voor ieder object zoals hierboven reeds is aangeduid de 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 wegdek-luminantie (gemiddelde en verdeling) de verblinding en de geleiding. Dit wordt verderop toegelicht.

Bij de luminanties die bij het nachtelijk verkeer aan de orde komen, bestaat er een duidelijke correlatie tussen de (adaptie)-luminantie enerzijds en de visuele prestatie anderzijds. Globaal gezegd: meer licht betekent beter kunnen zien.

De praktijk leert dat vooral de volgende vier grondfuncties voor het wegverkeer van belang zijn (en wel in afnemend belang in de hier gegeven volgorde).

1. Detectie van beweging
2. Detectie van kleine luminantieverschillen (contrastgevoeligheid)
3. Detectie van kleine details (gezichtsscherpte)
4. Detectie van kleurverschillen (kleurgevoeligheid).

Over detectie van beweging kan nog worden opgemerkt dat het vooral plaats vindt in de periferie van het gezichtsveld. Detectie van beweging is van groot belang bij het wegverkeer. Het aanrakingspunt met de wegverlichting ligt in het feit dat beweging steeds relatief is. Beweging kan worden gedetecteerd als relatief ten opzichte van de waarnemer (meer precies: ten opzichte van de positie van de oogas van de waarnemer) maar ook als relatief ten opzichte van een achtergrond. In beide opzichten kan verlichting bijdragen tot een "betere" detectie van beweging.

De hier genoemde functionele eisen leiden tot lichttechnische (geometrische en fotometrische) eisen, te stellen aan de verlichting. De samenhang tussen deze eisenpakketten wordt hierna toegelicht, waarbij wordt uitgegaan van het hierboven kort beschreven model van de manoeuvregedrag. Uit deze lichttechnische eisen kunnen op hun beurt weer eisen omtrent de uitvoering worden afgeleid.

2.5. Lichttechnische eisen

In de verlichtingskunde wordt weinig aandacht besteed aan de lichtbronnen. Dat zijn typische "off the shelf" produkten; bij de ont-

wikkeling ervan wordt weinig rekening gehouden met het toepassingsgebied, maar vooral met fabricagetechnische en economische factoren. Behalve de lichtbronnen zelf spelen de hulpmiddelen waarmee het licht wordt gebundeld en/of gericht - samengevat in de term "armaturen" - een essentiële rol. Aan deze armaturen wordt nu juist zeer veel aandacht besteed. Het is hier waarschijnlijk het beste punt om twee geheel verschillende aspecten van de verlichtingskunde van elkaar te gaan onderscheiden.

Ten eerste wordt gesproken over "verlichten of aanstralen" (illuminatie) waarbij de lichtbron tot taak heeft, via interactie van licht en object informatie over het object beschikbaar te krijgen ten behoeve van de gebruiker van die informatie: de waarnemer.

Ten tweede bestaat er het overbrengen van berichten (signalisatie) waarbij de lichtbron zelf, zonder verdere interactie met objecten, de bedoelde informatie verschaft.

Bij de illuminatie worden dus de relevante objecten verlicht, bij de signalisatie zijn de lichten zelf de relevante objecten. Hoewel de boodschap, en daarmee de feitelijke informatie, in deze twee gevallen analoog of zelfs identiek kan zijn (denk aan fietsachterlichten en fietsreflectoren) bestaat er een essentieel verschil in de technologie. Daarom zullen we ze verder apart toelichten.

Eerst de illuminatie. De grondgedachte is dat de relevante objecten vanzelf de juiste informatie kunnen verschaffen, en dat de enige voorwaarde is dat ze zichtbaar zijn ("self-explanatory"). Vaak gaat dit geheel op, zoals bij verkeerstekens. In een aantal gevallen is de aanname vrijwel geheel juist, zoals bij voetgangers die op een zebrapad bezig zijn over te steken. Maar soms blijkt deze aanname niet of nauwelijks juist te zijn; vertragingen (en versnellingen) van auto's zijn vaak niet voldoende, en voorgenomen vertragingen uiteraard in het geheel niet aan het voorwerp - i.c. de auto - te zien. Daarvoor zijn andere signalen nodig (gewoonlijk de hierna te bespreken signaallichten). Binnen de gegeven beperking echter, dus bij de werkelijk "vanzelf-sprekende" objecten, is het voldoende om de objecten waarneembaar te maken. Waarneembaar be-

tekent hier dat het object gezien zal worden; dit in afwijking van zichtbaar, dat alleen aangeeft dat het object gezien kan worden. Het verschil ligt vooral in de aandacht en aandachtsverdeling van de waarnemer, zijn verwachting omtrent, en zijn bekendheid met de objecten, externe verstoringen enz.

De waarneembaarheid van voorwerpen die zelf geen licht uitstralen kan worden beschreven in termen van de contrasten tussen het object en zijn directe achtergrond, en tussen onderdelen van het object zelf. Nu wordt de mogelijkheid om contrasten waar te nemen, net als de mogelijkheid om kleine details of korte effecten waar te nemen, beter wanneer het lichtniveau (het adaptatie-niveau) toeneemt. Een voor de praktijk van de wegverlichting belangrijke constatering omdat juist in het tussengebied tussen dagzien en nachtzien het lichtniveau een aanzienlijke invloed heeft op de visuele prestatie. De contrasten op hun beurt worden weer bepaald door verschillen in reflectie en/of verschillen in verlichting. Door de hoge verlichtingssterkte en de hoge reflectie van een fietsreflector op korte afstand en de lage verlichtingssterkte en geringe reflectie van het ver weg liggende weggedeelte kan een zeer groot contrast tussen die reflector en de (visuele) achtergrond ontstaan. Bij de wijze waarop het licht gewoonlijk wordt gebundeld, en door de specifieke reflectie-eigenschappen van objecten en wegdekken, steken de meeste objecten echter als een donker silhouet af tegen een relatief licht wegdek. Uiteraard bestaat er met deze wijze van verlichten weinig mogelijkheid om contrasten binnen het objecten zichtbaar te maken, zodat bepaalde informatie die een essentieel onderdeel vormt van het "vanzelf sprekend" van het object - zoals de stand van het hoofd of de gezichtsuitdrukking van een voetganger die op het punt lijkt te staan om over te steken - niet kan worden verschaft. Om deze redenen kan op basis van de "traditionele aanpak" dan ook geen bevredigende oplossing van het vraagstuk hoe voetgangersoversteekplaatsen dienen te worden verlicht. Maar voor het merendeel van de gevallen, vooral wanneer de voorwerpen werkelijk "vanzelf sprekend" zijn, kan door een juiste toepassing van de techniek een goede visuele situatie worden gecreëerd. Op deze techniek komen we nog terug.

Bij signalisatie doen zich geheel andere problemen voor. Het voor-
naamste is dat signaallichten steeds een specifieke boodschap over-
brengen. Zelfs in het eenvoudigste geval - een obstakellicht - is
de boodschap: "dit licht - dat zijn eigen aanwezigheid moet aan-
geven - zit vast aan iets dat moet worden vermeden". Als er niets
is dat moet worden vermeden, is er geen reden voor een signaal-
licht, dus de vaak gehoorde uitspraak dat obstakellichten "alleen"
hun eigen aanwezigheid behoeven te signaleren, is onjuist. Daarmee
vervalt ook de principiële betekenis van het vaak gebruikte ver-
schil tussen markeringslichten en signaallichten. Signaallichten
brengen dus steeds informatie over in een gecodeerde vorm.

In theorie bestaan er zeer veel mogelijkheden om boodschappen
door middel van signaallichten over te brengen. Wel blijkt gewoon-
lijk dat de codeersleutel ingewikkelder wordt naarmate de infor-
matie gecompliceerder of gedetailleerder wordt. Het is dus vaak
zoeken naar een optimum; gedetailleerde informatie is meestal
gunstig, maar een gecompliceerde codeersleutel (die bovendien
nog gelijk moet zijn aan de decodeersleutel) geeft extra kans op
fouten en vergissingen.

Tussen de in de vorige paragraaf genoemde detectie van kleine
luminantieverschillen en van kleine (details van) objecten bestaat
een zekere analogie. Er bestaan aanwijzingen dat beide hun oor-
sprong vinden in hetzelfde neurofysiologische proces. De detectie
is sterk afhankelijk van de adaptatieluminantie. Deze afhankelijk-
heid is echter niet eenvoudig. Bij hoge niveau's (zeg meer dan
 10 cd/m^2) is de detectie ongeveer constant. Bij lage luminantie-
niveau's (bijv. minder dan $0,01 \text{ cd/m}^2$) is de detectie onmogelijk
in de fovea en gering in de periferie. Hieruit volgt een constate-
ring die van groot belang is voor de praktijk: het blijkt dat het
voor het detecteren van kleine contrasten en van kleine objecten
niet veel zin heeft om een lichtniveau te verschaffen dat belang-
rijk meer oplevert dan ca. 1 cd/m^2 . De praktijk leert echter wel
dat het gemak van detectie subjectief nog aanzienlijk beter wordt
bij een luminantie van $2 \text{ à } 3 \text{ cd/m}^2$; het is daarbij in het geheel
niet nodig om niveau's te maken die het daglicht (1000 tot 10 000

cd/m²) benaderen. Wanneer de luminantie echter aanzienlijk lager is dan de genoemde 1 cd/m² en bijvoorbeeld in de buurt van 0,1 cd/m² uitkomt dan is de situatie, vooral wat betreft de detectie van contrasten en van kleine objecten, zeer veel minder en nauwelijks beter dan wanneer men met het "echte" nachtzien te doen heeft.

Men kan deze gegevens ook anders bekijken. Wanneer men verlangt dat het verkeer (tenminste op het daarvoor in aanmerking komende deel van het wegennet) op een wijze afgewikkeld kan worden die enerzijds de kwaliteit van de dagsituatie benadert en anderzijds ook wat betreft de soort informatie en de daarop gebaseerde verwachtingspatronen in een redelijke mate analoog is aan die van de dagsituatie, dan dient de verlichting ervoor zorg te dragen dat de "wereld" er voor de automobilist ongeveer net zo uit ziet als overdag. Daarvoor blijkt het nodig te zijn dat de adaptatieluminantie tenminste ca. 1 cd/m² bedraagt.

Voor zover het bij de in aanmerking komende manoeuvres van belang is om kleine objecten of kleine delen van grote objecten te kunnen waarnemen, is de luminantie van het wegdek om een geheel andere reden van belang. Immers, dergelijke objecten zijn te zien doordat ze afsteken tegen hun directe achtergrond, die voor een belangrijk deel door het wegdek wordt gevormd. De meeste objecten zijn nogal donker en diffuus reflecterend. Daarom komt het erop neer dat deze objecten donker tegen een relatief lichtere achtergrond afsteken. Een hoge waarde van de wegdekluminantie is dus niet alleen gewenst om een hoge adaptatieluminantie te verschaffen, waardoor de gezichtsscherpte relatief hoog kan zijn; ook is een hoge wegdekluminantie van belang om een lichte achtergrond voor de donkere objecten te creëren.

Maar er is nog meer. Niet alleen de gemiddelde wegdekluminantie moet hoog zijn om een optimale zichtbaarheid van kleine objecten mogelijk te maken; gezien de functie die het wegdek vaak heeft als visuele achtergrond is het ook nodig dat er geen donkere plaatsen op de weg voorkomen, waarin de bedoelde objecten kunnen "verdrinken".

Het verlichtingsontwerp dient dus mede op het bereiken van een gelijkmatig luminantiepatroon (ook bij nat wegdek) te zijn gericht.

De visuele prestatie kan afnemen door verstoringen, bijvoorbeeld verstoringen door atmosferische omstandigheden (mist, maar ook regen en sneeuw) of verstoringen door verblinding.

Over verblinding kan het volgende worden opgemerkt. Wanneer zich in het gezichtsveld gebieden (lichtbronnen) bevinden die een luminantie hebben veel hoger dan de adaptieluminantie en/of de luminantie van de waar te nemen objecten, treedt verblinding op. Verblinding verstoort de optimale waarneming van het bedoelde object, onder meer doordat een deel van het licht in het oog wordt verstrooid.

In ernstige gevallen kan de waarneming zelfs geheel onmogelijk worden gemaakt (vandaar de term verblinding). Omdat de resultaten van dergelijke verblindingverschijnselen meestal met meetmethoden worden bepaald die aan de fysiologie zijn ontleend, spreekt men wel van fysiologische verblinding. De Engelse term "disability glare" wordt overigens, ook internationaal, veel gebruikt, omdat hij zo descriptief is. Echter ook wanneer de verblinding zo gering is dat geen teruggang in de visuele prestaties kan worden geconstateerd, is vaak nog sprake van een storing. Omdat de grootte van deze storing vaak wordt geschat met behulp van methoden die aan de psychologie zijn ontleend, spreekt men vaak van psychologische verblinding. Ook wordt hier vaak de Engelse term "discomfort glare" gebruikt. Bij de wegverlichting blijkt dat bij een laag kwaliteitsniveau de fysiologische verblinding overheerst, maar bij een "goede" verlichting, ook bij afwezigheid van merkbare fysiologische verblinding, de psychologische verblinding nog aanzienlijk kan zijn. Hiermee moet bij het verlichtingsontwerp rekening worden gehouden.

Het volgen van de weg, resp. het handhaven van de juiste dwarspositie op de weg, kan worden beschreven als (optische of visuele) geleiding. Op grond van de eisen die gesteld worden om aan een voldoende mate van geleiding te kunnen voldoen, kunnen verdere

eisen worden gesteld aan een aantal verkeersvoorzieningen, zoals de verlichting en de markering, maar ook tot zekere hoogte de routegeleiding (bewegwijzering, enz.)

Het bovenstaande zal hierna worden toegelicht aan de hand van de elementaire manoeuvre "stoppen". Men kan het manoeuvregedrag in enige elementaire manoeuvres onderverdelen: "stoppen, snelheid veranderen, uitwijken, gewoon doorrijden". Van deze vier is voor "stoppen" de meeste tijd (ruimte, afstand) nodig.

Wanneer geeist 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" moeten 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:

1. De weg loopt niet door (bijvoorbeeld T-kruising).
2. De weg is geblokkeerd (bijvoorbeeld stilstaande auto).

In het eerste geval (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 geleiding genoemd. Visuele geleiding kan dus, met kunstverlichting, 's nachts beter zijn dan overdag. Voer-

tuigverlichting 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 het tweede geval (blokkering): objecten zelfs zo groot als auto's zijn op een paar honderd meter niet precies te lokaliseren, 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 obstakel makkelijk maken; voor het lokaliseren is echter meer informatie nodig.

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

Een bepaalde zichtbaarheidsafstand van het object is uit overwegingen van veiligheid noodzakelijk. Voorts is duidelijk dat door vlot (of snel) verkeer een grotere zichtbaarheidsafstand nodig is. Immers, bij hoge snelheid is de remweg noodzakelijkerwijs groot, terwijl bovendien in de tijd die nodig is voor het herkennen van het object, en het nemen van de beslissing over de uit te voeren manoeuvre, een grote afstand wordt afgelegd.

Veilig verkeer is ook bij lage snelheid bestaanbaar, zodat de eisen aan de zichtbaarheid zwaarder worden indien snel (vlot) verkeer wordt verlangd. Wil men deze hogere snelheid bovendien met een zekere mate van comfort kunnen rijden, dan is het gewenst dat met een lagere dan maximale inspanning wordt gereden. Dit vereist een langere beschikbare tijd voor herkenning, beslissing, enz. Bovendien is sterk remmen zeer oncomfortabel, zodat ook de remweg langer wordt. In al deze gevallen kunnen de eisen in waarneembaarheidsafstanden worden uitgedrukt, die echter in grootte ervan afhangen of de eisen de veiligheid, de vlotheid of het comfort betreffen.

In sommige omstandigheden wordt geaccepteerd dat de manoeuvre "stoppen" niet steeds mogelijk is. Voor zover men zich tot de veiligheidsoverwegingen beperkt, mag dit worden geaccepteerd wanneer objecten waarvoor men moet stoppen - zoals bijv. auto's die onverlicht stilstaan op de rijbaan - bijzonder zelden voorkomen, en wanneer bovendien voldoende gelegenheid bestaat om met redelijke veiligheid deze objecten te ontwijken. Een dergelijke situatie doet zich voor op brede wegen die van vluchtstroken zijn voorzien en die een geringe verkeersbelasting hebben. Eisen betreffende de vlotheid van het verkeer zijn zwaarder. Zo is een "grote uitwijkmanoeuvre" als noodoplossing bij hoge snelheden met de meeste auto's moeilijk uitvoerbaar. De hier beschreven toestand is dus met comfortabel verkeer en vooral met verkeer dat zowel snel als comfortabel is, nauwelijks verenigbaar. Immers, een dergelijke verkeerssituatie vereist een voortdurende en grote inspanning van de bestuurder, en een geconcentreerde aandacht die geen moment mag verslappen. Een bepaald "gevoel van veiligheid" kan als een belangrijke voorwaarde voor comfort worden gesteld. Het is voor een ontspannen en rustig besturen van een auto gewenst dat men er zeker van kan zijn dat de weg ook inderdaad vrij is wanneer geen obstakels worden waargenomen. De consequentie hiervan is dat het uit overwegingen van rijcomfort wenselijk is dat de manoeuvre "stoppen" kan worden uitgevoerd, ook al zou dit uit het oogpunt van veiligheid en vlotheid wellicht niet het geval behoeven te zijn. Deze constatering is vooral van belang bij het beantwoorden van de vraag of rurale autosnelwegen en autowegen van een doorgaande, openbare verlichting dienen te worden voorzien, of dat de autoverlichting adequaat is.

2.6. 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 geeist 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 wegverlichtingsinstallatie 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.

2.7. Slotopmerkingen

A. Uit het bovenstaande blijkt dat de eisen te stellen aan de verlichtingsvoorzieningen onder meer afhangen van het beslissingsniveau dat wordt beschouwd. Het "internationale standaardobject", dat wil zeggen een vierkant van $30 \times 30 \text{ cm}^2$ dat een contrast vertoont van 15% met zijn directe achtergrond, en zichtbaar moet zijn op 100 m, moge goed bruikbaar zijn voor sommige beslissingen op het operatieniveau; voor beslissingen op het tactische niveau of het sturniveau, maar ook op hogere niveau's, geeft het slechts weinig aanwijzing hoe de verlichtingseisen moeten worden opgesteld.

Het bovenstaande kan dienen om aan te geven hoe men op basis van de functionele eisen de visuele vereisten kan opstellen, en hoe op basis van deze visuele vereisten van geval tot geval kan worden aangegeven hoe de verlichtingskundige eisen moeten luiden.

In theorie is de weg dus geheel duidelijk. In de praktijk echter blijkt dat de weg nog maar zeer ten dele begaanbaar is, omdat nog te veel wetenschappelijke gegevens ontbreken. Voor de verlichtingskundige eisen, en nog meer voor de daaruit af te leiden lichttech-

nische en constructieve eisen zal men zich vooralsnog grotendeels dienen te beperken tot de ervaring die in de praktijk is opgedaan, en de waarnemingen en proefnemingen die in het verleden zijn uitgevoerd. Het resultaat van een en ander is dat de verlichtingskundige vereisten en de vigerende aanbevelingen daaromtrent voor de meeste "gewone" gevallen redelijk voldoen. Het is echter maar zeer de vraag of werkelijk de optimale situatie is bereikt.

Men kan daarbij denken aan de achter ons liggende energiecrisis: wanneer op dat moment verlichtingskundige vereisten gebaseerd op functionele eisen beschikbaar waren, had men direct een antwoord kunnen geven op de vraag hoeveel licht er eigenlijk nodig was. De maatregelen die genomen hadden moeten worden, hadden dan een betere fundering gehad, en men had de nu wel degelijk gerechtvaardigde kritiek van "paniekvoetbal te spelen" kunnen voorkomen.

B. In het bovenstaande is uitgegaan van het begrip "verkeersverlichting"; zonder veel nadere toelichting is dit in de verdere behandeling min of meer gelijk gesteld aan "openbare verlichting". Dit is natuurlijk niet geheel en al gerechtvaardigd, immers auto's hebben ook verlichting aan boord, verlichting die bedoeld is om, tenminste bij afwezigheid van andere verlichtingswijzen, als verkeersverlichting te kunnen fungeren. Ofschoon gebleken is dat dit fungeren maar betrekkelijk is, zijn een paar opmerkingen over automobiilverlichting hier wel gerechtvaardigd.

Wanneer geen tegemoetkomend verkeer aanwezig is en dus met "hoofdlicht" kan worden gereden, en wanneer goede retroreflectoren aanwezig zijn, kan door voertuigverlichting alleen op goede wijze aan de te stellen eisen worden voldaan.

De wegdekkluminantie en de gelijkmatigheid kunnen voldoende zijn, de geleiding eveneens, en verblinding is uiteraard afwezig.

Bij tweerichtingsverkeer is het hoofdlicht niet toegestaan. Bij gebruik van dimlicht is echter aan de lichttechnische eisen niet in voldoende mate te voldoen. Hoewel door het grote aantal variabele factoren geen algemeen geldige richtlijnen kunnen worden ge-

geven, wordt algemeen aangenomen dat bij druk, tweerichtingsverkeer op tweestrookswegen van gemengd verkeer aan minimale eisen van de verkeersveiligheid alleen maar kan worden voldaan wanneer de rij-snelheid minder dan 50 à 60 km/h bedraagt, mits bovendien objecten langs en op de weg - met name fietsen - van goede verlichting en reflectoren zijn voorzien. Daarbij kan aan eisen van vlotheid en comfort nauwelijks of in het geheel niet worden voldaan. Een oplossing kan worden gevonden in de toepassing van gepolariseerd licht. Aan dimlichten zelf zijn stringente eisen gesteld, maar door vervuiling, instelfouten, belading van de auto, enz. is in de praktijk de verblinding meestal 2 à 4 x hoger dan toegelaten.

Hoewel men reeds voor de dimlichten lang zoekt naar een zo goed mogelijk compromis tussen veel verlichting en weinig verblinden, is het resultaat toch steeds nog aanzienlijk minder dan een goede openbare verlichting.

De reden ligt vooral in het feit dat er slechts een kleine hoek bestaat tussen licht dat dient om de weg en de eventuele obstakels te verlichten, en licht dat direct het oog van een eventuele tegenligger treft.

In Europa tracht men het bedoelde compromis te bereiken door een zeer scherpe "coupure" (de licht/donkergrens). Hiertoe wordt de koplantaarn als volgt opgebouwd: in het brandpunt van een parabolische reflector wordt een gloeispiraal geplaatst. Hierdoor wordt een lichtbundel evenwijdig aan de as van de reflector opgewekt. Dit levert de hoofdbundel.

Voorts wordt in dezelfde reflector een tweede spiraal aangebracht vóór het brandpunt, maar in de as van de reflector, en daarmee evenwijdig. Dit levert een ringvormige lichtbundel. Een kapje onder de spiraal schermt ongeveer de helft van deze bundel af, zodat bij projectie op een scherm een lichtvlek ontstaat die lijkt op een halve ananasschijf. Door het aanbrengen van daartoe geschikt gekozen prisma's op de afsluitruit ontstaat de bekende asymmetrische dimbundel.

De scherpste van de coupure wordt bepaald door de nauwkeurigheid waarmee de afzonderlijke elementen zijn gemaakt; bij een massaproduct van redelijke prijs kunnen natuurlijk niet al te hoge eisen

worden gesteld. Zeer hoge eisen aan de scherpte van de coupure zijn niet zinvol, omdat in de praktijk door vervuiling of nat worden van de lens, door foutieve afstelling, door de belading van de auto, door oneffenheden of bochten in de weg zeer aanzienlijke afwijkingen van de gewenste situatie optreden.

In Anglo-Amerikaanse landen wordt een ander systeem van lantaarnopbouw toegepast (de zgn. "sealed beam"). Hier is een lagere kostprijs, een geringere fabricatietolerantie en een eenvoudiger uitrichten op de auto bereikt ten koste van een nog slechter compromis tussen veel verlichten en weinig verblinden.

Volledigheidshalve zij hier vermeld, dat voertuigverlichting (automobielverlichting) en openbare verlichting niet het totaal van de maatregelen vormen voor het verbeteren van de nachtelijke situatie.

Tot de alternatieven behoren onder meer:

- wegmarkeringen, met name retroflecterende markeringen (daarbij inbegrepen bermplanken, bermpalen, reflecterende "studs", e.d.);
- signaallichten op auto's en verkeersobstakels;
- bewegwijzering en verkeerstekens; daarbij is speciaal te denken aan de verlichting ervan en de uitvoering ervan met retroflecterend materiaal.

Sommige van deze voorzieningen zijn ook overdag effectief.

3. DE UITVOERING VAN OPENBARE VERLICHTING

3.1. Aanbevelingen voor openbare verlichting

Zowel door de Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) als de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde (NSvV) zijn Aanbevelingen voor Openbare Verlichting uitgegeven; in het hierna volgende zullen de aanbevelingen van de NSvV en die van de CIE als gelijkkluidend worden beschouwd, en zal worden voorbijgegaan aan de paar detailverschillen die ertussen bestaan.

Dit lijkt des te meer gerechtvaardigd omdat de werkstukken in nauwe onderlinge samenwerking zijn opgesteld.

Vooraf nog twee 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 groepen van 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.

Uitgangspunt van de aanbevelingen is 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 getalwaarde over de minimale waarden van gemiddelde wegdeklluminantie, luminantie-verdeling en verblindingsbegrenzing dienen te worden gegeven voor alle wegen die van een verlichting dienen te worden voorzien en die een duidelijke verkeersfunctie hebben. Zoals reeds is aangegeven, 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.

Voor de Nederlandse aanbevelingen, uitgegeven door de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde gold tot zekere hoogte hetzelfde. Dit werd als een duidelijk manco gevoeld, zodat naderhand een aanvulling op de zgn. "Richtlijnen" is gepubliceerd, waarbij men zich heeft geconcentreerd op de stadsstraten. Tenslotte zijn momenteel aanbevelingen voor de verlichting van woonerven in voorbereiding.

In overeenstemming met wat hierboven is gesteld, wordt als belangrijkste kwaliteitscriterium steeds de wegdeklluminantie \bar{L} gehanteerd. Dit is mede van belang omdat veranderingen in de vereisten voor \bar{L} rechtstreeks grote financiële repercussies kunnen hebben. Voorts worden gewoonlijk twee getallen opgegeven als grenswaarden van de ongelijkmatigheid van het luminantiepatroon. Bij de eerste (L_{\min}/\bar{L}) is meer gedacht aan het vermijden van zeer donkere plaatsen op de weg ten behoeve van de veiligheid, bij de tweede (L_{\min}/L_{\max} langs) is meer gedacht aan de hinder die door geprononceerde dwarsstrepen kan worden opgewekt. 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 over de begrippen TI en G wordt gegeven in par. 3.3.5.

Omtrent 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, en vooral de Nederlandse, bevatten verder een grote hoeveelheid gegevens over facetten die met de openbare verlichting samenhangen, zoals gegevens over lampen, armaturen, lichtmasten, opstellingswijzen enz., maar ook over berekening en meting van luminanties, verblinding enz.

In Tabel I zijn de belangrijkste gegevens opgenomen uit de CIE Recommendations en uit de NSvV Richtlijnen en Aanbevelingen - inclusief de later gegeven aanvullingen.

3.2. Criteria voor aanwezigheid van verlichting

Zoals al eerder is aangegeven zijn de bovenstaande beschrijvingen van de lichttechnische 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 bebouwde kommen 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 autoverlichting 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.

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 1. Richtlijnen voor het lichtniveau binnen de bebouwde kom (Elektrotechniek 56 (1978) 12: 918).

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	gemiddeld 10 000 per rijstrook of onafhankelijk van de verkeersintensiteit bij rijbanen met 4 of meer rijstroken per rijrichting		30 000 In beide richtingen	20 000 In beide richtingen
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, NSVV (1963), CIE (1973b) — 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 afstaande weg, te meten volgens afbeelding 1.11 — 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, NSVV (1963), CIE (1973b) — 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.

Tabel 2. Criteria voor het aanbrengen van verlichting op wegen buiten de bebouwde kom^{*}) (Elektrotechniek 52 (1974) 15 (december): 863).

Als Tabel 2 is ter illustratie een gedeelte van de aanbevelingen van de NSvV opgenomen. De grondgedachten komen duidelijk naar voren: het al dan niet verlicht hangt af van:

- de rijnsnelheid (en dus van de wegcategorie)
- de verkeersintensiteit
- de complexiteit van de verkeerssituatie.

Wel zal uit de gegeven getalwaarden duidelijk zijn dat dit alles nog slechts een eerste benadering is.

3.3. Installaties voor openbare verlichting

3.3.1. Het ontwerp in het algemeen

Kwantitatieve gegevens kunnen momenteel alleen worden opgegeven voor de gemiddelde wegdeklluminantie, de ongelijkmatigheid (beiden in droge toestand van het wegdek) en de verblindingsbegrenzing. Voor zover het rechte, vlakke weggedeelten betreft, bestaan er eenvoudige en betrouwbare meet- en berekeningsmethoden om (ook reeds in het ontwerpstadium) de luminantie, de luminantieverdeling en de verblinding te bepalen. In eerste benadering gelden deze waarden ook voor weggedeelten met bogen. Bij kleine kromtestralen dienen gedetailleerde (punt-voor-punt) berekeningen te worden uitgevoerd. Het wegdek vormt een essentieel onderdeel van de verlichtingsinstallatie. Door-slaggevend zijn daarbij de reflectie-eigenschappen (zie par. 3.3.3.). Het vroeger algemeen gebruikelijke systeem om de kwaliteit van een verlichtingsinstallatie uit te drukken in de horizontale verlichtingssterkte op het wegdek kan tot geheel verkeerde gevolgtrekkingen leiden, omdat daarbij geen rekening wordt gehouden met de reflectie van het wegdek. Zoals uit het voorgaande is gebleken, is bij de toepassing van de luminantie als kwaliteitscriterium de kans daarop kleiner.

Wanneer wegdek en armaturen/lampcombinatie (globaal) bekend zijn, en de fotometrische eisen voor de installatie geformuleerd zijn, kan de verlichtingsinstallatie nader worden uitgewerkt. Aan de eisen kan worden voldaan door de juiste combinatie te kiezen voor ophanghoogte, lichtpuntafstand en geometrie, wanneer wegdek, lamp en armatuur bekend zijn of reeds gekozen zijn.

De verlichtingsinstallatie wordt door een aantal aspecten gekenmerkt:

- a. de lampsoort
- b. de lichtsterkteverdeling van de armaturen
- c. het wegdek
- d. de opstellingswijze
- e. de geometrie

3.3.2. Lampen en armaturen

Over lampen is in Hoofdstuk 1 reeds een en ander gezegd. Voor het specifieke gebied van de openbare verlichting kunnen nog enige aanvullingen worden gegeven.

Voor normale openbare verlichting worden gloeilampen niet meer gebruikt. Wel worden deze gebruikt voor speciale toepassingen, zoals verkeerslichten, sfeerverlichting en soms voor aanstraling van gebouwen (flood lighting). Normale gloeilampen (normaallampen genoemd) komen voor in een bereik van 25 W t/m 200 W; de lichtstroom bedraagt daarbij 230 lm t/m 3150 lm. Voor speciale toepassingen bestaan ook speciale lampen: bijvoorbeeld lampen met versterkte constructie voor verkeerslichten, halogeenlampen (die kleine afmetingen paren aan een langere levensduur), ook voor verkeerslichten en voor flood lighting.

Fluorescentiebuizen worden bij openbare verlichting op grote schaal toegepast, vooral voor woonstraten. De reden hiervoor is dat fluorescentiebuizen (vaak genoemd "TL", een handelsmerk) alleen in kleine eenheden voorkomen. Voor lampen met een standaardconstructie bestaat de range uit: 4 W t/m 85 W. De lengte loopt daarbij van 136 mm tot 2375 mm. Vooral de laatste is dus onbruikbaar groot voor openbare verlichting; deze lampen zijn vooral goed bruikbaar bij interieurverlichting. Zoals eerder is aangeduid, kan door een geschikte keuze van de fluorescentiepoeders een aanzienlijk bereik van de kleur en van de kleurweergave-index worden bereikt. Omdat de fluorescentiepoeders niet alle precies even efficiënt zijn, kan de lichtopbrengst bij hetzelfde type TL-lamp, maar verschillend van kleur, nogal uiteenlopen.

Een voorbeeld hiervan is gegeven in Tabel 3, welke is ontleend aan de commerciële documentatie van Philips (Pocket-lichtcatalogus 1977/78, uitgave november 1977, blz. 75).

Categorie	Type	Kleur- temperatuur	Kleur- weergave- index	Specifieke lichtstroom
		K	Ra	lm/W
Warmwitte licht- kleuren, overeenstem- mend met gloeilam- penlicht	"TL"/27	2700	94	43
	"TL"/29	2950	53	76
	"TL"/32	2950	85	49
	"TL"/83	3000	85	80
Friswitte lichtkleuren harmoniserend met dag- licht en met gloeilam- penlicht	"TL"/25	4000	76	62
	"TL"/33	4200	66	79
	"TL"/34	3850	85	50
	"TL"/84	4000	85	80
Koelwitte lichtkleuren overeenstemmend met daglicht	"TL"/47	5000	98	44
	"TL"/55	6500	93	50
	"TL"/57	7400	93	47

De tabel maakt onderscheid in drie categorieën:

- lampen met een kleurtemperatuur van omstreeks 3000 K die "warm" aandoen
- lampen met een kleurtemperatuur van omstreeks 4000 K die een "witte" indruk maken
- "koele" daglichtlampen met een kleurtemperatuur van 5000 K en hoger

Tabel 3. Overzicht van de kleurtemperaturen, de kleurweergaveindices en de specifieke lichtstroom van verschillende lampen.

De specifieke lichtstroom kan dus bijna een factor twee schelen! Uiteraard kiest men voor openbare verlichting, waar geen hoge eisen worden gesteld aan de kleurweergave, die lampen met de hoogste specifieke lichtstroom. Omdat een wat "warme" kleur meestal gunstig wordt beoordeeld, kiest men vaak voor kleur 29 of 33.

De meeste andere fabrikanten van fluorescentielampen hebben een vrijwel identiek leveringsprogramma.

Een lamp die speciale vermelding verdient is de cirkelvormige lamp. Deze wordt in drie vermogens geleverd, 22 W, 32 W en 40 W met een diameter van 216 mm, 311 mm en 413 mm. Deze lampen worden nogal vaak toegepast in zgn. paaltoparmaturen.

Eveneens van groot belang voor de openbare verlichting zijn de natriumdamlampen. Zoals reeds is aangeduid komen ze voor in twee varianten, namelijk de lage-druklampen SOX en de hoge-druklampen SON, de laatste weer in twee uitvoeringsvormen. Het lamptype SON/T heeft een heldere ballon, zodat alleen het kleine ontladingsbuisje als lichtbron fungeert. De (gewone) SON lampen hebben een eivormige, van binnen gematteerde, ballon, zodat het effectieve lichtuitstralende oppervlak veel groter is. Uit de reeds genoemde documentatie (Philips, 1977/78, blz. 81) is Tabel 4 overgenomen.

Type	Licht- stroom lm *)	Afmeting in mm	
		lengte max.	diam. max.
<u>Lagedruk-natriumlampen SOX</u>			
SOX 18 W	1 800	216	54
SOX 35 W	4 800	310	54
SOX 55 W	8 000	425	54
SOX 90 W	13 500	528	68
SOX 135 W	22 500	775	68
SOX 180 W	33 000	1120	68
<u>Hogedruk-natriumlampen SON/T</u>			
SON/T 150 W	14 500	211	46
SON/T 250 W	25 500	257	46
SON/T 400 W	48 000	283	46
SON/T 1000 W	130 000	400	46
<u>Hogedruk-natriumlampen SON</u>			
SON 50 W	3 300	156	70
SON 70 W	6 000	156	70
SON 150 W	14 000	227	90
SON 250 W	25 000	227	90
SON 400 W	47 000	290	120
SON 1000 W	120 000	410	165

*) Bij 100 branduren

Tabel 4. Enige gegevens van natriumlampen SOX, SON/T en SON.

De meest gangbare lamp voor openbare verlichting is nog steeds de hogedruk-kwiklamp. Gezien de voordelen van meer moderne lampen, met name van de SON lamp, wordt de kwiklamp echter geleidelijk teruggedrongen. Hierbij spelen vooral overwegingen van energiegebruik een belangrijke rol. Ook weer uit de Philips catalogus (blz. 83) enige gegevens over de HPLN lampen. Momenteel worden lampen geleverd met een verbeterde kleurweergave, deze worden door Philips aangeduid met HPL de Luxe. De prestaties van deze twee lamptypen zijn verder vrijwel gelijk.

Type	Licht- stroom lm *)	Afmeting in mm	
		lengte max.	diam. max.
<u>Superhogedruk-kwiklampen HPLN</u>			
HPLN 50 W	2 000	129	55
HPLN 80 W	3 800	156	70
HPLN 125 W	6 300	182	75
HPLN 250 W	13 500	227	90
HPLN 400 W	23 000	290	120
HPLN 700 W	42 000	329	140
HPLN 1000 W	60 000	400	165
<u>Superhogedruk-kwiklampen HPL de Luxe</u>			
HPL 50 W	2 000	129	55
HPL 80 W	3 850	156	70
HPL 125 W	6 500	177	75
HPL 250 W	14 000	227	90
HPL 400 W	24 000	290	120

*) Na 100 branduren

Tabel 5. Enige gegevens van kwiklampen HPLN en HPL de Luxe

Armaturen voor openbare verlichting hebben, zoals reeds is aangegeven, drie verschillende functies:

- het bevestigen van de lamp, het voorschakelapparaat, enz.
- het richten, resp. afschermen, van het licht
- het beschermen van de lamp tegen invloeden van vuil, mechanisch geweld en temperatuur.

Over de bevestiging zijn geen speciale opmerkingen te maken. Uiteraard worden eisen gesteld wat betreft gewicht, corrosiebestendigheid, stevigheid van de bevestiging (ook met het oog op door wind opgewekte trillingen), waterdichtheid en aanrakingsbeveiliging. Meestal wordt daartoe voor het huis van het armatuur een constructie van giet-aluminium gekozen, voor kleinere armaturen ook kunststof (bijv. glasvezelversterkte polyester). Tegenwoordig worden armaturen meestal gesloten uitgevoerd (met het oog op vervuiling en temperatuurhuishouding). Daarvoor wordt bijna uitsluitend kunststof (polycarbonaat of metylacrylaat) gebruikt; glas biedt te weinig afweer tegen vandalisme.

Het richten van het licht kan op twee wijzen gebeuren: door middel van weerkaatsing van het licht, en door middel van breking. Weerkaatsing kan weer diffuus zijn; dan wordt de binnenzijde van het armatuur in mat-wit uitgevoerd. Deze methode van het richten van het licht is goedkoop maar weinig precies: men kan niet precies bepalen waar het licht terecht zal komen. Diffuse reflectie wordt daarom vooral toegepast voor die situaties waar een kritische lichtverdeling niet nodig is (bijv. woonstraten). De tweede wijze waarop lichtweerkaatsing wordt toegepast is spiegeling. Door geschikt gekozen en geschikt gevormde spiegels (meestal van geanodiseerd aluminium) in het armatuur aan te brengen kan men het licht daar krijgen waar men het hebben wil. De nauwkeurigheid van de bundeling wordt in laatste instantie beperkt door de verhouding tussen lichtbronafmetingen en de brandpuntsafstand van de gebruikte spiegel. Het rendement van een spiegelarmatuur hangt in de eerste plaats af van de fractie van de lamplichtstroom die op de spiegel valt; immers, alleen licht dat op de spiegel komt kan door die spiegel in de goede richting worden gestuurd. In de praktijk blijkt dat het licht dat rechtstreeks uit de lamp de straat treft, niet erg veel bijdraagt tot de verlichting zelf. Dit levert dus de volgende verlangens op omtrent de armaturen: de brandpuntsafstanden van de spiegels moeten groot zijn ten opzichte van de afmetingen van de lichtbron, en de spiegels moeten een groot deel van de lichtbron "omvatten". Dit resulteert uiteraard in hetzij een

zeer kleine lichtbron of een zeer groot armatuur. Kleine lichtbronnen zijn er, bijvoorbeeld SON/T. Deze hebben echter weer het bezwaar dat, wanneer er verblinding optreedt, deze buitengewoon storend is, en dat de fabricage van de spiegels aan zeer nauwkeurige toleranties moet voldoen. Dus men kiest in de praktijk toch voor een vrij grote lichtbron in een vrij klein armatuur, daarmee op de koop toenemend het bezwaar dat het rendement niet zo erg hoog is, en het licht niet zo precies terecht komt waar men het wil hebben. Deze bezwaren kunnen worden getolereerd omdat ook de wegdekken onderling vrij sterk kunnen verschillen (niet alleen door de samenstelling maar ook door de weersinvloeden) zodat een hoge precisie niet nodig is. Het lagere rendement van spiegelarmaturen in vergelijking tot diffuus reflecterende armaturen is wel een feit, maar alleen wanneer men het uitdrukt in de totale lichtstroom. Kijkt men echter naar de lichtopbrengst in termen van de wegdekluminantie dan blijkt een spiegelarmatuur, juist omdat het licht wordt gericht naar gebieden waar de wegdekken als regel veel reflecteren, een hogere opbrengst te hebben dan een diffuus reflecterend armatuur.

De derde methode waarbij men het licht uit de lamp op de juiste plaats op de weg kan krijgen, maakt gebruik van lichtbreking of refractie. Voor de lamp worden lenzen aangebracht die het licht richten - in feite maakt men daarmee optische afbeeldingen van de lamp op de weg. Volgens het beginsel dat reeds door Fresnel is aangegeven, kunnen deze lenzen uit prisma's worden opgebouwd. Wat betreft de afbeelding zijn lenzen en spiegels gelijkwaardig, dus armaturen met lenzen (refractorarmaturen) zijn in principe aan dezelfde beperkingen onderhevig als spiegelarmaturen. De refractoren van dergelijke armaturen zijn meestal van glas vervaardigd, maar ook kunststof (polycarbonaat) wordt veel gebruikt.

De meest moderne armaturen worden gesloten uitgevoerd. Bij spiegelarmaturen wordt een heldere afsluitkap (meestal van polycarbonaat) aangebracht, bij refractorarmaturen worden de lichtbrekende elementen in de afsluitingen aangebracht. Het belangrijkste voordeel van gesloten armaturen in vergelijking met open armaturen ligt in

de mindere invloed van vuil en corrosie. Voorts is de mechanische protectie van de lamp beter, en tenslotte is de temperatuur in het armatuur beter in de hand te houden.

Voor masten tot een hoogte van 4 à 5 meter worden meestal paaltop-armaturen toegepast. Deze zijn meestal cirkelsymmetrisch. Ze worden vooral in woongebieden en voetgangersgebieden toegepast, uitgerust met hetzij kleine kwik- of natriumlampen (bijv. HPLN of SON 50 W) of met cirkelvormige fluorescentiebuisen. Ze paren een stevige constructie aan een geringe mogelijkheid voor het richten van het licht. Hoewel van duidelijke modeverschijnselen sprake is, zelfs bij straatverlichtingsarmaturen, kan men zeggen dat met paaltop-armaturen oplossingen kunnen worden gecreëerd die uit esthetisch oogpunt goed voldoen.

Op wegen die een belangrijke verkeersfunctie hebben worden meestal hogere masten toegepast (7 tot 12 meter). Omdat hier met de behoeften van het verkeer, vooral van het gemotoriseerde verkeer, rekening moet worden gehouden, wordt een nauwkeuriger richten van het licht vereist. Gezien het feit dat de meeste lampen die voor gebruik in openbare verlichting in aanmerking komen, nogal (of soms zeer sterk) langwerpig zijn, worden de lampen meestal met hun lengte-as dwars op de rijrichting opgehangen. Op deze wijze kan men met relatief kleine optische hulpmiddelen het licht goed richten in de lengterichting van de weg. Meestal worden de armaturen aan dwarsarmen (of dwarsuitleggers) aan de lichtmasten bevestigd. Bij opstelling in de middenberm van een dubbelbaansweg worden twee uitleggers, voor iedere rijbaan één, toegepast; voor verlichting vanuit de zijkant van de weg uiteraard niet. Dergelijke verlichtingsinstallaties worden veelal als "conventioneel" aangeduid, dit in tegenstelling tot de zogenaamde langsophanging. Daarbij worden armaturen met hun lengte-as evenwijdig aan de rijrichting opgehangen aan spandraden. Omdat in dit geval het richten van het licht door middel van de optische hulpmiddelen in de lengterichting van de weg minder goed mogelijk is, moeten de lichtpunten bij een langsophanging op kortere onderlinge afstand worden aangebracht dan bij een conventionele ophanging.

Over de lichtmasten zullen we kort zijn. Uiteraard probeert men om het extra gevaar, geïntroduceerd door de aanwezigheid van lichtmasten, zo gering mogelijk te maken. Lage masten (tot een meter of 8) zijn meestal van aluminium. Bij een aanrijding knikken ze om zonder dat al te grote vertragingen optreden. Hiermee wordt de schade aan het botsende voertuig binnen de perken gehouden, en, wat van groter belang is, ook het eventuele letsel van de inzittenden. Bij hogere masten is een dergelijke constructie niet mogelijk. Deze masten worden hetzij voorzien van een breuk- of schuifconstructie die het mogelijk maakt dat de mast bij een botsing op een van te voren bekende plek breekt - weer zonder grote vertragingen voor het botsende voertuig -, hetzij omgeven door geleideconstructies, waarmee wordt voorkomen dat voertuigen in botsing kunnen komen met de lichtmasten. Dit laatste is vooral nodig wanneer afgebroken en omgevallen lichtmasten op de weg zelf weer een gevaar kunnen opleveren.

3.3.3. De invloed van het wegdek

Het wegdek vormt een essentieel onderdeel van de installaties voor wegverlichting. Om tot een optimale verlichting te komen - zowel bij autoverlichting als bij openbare verlichting - dienen bepaalde eisen te worden gesteld aan het wegdek, met name aan de textuur, en aan de lichtheid van de steenslag. Voor alle nachtelijke verkeerssituaties dient de reflectie van het wegdek hoog te zijn, zodat bij een hoge luminantie bereikt kan worden bij toepassing van een relatief laag geïnstalleerd vermogen. De wenselijkheid van een hoge luminantie is reeds aangeduid. Voor een goede waarneembaarheid van objecten moet het contrast vrij groot zijn. De verlichtingssterkte op oppervlakken met lage reflectie (voetganger) dient laag te zijn zodat ze donker tegen het (lichte) wegdek afsteken, of zeer hoog zodat ze ondanks die lage reflectie toch licht afsteken tegen het wegdek. Wanneer objecten met retroflectoren zijn uitgerust, is een hoge luminantie meestal geen probleem. Het is gebruikelijk om ter karakterisering van de reflectie van wegdekken de "luminantiefactor" q in te voeren. $L = qE$, waarin L de

luminantie en E de verlichtingssterkte. Gewoonlijk worden de volgende vereenvoudigingen ingevoerd:

- a. de waarneming geschiedt onder één graad neerwaarts;
- b. wegdekken zijn isotroop.

Daar blijven twee hoeken over als variabelen: $q = q(\gamma, \delta)$.

Bij openbare verlichting is $0^\circ \leq \gamma \leq 90^\circ$ en $0^\circ \leq \beta < 360^\circ$.

Voorts is $E = (I/h^2) \cos^3 \gamma$, dus $L = (I/h^2) q \cos^3 \gamma$.

Voor meer dan één lichtbron:

$$L = \sum_i (I_i/h_i^2) q_i \cos^3 \gamma_i$$

Ter vereenvoudiging worden momenteel de volgende kenmerkende grootheden vaak gebruikt:

$$q_0 = \frac{1}{\Omega} \int q d\omega,$$

waarin Ω een ruimtehoek is die in eerste benadering de halve bol boven de horizon beslaat ($\Omega = \int_{\Omega} d\omega$);

$$S_1 = q_{(0,2)} \Big| q_{(0,0)};$$

$$S_2 = q_0 \Big| q_{(0,0)}$$

Hierin is $q_{(0,0)}$, resp. $q_{(0,2)}$ de luminantiefactor bij $\beta = \text{tg } \beta = 0$ en $\gamma = \text{tg } \gamma = 0$, resp. $\text{tg } \beta = 0$ en $\text{tg } \gamma = 2$. (N.B. Vroeger werden vaak q_0 en κ_p gebruikt; $\kappa_p = 10 \log S_2$).

Recent onderzoek heeft aangetoond dat een nog verdergaande vereenvoudiging kan worden bereikt door in plaats van q_0 en S_1 (en eventueel S_2) te gebruiken:

$q_{0,0}$ (soms korthedshalve aangeduid met q_p)

$P(2; 0)$ (dit is q ($\text{tg } \gamma = 1, \delta = 90^\circ$))

$P(1; 90)$ (dit is q ($\text{tg } \gamma = 2, \delta = 0^\circ$))

Met deze drie grootheden kan een wegdek worden gekaracteriseerd, d.w.z. wanneer men deze drie reflectiewaarden kent, zijn de totale

reflectiekaracteristieken te bepalen. Dit kan omdat alle wegdekken reflectie-eigenschappen vertonen die onderling een sterk analoog verloop vertonen, ook al zijn ze in getalwaarden (en dus wat betreft de praktische toepassing) zeer verschillend.

Op basis van deze analogie is het mogelijk om voor de berekening van wegverlichtingsinstallaties alle wegdekken in een gering aantal klassen in te delen - momenteel denkt men voor droge wegen aan twee, hoogstens drie klassen voor wat betreft het relatieve aspect van de reflectie-eigenschappen. Een dergelijke klassificatie kan met voldoende nauwkeurigheid worden uitgevoerd met behulp van slechts twee van de hierboven ingevoerde drie reflectiewaarden, en wel $q_{0,0}$ en $P_{(2;0)}$.

Tenslotte blijkt het mogelijk te zijn om een enkel wegdek binnen iedere klasse te kiezen dat niet alleen de klasse kan karakteriseren, maar dat in plaats van het eigenlijke, te gebruiken wegdek kan worden gebruikt bij de berekening van de verlichtingsinstallaties.

Momenteel wordt een voorstel uitgewerkt waarbij van niet meer dan twee klassen wordt uitgegaan. Bij klasse I is de $P_{(2;0)}$ kleiner of gelijk aan 0,4, bij klasse II groter dan die waarde.

Aan klasse I blijkt dan de voorkeur te moeten worden gegeven, omdat daarmee met de gebruikelijke verlichtingsmiddelen (met een zeer gering aantal uitzonderingen) in alle lichttechnische opzichten een beter resultaat volgt dan voor klasse II.

Voor de openbare verlichting is het van belang dat de gunstige reflectie-eigenschappen ook in vochtige en natte toestand bewaard blijven.

Er bestaan duidelijke aanwijzingen dat er een relatie bestaat tussen de lichtreflectie, de stroefheid, de vlakheid, en de akoestische eigenschappen van een wegdek enerzijds, en de textuur en de samenstelling anderzijds. Dit verband wordt momenteel nader onderzocht; ofschoon definitieve gegevens nog niet ter beschikking staan, lijkt

het erop dat de meeste wegen met een cement-betonverharding in klasse I vallen. Dit geldt ook voor wegen die een zeer open textuur hebben of van een oppervlakbehandeling met grove steenslag zijn voorzien. Wanneer bovendien q_p een hoge waarde heeft dan is sprake van een gunstig wegdek wat betreft de openbare verlichting. Dit geldt weer voor de meeste cement-betonwegen, en voor wegen waar ophelderende stoffen (bijvoorbeeld luxovit of synopal, beide handelsmerken) worden toegepast, met name wanneer dit gebeurt in de vorm van een oppervlakbehandeling. De recentelijk ook in Nederland als proef aangebrachte wegdekken met een zeer open textuur (drainage asphalt) lijken ook veel te beloven.

Het wegdek heeft natuurlijk ook andere functies. Niet alleen wat betreft de lichttechnische aspecten voor dagverlichting of verlichting met voertuigverlichting (koplampen; bij afwezigheid van openbare verlichting), maar ook wat betreft stroefheid en vlakheid. Voorts worden uiteraard eisen gesteld aan wegdekken betreffende levensduur, vervormbaarheid onder het verkeer en kosten. Tenslotte moet rekening worden gehouden met de op het wegoppervlak aan te brengen wegmarkeringen.

Een speciaal soort functie mag nog worden vermeld: op wegen zonder openbare verlichting moet de verlichting uiteraard door de autokoplantaarns worden verzorgd. Momenteel gaat men er meestal vanuit dat ook bij dit type verlichting het wegdek helder moet zijn; objecten worden door autokoplantaarns meestal zo intens bestraald dat ze ook tegen een heldere achtergrond nog duidelijk afsteken. De reflectiewaarde van wegoppervlakken behorende bij autoverlichting wordt vaak als "autokoplantaarnfactor" (AKf) aangeduid (soms ook met retroflecterend vermogen hoewel dit minder juist is). Zonder in details te gaan, kan worden gesteld dat over het algemeen een hoge AKf bereikt wordt bij die wegen die ook voor de omstandigheden behorende bij openbare verlichting een gunstige reflectie vertonen.

Een wegoppervlak dat zo goed mogelijk een compromis oplevert voor de hierboven genoemde aspecten is niet gemakkelijk te vinden. Allereerst is voor een goede lichtreflectie een lichtgekleurd materiaal nodig met name voor de grove fractie van de steenslag. Om deze gunstige reflectie-eigenschappen ook bij nat wegdek - met name gedurende regen - te kunnen bewaren is het nodig dat het regenwater niet alleen wordt "geborgen" in het oppervlak, maar ook dat het kan afvloeien. Vandaar de voorkeur voor poreuze wegdekken. Dit heeft natuurlijk bezwaren voor de vorstbestendigheid en de gladheidsbestrijding met zout. Voor een goede stroefheid is het al evenzeer van belang dat het regenwater zo snel mogelijk kan afvloeien. Bovendien is echter daarbij een grote zgn. microtextuur nodig om voldoende hechting van de banden aan het wegdek te waarborgen. De microtextuur hangt af van de aard van de steenslag en de mate van slijtage. Het gevreesde aquaplaning kan worden voorkomen door het ontstaan van plassen tegen te gaan. Dit heeft een nauwe relatie met de vlakheid van de weg, een criterium dat in andere opzichten vooral van belang is voor het rijcomfort. Plasvorming wordt bestreden ook al weer door een poreus asfalt. Niet alleen aquaplaning wordt daarmee voorkomen, ook de zeer hinderlijke en mogelijk gevaarlijke waterslag (splash and spray) wordt tegengegaan.

Langs deze weg is het mogelijk om tot een optimaal wegoppervlak te komen, een wegoppervlak dat dus op een optimale manier aan de verschillende functionele vereisten voldoet.

3.3.4. Installatiegeometrie

Bij de gebruikelijke installaties van openbare verlichting worden de lichtpunten (dus lampen met armaturen) aan lichtmasten aangebracht, die min of meer het verloop van de weg volgen. Een belangrijke uitzondering daarop wordt gevormd door de gebiedsverlichting. Dit wordt toegepast wanneer een groot areaal, bijv. een groot plein of een gecompliceerd verkeersknooppunt, moet worden verlicht. Gebruikelijk is om hierbij lichtpunten te gebruiken die meer het karakter van schijnwerpers hebben, en deze per groep aan

hoge masten te monteren. Vandaar de gangbare term: hoge-mastenverlichting (high mast lighting). We zullen hier later op terugkomen, maar eerst de meest gangbare opstellingswijzen behandelen.

Zoals reeds is aangegeven, is het niet goed mogelijk bij de voor straatverlichting gebruikelijke soort en afmetingen van lampen en armaturen te bereiken dat er een preciese lichtbundeling optreedt. Wanneer men de lichtpunten niet te hoog opstelt, is dat ook niet nodig. Bij een montagehoogte die ongeveer gelijk is aan de wegbreedte valt het meeste licht op het wegdek, terwijl de directe omgeving van de weg (bijv. fietspaden of trottoirs) nog redelijk meeprofiteren. Dit betekent voor de meeste verkeerswegen een gangbare lichtpunthoogte van een 8-12 m, voor woonstraten e.d. een lichtpunthoogte van 3,5 à 6 m.

Afhankelijk van de wegbreedte - en daarmee dus van het verkeers- type - kunnen de lichtmasten aan één zijde of aan twee zijden van de weg worden geplaatst. De voor- en nadelen zijn evident: een éénzijdige opstelling is goedkoper - er is maar één kabelgoot nodig - maar de verlichting in dwarsrichting over de weg is niet erg gelijkmatig. Bovendien moeten de lichtmasten bij een brede weg en éénzijdige opstelling wel erg hoog worden. Van belang is om op te merken dat in de meeste normale gevallen het aantal lichtmasten (lichtpunten) niet afhangt van de keuze éénzijdig of tweezijdig.

Tweezijdige opstelling kan nog op twee lichtelijk verschillende manieren gebeuren: zig-zag en tegenover elkaar (portaal). De voor- en nadelen van deze twee mogelijkheden zijn minder duidelijk in algemene termen aan te geven.

Weliswaar heeft men bij een portaalopstelling meestal meer lichtmasten nodig, maar die kunnen lager zijn en van kleinere eenheden voorzien zijn (en dus goedkoper). Het hangt hier weer af van de verdere weg- en verkeersomstandigheden waaraan de voorkeur wordt gegeven.

Voorts zijn er veel wegen met een middenberm. Plaatsing van de lichtpunten in die middenberm heeft het voordeel dat er minder

kabels gelegd hoeven te worden, en dat de rijstroken tegen de middenberm aan - waar meestal het snelste wordt gereden - het beste worden verlicht. Een nadeel is dat aanrijdingen met lichtmasten in de middenberm minder gemakkelijk zijn te voorkomen dan die met lichtmasten in zijbermen, en dat bovendien de gevolgen hiervan vaak ernstiger zijn. Ook hier weer een zaak die van geval tot geval moet worden afgewogen.

Plaatsing van de lichtpunten in de middenberm kan op twee methoden gebeuren. Ten eerste worden gewone lichtmasten geplaatst die een uitlegger hebben boven iedere rijbaan, aan de uitleggers worden de armaturen bevestigd, zodat die gewoonlijk dwars staan op de rijrichting. Deze opstellingswijze noemt men traditioneel. Bij de tweede methode worden masten op grote onderlinge afstanden geplaatst (tot wel 100 m toe). Tussen die masten worden spandraden aangebracht, en de armaturen worden in de lengterichting op de gewenste onderlinge afstand (bijv. 15 à 20 m) aan die spandraden opgehangen. Vandaar de term langsophanging. Dit systeem is in Nederland zeer gangbaar geworden, met name voor het verlichten van autosnelwegen. Een belangrijke overweging daarbij is het feit dat deze opstellingswijze juist met SOX lampen goed kan worden uitgevoerd.

Verlichting met hoge masten wordt meestal beperkt tot grote pleinen en grote verkeersknooppunten. Omdat de lichtpunten min of meer als schijnwerpers - dus met een relatief smalle bundel - moeten worden uitgevoerd, worden meestal kleine lichtbronnen met relatief grote lichtstroom toegepast: recentelijk bijna steeds SON. Het voordeel is dat veel minder lichtmasten nodig zijn, maar een groot nadeel is dat het wegverloop niet op een opvallende wijze wordt geaccentueerd door het verloop van de lichtpunten. De keuze tussen hoge masten (van bijv. 50 m) en gangbare masten hangt af van vele factoren waarbij esthetische overwegingen vaak een doorslaggevende betekenis hebben.

3.3.5. Ontwerpmethoden

Het is uiteraard van belang om, reeds voor de verlichtingsinstallatie wordt aangebracht, te weten wat men ervan kan verwachten. Anderzijds moet het mogelijk zijn om een kwantitatief uitgewerkt ontwerp te kunnen maken, immers de meeste aanbevelingen en richtlijnen, en dus ook vele bestekspecificaties, worden uitgedrukt in lichttechnische grootheden; zoals reeds is aangegeven voor de meer gevanceerde daaronder in termen van wegdekluminantie.

De meeste complete ontwerpmethode maakt gebruik van een punt-voor-punt berekende wegdekluminantie. Hiertoe worden de lichtsterkteverdeling van de te gebruiken armaturen, en de reflectie-eigenschappen van het te gebruiken wegdek in tabelvorm aan een computer toegevoerd. Voor een punt (x,y) van de weg, verlicht door één armatuur geldt dan:

$$L_{(x,y)} = \frac{I_{(x,y)}}{h^2} q_{(x,y)} \cos^3 \gamma_{(x,y)}$$

Hierbij is I de lichtsterkte van dit armatuur in de richting van het punt (x,y), h de ophanghoogte, $q_{(x,y)}$ het reflecterend vermogen van het wegdek en $\gamma_{(x,y)}$ de invalsricting van het licht, behorende bij die geometrie. Voor de gehele installatie wordt de luminantie in (x,y) bepaald door om de lantaarns te sommeren. Herhaalt men dit voor andere waarden van x en y, dan ontstaat een patroon van de wegdekluminantie. Hieruit zijn naar believen de gemiddelde luminantie en de ongelijkmatigheid te bepalen.

Nog afgezien van het feit dat de berekeningen op deze manier vrij omvangrijk zijn (met name omdat interpolatie tussen waarden behorende bij punten van het patroon van I en q waarden nodig zijn) is het bezwaar van deze methode dat de reflectie-eigenschappen van de te gebruiken weg in detail bekend moeten zijn. Aangezien dit meestal niet het geval is, heeft men naar eenvoudiger methoden gezocht. Allereerst hoort daarbij de reeds genoemde klassificatie van wegdekken. Op basis van de samenstelling van het wegdek, en/of

op basis van een klein aantal gemakkelijk uit te voeren metingen wordt bepaald tot welke klasse het gekozen wegdek hoort.

Voorts wordt er per klasse één wegdek gekozen dat geacht kan worden alle wegdekken binnen de klasse te vertegenwoordigen (tenminste relatief, d.w.z. zodanig dat $q_p = 1$ gesteld).

Hier zij opgemerkt dat de klassebreedte zo is gekozen dat deze vertegenwoordiging kan plaatsvinden met redelijke nauwkeurigheid. Men kan nu dus de punt-voor-punt berekening uitvoeren voor het wegdek dat voor de klasse representatief is. Dit betekent dat deze berekeningen niet meer steeds opnieuw behoeven te worden uitgevoerd. Het begint gebruikelijk te worden dat de fabrikant van de armaturen bij zijn normale handelsdocumentatie een aantal gegevens toevoegt waarbij (bijvoorbeeld in tabelvorm) kan worden afgelezen welke gemiddelde luminantie en welke ongelijkmatigheid het betreffende armatuur zal opleveren bij wegdekken uit één van de klassen, en bij verschillende waarden van de wegbreedte, paalafstand en ophanghoogte.

Een dergelijke documentatie moet dus voor ieder armatuurtype compleet worden opgesteld. Uiteraard wordt ernaar gezocht om ook armaturen in klassen in te delen, net als de wegdekken. Tot nu toe heeft dit niet tot bruikbare resultaten geleid; hetzij het aantal klassen wordt onbruikbaar groot, of de spreiding binnen één klasse van armaturen is te groot.

Naast de vereisten van gemiddelde wegdekluminantie en gelijkmatigheid van het luminantiepatroon worden ook eisen gesteld betreffende de door de installatie verwachte verblinding.

Deze verblinding kan zodanig zijn dat de visuele waarneming in ernstige mate wordt verstoord. Men noemt dit meestal fysiologische verblinding, omdat het verblindingseffect wordt uitgedrukt in fysiologische maten. Gebruikelijk is hiervoor de mate waarin de drempelwaarde van de contrastgevoeligheid door de verblinding wordt vergroot. Deze drempelwaardeverhoging (of threshold increment (TI)) wordt in procenten uitgedrukt. Een TI van 10% betekent dat wanneer

de drempelwaarde voor het nog juist kunnen zien van een contrast zonder verblinding 20% is, deze drempelwaarde met verblinding toeneemt tot 22%. De drempelwaardeverhoging wordt bepaald aan de hand van de equivalente sluiertluminantie, dat is de luminantie van de (al dan niet fysische aantoonbare) lichtsluier die ten gevolge van de verblinding zich over het gehele gezichtsveld uitstrekt. De helderheid van deze sluiert kan worden uitgedrukt in luminantie-waarden (equivalent) door middel van de klassieke formule van Stiles - Holladay

$$L_{\text{seq}} = a \frac{E_{\text{oog}}}{\theta^2}$$

Hierin is:

E_{oog} de verlichtingssterkte (in lux) op het vlak van het oog ten gevolge van de betreffende (verblindende) lichtbron;

θ (in graden) de hoek tussen de kijkrichting en de richting waarin deze lichtbron wordt waargenomen;

a een leeftijdsafhankelijke factor. Voor jonge waarnemers geldt $a \approx 10$; voor oudere waarnemers is a aanzienlijk groter (tot wel 30 toe). Deze betrekking geldt voor $2^\circ < \theta < 60^\circ$, dus voor het gehele gebied dat voor openbare verlichting van belang is. Opgemerkt moet worden dat, wanneer men de verblinding ten gevolge van koplantaarns van tegenliggers wil bepalen, de formule niet zonder meer kan worden gebruikt omdat daarbij θ vaak kleiner is dan 2° .

Wanneer er meer dan één lichtbron is, kunnen de betrokken sluiertluminanties zonder meer worden gesommeerd. Zelfs wanneer men de formule - mits op de juiste wijze herschreven - over grote stukken integreert blijkt dat de resultaten redelijk goed bruikbaar blijven.

Wanneer de adaptatieluminantie en de L_{seq} bekend zijn, kan de betreffende waarde van TI worden berekend. Over de berekeningswijze bestaat geen verschil van opvatting, wel echter over de bij de berekening te hanteren getalwaarden. Dit betekent natuurlijk wel dat het opgeven van TI-waarden in een richtlijn maar beperkte betekenis heeft.

In vele gevallen zal blijken dat er een duidelijke verblindingshinder blijft bestaan, ook al is er geen aantoonbare fysiologische verblindingshinder. Omdat dergelijke hinder wordt bepaald met behulp van psycho-fysische meetmethoden, spreekt men in dit geval van psychologische verblindingshinder. De psychologische verblindingshinder wordt als regel uitgedrukt in een ordinale schaal die aangeeft of de verblindingshinder in het betreffende geval storend, juist toelaatbaar, onmerkbaar enz. is. Om op een eenvoudiger manier richtlijnen te kunnen opstellen, is aan deze ordinale schaal een metrische schaal toegevoegd (let wel, niet ermee gelijkgesteld). Deze schaal lijkt op de in Nederland gebruikelijke rapportcijfers die van 1 t/m 9 lopen waarbij (naar smaak) 5 of 5½ of 6 als juist voldoende wordt gekenschetst. De betreffende waarde wordt het "verblindingsbegrenzingsgetal" G (glare mark) genoemd en kan worden berekend met behulp van de onderstaande formule

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

Hierin is:

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

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

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

p het aantal zichtbare lichtbronnen per km weglengte;

C een factor die samenhangt met de gebruikte lichtkleur.

Zoals te verwachten bij deze gecompliceerde methoden, heeft men vele pogingen aangewend om tot vereenvoudiging te komen. De meest voorkomende daarbij is, dat men in plaats van luminanties de verlichtingssterkten tot grondslag van de te berekenen waarden maakt. Dit maakt de berekeningen zeer veel eenvoudiger; aangezien men alleen te maken heeft met licht dat het wegdek treft, kan men de volgende betrekking gebruiken

$$E_{\text{gem}} = \frac{\phi \cdot \eta}{w \cdot s}$$

Hierin is:

- E_{gem} de gemiddelde verlichtingssterkte op het wegdek (lux);
- ϕ de lichtstroom van de gebruikte lampen (lm);
- η het lamp- en armaturenrendement (dimensieloos);
- w de wegbreedte (m);
- s de afstand tussen de lichtpunten (m).

Soms wordt hieraan nog toegevoegd een berekening van de maximale en de minimale verlichtingssterkte op het wegdek. Dit vereist echter weer een tamelijk ingewikkelde berekening. Bovendien heeft dat geen zin, want er is geen rekening gehouden met de reflectie-eigenschappen van het wegdek, zodat de resultaten slechts weinig inzicht verschaffen over de visuele aspecten van de verlichtingsinstallaties. Op zijn best kan E_{gem} een indruk verschaffen van de orde van grootte waar het in de betreffende installatie om gaat.

4. KOSTEN/BATEN OVERWEGINGEN

4.1. Inleiding

In het proces van beleidsvorming 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. Een nauwkeuriger formulering ervan luidt: beleid is het streven naar bepaalde doeleinden, met bepaalde middelen, in een bepaalde tijdvolgorde. Uitgaande van deze definitie van beleid moet bij het voeren van een verkeersveiligheidsbeleid antwoord gegeven worden op de volgende vragen:

1. Wat moet bereikt worden, d.w.z. welke (algemene) hoofddoeleinden kunnen voor het verkeersveiligheidsbeleid worden geformuleerd?
2. Welke systematische indeling in aandachtsgebieden kan gemaakt worden, hoe liggen de prioriteiten en wat moet per aandachtsgebied bereikt worden? (formulering van subdoeleinden en enkelvoudige doeleinden).
3. Hoe kunnen de diverse doeleinden bereikt worden, d.w.z. welke beleidsinstrumenten (activiteiten/maatregelen) moeten daartoe worden aangewend?

Wanneer het juist is dat het bestrijden van de verkeersonveiligheid een zeer hoge prioriteit heeft (en dit wordt zowel door de politieke partijen als door de huidige regering gesteld) dan heeft dit als consequentie dat verkeersmaatregelen die een negatieve invloed 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 moeten niet in principe achterwege gelaten worden, zeker niet wanneer ze effectiever zijn dan middelen gericht op oorzaakbestrijding. Het gaat uiteindelijk om het rendement van de middelen. De vraag of er gekozen wordt voor een symptoombestrijdingsmiddel of een oorzaakbestrijdingsmiddel is dus in feite niet relevant.

Om het verkeersveiligheidsbeleid uit te kunnen voeren is zodanige kennis over het verkeersproces nodig, dat het mogelijk is op basis van die kennis maatregelen te ontwerpen die tot het beoogde beleidsdoel leiden.

Maatregelen worden door de beleidsvoerende instanties uitgevoerd om het verkeersgebeuren beter te laten verlopen. We hebben in het voorgaande drie functies onderscheiden die aan verkeersvoorzieningen kunnen worden toegekend: het dienen van de veiligheid, de vlotheid of het comfort van het wegverkeer. Dit, en de daarmee gemoeide kosten, kan leiden tot het definiëren van vier groepen van verkeersmaatregelen. Gangbaar is echter een onderscheid in twee groepen: maatregelen bedoeld voor de verhoging van de veiligheid en die voor de verhoging van de vlotheid (de doorstroming).

De splitsing hangt af van de bedoeling maar niet van het resultaat.

Wanneer meer dan een maatregel mogelijk is, 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. Prio-

riteitenstellingen 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 rij-comfort enz.

Vooraf voor lange-termijnplanning is dit moeilijk; men volstaat meestal met alleen het verkeersaspect of het alleen veiligheidsaspect te bekijken en de andere kosten en baten als "randvoorwaarde" te beschouwen. Voor het beoordelen van maatregelen die op korte termijn gelden, en vooral voor die welke vergelijkbare bedoeling hebben, kan de kosten/baten-analyse worden gebruikt.

Als voorbeeld worden twee toepassingsgebieden voor kosten/baten-analyse genoemd:

1. Vergelijking tussen verkeersverlichting en maatregelen op andere gebieden, met het doel om het verkeer en/of de verkeersveiligheid te verbeteren.
2. Onderlinge vergelijking van maatregelen die varianten van verkeersverlichting betreffen.

Tot de eerste groep behoren:

- verkeersverlichting versus elektronische verkeersgeleiding
- openbare verlichting versus snelheidslimieten
- gepolariseerde koplantaarns versus eenrichtingsverkeer
- verlichting versus bebakening.

Tot de tweede groep behoren:

- (verbeterd) stadslicht versus dimlicht
- openbare verlichting versus koplantaarns (bijv. dimlicht)
- varianten van openbare verlichting (conventionele verlichting, lijnverlichting, enz.).

Tenslotte zijn kosten/baten-analyses van belang wanneer neveneffecten moeten worden bekeken, zoals:

- invloed van openbare verlichtingsinstallaties op het ontwerp van bermbeveiligingsconstructies
- openbare verlichting ten dienste van verkeer enerzijds en publieke veiligheid anderzijds
- onderlinge relatie van wegdekeigenschappen met betrekking tot de kwaliteit van (openbare) wegverlichting.

4.2. De kosten van openbare verlichting

4.2.1. De aanleg

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. Aangezien de hoofdbedragen te maken hebben met de kabels en de masten, is het verschil tussen een "goede" en een "matige" installatie meestal geheel verwaarloosbaar.

4.2.2. Het bedrijf

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 laten zich zeer globaal als volgt splitsen: lampkosten 30-40%, kWh-kosten 40%, arbeidsloon e.d. 20-30%.

Een gemeente met een exploitatie van de openbare verlichting van bijvoorbeeld f. 6.000.000,-- per jaar, geeft dus aan energiekosten ca. f. 2.400.000,-- uit. Als zo'n gemeente zou besluiten om het lichtniveau te halveren, betekent het een theoretische besparing van ca. f. 1.200.000,--. Hier komt bij de lagere kosten aan lampen. Een gemeente met een inwonertal van zo'n 250.000 tot 300.000 geeft aan exploitatiekosten zo'n 6 miljoen uit.

Tabel 6 (afkomstig van Tan, Elektrotechniek 56 (1978) nr. 12) is hierna als voorbeeld opgenomen.

	Pijnakker	Haastrecht	Delft	Ede	Den Haag *	Gouda	Berkel
Inwonertal	15.600	4.400	85.000	81.500	480.000	58.200	13.600
kWh in gulden	110.000	45.350	660.000	340.000	3.776.000	498.560	129.000
Lampen + arbeidsloon in gulden	174.000	38.450	984.000	720.000	?	284.500	143.000
kWh/inw. in gulden	7,05	10,36	7,76	4,17	7,86	8,57	9,48
Aantal lichtpunten (1)		856	10.500	$\frac{9528}{8707}$	40.250	$\frac{7400}{7030}$	
Exploitatiekosten x f. 1000 (2)		84	1.640	1.060	3.776 (alleen kWh)	$\frac{783}{170}$	
Expl.kosten/inw. in gulden		19,04	19,30	12,30	?	$\frac{16,37}{13,45}$	
Inwonertal per lichtpunt		5,1	8,1	9,3	12,8	8,3	
Kilowatt-uren x 1000 (3)		346	5.544	3.673	29.043	3.500	
kWh/lichtpunt		404	528	385	721	513	

*) 1976

- (1) Aantal lichtpunten is exc. verkeerszuilen, verkeerslichten e.d. met uitzondering van Ede en Gouda. Voor Gouda wordt deze geschat op 5%.
- (2) De exploitatiekosten van Gouda en Ede moeten om vergelijkbaar te zijn met 5% worden verlaagd.
- (3) De kWh van Ede en Gouda zijn incl. de verkeerslichten e.d.; na aftrek van ca. 5% zijn ze vergelijkbaar met de overige waarden.

Tabel 6. Overzicht van exploitatiekosten e.d. in 1977 voor een aantal gemeenten

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

Hieronder volgen enkele opmerkingen bij de keuze van de lichtbronnen, afkomstig van Hendriks (Elektrotechniek 56 (1978) nr. 12).

"In bebouwde gebieden worden toegepast gloeilampen, fluorescentiebuizen, kwikdamplampen, lagedruk-natrium- en hogedruk-natriumlampen.

De gloeilamp, vroeger op grote schaal toegepast voor openbare verlichting, is door de kost van de andere lichtbronnen grotendeels verdwenen. Deze energieverlinders moeten uit een oogpunt van besparing niet meer worden toegepast. Toch wordt nog wel gevraagd deze lampen te gebruiken. Het aspect "sfeer" weegt hierbij dan het zwaarst. Behalve de geringe lichtopbrengst is er het nadeel van de korte levensduur van deze lampen. Terwijl bij gasontladingslampen zeker met een levensduur van 8000 uur gerekend kan worden, waarbij de uitval enkele procenten is en de terugval in de lichtstroom ook nog zeer acceptabel is, moet voor gloeilampen met gemiddeld 1000 uur worden gerekend. Voor hogedruk-natriumlampen ziet het er naar uit dat nog meer branduren haalbaar zijn.

Kwikdamplampen en lagedruk-natriumlampen zijn vele jaren belangrijke lampen geweest voor openbare verlichting. De lagedruk-natriumlamp zal dat zeker ook blijven. Het vervolmaken van het hogedruk-natriumlamptype zal zó grote invloed hebben, dat de kwikdamplamp steeds meer wordt teruggedrongen. Dit heeft consequenties voor het aanzien bij avond van de stad, maar naar het zich laat aanzien zeer aanvaardbare.

Een andere consequentie is, dat het voorheen wel gehanteerde systeem van alleen geel licht op ringwegen, in- en uitvalswegen enzovoort en de rest wit licht, niet meer te hanteren is.

Aanschafprijzen van hogedruk-natriumlampen en voorschakelapparaten liggen belangrijk hoger dan die van kwikdamplampen met gelijke lichtstromen. We kunnen alleen maar hopen dat hier in de nabije toekomst verbetering in komt.

Toch is het de moeite waard om na te gaan of uit financiële overwegingen op hogedruk-natrium kan worden overgegaan. Bij kostenvergelijking van hogedruk-natriumlampen 150 W ten opzichte van 250 W kwikdamplampen blijkt dat na circa 2 jaar de meerkosten eruit zijn als gevolg van het mindere energieverbruik."

4.2.3. De energie

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 1973/74 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. En zolang kernfusie nog niet operationeel is, zullen we ons moeten behelpen met olie (duur, vuil en met zeer ongewisse levering); kolen (zeer vuil en duur, maar in grote overvloed aanwezig ook in de westerse industrielanden); aardgas (schoon, maar niet in zeer grote hoeveelheden beschikbaar) en tenslotte kernenergie met kernsplijting

(duur, en zo lang geen behoorlijke oplossing is gevonden voor de verwerking van afvalstoffen, niet erg schoon). Zoals wel vaker, wanneer de publieke opinie omtrent een bepaald onderwerp "ontwaakt", bestaat er een neiging om in het andere uiterste te vervallen. 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 - terecht - 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. We zullen hierna een aantal overwegingen laten volgen, afkomstig van Burghout, Hendriks en Tan, alle uit *Elektrotechniek* 56 (1978) nr. 12, alwaar een verslag is opgenomen van een studiedag die geheel aan de energieaspecten van verlichting was gewijd.

De noodzaak op energie te bezuinigen is op grond van het voorgaande evident. In dit verband wordt in de, in 1975 door de Commission Internationale de l'Eclairage uitgebrachte verklaring over energie vermeld: "Er is geen twijfel aan dat, wanneer er een noodzaak tot energiebesparing ontstaat, ieder gebruiksector een eerlijke en evenredige bijdrage moet leveren tot een redelijke vermindering van het verbruik". Dus ook de verlichting. In voornoemde verklaring wordt overigens ook - zeer terecht - geconstateerd: "Helaas

is de verlichting vermoedelijk de meest in het oog lopende vorm van energieverbruik."

Hierdoor ontstaat vaak een onrealistische indruk van de besparingen, die men in de verlichtingssector kan verwachten. Door de pers wordt men in dit opzicht echter niet altijd even zorgvuldig voorgelicht!

Hierna zal worden gepoogd een schatting te maken van de hoeveelheid energie, die met verlichting is gemoeid. Een hulpmiddel daarbij is de zogenaamde elektriciteitsbalans. In zo'n balans die elk jaar wordt opgemaakt, wordt vermeld hoeveel elektriciteit is geproduceerd, zowel door de openbare elektriciteitscentrales als door de zogenaamde zelfopwekkers, hoeveel deze aan het openbare net hebben geleverd, hoeveel de netverliezen hebben bedragen en hoe de uitwisseling van elektriciteit met het buitenland is geweest. Voorts vermeldt de balans hoeveel elektriciteit in de diverse verbruikerscategorieën is gebruikt.

Uit zo'n energiebalans van 1972 blijkt dat voor openbare verlichting 571 GWh werd gebruikt. Dit is een relatief geringe hoeveelheid, namelijk 1,2% van de totale elektriciteitsproductie. Ook op andere wijze kan men een indruk krijgen van de relatief geringe hoeveelheid energie, die met openbare verlichting is gemoeid. Men kan namelijk berekenen, dat de voor openbare verlichting benodigde hoeveelheid energie kleiner is dan 3% van de energie-inhoud van de jaarlijks door het autoverkeer gebruikte brandstof. Populair gezegd betekent dit, dat als op elke 10 000 km 300 km wordt gespaard, de openbare verlichting is verdiend.

Wanneer men verder rekening houdt met de verlichting van gebouwen, dan blijkt dat (afgerond) 20% van de in totaal geproduceerde elektriciteit voor verlichting wordt besteed. Op basis van het gegeven dat 20% van de primaire energie wordt gebruikt voor elektriciteitsproductie, kan worden geconcludeerd, dat 4% van de primaire energie voor verlichting wordt gebruikt.

Waar vandaag de dag 20% van het elektriciteitsverbruik voor verlichting wordt gebruikt, is het nog interessant op te merken, dat de eerste openbare elektrische centrale, die in 1886 te Kinderdijk in gebruik werd genomen en die 200 A gelijkstroom bij 100 V leverde,

uitsluitend voor verlichting diende. Naarmate men elektriciteit voor meer doeleinden ging gebruiken, zakte het relatieve lichtaandeel. Een trend die zich wellicht nog wat zal doorzetten, vooral in de huishoudens.

Het is dus duidelijk dat het aandeel van het energiegebruik ten behoeve van openbare verlichting verwaarloosbaar klein is: 1,2% van de elektriciteitsproduktie, die weer 20% van de totale energieproduktie in Nederland is. In totaal dus ongeveer 0,2%. Maar er is reeds opgemerkt dat deze 0,2% erg in het oog loopt, en dat daarom naarstig wordt gespeurd naar mogelijkheden om het energiegebruik, zo maar even mogelijk, te verminderen.

Zoals natuurlijk te verwachten wordt er vaak op aangedrongen om gewoonweg de openbare verlichting te verminderen of zelfs helemaal te doven. Uit al hetgeen hierboven is gezegd, is zonder meer duidelijk dat dit ernstige consequenties zal hebben voor de verkeersveiligheid, zodat deze acties verder niet zullen worden besproken. Er blijven trouwens nog legio bruikbare methoden over om het energiegebruik binnen de openbare verlichting te verminderen - weliswaar kleine besparingen, maar ook kleine beetjes helpen.

1. Het toepassen van avond- en nachtschakeling

Wanneer gedurende de nacht met lagere waarden van het lichtniveau kan worden volstaan, kan dit ook tot de middelen behoren om energie te besparen. Natuurlijk zijn hier technische voorzieningen voor nodig, vooral wanneer niet in het gehele gebied het niveau van de openbare verlichting gedurende een bepaalde tijd kan worden verminderd. Wáár en wanneer kan worden gedimd kan van stad tot stad verschil uitmaken.

Armaturen met twee lampen lenen zich goed voor dimschakelingen. Meerlampsarmaturen zijn mede ontwikkeld om hogere lichtstromen per armatuur te kunnen installeren. Met de tegenwoordige "range" van lampen is het in de meeste gevallen niet meer nodig om déze reden de duurdere meerlampsarmaturen toe te passen.

Het voordeel van éénlampsarmaturen is dat deze optimale condities geven voor de vorm, de constructie, de afmetingen en het gewicht,

de prijs en ook voor het optisch rendement. Dit geldt vooral bij de huidige tendens voorschakelapparatuur in de armaturen onder te brengen. Uit dit oogpunt is het jammer als alleen ten behoeve van nacht- en avondschakeling naar meerlampsarmaturen moet worden teruggegaan. Het is daarbij goed te realiseren dat installaties met tweelampsarmaturen voor toepassing van avond- en nachtschakeling niet altijd grote voordelen in energiegebruik opleveren ten opzichte van installaties met éénlampsarmaturen, die dan de gehele nacht ontstoken blijven.

Vergelijkt men een armatuur met twee kwiklampen 80 W met nachtschakeling (bijv. van 24.00 uur tot 06.00 uur) met een armatuur met een kwiklamp van 125 W zonder nachtschakeling, dan blijkt dat het energiegebruik gelijk is. Wat men aan de ene kant wint door het uitschakelen van één lamp gedurende de halve nacht, verliest men weer door het lage rendement van de installatie. Opgemerkt wordt dat de totale lichtstroom van twee lampen van 80 W ongeveer gelijk is aan één lamp van 125 W.

Een andere manier is, om in een installatie van openbare verlichting in de nacht (bijv. na 24.00 uur) om de andere lamp uit te schakelen. Dit levert een zeer grote ongelijkmatigheid van het luminantiepatroon op, en dit dient alleen al daarom te worden ont-raden. Bovendien is de elektrische installatie duur, want er moeten speciale signaalleidingen toegevoerd. Tenslotte kan het uitschakelen van bepaalde lampen tot ongewenste juridische consequenties leiden.

2. Verandering van het tijdstip van in- en uitschakeling van de verlichting

Een recente studie heeft uitgewezen dat dit inderdaad winst kan opleveren, mits men het moment van in- en uitschakelen bepaalt aan de hand van het op dat moment aanwezige lichtniveau afkomstig van het daglicht. Veel moet men zich van die winst niet voorstellen, omdat in de schemering het lichtniveau van het daglicht wordt verdubbeld, resp. gehalveerd per tijdinterval van ongeveer 4 minuten. Er is echter een belangrijke "psychologische" winst te boeken. Wat

men zeker niet moet doen, is gewoon een kwartier later inschakelen, hetgeen in 1973/74 alom werd gepropageerd. Dit levert een gevaarlijke situatie op, vooral in de winter wanneer spitsverkeer (met vaak nog veel schoolgaande kinderen) in de duisternis of de "donkere" schemering valt.

3. Toepassen van armaturen met goed verlichtingsrendement

De ontwikkeling van armaturen met goede optieken verhogen de verlichtingsrendementen, hetgeen kan leiden tot vergrote paalafstanden. Duidelijk van belang uit oogpunt van energie- en financiële besparingen. Maar juist in deze tijd, nu we energie willen besparen, wordt nogal eens aangedrongen op het toepassen van armaturen "oud model", waarvan het verlichtingsrendement zeker niet optimaal is, of van inefficiënte armaturen van moderne vormgeving. De toepassing hiervan is alleen verantwoord wanneer het aspect "sfeer" duidelijk de overhand dient te hebben.

Interessant is het, om deze paragraaf te besluiten met de conclusies en slotopmerkingen, gepubliceerd door de Nederlandse Stichting Verlichtingskunde in Elektrotechniek 52 (1974) nr. 4.

"Het aandeel van de openbare verlichting in het totale energieverbruik is zeer gering. Hierdoor kan een besparing op de openbare verlichting nauwelijks tot een vermindering van het energieverbruik bijdragen.

Het is niet zinvol om aanbevelingen, die zijn gebaseerd op de waarnemingsmogelijkheden van autobestuurders, te wijzigen op grond van een energiecrisis. Wel kan het nodig blijken dat niet volledig aan de aanbevelingen wordt voldaan. De consequenties hiervan ten aanzien van veiligheid, vlotheid en comfort dienen dan te worden afgewogen tegen eventuele voordelen die voortvloeien uit de energiebesparing. Voor verlichting van alle verkeerswegen behalve rurale autosnelwegen geldt op basis van het bovenstaande dat iedere reductie geacht kan worden ten koste te gaan van de verkeersveiligheid, zulks met uitzondering van enkele verkeerstrajecten gelegen in stadsdelen die bijvoorbeeld om representatieve redenen op een hoger niveau dan vereist voor verkeersveiligheid zijn verlicht. In de be-

bouwde kom kan een reductie van de verlichting bovendien ten koste gaan van de burgerlijke veiligheid.

Door een wijziging van de in- en uitschakeltijden kan slechts in geringe mate een besparing op het energieverbruik worden verwacht. Een wijziging van de schakeltijden kan de verkeersveiligheid nadelig beïnvloeden, vooral wanneer het piekverkeer tijdens de schemering plaatsvindt.

Het toepassen van avond/nachtschakeling dient te worden beperkt tot de uren tussen middernacht en 6 uur 's morgens. De keuze van de 's nachts uit te schakelen lampen moet zorgvuldig geschieden aan de hand van de geometrie van de installatie.

Het vervangen van lampen door lampen met een kleiner energieverbruik is slechts in enkele bijzondere gevallen mogelijk.

Bij kritieke punten, zoals bijvoorbeeld rotondes en kruispunten en bij voetgangersoversteekplaatsen mag de verlichting niet worden gereduceerd.

Onderzoek op lange termijn moet leren hoe bij onverminderd handhaven van de kwaliteit van de openbare verlichting op energie kan worden bespaard."

4.3. De baten van openbare verlichting

4.3.1. Algemeen

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 bijv. het aanbrenge 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 schadeongevallen 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.

Deze "statistic" is voorgesteld in de CIE-publikatie 8 (CIE, 1960) en wordt sindsdien vrij algemeen gebruikt. De gedachte is dat de algemene trends in de verkeersontwikkeling, waarmee bij voor/na-studies steeds rekening moet worden gehouden, voldoende in rekening worden gebracht door de dag/nacht-verhoudingen voor en na te vergelijken. Hieraan kleven twee ernstige 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 de voor- en na-studies te combineren met een studie waarbij een "controlegroep" wordt gebruikt (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 aanbrenge 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 de lichtmasten. Wanneer dit aantal aanzienlijk is, en wanneer men aanneemt dat de kans op een ongeval evenredig is met de verkeersintensiteit, dan kan een vertekend beeld ontstaan. De mate van die vertekening blijkt uit de volgende uitwerking. Stel - de ongevallenkans zonder openbare verlichting is overdag p ,

's nachts ep

- het verkeer is overdag df , 's nachts f

- de reductie door openbare verlichting 's nachts c (dus $c < 1$)

- de relatieve toename door botsingen b (dus $b > 1$)

Dan zijn de aantallen ongevallen

A: $fpecb$

B: fep

a: $afpb$

b: dfp

De "statistic" k wordt dan

$$k = \frac{Ab}{Ba} = \frac{fpecb}{fep} \cdot \frac{dfp}{dfpb} = c$$

Op deze manier is dus de invloed van het botsingsgevaar geëlimineerd uit de berekening. Dit is natuurlijk niet onjuist wanneer men c (of k) wil weten. Om een indruk te krijgen over het totale effect van het plaatsen van openbare verlichting is het beter het verschil in ongevallen voor en na te bekijken, dus

$$K = A + a - B - b = fpecb + dfpb - fep - dfp$$

$$K = fp (ecb + db - e - d)$$

De vraag is nu: wanneer is $K < 0$ (dus een afname van ongevallen). De grens is $K = 0$. Dus f en p hebben geen invloed: de absolute waarden van dagintensiteit en ongevallenkans. Men kan slechts één van de factoren bepalen wanneer de andere vier bekend zijn. Als voorbeeld: stel $e = 3$; $c = 0,7$; $b = 1,04$; (redelijke waarde) en $K = 0$. Men vindt dan $d = 20$. Dus wanneer de verkeersintensiteit overdag minder dan 20 x zo groot is als die 's nachts, vindt men een positieve bijdrage van de verlichting.

De aanname hierboven was dat p , d en f niet veranderen gedurende de proef, d.w.z. gelijk zijn gedurende de gehele voor- en de gehele naperiode. In de hierna genoemde voorbeelden is hiermee niet steeds 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.

En ten derde is de "statistic" k minder maatgevend dan soms wordt gemeend. Uiteraard heeft k - wanneer tenminste de juiste gegevens worden gebruikt - direct het reductiepercentage weer dat is gevonden bij de betreffende proefneming. Wanneer men echter probeert om dit gegeven te generaliseren, d.w.z. ook toepasbaar te verklaren voor andere gevallen, dan moet men ermee rekening houden dat ongevallen als een kansverschijnsel moeten worden opgevat. Dit betekent dat, wanneer men dezelfde proef onder identieke omstandigheden zou uitvoeren, het gevonden reductiepercentage niet hetzelfde zou zijn. Statistisch drukt men dit uit dat men de "nulhypothese: er is geen

verbetering" al dan niet verwerpt (met een bepaalde overschrijdingskans). Wanneer men concludeert dat de nulhypothese verworpen dient te worden, dan moet men echter niet denken dat daarmee de hypothese is bevestigd dat het reductiepercentage precies zo groot is als het percentage dat gevonden is bij de specifieke proefneming. Wat men zou moeten doen is aangeven wat de betrouwbaarheidsgrenzen zijn van k (bijvoorbeeld: met de betrouwbaarheidsgrenzen van $\pm 5\%$ liggen de waarden van k tussen ... en ...).

Met dit laatste punt in gedachten dient men derhalve de verderop gegeven voorbeelden als volgt te interpreteren: uit de incidentele proef is een bepaald reductiepercentage geconstateerd. In een aantal gevallen kan worden berekend dat de kans dat dit percentage gegeneraliseerd afwijkt van 0, groter is dan 95% (wanneer 5% als eenzijdige overschrijdingskans is genomen). Men zegt dan vaak: een reductie is geconstateerd met een significantie van 5%. Dit betekent dus niet dat het reductiepercentage - gegeneraliseerd - zo groot is als het gegeven percentage.

Dit alles geldt voor die gevallen waarbij van een flinke reductie in de ongevallen sprake is. Zoals gezegd gaat dit op voor die gevallen waarbij bijvoorbeeld in de voorperiode geheel geen, of zeer slechte verlichting aanwezig was, en in de naperiode goede of tenminste behoorlijke.

4.3.2. De relatie tussen verlichtingsniveau en verkeersveiligheid

Men kan natuurlijk ook een heel andere weg inslaan. Wanneer men stelt dat de functie is van verkeersverlichting 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 ken-

merken 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 enz., totdat men aan de eindwaarde komt. Onderwijl wordt, o.a. door controlegroepen te bestuderen, met geleidelijke, algemene verandering in het ongevallenpatroon rekening gehouden. Wanneer men op hetzelfde moment verschillende wegen met \bar{L}_1 , \bar{L}_2 , \bar{L}_3 voorziet, kunnen alle proeven tegelijk worden genomen, zodat de totale tijdsduur van de proeven niet te groot hoeft te worden. 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, uitsluitend over ongevallen waarbij doden zijn gevallen. Uit de in verderop 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. In de hierna volgende tabel 7 zijn een aantal gegevens opgenomen. Zoals gezegd, deze manier is voor de praktijk veel te duur. Voor- en nastudies kan men dan ook alleen gebruiken wanneer er grote effecten te verwachten zijn.

De voor een dergelijke proef benodigde weglengte kan als volgt worden berekend.

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 populatie gemiddelde 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):

$$p = 365 \cdot 50000 \cdot 1,5 \cdot 10^{-8} = 0,274 \quad \text{dus ca. } 0,27$$
$$\text{resp. } p = 365 \cdot 17000 \cdot 4,5 \cdot 10^{-8} = 0,279$$

Wanneer men aanneemt dat 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 tabel 7.

Aangezien bij de berekeningen uitgegaan is van etmaal-gemiddelden voor het verkeer, geldt het resultaat ook voor de dag- en nachtsituatie in totaal. Bij het bestuderen van de nachtsituatie dienen de getallen in tabel 7 verhoogd te worden volgens de verhouding verkeer totaal / verkeer bij nacht, eventueel gecorrigeerd voor een verschil in ongevallenquotient.

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

Tabel 7.

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.

4.3.3. 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 betekend, en zijn nooit vergelijkingen op controlewegen gerapporteerd. Ook over de technische verwerking - en daarmee over de statistische betrouwbaarheid - is weinig bekend; meestal zijn alleen "spreidingen" opgegeven, zonder dat precies is aangegeven wat daarmee is bedoeld. Anderzijds is er weinig reden om aan te nemen dat er bewust bedrog is gepleegd; er zijn geen aanwijzingen dat er studies zijn verzwegen omdat de resultaten niet klopten met de hypothese. De meest recente van de vele verzamelingen van gegevens is die welke binnenkort door de OECD zal worden uitgebracht (Road Safety at Night, Final report of a Road research group, Paris, 1980, in druk). Een nog uitgebreidere studie is in bewerking bij de Commission Internationale de l'Eclairage CIE.

We zullen hier een samenvatting laten volgen van die delen van het OECD-rapport die voor ons onderwerp van concreet belang zijn.

A. Straatverlichting binnen bebouwde gebieden

Er zijn een groot aantal studies verricht die gaan over de effectiviteit van straatverlichting.

- Een Engelse studie gaf de volgende ongevallenratio's (uitgedrukt in de dag/nacht verhouding)

- . daglicht 1,0 (definitie!)
- . goede openbare verlichting 1,3
- . normale openbare verlichting 1,6
- . slechte openbare verlichting 1,8
- . geen openbare verlichting 2,0

- In een aantal andere studies wordt aangegeven dat na aanbrengen van goede openbare verlichting het aantal nachtelijke ongevallen met 20% tot 40% was afgenomen.
- Uit een studie in Hamburg uitgevoerd bleek dat bij een verdubbeling van de wegdekkluminantie het aantal nachtelijke ongevallen met 10% afnam, terwijl in dezelfde periode op wegen waarbij de verlichting niet veranderd was, het aantal nachtelijke ongevallen met ca. 1% was afgenomen.
- In de winter van 1973/74 is in Engeland de straatverlichting globaal gehalveerd. Dit resulteerde in een toename van 12% van de ongevallen met doden en met gewonden, vergeleken met de winter van 1972/73. In 1973/74 was echter het verkeer met 10% afgenomen, en het aantal dagongevallen was met 6% afgenomen.
- In november 1974 is in Florida op een belangrijke weg de verlichting verminderd. Uit een voor- en nastudie bleek dat de ongevallen met ca. 10% toenamen.
- Voorts worden in het OECD rapport een aantal studies samengevat afkomstig van de CIE. Deze zijn gegeven in Tabel 8.

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%	?

Tabel 8. Invloed van verlichting op nachtongevallen: Wegen voor gemiddeld verkeer binnen bebouwde kommen.

- Tenslotte nog een studie over bijna alle grote steden in Denemarken. Daar werd geconcludeerd dat "een theoretische berekening aangaf dat de geconstateerde toename van ongevallen bij duisternis voor het hele land zou neerkomen op 700 ongevallen met letsel. Het is zeer waarschijnlijk te achten dat het extra gevaar dat in 1974 is geconstateerd, veroorzaakt is door de vermindering van de straatverlichting, maar ook andere oorzaken zoals weersomstandigheden konden wellicht een hoofdoorzaak zijn. Eventuele beslissingen hangen af van de vergelijking tussen de relatieve belangen van een aanzienlijke maar niet precies bekende toename van de nachtongevallen enerzijds en de energiekosten voor openbare verlichting anderzijds".

B. Wegverlichting buiten bebouwde kommen

Ook hier zijn een aantal studies van belang.

- In Zweden bleek dat op onverlichte kruispunten 40-50% van de ongevallen 's nachts plaatsvinden, op verlichte kruispunten daarentegen slechts 30%.
- In Frankrijk zijn vrijwel identieke resultaten gevonden.
- Uit een grote studie in de VS betreffende een groot aantal rurale kruispunten bleek dat na het aanbrengen van openbare verlichting het aantal nachtongevallen terugging van 1,89 tot 0,91 (uitgedrukt in ongevallen per miljoen voertuigen die de kruising bereden).
- Ook hier weer zijn gegevens afkomstig van de CIE opgenomen. Zie Tabel 9 en Tabel 10.

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

Tabel 9. Invloed van verlichting op nachtongevallen: Wegen voor gemengd verkeer buiten bebouwde kommen.

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%	+

Tabel 10. Invloed van verlichting op nachtongevallen: Autosnelwegen.

Het genoemde OECD-rapport bevat tenslotte een aanbeveling om, gezien de positieve effecten op de verkeersveiligheid, goede openbare verlichting aan te brengen op de meest belangrijke wegen en straten.

5. AANBEVOLEN LITERATUUR

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.

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

CIE. Street lighting and accidents. Publ. No. 8. Paris (1960).
Commission Internationale de l'Eclairage CIE. (Nieuwe druk in voorbereiding.)

CIE. Compte rendue 18e Session, London, 1975. Paris (1976) CIE.

CIE. Recommendations for the lighting of roads for motorised traffic. Publ. No. 12-2. Paris (1977) CIE.

CIE. Compte rendue 19e Session, Kyoto, 1979. (In druk).

Elenbaas, W. Light sources. (1972) MacMillan.

LITG Lichttechnische Gemenschaftstagung 13-16 juni 1978, Amsterdam.
Lichttechnische Gesellschaft.

NSVV. Richtlijnen en aanbevelingen voor openbare verlichting.
Elektrotechniek 52 (1974) nr. 15; 53 (1975) nr. 2, nr. 5. (Aanvulling daarop: Het lichtniveau van de openbare verlichting in de bebouwde kom. Elektrotechniek 55 (1977) 90-91).

OECD. Lighting, visibility and accidents. Paris (1971). Organisation for Economic Coordination and Development OECD.

OECD. Adverse weather, reduced visibility and road safety. Paris (1976) OECD.

OECD. Road safety at night. Paris (1980) OECD. (In druk).

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

SCW. Wegverlichting en oppervlaktetextuur. Arnhem (1974) Stichting Studiecentrum Wegenbouw SCW.

SWOV. Stads- en dimlichten binnen de bebouwde kom. Voorburg (1969) Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV.

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).