

## Verlichting voor het verkeer, deel 2

*Openbare verlichting*

# Documentbeschrijving

Rapportnummer: R-95-35B  
Titel: Verlichting voor het verkeer, deel 2  
Ondertitel: Openbare verlichting  
Auteur(s): Dr. ir. D.A. Schreuder  
Onderzoeksmanager: Mr. P. Wesemann  
Projectnummer SWOV: 74.114  
Opdrachtgever: Het onderzoek waarvan dit rapport verslag doet werd uitgevoerd in het kader van de jaarlijkse doelsubsidie van het ministerie van Verkeer en Waterstaat aan de SWOV.

Trefwoorden: Lighting (street), luminance, light intensity, efficiency, safety, traffic, perception, eye movement, vision, attention, road user, visibility, behaviour.

Projectinhoud: Bundeling van verzamelde geschriften, verspreid over een aantal jaren over de achtergronden van waarneming in het verkeer op het gebied van openbare verlichting.

Aantal pagina's: 119  
Prijs: f 35,-  
Uitgave: SWOV, Leidschendam, 1995

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV



Stichting  
Wetenschappelijk Onderzoek  
Verkeersveiligheid  
SWOV  
Postbus 1090  
2260 BB Leidschendam  
Duindoorn 32  
telefoon 070-3209323  
telefax 070-3201261

## Voorwoord

De auteur van de in deze bundels verzamelde geschriften heeft, verspreid over een aanzienlijk aantal jaren, een vrij groot aantal publikaties het licht doen zien op het gebied van de openbare verlichting. Het merendeel van deze publikaties is door de SWOV als ‘rapport’ uitgegeven; een aanzienlijk deel als tijdschriftartikel of als congreslezing (vaak in ‘proceedings’), terwijl sommige stukken nooit formeel zijn gepubliceerd. Tezamen vormen deze publikaties een tamelijk volledig beeld van het vakgebied van de openbare verlichting.

Omdat veel van de publikaties moeilijk, of zelfs in het geheel niet meer, verkrijgbaar zijn, en omdat het materiaal over een aantal los van elkaar staande publikaties is verdeeld, heeft de SWOV besloten een verzamelband samen te stellen. Deze verzamelband heeft het karakter van een ‘reader’; dat wil zeggen, de geselecteerde publikaties (of soms delen ervan) zijn ongewijzigd gebruikt en vervolgens bijeen gevoegd. In sommige gevallen is de oorspronkelijke taal van de betreffende publikatie aangehouden; ook zijn veelal de paragraafnummers en de literatuurverwijzingen gehandhaafd. Om deze heterogene verzameling toch tot een samenhangend geheel te maken, zijn op de daartoe geëigende plaatsen korte voorwoorden tussengevoegd.

De bundeling bestaat uit twee delen. In het eerste deel *Zicht en licht voor openbare ruimten* worden de achtergronden van waarneming in het verkeer behandeld; in het tweede deel, *Openbare verlichting* wordt meer op de praktische kanten van de openbare verlichting ingegaan.

Leidschendam, 1995



# Inhoud

<i>Voorwoord</i>	3
<i>B. Openbare verlichting</i>	6
<i>B.I.A. Algemeen</i>	7
<i>B.I.B. Functie van openbare verlichting</i>	20
<i>B.I.C. Kwantificering</i>	23
<i>B.I.D. Luminantietechniek</i>	28
<i>B.I.E. Reflectie van wegdekken</i>	32
<i>B.II.A. Kenmerken en aanbevelingen van wegtypen</i>	40
<i>B.II.B. Kwaliteitscriteria</i>	52
<i>B.II.C. Nieuwe ontwikkelingen</i>	56
<i>B.III. Doeltreffendheid</i>	62
<i>B.III.A. Ongevallen</i>	63
<i>B.III.B. Criminaliteit</i>	82
<i>B.III.C. Beleving</i>	86
<i>B.IV. Doelmatigheid</i>	90
<i>Literatuur</i>	103

## B. Openbare verlichting

Deel B betreft vooral de praktische kanten van de openbare verlichting. Aangezien het in eerste instantie gaat om een neerslag van onderzoek dat bij de SWOV heeft plaatsgevonden, staan algemene gezichtspunten meer centraal, en in het bijzonder aspecten van de verkeersveiligheid.

Een gedetailleerde bespreking van het ontwerp van verlichtingsinstallaties komt niet aan de orde; wel een aantal gedachten die er aan ten grondslag liggen, zoals het karakter van het meten en berekenen van lichttechnische karakteristieken.

Ook de relatie met automobielerlichting komt aan de orde, zij het meer zijdelings.

## B.I.A. Algemeen

In het onderdeel B.I.A. komen algemene gezichtspunten aan de orde die aan de basis liggen van de openbare verlichting. De onderliggende relatie tussen voertuigverlichting en openbare verlichting wordt besproken; daarbij wordt onder 'voertuigverlichting' verstaan, de met het verkeer meestralende verlichting door middel van autokoplantaarns (meestal op de dimstand geschakeld).

Openbare verlichting wordt gewoonlijk symmetrisch ten opzichte van de lengterichting van de weg uitgevoerd, maar door de kenmerkende lichtreflectie van wegdekken komt de nadruk te liggen op het tegenstralende effect. Tegenstraling, mee-straling en hun interacties worden besproken, alsmede de waarneembaarheid van objecten in termen van 'revealing power' en 'small target visibility'. Daarbij komen begrippen als de adaptatietoestand, de verblinding en de gelijkmatigheid aan de orde. Ten slotte wordt aandacht besteed aan het 'vraag-en-aanbod' model.

Het onderdeel B.I.A is aan een SWOV-rapport uit 1992 (R-92-64) ontleend, en kan dus als redelijk 'up-to-date' worden beschouwd.

### 3.4. De techniek van de openbare verlichting

#### 3.4.1. *De rol van kunstmatige verlichting*

##### 3.4.1.1. Openbare verlichting en voertuigverlichting

Overdag wordt de waarneembaarheid van visueel kritische elementen gewoonlijk gewaarborgd door een combinatie van het alzijdig invallende daglicht en de opzettelijk aangebrachte markeringen en signalen. Bij duisternis is het merendeel van de kenmerken onzichtbaar, zodat een kunstmatige verlichting moet worden aangebracht. Deze verlichting kan op twee wijzen plaatsvinden: de verlichtingsmiddelen kunnen aan of bij de weg worden aangebracht (openbare of straatverlichting); ook kunnen de verlichtingsmiddelen aan de voertuigen bevestigd worden (voertuig - of automobiilverlichting). De eerste geeft aanzienlijk meer mogelijkheden om de waarneembaarheid van visueel kritische elementen te waarborgen dan de tweede; daar staat tegenover dat deze soort van verlichting gepaard gaat met aanzienlijke kosten van aanleg en bedrijf - kosten die bovendien ten laste komen van de wegbeheerder. De tweede, de voertuigverlichting, is alleen toepasbaar voor voertuigen die over een aanzienlijk motorvermogen beschikken, en komt voor fietsen nauwelijks en voor voetgangers helemaal niet in aanmerking. Bovendien is het niet mogelijk om de weg over een aanzienlijk stuk voor het voertuig uit op een behoorlijke wijze te verlichten - zeker niet wanneer rekening wordt gehouden met de mogelijkheid dat eventuele tegenliggers worden verblind. Aan de andere kant is deze verlichting tamelijk goedkoop, terwijl de kosten door de weggebruikers worden gedragen.

De openbare verlichting heeft kenmerken die veel lijken op die van het daglicht: de verlichting valt vrijwel alzijdig in, zodat voorwerpen vooral waarneembaar worden door het contrast met hun directe achtergrond. Dit contrast wordt bepaald door de verlichtingssterkten op de oppervlakken en door de (diffuse) reflectiecoëfficiënten van object en achtergrond. Omdat kleurverschillen meestal slechts een ondergeschikte rol spelen in het verkeer, hoeft bij de bepaling van het contrast alleen met het luminantiecontrast rekening te worden gehouden; het eventuele kleurcontrast kan meestal worden verwaarloosd. Een uitzondering vormt het wegdek met alles wat erop is aangebracht (met name wegmarkeringen) in geval van regen: natte wegen hebben een sterk spiegelende reflectie waardoor de herkenbaarheid van vele voorwerpen - met name van de wegmarkeringen - sterk te lijden heeft. Overigens bestaan er speciale maatregelen en constructiemethoden (poreus asfalt; geprofileerde wegmarkeringen) waarmee dit gevaar afdoende kan worden bezworen.

De waarneembaarheid van het overgrote deel van de voor het verkeer van belang zijnde visueel kritische elementen is afdoende gewaarborgd wanneer aan de relevante lichttechnische eisen is voldaan. Voor zelf lichtgevende of retroreflecterende elementen (signaallichten en markeringen) gelden de door de Commission Internationale de l'Eclairage in samenwerking met de internationale regelgevende instanties (EG, ECE, ISO) uitgebrachte eisenpakketten. Deze eisen betreffen de intensiteit, resp. de retroreflectiecoëfficiënt, de kleur, de afmetingen, de vorm en de locatie van signaallichten en markeringen.



Wat betreft de openbare verlichting gelden de door de CIE gestelde eisen. Deze eisen betreffen het gemiddelde niveau van de wegdeklluminantie, de gelijkmatigheid van het luminantiepatroon en de verblinding.

Bij dit alles moet echter worden bedacht dat ook onder 'ideale' zichtomstandigheden bepaalde visueel kritische elementen onzichtbaar blijven, of tenminste niet worden gezien. Het is niet bekend in hoeverre hier sprake kan zijn van tekorten in de waarneembaarheid zelf of eerder tekorten in de aandacht van de verkeersdeelnemers. Het betekent wel dat ook onder overigens 'ideale' zichtomstandigheden nog verkeersongevallen plaatsvinden die rechtstreeks met de visuele input te maken hebben.

Anders is het bij wegen zonder openbare verlichting. Reeds is aangegeven dat men zich dan moet behelpen met de door de vervoermiddelen meegevoerde verlichting. Voetgangers voeren meestal geen licht, en ook retroreflecterende materialen worden niet op grote schaal meegevoerd. Fietsen kunnen licht voeren, maar dat licht kan, gezien het beschikbare elektrische vermogen, slecht zwak zijn, zodat het voor het 'zelf' verlichten van de weg vooruit nauwelijks voldoende is - ofschoon de nieuwe halogeenlampen dit aanmerkelijk hebben verbeterd. Wel worden op grote schaal retroreflecterende materialen meegevoerd. Auto's, motoren en tot zekere hoogte ook bromfietsen zijn nauwelijks beperkt in het voor de verlichting beschikbare vermogen. Toch zijn de mogelijkheden voor een behoorlijke verlichting op korte afstand voor het voertuig slechts beperkt, en op grote afstand onmogelijk. Dit heeft te maken met de geometrie van het voertuig op de weg, en daarmee samenhangend met de noodzaak om het verblinden van eventuele tegenliggers voor zover mogelijk te beperken. Zowel de theorie alsook de praktijk leert dat lang niet alle visueel kritische elementen met behulp van voertuigverlichting waarneembaar kunnen worden gemaakt: het ongevalrisico op onverlichte wegen is vele malen hoger dan het risico op dezelfde wegen overdag - vooral voor fietsers en voetgangers. Wanneer voorts de weg nat is, wordt de waarneembaarheid - zoals hierboven reeds is aangegeven - nog extra gereduceerd. Ook is reeds gewezen op het belang van poreus asfalt en van geprofileerde wegmarkeringen.

#### 3.4.1.2. Verkeersaspecten

Het huidige maatschappelijke bestel is zeer gecompliceerd. Vooral door het in ruimtelijke zin vaak ver uiteen liggen van plaatsen waar de produktie en de consumptie plaats vinden, is er een grote stroom van vervoer van goederen ontstaan. Verder is er sprake van een decentralisatie van het wonen en tegelijk een concentratie van het werken. Dit levert een grote stroom op van 'woon-werkverkeer'. En tenslotte is er het recreatieverkeer. Verreweg het grootste deel van dit verkeer speelt zich op de weg af. Andere verkeerswijzen (rail, water en lucht) leveren slechts een geringe, en in vele opzichten verwaarloosbare, bijdrage tot het geheel. Het wegverkeer bestaat wat betreft het aantal voertuigen, de voertuigkilometers en de reizigerkilometers voor het grootste deel uit de particuliere personenauto's; wat betreft de massa (het tonnage) van de vervoerde goederen zijn uiteraard de vrachtauto's van belang. In par. 2.1 zijn enige gegevens dienaangaande gepresenteerd, alsmede de gedachten over de toekomstige ontwikkelingen daarin.

Het verkeer heeft verkeersvoorzieningen nodig. Deze voorzieningen zijn van verschillende aard: de wegen met alle erbij behorende hulpmiddelen - waartoe onder meer de open-

bare verlichting behoort; de voertuigen (vooral de auto's), met de daarbij behorende hulpmiddelen, en de verkeershulpmiddelen nodig voor de afwikkeling van het verkeer.

### 3.4.2. Adaptatietoestand

#### 3.4.2.1. De gemiddelde wegdekkluminantie

Openbare verlichting dient voor het zichtbaar maken van die objecten die zichtbaar moeten zijn, Verderop gaan we dieper op deze materie in. Hier bespreken we kort de aan de orde komende techniek.

De waarneembaarheid van een object hangt in beginsel van drie dingen af:

- de waarnemer (gezichtsvermogen, leeftijd, attentie, motivatie enz);
- het object (grootte, vorm, kleur, contrast ten opzichte van de achtergrond, enz.);
- de adaptatietoestand (de 'gevoeligheidsinstelling' van het visuele systeem).

De waarnemer is voor de verlichtingskundige een gegeven waarop hij geen invloed heeft. De objecten worden deels expres aangebracht (wegmarkeringen enz), en die zijn dus te beïnvloeden, maar ook zijn het deels 'toevalligheden' (uitlaatpijpen); ook die onttrekken zich aan de invloed van de verlichtingskundige. Wel is het contrast ervan te beïnvloeden; zie par. 3.4.2.3 waar we tegenstralende verlichting bespreken. De adaptatietoestand is echter direct te beïnvloeden door het luminantieniveau te kiezen. Deze twee hangen immers direct samen (Gregory, 1970; Le Grand, 1956; Schober, 1960; Schreuder, 1988b).

Dit levert dan meteen de belangrijkste karakteristiek van de wegverlichting op: het *gemiddelde niveau van de wegdekkluminantie*. Daarbij moet men bedenken dat de gemiddelde wegdekkluminantie gekozen is als *benadering* voor de adaptatietoestand. Wanneer men een perspectiefisch beeld van een verkeersweg maakt op de wijze zoals die zich voordoet aan een bestuurder van een motorvoertuig, is het duidelijk dat het wegdek een aanzienlijk deel, maar zeker niet het grootste deel van het gezichtsveld beslaat, zeker niet wanneer de bestuurder globaal gesproken recht vooruit kijkt - iets wat in het verkeer als de meest gebruikelijke kijkrichting kan gelden. In feite is deze richting ook als *standaardrichting* gedefinieerd, zij het dat de ogen één graad naar beneden gericht zijn. Deze hoek is van belang bij de hierna te bespreken meet- en rekensystemen voor openbare verlichting (par. 3.5). Er is echter nog een tweede reden om de gemiddelde wegdekkluminantie te beschouwen als het meest representatieve criterium voor de wegverlichting, namelijk het feit dat het wegdek een achtergrond kan vormen voor eventuele obstakels. Daarop komen we in de volgende paragraaf terug.

De gemiddelde wegdekkluminantie is gekozen als belangrijkste ingang voor aanbevelingen en richtlijnen voor openbare verlichting (CIE 1965, 1977, NSvV, 1957; 1974/75; 1977, 1990), vooral als belangrijkste grootheid voor het ontwerp van verlichtingsinstallaties voor wegen, uitsluitend of in hoofdzaak voor het (gemotoriseerde) snelverkeer (CIE, 1977; NSvV, 1990).

### 3.4.2.2. De revealing power

Bij het voorafgaande moet worden aangetekend dat de gemiddelde wegdeklluminantie natuurlijk niet meer is dan een *interveniërende variabele*: de kwaliteit van de wegverlichting als maatregel ter voorkoming van verkeersongevallen dient natuurlijk in een maat te worden uitgedrukt die rechtstreeks in verband kan worden gebracht met het aantal (of de ernst) van de ongevallen. In het verleden heeft men vaak gesteld dat voor deze maat de zgn. 'revealing power' kan worden gebruikt. Dit begrip is in de dertiger jaren ingevoerd door Waldram (1938) en door Knudsen (De Boer & Knudsen, 1963; Knudsen, 1968; zie ook Vermeulen & Knudsen, 1968 en De Boer (ed.), 1967) en Van Bommel (1978) verder is uitgewerkt. De revealing power wordt meestal gedefinieerd als het percentage voorwerpen dat nog te zien is (soms ook: nog duidelijk te zien is) wanneer voorwerpen van 30 cm vierkant op willekeurige plaatsten op de weg worden geplaatst, waarbij de (diffuse) reflectiefactor van de voorwerpen de statistische verdeling volgt van de kleding van voetgangers. Omdat bij de beschouwingen over de revealing power steeds uitgegaan is (en uitgegaan moet worden) van stationaire objecten, is men geleidelijk gaan inzien dat de revealing power toch niet zo geschikt is om als de bedoelde maat te worden gebruikt. Daarom beperkt men zich in Europa (en in de meeste andere landen van de wereld toch maar tot de gemiddelde wegdeklluminantie, ook al heeft deze maat zijn beperkingen. Zie verder Hautala & Simons (1991).

Recentelijk heeft men echter in Noord Amerika de draad van de revealing power weer opgepakt. De reden is dat men naar een systeem van meestralende verlichting over wil gaan, omdat men vermoedt dat op deze wijze de interferentie tussen voertuigverlichting en openbare verlichting tot een minimum kan worden beperkt (zie IES, 1988). De mogelijke interacties zijn behandeld in par. 3.4.1.1; de meestralende verlichting is besproken in par. 3.4.2.3. De tweede reden voor de belangstelling voor de revealing power is het beschikbaar zijn van PC's, waarmee de noodzakelijke berekeningen heel gemakkelijk en in zeer korte tijd kunnen worden uitgevoerd - een praktisch argument, maar niet een argument van fundamentele betekenis. Als maat voor de revealing power wordt gekozen het percentage zeer kleine objecten (10 cm) dat zichtbaar is; vandaar de aanduiding 'Small Target Visibility' (STV).

Een belangrijk voordeel van de STV-benadering is, dat er slechts een enkele kwaliteitsmaat nodig is. De waarneembaarheid van kleine objecten wordt immers mede beïnvloed door de ongelijkmatigheid van het luminantiepatroon en door de verblinding (de 'disability glare'). Deze twee invloeden kunnen zonder meer in de waarneembaarheid worden opgenomen. Volgens het CIE-systeem heeft men echter drie variabelen (drie criteria) nodig (zie ook par. 3.4.6).

Volgens de opvatting van velen is echter de relevantie van STV voor het wegverkeer gering of zelfs afwezig; het gaat om de waarneembaarheid van stationaire objecten vanuit een stationaire waarnemingspositie, terwijl de objecten zo klein zijn dat ze geen enkel gevaar voor het verkeer kunnen opleveren (CIE, 1992; Schreuder, 1992a).

De Noord-Amerikaanse IES heeft de voorstellen aangenomen; het Amerikaanse nationale instituut voor normalisatie echter niet, zodat ook in Noord Amerika momenteel de luminantie nog wordt gebruikt.

### 3.4.2.3. Symmetrische, tegenstralende en meestralende verlichting

Zoals in par. 3.4.2.1 is aangegeven is het gebruikelijk om in de openbare verlichting, tenminste voor verkeerswegen, de wegdekluminantie als het belangrijkste criterium voor de verlichtingskwaliteit te beschouwen. Hierop is de zgn. *luminantietechniek* gebaseerd (zie De Boer, 1951). De luminantietechniek is in detail beschreven door Schreuder (1964; 1967). Het grondbeginsel van de luminantietechniek is dat de waarneming van objecten op de weg wordt bepaald door de adaptatieluminantie en het contrast.

Nu kan men het licht dat uit de boven de weg gemonteerde armaturen treedt, en dat het wegdek treft, in beginsel op drie wijzen richten:

- tegen de rijrichting van het verkeer in gericht;
- met het verkeer meestralend;
- symmetrisch ten opzichte van de verkeersrichting stralend.

Men noemt deze drie verlichtingswijzen wel de 'tegenstralende verlichting', de 'meestralende verlichting' en de 'symmetrische verlichting'. De discussie over de voor- en nadelen van deze drie verlichtingswijzen wordt vooral gevoerd wanneer het om de verlichting van tunnels gaat. Een gedetailleerde studie is gegeven in Schreuder (1992a). Maar het punt is ook voor de straatverlichting van belang.

De meeste 'gewone' openbare verlichting is symmetrisch; immers in de meeste gevallen is het één en dezelfde verlichtingsinstallatie die het licht voor de twee tegengestelde verkeersrichtingen moet verschaffen. Maar in feite wordt ook de symmetrische openbare straatverlichting als 'tegenstralend' beschouwd. Dit komt omdat vrijwel alle wegdekken, ook in droge toestand, onder de bij wegverkeer gebruikelijke strijkende waarnemingsrichting een sterk spiegelende reflectie vertonen. 'Tegenstralend' is de luminantie (luminance yield) hoger, en vaak veel hoger, dan 'meestralend'. Tegenstraalverlichting leidt onder de gebruikelijke aannamen tot een hogere doeltreffendheid (effectiviteit) van de verlichting (Schreuder, 1967; 1992a).

Zoals in par. 3.4.2.2 is aangegeven, is de meestralende verlichting een nieuwe 'trend' in de openbare verlichting, vooral in de USA. De tegenstraalverlichting kan zich daarentegen verheugen in een grote belangstelling in de alpenlanden voor het verlichten van verkeerstunnels (zie bijv. Blaser, 1990; Schreuder, 1992a). Voor straatverlichting wordt tegenstraalverlichting nauwelijks toegepast, ofschoon de traditionele ('symmetrische') straatverlichting in feite in sterke mate van het tegenstraalprincipe gebruik maakt (zie De Boer (ed.), 1967; Schreuder, 1967).

Bij een onderlinge vergelijking van de drie genoemde verlichtingswijzen komen een aantal aspecten naar voren. In de meeste gevallen vertegenwoordigen de tegenstralende en de meestralende verlichting uiteraard de extremen, terwijl de symmetrische verlichting daartussen in ligt.

- Wanneer men van het spiegelende aandeel van de reflectie van het wegdek gebruik maakt, wordt bij gelijke horizontale verlichtingssterkte op het wegdek een hogere wegdekluminantie bereikt dan bij symmetrische verlichting; bij meestralende verlichting is de luminantie nog lager.

- Bij tegenstralende verlichting wordt de achterkant van eventuele objecten sterker, en de voorkant ervan zwakker verlicht, zodat de luminantie van de objecten lager wordt dan bij symmetrische of bij meestralende verlichting.
- Deze twee effecten te zamen leiden voor tegenstraalverlichting tot een hoger contrast tussen object en wegdek, en dus (meestal) tot een betere zichtbaarheid. dan voor de nadere verlichtingswijzen. Mogelijk kan voor gelijke zichtbaarheid een lager lichtniveau worden geïnstalleerd.
- De visuele geleiding is bij tegenstralende en bij symmetrische verlichting beter dan bij meestralende verlichting, vooral door het feit dat de lichtbronnen zelf (beter) zichtbaar zijn.
- Bij tegenstralende en meestralende verlichting is de lichtverdeling kritischer dan bij symmetrische verlichting. Dit leidt meestal tot een lager armatuurrendement.
- Het luminantiepatroon op het wegdek is bij tegenstralende verlichting minder gelijkmatig dan bij de andere verlichtingswijzen.
- Bij tegenstraalverlichting is de verblinding gewoonlijk veel sterker dan bij symmetrische verlichting. Meestralende verlichting kan vrijwel 'verblindingsvrij' worden uitgevoerd. Er bestaat echter een duidelijke relatie tussen de verblinding en de optische geleiding.

Met twee aspecten is bij dit alles nog geen rekening gehouden.

De eerste is de vraag of de mate waarin verlichting bijdraagt tot de verkeersveiligheid kan worden uitgedrukt in de waarneembaarheid van objecten op de weg.

De tweede is de vraag of een verhoging van de doeltreffendheid ook gepaard gaat met een hogere doelmatigheid (efficiency).

Tenslotte noemen we een aantal publikaties waarin de tegenstraalverlichting op overzichtelijke wijze is beschreven. De belangrijkste zijn: Anon, 1974a; Blaser, 1990; CIE, 1984, 1990; Novellas, 1982; Schreuder, 1979, 1980, 1981, 1992a; Stolzenberg (1984); Walthert (1976, 1977, 1978). De meeste publikaties betreffen tegenstraalverlichting in tunnels.

#### 3.4.2.4. Wegmarkeringen

Een punt dat aparte aandacht verdient is de waarneembaarheid van wegmarkeringen.

De waarneembaarheid van wegmarkeringen op de 'open weg' blijkt vooral bij duisternis problemen op te leveren op wegen zonder openbare verlichting, en dan speciaal bij nat wegdek (al dan niet bij regen). De markeringen worden onder die omstandigheden uitsluitend verlicht door autokoplantaarns - een extreme vorm van 'meestralende' verlichting. Om bij die verlichtingswijze de waarneembaarheid te waarborgen, worden retro-reflecterende elementen (glasparels, hoekspiegels, 'katte-ogen') in de wegmarkering verwerkt. Om de waarneembaarheid ook bij nat wegdek te waarborgen, worden de wegmarkeringen 'geprofileerd'. Op dit gebied bestaat zeer veel literatuur (zie ook par. 3.7.4). Overzichten zijn gegeven in Anon (1982, 1986, 1986a); Blaauw (1983); Blaauw & Padmos (1981); CIE (1983, 1987, 1988); Krause (1979, 1984); Meseberg, ed. (1990); Neis

(1985); Paulmann & Neis (1985); Schreuder (1978, 1980a, 1985d); Tooke & Hurst (1975).

### 3.4.3. *De verlichtingssterkte*

De in de voorafgaande paragraaf genoemde overwegingen zijn opgesteld voor bestuurders van motorvoertuigen, of, met andere woorden, ze gelden voor wegen met (uitsluitend of in hoofdzaak) een verkeersfunctie. In het verleden werd echter het lichtniveau ook voor verkeerswegen uitsluitend in de *gemiddelde horizontale verlichtingssterkte* op het wegdek uitgedrukt. Deze verlichtingssterkte heeft natuurlijk alleen maar een indirecte waarde voor de bepaling van de waarneembaarheid, omdat de luminanties alleen te bepalen zijn wanneer de reflectie van de betreffende voorwerpen bekend zijn. Het niveau van de verlichtingssterkte, en meer in het bijzonder de verdeling van het patroon van de verlichtingssterkte geeft soms een geheel verkeerd idee van de feitelijke verlichting; het is vaak onmogelijk om aan de hand van het patroon van de verlichtingssterkte zich er een beeld van te vormen hoe de weg er bij duisternis uitziet.

Voor wegen met uitsluitend of in hoofdzaak een verblijfsfunctie geldt de overweging voor het adaptatieniveau natuurlijk evenzeer; het wegdek speelt op dat soort wegen echter voor het bepalen van de adaptatietoestand een kleinere rol, en bovendien is - meer in het bijzonder voor voetgangers - de waarnemingsrichting moeilijk te definiëren. Daarom wordt in vele gevallen (vooral voor verblijfsgebieden) het luminantieniveau benaderd door de gemiddelde verlichtingssterkte op het wegdek te nemen als maat voor de adaptatietoestand. Uit de praktijk is gebleken dat voor wegen waar het patroon van de verlichting minder wisselt, en minder kritisch is, zoals voor woonstraten, de verlichtingssterkte nog heel goed als maat voor het lichtniveau kan gelden. Voor deze straten is dit dan ook nog steeds gebruikelijk. Naast het gemak van het meten en berekenen van de verlichtingssterkte voor de bij woonstraten gebruikelijke 'simpele' lichtverdelingen, is er een tweede reden. Omdat - in tegenstelling tot wegen ten behoeve van het gemotoriseerde snelverkeer - het in woonstraten niet van te voren bekend is waar eventuele obstakels kunnen opdoemen, en omdat het niet bekend is wat de kenmerken (de reflectie-karakteristieken) van deze objecten kunnen zijn, is de luminantie nauwelijks beter dan de verlichtingssterkte ter karakterisering van het lichtniveau.

Blijft de vraag hoe de verlichtingssterkte moet worden gekwantificeerd. Het meest gebruikelijk, en het gemakkelijkste, is het gebruik van de horizontale verlichtingssterkte op het vlak van het wegdek - het gemiddelde en het patroon. Dit is gemakkelijk te berekenen en gemakkelijk te meten, en het geeft een globaal beeld van wat men in de straat kan verwachten. Voor een meer nauwkeurige omschrijving van de verlichtingsomstandigheden is een verfijning nodig. Vaak kiest men voor deze verfijning de *semi-cylindrische verlichtingssterkte*. Hieronder wordt verstaan de verlichtingssterkte zoals die wordt gemeten wanneer men de gemiddelde waarde neemt van alle verlichtingssterkten op een verticaal oppervlak, dat de gedaante heeft van een (halve) cilinder. Deze kenschetsing is vooral van belang om de mogelijkheden te kwantificeren voor het *herkennen* van personen, en van hun gezichtsuitdrukking. Zowel de methoden voor berekening en van meting van de semi-cylindrische verlichtingssterkte staan nog in de kinderschoenen, terwijl voor slechts zeer weinig verlichtingsmiddelen de door de fabrikant geleverde documentatie de toepassing ervan bij het ontwerp van verlichtingsinstallaties mogelijk maakt.

In sommige gevallen wordt ook de *verticale verlichtingssterkte* gebruikt. Deze heeft echter de bezwaren van de semi-cylindrische verlichtingssterkte, maar niet al de voordelen, zodat het gebruik ervan voor algemene gevallen in de openbare verlichting niet wordt aanbevolen. Voor speciale gevallen kan deze maat zijn nut hebben, zoals bijvoorbeeld bij tunnelverlichting. Volledigheidshalve vermelden we de *hemisferische verlichtingssterkte* (het gemiddelde over een halve bol met de as recht omhoog). Deze grootte wordt in binnenverlichting veel gebruikt. Ze is voor openbare verlichting niet geëigend, en wordt dan ook niet gebruikt.

#### 3.4.4. De verblinding

Verblinding treedt op wanneer door de aanwezigheid van heldere gedeelten in het gezichtsveld de waarneming wordt bemoeilijkt. Meer in het bijzonder spreekt men van verblinding wanneer er sprake is van een (meestal kleine, heldere) *verblindingslichtbron* die naast het waar te nemen object ligt, en zelf geen rol speelt bij de informatieverschaffing. Op deze wijze omschreven is verblinding steeds een *storend* effect.

Voor de openbare verlichting worden kwantificeerbare beschrijvingen voor de verblinding gehanteerd; in vele gevallen worden voor bepaalde verlichtingsinstallaties bepaalde eisen gegeven voor de verblinding (preciezer: voor de *mate van verblindingsbegrenzing*).

De terminologie is verwarrend. Feitelijk zou men in het Nederlands alleen van verblinding moeten spreken wanneer door de inwerking van de verblindingsbron de waarneming geheel onmogelijk wordt gemaakt; dan is men blind. In het Engels spreekt men dan van 'blinding'. Wij gebruiken de term verblinding echter ook wanneer de waarneming niet onmogelijk is, maar slechts gehinderd. (Engels 'glare'). En soms spreekt men van verblinding wanneer er van een negatieve invloed op de waarneming helemaal geen sprake is, maar alleen van een vermindering van het gemak van waarneming (Engels: *dazzle*). In de Nederlandse verlichtingskunde worden deze drie begrippen in navolging van het Duits gewoonlijk als volgt omschreven:

- absolute verblinding
- fysiologische verblinding (*disability glare* in het Engels)
- psychologische verblinding (*discomfort glare* in het Engels).

De erbij gegeven Engelse termen zijn het Nederlandse taalgebied gemeengoed geworden.

Aangezien bij de 'gewone' openbare straatverlichting de absolute verblinding vrijwel nooit aan de orde komt, zijn daar geen regels voor gegeven.

In het verleden werd de meeste aandacht besteed aan de *discomfort glare* (Adrian & Schreuder, 1968, 1971, 1972; De Boer, ed., 1967; Schreuder, 1967, 1972b). Soms werden aanbevelingen alleen in termen van *discomfort glare* uitgedrukt (NSVV, 1974/75). Meer recent is echter de gedachte dat *disability glare* meer van belang is voor de verkeersveiligheid, en dat de twee verblindingssoorten toch veel gemeen hebben, zodat de restrictie van de een meestal samen gaat met restrictie van de ander. Omdat bovendien de *disability glare* gemakkelijker te bepalen is, wordt daaraan meestal de voorkeur gegeven (Schreuder, 1983). De pas gepubliceerde Aanbevelingen voor Openbare Verlichting van de NSVV geven zelfs in het geheel geen (grens-)waarden op voor de *discomfort glare* (NSVV, 1990). Voor de berekening van de psychologische verblinding is een gecomplici-

ceerde methode in omloop: de 'glare mark' G (het verblindingsbegrenzingsgetal). Deze methode werd in het verleden vrij veel gebruikt.

Tegenwoordig beperkt men zich voor de openbare straatverlichting tot de psychologische verblinding. De effecten van *disability glare* kunnen worden beschreven in termen van een lichtsluier die zich over het gezichtsveld uitstrekt. Voor zover het gaat om licht dat in de oogmedia wordt verstrooid, heeft deze lichtsluier een fysische betekenis; voor zover het andere aspecten van de verblinding betreft (o.a. neuronale), is een fysische basis onduidelijk. Men spreekt daarom meestal over de 'equivalente sluiertluminantie'  $L_{seq}$ . Wel kan deze sluiertluminantie, equivalent of reëel, in luminantiewaarden worden gekwantificeerd.

Voor een enkele (puntvormige) verblindingslichtbron is de sluiertluminantie gemakkelijk te bepalen. Stiles en Holaday hebben reeds in de twintiger jaren een formule gegeven waarin de waarde van de sluiertluminantie (behoudens een evenredigheidsconstante) alleen afhangt van de verlichtingssterkte E op het oog, teweeg gebracht door de verlichtingsbron, en de hoek  $\Theta$  tussen de kijkrichting en de richting waarin de verblindingsbron te zien is. De bedoelde relatie is:

$$L_{seq} = K \cdot \frac{E}{\Theta^2}$$

Met  $L_{seq}$  in  $cd/m^2$ , E in lux en  $\Theta$  in graden is K ongeveer 10. Dit is de bekende Stiles-Holaday-relatie die lange tijd als algemeen geldig is beschouwd, tenminste voor  $\Theta$  tussen 2 en 50 graden (zie bijvoorbeeld Adrian, 1969). Vos (1983) heeft op basis van alle beschikbare gegevens en van eigen werk een betere formule opgesteld die geldig is voor  $\Theta$  tussen 10 boogminuten en 100 graden. De formule is wel wat ingewikkelder, maar hangt nog steeds alleen van  $\Theta$  af (zie ook Vos & Padmos, 1983). Verblinding is - tenminste volgens de wetmatigheden die door Vos naar voren zijn gebracht - cirkelsymmetrisch en additief! Over de additiviteit bestaan overigens enige twijfels (zie bijv. Schreuder, 1981a). Omdat de disability glare voor het grootse deel (volgens velen volledig) wordt veroorzaakt door lichtverstrooiing in het oog, hangt de mate van verblindingshinder sterk af van de conditie van het oog zelf. Het is bekend dat er grote verschillen bestaan in de helderheid van de oogmedia wanneer men verschillende mensen vergelijkt. Vooral de leeftijd is van groot belang. De hierboven genoemde factor K is dan ook geen constante, maar hangt sterk af van de leeftijd, en vertoont verder een aanzienlijke spreiding 'tussen personen'. Verschillen van een factor 10 tussen personen kan gemakkelijk voorkomen. Het is dan ook de vraag of het zinvol is de verblinding met grote precisie te bepalen. Vos (1983) heeft ook deze leeftijdafhankelijkheid bestudeerd. Zie voorts Gregory (1970); Schouten (1972) en Schreuder (1981).

In de straatverlichting wordt de fysiologische verblinding gekwantificeerd door de *verhoging van de drempelwaarde voor de contrastwaarneming* (in het Engels: het *threshold increment TI*). Hieronder wordt verstaan de mate waarin de drempelwaarde toeneemt ten gevolge van de hierboven genoemde, van de verblinding afkomstige, (equivalente) sluiertluminantie. Zoals gezegd, zijn in de recent uitgegeven Aanbevelingen voor Openbare Verlichting van de NSvV maximaal toelaatbare waarden voor TI opgegeven voor verschillende wegtypen.



### 3.4.5. De gelijkmatigheid

Zoals hierboven is aangegeven, is het lichtniveau het belangrijkste gegeven voor de beoordeling van de kwaliteit van de openbare verlichting, en wel om twee redenen:

- het bepaalt het algemene niveau van de waarneembaarheid;
- het bepaalt in hoofdzaak de kosten van de installatie.

Hierbij is het om het even of het lichtniveau in de luminantie of in de verlichtingssterkte wordt uitgedrukt.

Voor de waarneembaarheid van objecten (meer in het bijzonder voor kleine, donkere, diffuus reflecterende, stationaire objecten zoals stenen en dozen) is naast het lichtniveau ook de *gelijkmatigheid van het lichtpatroon* van belang. Het belang is erin gelegen dat bij een grote ongelijkmatigheid (grote verschillen tussen de lichtste gedeelten en de donkerste gedeelten) dergelijke kleine objecten in de donkere delen kunnen verdwijnen. Daarom worden naast het lichtniveau gewoonlijk ook eisen gesteld aan de *ongelijkmatigheid*.

Het is gebruikelijk om de ongelijkmatigheid in dezelfde maat uit te drukken als het lichtniveau. Wordt het lichtniveau uitgedrukt in de gemiddelde wegdek-luminantie, dan worden voor de ongelijkmatigheid ook luminantiematen gebruikt. Daarvoor komen er twee voor praktische toepassing in aanmerking:

1. De *algemene ongelijkmatigheid*  $U_0$ . Dit is het quotiënt van de minimale luminantie en de gemiddelde luminantie. Zowel het meetgebied als de afmetingen van het 'punt' moeten voldoen aan de in par. 3.5.6 gegeven condities die door de CIE zijn vastgelegd.
2. De *langsgelijkmatigheid*  $U_l$ . Dit is het quotiënt van de minimale en de maximale 'puntwaarden' van de luminantie binnen het gebied van 50 tot 150 meter voor de waarnemer op een lijn die zich evenwijdig aan de wegas recht voor de waarnemer uitstrekt.

Wanneer het lichtniveau in verlichtingssterkten (horizontaal, verticaal of semicylindrisch) wordt uitgedrukt, dan wordt de ongelijkmatigheid eenvoudigweg als quotiënt van de minimale en de maximale waarde aangeduid. Speciale eisen aan de meetcondities zijn niet gegeven, en zijn ook niet nodig.

### 3.4.6. De traditionele kwaliteitscriteria voor openbare verlichting

In de traditionele benadering van de openbare verlichting worden, zoals hierboven is aangegeven, twee uitgangspunten gebruikt:

- het luminantiebeginsel;
- het verlichtingssterktebeginsel.

Vrijwel alle in omloop zijnde aanbevelingen en richtlijnen voor openbare verlichting zijn op een van de twee, of soms op alle twee, gebaseerd. In sommige gevallen, zoals in de vigerende BSI-standaard in Engeland worden alleen getalwaarden ('recepten') gegeven; deze recepten zijn echter op het luminantiebeginsel gebaseerd. De enige uitzondering is het ontwerp voor de aanbevelingen van de VS. Deze zijn in beginsel gebaseerd op de waarneembaarheid. Aangezien er voor de waarneembaarheid geen voor de praktijk bruikbare metriek bestaat, worden de praktische aanbevelingen toch in luminanties uitgedrukt.

Ook de recente Aanbevelingen voor Openbare Verlichting van de NSvV zijn op deze twee uitgangspunten gebaseerd. Voor wegen met (in hoofdzaak) een verkeersfunctie wordt het luminantiebeginsel gebruikt; voor wegen met (in hoofdzaak) een verblijfsfunctie daarentegen het verlichtingssterktebeginsel.

Bij het luminantiebeginsel horen drie kwaliteitscriteria, die hierboven in detail zijn besproken:

- het lichtniveau (gemiddelde wegdek-luminantie);
- de ongelijkmatigheid ( $U_0$  en  $U_1$ );
- de verblinding (het 'threshold increment' TI).

In beginsel zijn alle drie de criteria gebaseerd op de waarneembaarheid van kleine, donkere, diffuus reflecterende, stationaire objecten. Soms wordt een vierde criterium toegevoegd, hetwelk eigenlijk niet in de rij thuis hoort:

- de optische (visuele) geleiding.

Dit criterium hoort thuis bij de functionele criteria, waarover in de volgende paragraaf meer wordt gezegd.

Bij het verlichtingssterktebeginsel horen ook drie criteria, die zeer analoog zijn:

- het lichtniveau (gemiddelde verlichtingssterkte);
- de ongelijkmatigheid;
- de verblinding.

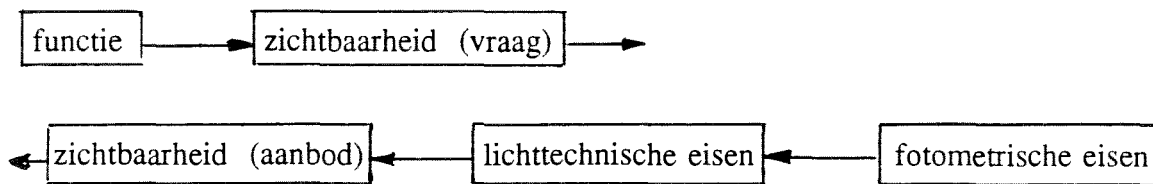
In par. 3.6.2 gaan we nader in op de vraag, op welke wijze deze kwaliteitscriteria onderling samenhangen.

### 3.4.7. *Vraag en aanbod*

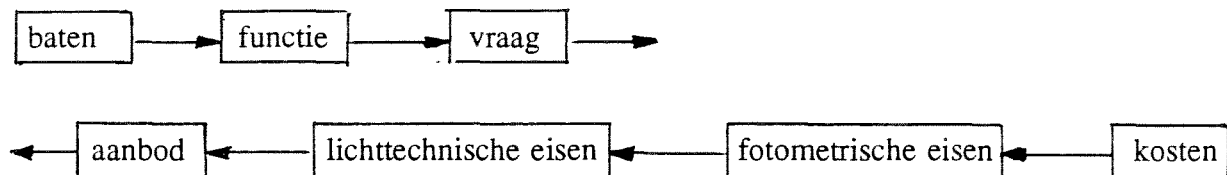
Voor beslissingen en handelingen in het verkeer is een bepaalde hoeveelheid en kwaliteit aan informatie nodig: de vraag. De omgeving verschaft visuele informatie van een bepaalde hoeveelheid en kwaliteit: het aanbod. De deelname aan het verkeer kan alleen goed plaatsvinden wanneer het aanbod de vraag dekt. Vraag en aanbod hebben aspecten, die kunnen worden uitgedrukt in de hiervoor aangegeven onderscheidingen: waarneembaarheid, opvallendheid en herkenbaarheid.

Op basis van de functionele beschrijving kunnen de *functionele vereisten* waaraan de verlichting moet voldoen, worden gegeven. Deze functionele vereisten zijn de uitkomst van een (politiek) beslissingsproces, en zijn het resultaat van beleidsoverwegingen. Aan de hand van deze functionele vereisten kunnen *zichtbaarheidseisen* worden opgesteld, die te maken hebben met de waarneembaarheid van de objecten die moeten worden waargenomen. De zichtbaarheidseisen kunnen worden gesplitst in 'vraag' en 'aanbod': de functionele vereisten bepalen de 'vraag' naar waarneembaarheid, terwijl de verlichtingsinstallatie het 'aanbod' van de waarneembaarheid verschaft. Op basis van deze zichtbaarheidseisen kunnen de *lichttechnische eisen* worden opgesteld; deze hebben te maken met lichtniveau, verblinding, lichtkleur, gelijkmatigheid, in- en uitschakelen van de verlichting enz. De lichttechnische eisen kunnen tenslotte worden vertaald in *fotometrische en geometrische eisen*; deze hebben betrekking op de lichtverdeling van de te gebruiken lamp en armatuurcombinaties, met de opstellingswijze en ophanghoogte van de verlichtingsmiddelen, enz.

Deze eisen kunnen in hun samenhang in een schema worden ondergebracht. Dit schema kan worden toegepast op verschillende functies van de verlichting. Hieronder is het afgebeeld, in dit geval toegespitst op de verkeersveiligheid.



Dit schema kan worden uitgebreid met de 'baten' aan de kant van de functionele vereisten, en met de 'kosten' aan de kant van de installatie. Het schema ziet er dan als volgt uit:



Op deze wijze kan het schema dienen als basis voor een kosten/baten-analyse (Schreuder, 1977, 1991b, 1991e). Uiteraard kunnen de 'kosten' en de 'baten' ook voor andere functionele vereisten worden opgesteld.

Wanneer het aanbod geringer is dan de vraag, kan niet op een bevredigende wijze aan het verkeer worden deelgenomen. De vlotheid, de veiligheid en/of het comfort komen in het gedrang. Een oplossing kan uiteraard op twee wijzen worden gevonden: men kan het aanbod vergroten of de vraag verkleinen.

Om met dit laatste te beginnen: de vraag naar visuele informatie kan per tijdseenheid worden verkleind door een lagere (rij)snelheid te kiezen. Informatie is dan niet alleen in een minder hoog tempo nodig, maar het uitvoeren van de taak vergt minder informatie; daarbij kan soms met informatie van slechtere kwaliteit worden volstaan. Ook kan door opleiding, oefening of training worden bereikt dat de verkeersdeelnemers minder informatie nodig hebben. Zo kan door het aanleren van adequate verwachtingspatronen worden bereikt dan slechts een geringe hoeveelheid informatie nodig is om te weten welke beslissing moet worden genomen.

Het aanbod aan visuele informatie kan worden vergroot door een aantal technische hulpmiddelen, en wel:

- verlichting
- signalering
- markering

## B.I.B. Functie van openbare verlichting

In het deel B.I.B. wordt, aan de hand van het genoemde 'vraag-en-aanbod' model, ingegaan op de verschillende functies die openbare verlichting kan hebben. Een en ander leidt tot de mogelijkheden om de functionele vereisten op te stellen.

Het deel B.I.B is aan een in 1994 gehouden cursus ontleend, en kan dus als redelijk 'up-to-date' worden beschouwd.

## B.I.B. FUNCTIE VAN OPENBARE VERLICHTING (PAO)

Openbare verlichting is vrijwel steeds functioneel. Er zijn vijf functies te definiëren:

- . het gebruik bij duisternis van de openbare ruimten mogelijk te maken (verkeersafwikkeling voor voertuigen en voetgangers);
- . de verkeersveiligheid te verbeteren (verkeersongevallen voorkomen);
- . de burgerlijke veiligheid te verbeteren (misdadpreventie en -bestrijding);
- . het gevoel van veiligheid te verbeteren (bejaarden, vrouwen, voetgangers en fietsers);
- . de esthetische aspecten van de (stedelijke) omgeving te verbeteren (inclusief economische factoren voor handel en toerisme).

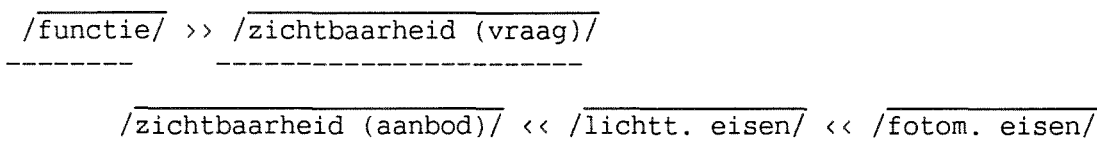
De mate waarin aan de ermee verbonden functionele vereisten kan worden voldaan hangt, naast het type weg en verkeer, af van een aantal verlichtingskundige factoren.

Over de relatie tussen de verlichting en de verkeersveiligheid bestaat een aanzienlijke hoeveelheid kennis, ook over de relatie tussen het lichtniveau en de ongevallen. Aangaande de andere functies zijn slechts weinig kwantitatieve gegevens bekend. Op deze aspecten wordt in een ander deel van deze cursus nader ingegaan.

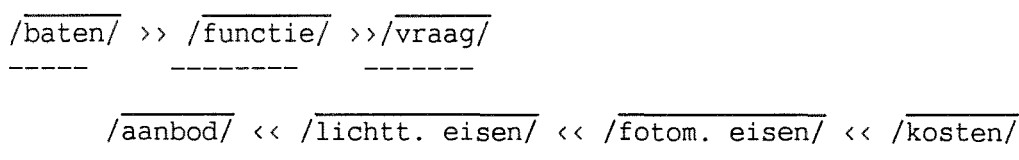
### 5.3. Vraag en aanbod

Op basis van deze functionele beschrijving kunnen de functionele vereisten waaraan de verlichting moet voldoen, worden gegeven. Deze functionele vereisten zijn de uitkomst van een (politiek) beslissingsproces, en zijn het resultaat van beleidsoverwegingen. Aan de hand van deze functionele vereisten kunnen zichtbaarheidseisen worden opgesteld, die te maken hebben met de waarneembaarheid van de objecten die moeten worden waargenomen. De zichtbaarheidseisen kunnen worden gesplitst in "vraag" en "aanbod": de functionele vereisten bepalen de "vraag" naar waarneembaarheid, terwijl de verlichtingsinstallatie het "aanbod" van de waarneembaarheid verschaft. Op basis van deze zichtbaarheidseisen kunnen de lichttechnische eisen worden opgesteld; deze hebben te maken met lichtniveau, verblinding, lichtkleur, gelijkmatigheid, in- en uitschakelen van de verlichting enz. De lichttechnische eisen kunnen tenslotte worden vertaald in fotometrische en geometrische eisen; deze hebben betrekking op de lichtverdeling van de te gebruiken lamp/armatuurcombinaties, met de opstellingswijze en ophanghoogte van de verlichtingsmiddelen, enz.

Deze eisen kunnen in hun samenhang in een schema worden ondergebracht. Dit schema kan worden toegepast op verschillende functies van de verlichting. Hieronder is het afgebeeld, in dit geval toegespitst op de verkeersveiligheid.



Dit schema kan worden uitgebreid met de "baten" aan de kant van de functionele vereisten, en met de "kosten" aan de kant van de installatie. Het schema ziet er dan als volgt uit:



Op deze wijze kan het schema dienen als basis voor een kosten/baten-analyse zoals die in par. 6. verder is toegelicht. Uiteraard kunnen de "kosten" en de "baten" ook voor andere functionele vereisten worden opgesteld.

## B.I.C. Kwantificering

Het deel B.I.C. betreft de kwantificering van de op de functionele vereisten gebaseerde lichttechnische eisen. Het gaat daarbij, naar gelang van het wegtype en de wegklasse, om maten die gebaseerd zijn op hetzij de wegdeklluminantie of op de horizontale verlichtingssterkte. De eerste zijn vooral voor verkeerswegen van belang, de tweede vooral voor verblijfsgebieden.

Het onderdeel B.I.C is aan een SWOV-rapport uit 1992 (R-92-64) ontleend, en kan dus als redelijk 'up-to-date' worden beschouwd.

### 3.6.1. *De kwaliteitscriteria*

Openbare verlichting verschaft de mogelijkheid voor een redelijke afwikkeling van het wegverkeer, ook bij afwezigheid van (natuurlijk) daglicht. Voor motorvoertuigen met eigen verlichting mag men aannemen dat de koplantaarns de afwikkeling van het verkeer (het volgende van de route en het vinden van de weg daarbij inbegrepen) op een gewoonlijk nog juist acceptabele wijze kunnen waarborgen. Voor fietsers is dit nauwelijks



het geval, terwijl voor voetgangers alle informatie door de openbare verlichting moet worden verschaft.

Meer specifiek onderscheidt men vier functies van de openbare verlichting;

- bevorderen van de doorstroming van het verkeer
- bevorderen van de verkeersveiligheid
- bevorderen van de burgerlijke of openbare veiligheid
- bevorderen van de leefbaarheid.

De eerste is vooral van belang voor wegen met een verkeersfunctie; de tweede zowel voor wegen met een verkeersfunctie als voor die met een verblijfsfunctie. De derde en vierde zijn vooral voor woongebieden van belang. In par. 4.1 gaan we verder in op deze functies.

De kwaliteit van de openbare verlichting kan worden uitgedrukt in een aantal, soms kwantificeerbare, aspecten:

- Het *lichtniveau*. Dit wordt uitgedrukt in de gemiddelde helderheid van de weg (de wegdekkluminantie), of - meer speciaal voor woonstraten - de gemiddelde horizontale verlichtingssterkte. Als regel wordt gemiddeld over een weggedeelte tussen twee opeenvolgende lichtmasten.
- De *ongelijkmatigheid*. De verdeling van de helderheid over de weg is in twee opzichten van belang. Ten eerste de zogenaamde dwarsongelijkmatigheid: wanneer de verlichting op de weg opvallende, afwisselend lichte en donkere, strepen in de lengterichting vertoont, zoals vaak te zien is op natte gladde wegen, kunnen smalle hoge objecten als fietsers of voetgangers geheel onzichtbaar worden. Dit is een veiligheidsaspect. Dit aspect wordt gekwantificeerd door verhouding van minimum en gemiddelde wegdekkluminantie. Een tweede punt van belang is de algemene ongelijkmatigheid; dit is de mate waarin de weg een 'vlekkerige' indruk maakt. Dit is eerder een esthetische of een 'comfort'-zaak dan een van de verkeersveiligheid. Deze vlekken uiteten zich in banen of strepen die een storende indruk maken zonder de waarneembaarheid sterk te benadelen. Dit aspect wordt meestal gekwantificeerd door een overeenkomstige verhouding, meestal recht voor de waarnemer of over het midden van een rijstrook.
- De *verblinding*. In het verleden is zeer veel aandacht besteed aan de verblinding. Vooral door de steeds verder doorzettende trend dat overal, ook op goed verlichte wegen, met dimlicht moet worden gereden, neemt de belangstelling voor het beperken van de door de openbare verlichting veroorzaakte verblinding - die bijna steeds veel lager is dan die veroorzaakt door autokoplantaarns - af. Verblinding kan eveneens in bepaalde fysische grootheden worden uitgedrukt.
- De *(visuele of optische) geleiding*. Hieronder wordt verstaan de bijdrage die de verlichtingsinstallatie kan leveren tot het vormen van een beeld over het verloop van de weg. Behalve de groepering van de armaturen en masten van de openbare verlichting dragen vooral wegmarkeringen tot de geleiding bij. Een methode om de geleiding te kwantificeren bestaat (nog) niet. Bij het ontwerpen van verlichtingsinstallaties wordt helaas aan de geleiding maar weinig aandacht besteed. Verlichtingsinstallaties die in de praktijk zijn mislukt, geven aan dat dit een onjuiste gewoonte is. Een ontwerphulpmiddel om goede geleiding te kunnen waarborgen, bestaat echter al evenmin.

### 3.6.2. De samenhang tussen de kwaliteitscriteria

Zoals in par 3.6.1 is aangegeven, wordt de verlichtingstechnische kwaliteit van openbare verlichting afgemeten naar drie criteria: het luminantieniveau, de gelijkmatigheid van het luminantiepatroon, de mate waarin verblinding begrensd is. In de praktijk wordt hieraan meestal nog een vierde criterium toegevoegd: de *visuele of optische geleiding*. Aangezien voor dit laatste criterium nog geen methode bestaat waarmee het kan worden gekwantificeerd, wordt het in de regel weggelaten uit de aanbevelingen en standaarden. Wel komt men vaak weer terug op dit criterium bij de voorbeelden, voor zover ze aan de aanbevelingen worden toegevoegd. Nadere gegevens over de optische geleiding, en de wijzen waarop een goede geleiding gerealiseerd kan worden, zijn te vinden in De Boer (ed.) (1967), Springer & Huizinga (1969, 1974); Schreuder (1967) en Van Bommel & De Boer (1980). Meer recent is door Boselie en Van Leeuwen aandacht besteed aan de optische geleiding in verband met de verlichting van de ingang van verkeerstunnels (Anon, 1987). Zie ook Schreuder (1992a).

Aan ieder van deze vier criteria zijn (meestal kwantitatieve) eisen gesteld, maar over het relatieve belang van deze vier criteria is weinig bekend; ze zijn bijna steeds onafhankelijk van elkaar beschouwd. Aanbevelingen en richtlijnen worden steeds van ieder criterium apart opgegeven. Er zijn op dit gebied slechts enige oriënterende onderzoeken uitgevoerd. Dit onderzoek suggereert dat het luminantieniveau van grotere invloed is op het totale kwaliteitsniveau dan de ongelijkmatigheid of de verblinding. Nederlands onderzoek heeft tot de volgende relatie geleid:

$$AI = 0,6 N + 0,2 G + 0,2 V$$

Daarbij is AI de algemene indruk; N, G en V zijn de subjectieve beoordelingen van niveau, gelijkmatigheid en verblinding (Schreuder, 1983). Ook Engels onderzoek is beschikbaar. Daar is een ingewikkelder relatie gevonden, waarin ook de visuele geleiding (VG) is betrokken:

$$AI = 0,55 N + 0,04 V + 0,14 G + 0,45 VG - 1,29 \text{ (droge weg)}$$

$$AI = 0,36 N + 0,10 V + 0,40 G + 0,23 VG - 0,59 \text{ (natte weg)}$$

Het gaat hierbij om relaties tussen de algemene indruk en andere subjectieve beoordelingen, en niet om de relatie tussen de algemene indruk en objectieve (fotometrische) grootheden, hetgeen voor verdergaande generalisaties wenselijk ware (Cornwell, 1973). Dit resultaat is een ondersteuning om wat betreft het algemene kwaliteitscriterium in de eerste plaats naar het luminantieniveau te kijken. Dit wordt verder ondersteund door de resultaten van het in Engeland uitgevoerde onderzoek, waar de ongevallen gerelateerd zijn aan een aantal verschillende fotometrische grootheden. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat de ongevallen alleen een duidelijke relatie vertonen met de gemiddelde wegdek-luminantie, terwijl de andere fotometrische kwaliteitscriteria geen aantoonbare relatie met de ongevallen vertoonden.

Ook de hierboven reeds genoemde 'vraagkant' van de waarneembaarheid geeft de suggestie om allereerst naar de gemiddelde wegdek-luminantie te kijken. Men mag immers verwachten dat OV meer 'helpt' wanneer zij 'beter' is. Immers, zeer globaal samengevat:

de visuele prestatie neemt toe bij toeneming van het lichtniveau. De visuele prestatie kan worden uitgedrukt in vele verschillende visuele functies en het lichtniveau in verscheidene fotometrische maten; de globale 'regel' blijkt te gelden voor alle maten voor visuele prestatie, als ook voor alle maten van het lichtniveau. Bovendien zijn er redenen om aan te nemen dat de verkeersprestatie toeneemt als de visuele prestatie toeneemt. En evenzeer zijn er redenen om aan te nemen dat de veiligheid van het wegverkeer wordt bevorderd door een betere verkeersprestatie van de verkeersdeelnemers. Ook al lijken deze twee relaties erg voor de hand te liggen, geen van beide is op een behoorlijke wijze onderbouwd, terwijl er ernstige vermoedens bestaan dat ze soms gewoon niet opgaan. Als voorbeeld: de relatie tussen visuele prestaties en het als autobestuurder betrokken zijn bij verkeersongevallen is zeer zwak en wordt door velen als voor de praktijk te verwaarlozen beschouwd. Het is echter overduidelijk dat de relatie met de verkeersprestatie anders is: blinden en mensen met ernstige visuele handicaps kunnen moeilijk of soms helemaal niet zelfstandig aan het verkeer deelnemen, en zeker niet als bestuurder van een motorvoertuig.

## B.I.D. Luminantietechniek

In het deel B.I.D. komt de zogenaamde luminantietechniek aan de orde. Het gaat daarbij om de wijze waarop de ontwerpmethoden voor openbare verlichtings-installaties geformeerd dienen te worden om de kwaliteit in luminanties uit te drukken. Essentieel is daarbij de rol die door de reflectie van het wegdek wordt gespeeld.

Het deel B.I.D. is gebaseerd op een oud artikel dat in 1964 in *De Ingenieur* is verschenen. De toepassingen die in het artikel zijn beschreven, zijn uiteraard niet meer actueel; zie daarvoor onder andere deel B.I.E. De theorie is echter nog steeds onverminderd geldig; in die zin is het artikel uit 1964 nog niet als verouderd te beschouwen.

## 1. Luminantietheorie

Er bestaan verschillende uitgangspunten om de verlichting van wegen en straten te benaderen. Hiertoe kunnen worden gerekend de verkeersveiligheid, de esthetische aspecten, de openbare veiligheid. Ons zal in het volgende vooral bezighouden de verlichting van wegen voor gemotoriseerd verkeer, een verlichting die tot taak heeft om enerzijds een voldoende mate van verkeersveiligheid te waarborgen, en anderzijds een vlotte doorstroming van het verkeer en een optimale wegbezetting mogelijk te maken. Bezien vanuit deze uitgangspunten is de verkeersverlichting een volledig utilitaire voorziening.

Wanneer de eisen besproken worden, die aan de verlichting moeten worden gesteld, zal men moeten uitgaan van de doelstellingen van de verlichting. Deze doelstellingen zijn van drieërlei aard. Ten eerste is er de noodzaak, dat de weg zelf, en het verloop ervan, duidelijk zichtbaar zijn. Zonder dit is geen verkeer op de weg mogelijk. De tweede doelstelling ligt in de noodzaak dat de weggebruiker de obstakels die het verkeer kunnen hinderen of in gevaar brengen, tijdig kan zien. Tijdig betekent in dit geval dat de weggebruiker de mogelijkheid heeft om de manoeuvre die door de aanwezigheid van het obstakel noodzakelijk is geworden, op redelijke wijze uit te voeren zonder zichzelf, het obstakel of het overige verkeer in gevaar te brengen. Wanneer hieraan niet is voldaan, kan er van werkelijk veilig verkeer geen sprake zijn. De derde doelstelling bestaat daarin, dat de weggebruiker enerzijds ervan overtuigd kan zijn dat zijn eigen vervoermiddel duidelijk zichtbaar is voor de overige verkeersdeelnemers en dat anderzijds hij de zekerheid kan hebben dat de weg ook inderdaad vrij is wanneer hij geen obstakels waarneemt. Dit is de basis voor een vlotte en gemakkelijke doorstroming van het verkeer en dus ook voor een optimale wegbezetting. In feite komt het erop neer, dat men ernaar moet streven, de visuele omstandigheden, die normaliter overdag bestaan, 's nachts met behulp van de wegverlichting te benaderen, om overmatige vermoeidheid bij het besturen van een motorvoertuig te vermijden.

De drie hierboven genoemde doelstellingen kunnen onder een enkel hoofd worden samengevat: de wegverlichting moet aan de weggebruiker visuele informatie verschaffen. Visuele informatie kan alleen worden overgebracht door lichtstralen, die het oog van de waarnemer treffen, en die van het waar te nemen object afkomstig zijn. Hieruit volgt direct, dat alleen criteria die in relatie staan tot zulke lichtstralen, zinvol kunnen zijn om de kwaliteit van een verlichtingsinstallatie te beschrijven. Met andere woorden: kwaliteitscriteria kunnen slechts zinvol zijn wanneer ze betrekking hebben op de *luminanties* die in het gezichtsveld voorkomen.

In tegenstelling tot bijvoorbeeld de verlichtingssterkte is de luminantie een grootheid die een vectorieel karakter heeft, zonder overigens een 'echte' vector te zijn. Dit heeft tot gevolg dat bij alle beschouwingen waarbij luminanties een rol spelen, de richting van waaruit de waarneming wordt uitgevoerd, van essentieel belang is. In het volgende wordt steeds aangenomen dat de waarnemingen plaatsvinden op

een wijze overeenkomstig de manier waarop een automobilist de weg voor zich bekijkt. Daarbij is vooral het weggedeelte van belang, dat tussen ca. 50 en 150 m verwijderd is. Zoals uit het volgende nog zal blijken, is dit voorbehoud voor de definitie van de wegdek-luminantie noodzakelijk.

In principe dragen alle luminanties die in het gezichtsveld van een weggebruiker voorkomen tot de visuele informatie bij. Voor de omstandigheden, zoals die zich bij het wegverkeer voordoen, zijn het echter vooral drie karakteristieken, die de kwaliteit van de verlichtingsinstallatie bepalen. Dit zijn: ten eerste de gemiddelde luminantie van het wegdek, ten tweede de onderlinge verhoudingen in de luminantie van afzonderlijke delen van het wegdek, en ten derde de luminantie van de lichtbronnen. De eerste bepaalt in het algemeen gesproken het adaptatieniveau, de tweede de waarnemingsmogelijkheid van kleine obstakels en de derde de verblinding.

### *Onderlinge samenhang van de kwaliteitscriteria*

In het bovenstaande zijn de drie kwaliteitscriteria – het luminantieniveau, de ongelijkmatigheid van het luminantiepatroon en de graad van verblindingshinder – los van elkaar behandeld. Er bestaat echter een vrij sterke samenhang tussen de drie criteria, een samenhang die op zijn beurt weer door economische overwegingen wordt beïnvloed. Wij zullen iets over deze samenhang zeggen aan de hand van de beschrijving van een verlichtingsinstallatie.

Het uiteindelijke effect van de verlichtingsinstallatie, en daarmee dus de mate waarin aan de bovengenoemde criteria is voldaan, hangt af van een aantal factoren, die in drie groepen kunnen worden ingedeeld. Dit zijn:

- afhankelijk van de geometrie: de wegbreedte  $w$ , de paalafstand  $s$ , de lichtbronhoogte  $h$ , en de configuratie  $c$  (zigzag, éénzijdig, enz.).
- afhankelijk van de verlichtingselementen: de lichtstroom per armatuur  $\Phi$ , de lichtverdeling van het armatuur  $l.v.$  (diepstralers, breedstralers, enz.).
- afhankelijk van het wegdek: de gemiddelde remissiefactor  $q_0$  en de spiegel factor  $k$ .

Zoals uit de verderop gegeven beschrijving en definitie nog zal blijken, kan een wegdek gekarakteriseerd worden door deze twee grootheden. De gemiddelde remissiefactor kan worden aangeduid als de totale reflectie, uitgedrukt in een verhouding tussen de (opvallende) verlichtingssterkte en de (gereflecteerde) luminantie. De spiegel factor is er een maat voor, in hoeverre bij het wegdek de spiegelende, resp. de diffuse reflectie overheerst. Hoewel de feitelijke reflectiekarakteristiek aanzienlijk gecompliceerder is, wordt aangenomen dat de reflectie van een wegdek kan worden samengesteld uit een spiegelende component en een volledig diffuse component.

<sup>1)</sup> Voordracht gehouden op 15 november 1963 te Neurenberg voor het 'Lichttechnisches Gesellschaft, Bezirksgruppe Nordbayern'.

In fig. 6 is schematisch aangegeven hoe de drie criteria: luminantieniveau, ongelijkmatigheid en verblinding (aangeduid met  $L$ ,  $O$  en  $V$ ) veranderen bij het veranderen van één van de acht factoren. De andere zeven blijven onveranderd. Bij dit schema is ter vereenvoudiging geen rekening gehouden met het feit dat de graad van verblindingshinder ook afhangt van de wegdekuminantie en van de luminantie en de luminantieverdeling van de armaturen. Ook zijn, zoals reeds is aangegeven, de invloeden van de keuze van de lichtkleur niet mee in beschouwing getrokken.

Feitelijk is het schema van fig. 6 onvolledig. Om tot voor de praktijk van belang zijnde conclusies te kunnen komen, moeten de economische factoren mee in rekening worden gebracht. Om tot een optimale installatie te komen, moet men een combinatie maken van dergelijke economische gegevens met de gegevens van fig. 6. Aan de hand van zulke kwalitatieve gegevens kunnen natuurlijk geen kwantitatieve uitspraken worden gedaan. In het algemeen is echter de invloed van de verschillende factoren zonder meer duidelijk. Slechts één combinatie van factoren verdient een nadere toelichting, te weten veranderingen in de lichtverdeling en de spiegel-factor.

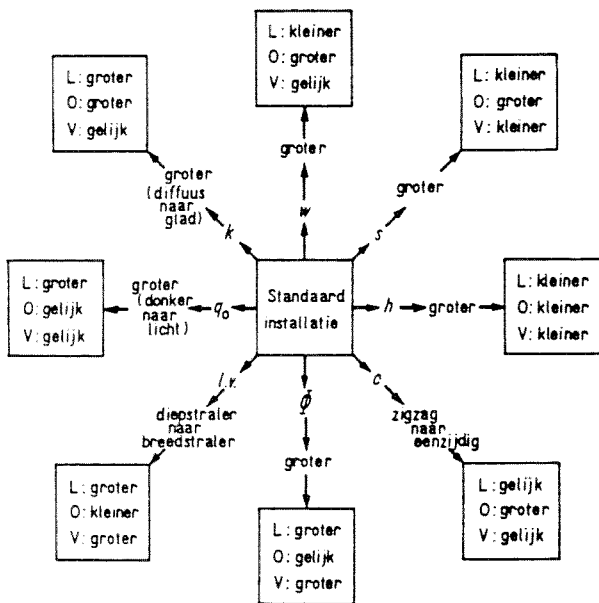


Fig. 6. Schema van de samenhang tussen de kwaliteitscriteria enerzijds en de verlichtingsvariabelen anderzijds.

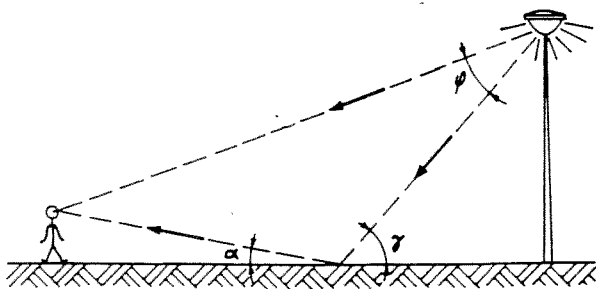


Fig. 7. Ter toelichting op de samenhang tussen spiegel-factor, lichtverdeling en verblinding.

## 2. Luminantietechniek

Het invoeren van een op de luminantietheorie gegronde luminantietechniek heeft een grote invloed op een aantal technische aspecten van de straatverlichting. Het zijn vooral de volgende punten die de aandacht vragen:

- 2.1 het ontwerp van de armaturen
- 2.2 het in rekening brengen van de reflectie-eigenschappen van het wegdek
- 2.3 het berekenen van de installatie
- 2.4 het meten van de resultaten.

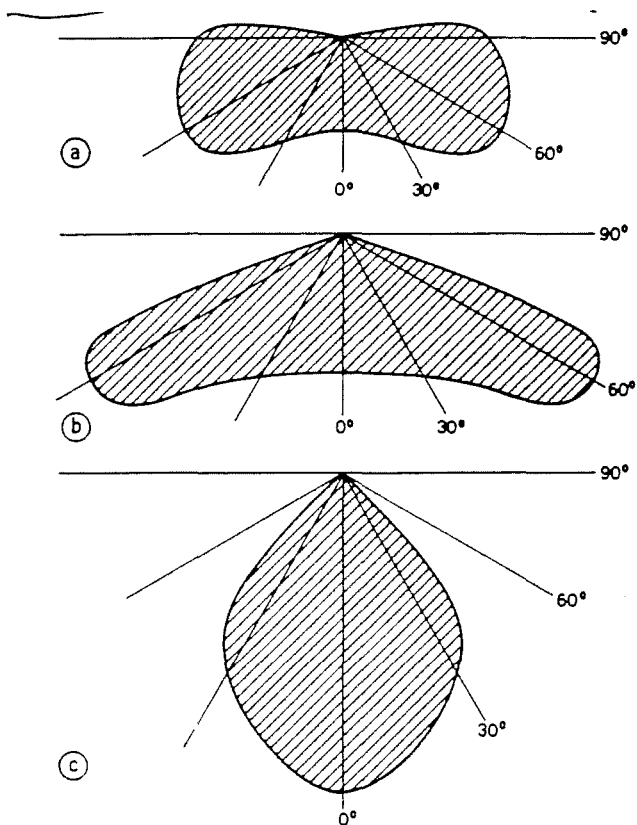
De opvatting, dat het invoeren van de luminantietechniek geen andere invloed heeft dan het in beeld betrekken van de lichtheid van het wegdek, is onvolledig. Om de voordelen, die de luminantietheorie kan verschaffen, ook werkelijk te benutten, moet de gehele installatie vanuit het voren genoemde gezichtspunt worden gezien.

### 2.1 Het ontwerp van de armaturen

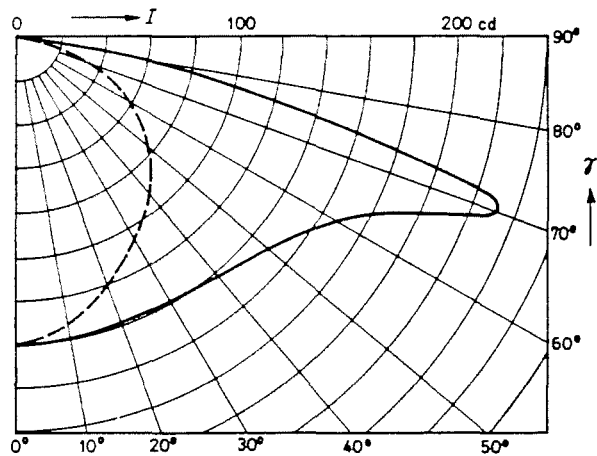
Voor een optimale verlichting moeten aan de armaturen eisen worden gesteld die reeds in het voorgaande aangeduid zijn. Deze zijn: ten eerste een hoge lichtstroom bij gering energieverbruik, ten tweede een breedstralende lichtverdeling, en ten derde een effectieve afscherming tegen verblinding. Een hoge lichtstroom bij gering energieverbruik is vrijwel alleen te bereiken met gasontladingslampen en wel speciaal met natriumlampen. Een breedstralende lichtverdeling, waarbij de maximale lichtsterkte bij  $60^\circ$  tot  $70^\circ$  ligt, kan zonder optische hulpmiddelen moeilijk worden bereikt. Deze hulpmiddelen kunnen zijn hetzij spiegels of lenzen; men spreekt dan van spiegelarmaturen resp. refractor-armaturen (zie ook fig. 11). Een breedstralende lichtverdeling kan alleen met een effectieve afscherming worden gecombineerd, wanneer de lichtsterkteverdeling een grote gradiënt vertoont. Dit is aangegeven in fig. 12, waarin de polaire lichtsterkteverdeling van een afschermend breedstralend armatuur is aangegeven. De maximale lichtsterkte is in dit geval 230 cd en ligt bij  $\gamma = 70^\circ$ , terwijl de lichtsterkten bij  $80^\circ$  en bij  $90^\circ$  slechts ongeveer 40 resp. 20 cd bedragen. Deze lichtsterkten zijn gereduceerd op 1000 lm lamplichtstroom.

De grootste waarde van de gradiënt, die men kan bereiken, wordt bepaald door de verhouding van de afmetingen van de lichtbron en die van het armatuur, zoals blijkt uit fig. 13. Een puntvormige lichtbron, geplaatst in het brandpunt van een lens, geeft een evenwijdige lichtbundel, die zeer scherp is begrensd (fig. 13a). Wanneer de lichtbron uitgebreidheid heeft, kan men voor ieder punt van de lichtbron een dergelijke evenwijdige bundel construeren; deze bundels lopen echter onderling niet meer evenwijdig (fig. 13b). Deze bundels moeten gesommeerd worden om de totale lichtuitstraling van de lichtbron te verkrijgen. Het totaal is een divergerende bundel met een spreiding die bepaald wordt door de hoek die door de lichtbron wordt beslagen, gezien vanuit het hart van de lens (fig. 13c). Gasontladingslampen hebben als regel vrij aanzienlijke afmetingen. De afscherming zal altijd min of meer geleidelijk moeten zijn, wanneer men tenminste het gebruik van zeer grote - en zeer dure - armaturen wil vermijden.

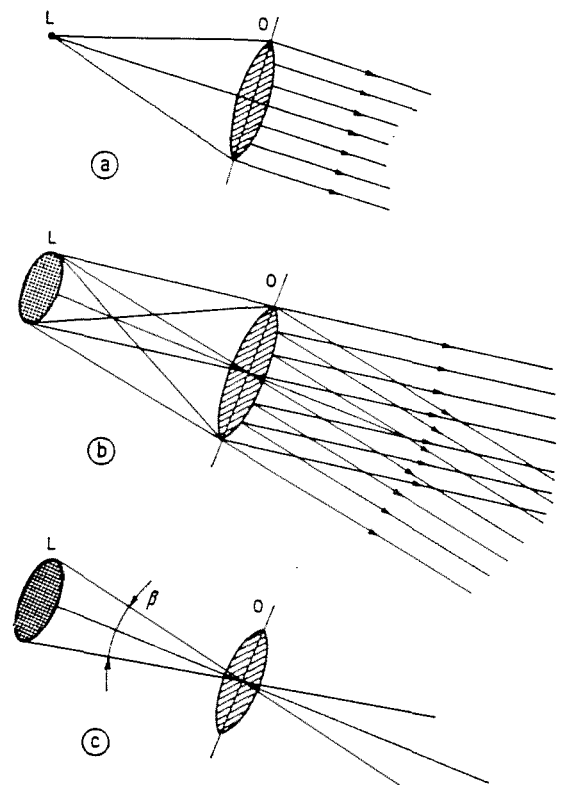
Een tweetal armaturen, ontworpen volgens deze ideeën zijn afgebeeld in de figuren 14 en 15. In fig. 14 is een refractor-armatuur afgebeeld, bestemd voor een natriumlamp 200 watt. Het polaire lichtsterkteverdelingsdiagram is afgebeeld in fig. 12. Fig. 15 betreft een spiegelarmatuur voor een 400 watt kleur gecorrigeerde kwiklamp. De bijbehorende lichtsterkteverdeling is gegeven in fig. 16.



**Fig. 11.** Enige typische vormen van lichtverdelingen:  
*a.* 'vrijstralers'.  
*b.* 'afgeschermd breedstralers'.  
*c.* 'diepstralers'.



**Fig. 12.** Voorbeeld van de lichtsterkteverdeling van een afgeschermd breedstralend armatuur.  
 Lichtsterkte gereduceerd op 1000 lm lamplichtstroom.  
 — loodrecht op de lampas.  
 - - - - - evenwijdig aan de lampas.



**Fig. 13.** Samenhang tussen afmetingen van lichtbronnen, armaturen en de bundelingspreiding. L : lichtbron, O : optiek, hoek  $\beta$ : bundelingspreiding.

## B.I.E. Reflectie van wegdekken

In het deel B.I.E. worden een aantal nieuwere ontwikkelingen op het gebied van de meting van de reflectie-eigenschappen van wegdekken behandeld, alsmede de wijze waarop deze gegevens gebruikt kunnen worden. Ook wordt aandacht besteed aan een nieuwe methode om deze eigenschappen te meten; een aantal resultaten van een eerste 'pilot-studie' zijn vermeld.

Het onderdeel B.I.E is ten dele aan een SWOV-rapport uit 1992 (R-92-64) ontleend, en ten dele aan een in 1994 gepubliceerd artikel in het tijdschrift *The Lighting Journal*, een uitgave van de Britse Institution of Lighting Engineers, en kan dus als 'up-to-date' worden beschouwd.



#### 3.4.8.1. Reflectie en luminantie

Een oppervlak kan op twee wijzen een bepaalde luminantie krijgen: het kan zelf licht uitstralen, en het kan opvallend licht weerkaatsen. Ofschoon de luminantie dezelfde is, en op dezelfde wijze wordt gemeten, wordt hij op een geheel andere wijze beschreven en berekend. We beperken ons hier tot de tweede mogelijkheid: luminantie ten gevolge van lichtreflectie.

Om de luminantie van een reflecterend (niet-lichtuitstralend) oppervlak te weten, moet naast de intensiteit en de ruimtelijke verdeling van het opvallende licht, ook de reflectie van dit oppervlak bekend zijn.

#### 3.4.8.2. Reflectie en retroreflectie

De luminantie van een (zelf niet-lichtgevend, verlicht) voorwerp is evenredig met de verlichtingssterkte die door het opvallende licht teweeg wordt gebracht, en met de reflectiefactor. Deze reflectiefactor hangt af van de oppervlaktegesteldheid van het voorwerp, en van de wijze van verlichten. Het voorwerp kan drie soorten reflectie vertonen (en mengvormen ervan):

1. *Diffuse reflectie*. Het licht wordt ongeacht de wijze van instraling, naar alle richtingen even streek weerkaatst (verstrooid). Dit is het geval bij alle oppervlakken die een korrelstructuur hebben, en waarvan de korrels 'random' zijn georiënteerd. Voorbeelden zijn: talkpoeder, sneeuw, enz.
2. *Spiegelende* (of reguliere) *reflectie*. Het licht volgt de zgn. spiegelwetten van Snellius: de hoek tussen de invallende lichtstralen en de verticaal (normaal) op het oppervlak is gelijk aan de hoek tussen de weerkaatste lichtstralen en deze normaal. Voorbeelden: metalen oppervlakken zoals spiegels, niet-kristallijne stoffen zoals glas en water, enz.
3. *Retroreflectie*. Bij retroreflectie wordt het licht teruggekaatst in de richting waar het vandaan kwam. Daartoe zijn die materialen of die voorwerpen voorzien van optische systemen (retroreflectoren) die de omkeer van de stralengang door reflectie bewerken.

#### 3.4.8.3. Beschrijving van de reflectie van wegdekken

Alleen in geval van diffuse reflectie is er sprake van een enkele reflectiefactor, die dan ook een *scalair* grootheid is. In alle andere gevallen hangt de intensiteit van het weerkaatst licht (en dus de 'reflectiefactor') af zowel van de richting van het invallende licht als van de richting van het weerkaatste licht. In beide gevallen zijn twee onafhankelijke variabelen nodig om de richting vast te leggen; in totaal dus vier. De reflectie kan alleen door een *tensor* worden beschreven.

Uiteraard is de intensiteit van het teruggekaatste licht recht evenredig met de intensiteit van het invallende licht. Wanneer de reflector *isotroop* is (een rotatiesymmetrie vertoont) zijn drie variabelen genoeg en kan de reflectie als een ruimtelijke figuur worden weergegeven, de zgn. reflectie-indicatrix. Zie bijvoorbeeld Schreuder (1967) en SCW (1974, 1984).

Wanneer men bovendien de waarnemingsrichting vastlegt (meestal wordt daarvoor gekozen een hoek van  $1^\circ$  met het horizontale vlak) dan blijven slechts twee variabelen over, en kunnen de reflectiekenmerken worden weergegeven in een tabel. De vorm en de omvang van deze tabellen zijn door de CIE gestandaardiseerd; men spreekt in dat geval van R-tabellen. Deze R-tabellen vormen de basis voor de bepaling van de luminantie en de luminantieverdeling, en dus van het ontwerp van straatverlichtingsinstallaties.

#### 3.4.8.4. Classificatie van de reflectiekenmerken van wegdekken

Een gedetailleerde studie van enige honderden wegdekken heeft tot het inzicht geleid dat wegdekken wat betreft hun reflectie-eigenschappen in een klein aantal klassen kunnen worden ingedeeld aan de hand van een klein aantal karakteristieke reflectiewaarden. Op basis van het werk van Westermann (1963, 1964, 1967) is een klasse-indeling (de zgn.  $Q_0$ -kappa-classificatie) in vier klassen (R1 t/m R4) voorgesteld; door Sørensen (1975) uitgebreid voor natte wegen (zie Sørensen & Nielsen, 1974 en CIE, 1976). Onderzoek in Nederland heeft aangetoond dat een betere en nauwkeurigere classificatie mogelijk is aan de hand van drie karakteristieken. Deze indeling heeft slechts twee klassen (C1 en C2) plus een *schaalfactor* ( $P(0;0)$ , vaak ook  $q_p$  genaamd). De indeling in de klassen C1, resp. C2 representeert de 'vorm' van de indicatrix; het in rekening brengen van de schaafactor  $q_p$  representeert het 'volume' van de indicatrix. Vandaar de term schaafactor: alle  $q$ -waarden die voor de berekening worden gebruikt, zijn evenredig met  $q_p$ . Dit systeem is beschreven in SCW (1984). Deze classificering is door de CIE en de PIARC als alternatief geaccepteerd (CIE, 1984a). Zie ook Burghout (1977; 1977a).

Fundamenteel is er een duidelijk verschil tussen het  $Q_0$ -kappa-systeem en het C1-C2-systeem. Beide zijn systemen voor het voor het classificeren van wegdekken naar hun reflectie-eigenschappen. Bij het eerste systeem wordt de reflectie zelf als basis gebruikt voor de classificatie; de classificatie vindt in feite plaats aan de hand van de vorm van de reflectie-indicatrix van de wegdekken. Bij het tweede systeem wordt de classificatie gebaseerd op de luminantie en de luminantieverdeling van de verlichtingsinstallaties die men onder gebruikmaking van de betreffende wegdekken kan maken. In het  $Q_0$ -kappa-systeem worden twee wegdekken tot dezelfde klasse gerekend wanneer ze dezelfde (of bijna dezelfde) reflectie-indicatrix hebben; in het C1-C2-systeem worden twee wegdekken tot dezelfde klasse gerekend wanneer ze dezelfde (of bijna dezelfde) luminanties opleveren bij dezelfde verlichtingsinstallatie.

In sommige speciale gevallen zijn verdere vereenvoudigingen aan te brengen. Zo is overdag de lichtinval bij benadering alzijdig; bovendien vertonen droge wegdekken een reflectie die niet al te veel van de diffuse reflectie afwijkt, zodat de reflectie overdag van droge wegmarkeringen meestal op voldoende nauwkeurige wijze met een enkel getal (een scalar dus) kan worden beschreven. Wanneer de oppervlakken nat zijn, is deze benadering niet meer geoorloofd. Ook bij straatverlichting moet met de verschillende hoeken rekening worden gehouden. Het sterkste is dit het geval bij de waarneming van retroreflecterende materialen wanneer ze verlicht worden door de koplamp(en) van het voertuig van de waarnemer; de reflectie kan gemakkelijk het honderd-voudige bedragen van de diffuse reflectie van hetzelfde materiaal (CIE, 1987; 1988a; Dutruit, 1974; Schreuder, 1985b).

Van belang is het feit dat in vrijwel alle gevallen de reflectie van wegdekken zodanig is dat het meeste licht in dezelfde richting als de instraling wordt gereflecteerd: wegdekken zijn vrijwel steeds in meer of mindere mate *spiegelend* van karakter. Dit was de basis voor het  $Q_0$ -kappa-systeem dat door Westermann (1963; 1964) is ingevoerd: kappa gaf de spiegeling aan, en  $Q_0$  de totale reflectie (zie ook CIE, 1976; 1984a; Schreuder, 1967). De grondgedachte is, zij het minder duidelijk zichtbaar, nog steeds aanwezig, ook bij het C1-C2-systeem. Dit geldt al voor droge wegen; voor vochtige en natte wegen is deze spiegeling nog veel sterker. Omdat de natte toestand van wegen zeer moeilijk is te definiëren, wordt vooral met droge wegdekken rekening gehouden.

Het spiegelende karakter van wegdekken leidt ertoe dat licht dat tegen de waarnemingsrichting in het wegdek treft, sterker wordt gereflecteerd dan licht dat met de waarnemingsrichting mee het wegdek treft. Men noemt de luminantie die het gevolg is van het invallende licht wel de 'luminance yield' (Schreuder, 1967, Knudsen 1967, 1968). Wegdekken vertonen een zodanige reflectie dat de luminance yield voor tegenstralend licht vrijwel altijd groter, en gewoonlijk veel groter, is dan voor meestralend licht.

#### 3.4.8.5. Identificeren en classificeren

In het C1-C2-systeem zijn drie individuele reflectiewaarden voldoende om een wegdek te *karakteriseren*. Deze drie waarden komen dus in de plaats van  $q_0$  en  $q_p$  bij het  $Q_0$ -kappa-systeem. Karakteriseren betekent daarbij dat het wegdek als een individueel wegdek, afwijkend van de andere wegdekken, kan worden beschouwd. De drie reflectiewaarden kunnen worden gekenschetst door de lichtinvalsrichting, omdat de waarnemingsrichting immers door de gemaakte conventies vast ligt. De drie reflectiefactoren corresponderen met de volgende lichtinvalsrichtingen:

P(0;0): verticale lichtinval (soms aangeduid als  $q_p$ );

P(2;0): lichtinval 'recht vooruit' met tangens 2;

P(1;90): lichtinval 'dwars' met tangens 1.

Men kan ook, gebruik makend van dezelfde drie reflectiefactoren, een wegdek *identificeren* met een ander, mits de twee wegdekken de zelfde waarden hebben voor de drie bedoelde waarden. Tenslotte zijn de drie waarden (of tenminste twee ervan) gebruikt voor de *classificatie* volgens het C1-C2-systeem. Daarbij is P(2;0) in twee klassen gedeeld ( $< 0,4$  en  $> 0,4$ ). Als schaalwaarde wordt de P(0;0) gebruikt.

Voor de berekening van de luminantie is een complete R-tabel nodig; het C1-C2-systeem kent er derhalve twee, een standaardtabel voor iedere klasse. Deze zijn in een relatieve maat weergegeven met  $P(0;0) = 1$ . Vermenigvuldiging met de voor het betreffende wegdek relevante waarde van P(0;0) levert de waarden van  $q$  voor de berekening op.

In de praktijk betekent dit dat er slechts een klein aantal complete R-tabellen nodig is, mits van de te onderzoeken wegdekken de drie reflectiewaarden kunnen worden bepaald. Via classificatie is, gebruik makend van een van de twee standaardwegdekken een vrij globale berekening te maken van de luminantie. Volgens SCW (1984) blijft de afwijking tussen de waarden die via de benadering van de classificatie berekend zijn, en de waarden die met gebruikmaking van de 'echte' R-tabel zijn berekend, kleiner dan ca. 15% in de waarden van de luminantie of van de ongelijkmatigheid.

Wil men deze discrepantie vermijden, dan moet met de R-tabel van het wegdek zelf worden gewerkt. Deze is echter meestal niet bekend; een betere benadering kan gevonden worden door het proces van *identificatie*. Wanneer de drie bedoelde reflectiefactoren van het betreffende wegdek worden gemeten, kan uit de bestaande atlassen (bijvoorbeeld Erbay, 1974) een R-tabel worden geselecteerd van een 'identiek' wegdek (identiek betekent hier dat de waarden van de drie reflectiefactoren gelijk zijn, of ten minste recht evenredig met elkaar zijn).

#### 3.4.8.6. Reflectie-eigenschappen van wegmarkeringen

In de praktijk is de waarneembaarheid van wegmarkeringen eigenlijk steeds redelijk tot zeer goed, met één belangrijke uitzondering: bij regen en duisternis op een overigens onverlichte weg omdat dan de retroreflectoren niet werkzaam kunnen zijn (Schreuder, 1980a).

Er is veel onderzoek gedaan naar de eisen die aan de waarneembaarheid van wegmarkeringen moeten worden gesteld. Overdag zijn deze eisen niet kritisch, en evenmin bij openbare verlichting. Voor wegen zonder openbare verlichting heeft de CIE, op basis van dit onderzoek, dat in een nauwe onderlinge samenwerking in Frankrijk en in Duitsland is uitgevoerd, aanbevolen dat de retroreflectiewaarde tenminste 50 mcd/m<sup>2</sup>.lux moet bedragen.

De meting van deze reflectiefactor is echter geen eenvoudige zaak. In de praktijk blijkt dat vooral de geometrie tot problemen aanleiding kan geven. Immers, de waarnemingshoek is - net als bij wegdekken - slechts één graad met de horizontaal. Maar anders dan bij de wegdekken is de lichtinvalsrichting nog vlakker; immers, koplampen zitten dicht bij de weg dan het oog van de waarnemer. Aangezien deze vlakke hoeken tot problemen bij het uitrichten kunnen leiden, heeft men gewoonlijk een veel makkelijker weg gekozen: de waarnemingshoek is op 5° gesteld, en de invalshoek op 3°. Daarbij gaat men echter voorbij aan het feit dat de waarneembaarheid bij deze vrij grote hoeken geheel anders kan zijn dan bij de hoeken die voor het verkeer relevant zijn.

Het wordt als een belangrijke gemis gevoeld dat wegmarkeringen niet gemeten kunnen worden onder deze relevante hoeken; daarbij komt dat de waarneembaarheid van de markering vooral afhangt van het *contrast* tussen markering en wegdek, zodat beiden onder dezelfde geometrie moeten worden gemeten. Het is van belang dat met de in ontwikkeling zijnde meetmethode ook wegmarkeringen gemeten kunnen worden.

# The In Situ Measurement of Road Reflection

Dr D A Schreuder (Netherlands)

## Introduction

Modern road lighting design is based on the *luminance concept*. This concept implies that the road surface luminance is the most important criterion for the quality of the installation; furthermore, it implies that the non-uniformity of the luminance pattern and the (disability) glare are the two other criteria of quality. The luminance concept is the basis for most modern national and international codes and standards for road and street lighting, more in particular for the lighting of traffic routes.

The luminance concept is by no means the only system for the assessment and description of the quality of road lighting. Three more concepts are in wide use:

- the *illuminance concept*, stating that it is the light falling on the surface that determines the quality of the road lighting, rather than the light the light reflected by it. In the past, this concept was almost universally adopted, and to-day still is the most common concept for general outdoor lighting and for lighting of residential streets;
- the *comfort concept*, that stresses the aspects of quality rather than quantity in road lighting. This concept is particularly applied in shopping and other residential areas;
- the *visibility concept*, that reckons with the fact that the luminance is only an intermediate value, and that visibility is required for safe traffic. Although the approach has its theoretical merits, practical implementation is limited because of a lack of design data and, more important, a lack of insight as of which objects ought to be visible.

## Applying the luminance concept

The road surface luminance is the central issue of the luminance concept. For this there are three reasons:

- (i) the road surface luminance determines to a large degree the state of adaptation and therefore the level of visual performance of the road user/car driver;
- (ii) the road surface is the most important background for dangerous obstacles in traffic, both stationary (stones, boxes, spare wheels) and moving (cars, pedestrians, animals);
- (iii) the road surface luminance is closely related to the total light flux to be installed, and therefore to the costs of the lighting installations (both installation costs and running costs, as well as energy consumption).

Secondary to the (average) road surface luminance, also the non-uniformity of the luminance pattern and the (disability) glare are important criteria of quality of road lighting installations. Almost all Standards and Codes giving lighting values for these criteria, usually in relation to the type of road, the speed, the volume and the composition of the traffic.

The luminance concept requires the calculation of the luminance and of the non-uniformity of the luminance pattern as part of the design of the road lighting installation. In this respect, the luminance concept and the visibility concept pose identical requirements upon the design method, as the same quantities are needed in both cases.

## The reflection of light by road surfaces

The luminance of a non-emitting surface is determined by two quantities: (i) the amount of incident light and (ii) the reflection characteristics of the surface. Both quantities have a vectorial character, showing both magnitude and direction (without being,

mathematically speaking, "true" vectors, as vector summation usually is not valid). The direction of each vector can be described with two angles; this means four directional parameters in total, plus two scalars for the length of the vectors.

In many cases the directional dependency can be neglected, and the calculation of the luminance is reduced to a multiplication of two scalars: the illuminance and the reflectance. In road surfaces, however, this is never allowed, particularly because lighting for motorized traffic requires to know the luminance at a considerable distance in front of the vehicle. This means that the angle of observation (the angle between the line of sight and the surface of the road) is very small indeed; the angle is standardized to be one degree, but there are doubts whether this standard may always be used. This glancing angle implies that also glancing angles of light incidence may be relevant. And finally, many surfaces are not isotropic – their reflection changes when the surface is rotated around a vertical axis. Fortunately, most asphalt surfaces are isotropic, and asphalt is the most common surface for traffic routes. So, when the angle of observation is kept constant, and the surface is considered as being isotropic, two angles are sufficient to describe the angular aspect.

The scalar aspect is simple: in order to find the luminance (in the required direction) it is sufficient to multiply the scalar values of the light intensity and of the reflection characteristic, both in the relevant directions. And this is precisely what is done in the design of road lighting installations. One uses a table where the intensities of the luminaires that will be used are given for the different angles, and a similar table that gives the reflection "factors" for the surface of the road that will be lighted. From the geometry of the installation, and from the position of the observer, the relevant angles for each point on the road can be determined. The corresponding luminous intensity and the reflection "factor" for these angles are multiplied. This yields the luminance for that point as a result of that luminaire. The process is repeated for all luminaires that contribute to the lighting of that point, and again for all points that are relevant for the description of the quality of the lighting installation.

We will not discuss here the fact that this is only the first step of a tedious iterative process (usually the process has to be repeated many times before a satisfactory result is found), nor the fact that at present the result of the finished installation cannot easily be measured with any degree of accuracy. We will discuss here another problem; it is impossible in practice to measure the reflection characteristics of the road!

## The characterization of the reflection properties of road surfaces

All common dry road surfaces exhibit, when observed under a glancing angle, a "mixture" of specular and diffuse reflection. When wet, the specular component usually is the dominant; when viewed under a steeper angle – for instance as a pedestrian would do – the diffuse component dominates.

In order to characterise and classify road surfaces, systems are used that take these two components into account. The older one (introduced by Westermann, 1963) uses the  $Q_0$  to quantify the diffuse component, and  $\kappa$  to quantify the specular component. Because the two are not independent (in mathematical terms not orthogonal), and because they were very hard to measure, they are mostly not used any more. We will not discuss them here. Detail can be found in Schreuder (1967).

They have been replaced by another set of quantities:  $P(0;0)$ ,  $P(2;0)$  and  $P(1;90)$ . Here,  $P$  means the luminance factor as commonly defined, but divided by  $\pi$ ; the first digit is the tangent of the angle of incidence in the plane of observation, and the second digit is the angle (in degrees) in the plane perpendicular to the plane observation. The three reflection "factors" can easily be measured in the laboratory, using samples cut out of the road.

Two remarks must be made; the first is the replacing  $Q_0$  by the (theoretical) diffuse reflection; as is common in judging painted surfaces, did not prove an improvement. The diffuse reflection  $Q_d$  may, however, give important additional data for daytime situations, particularly for testing road marking materials. The second is that the measuring area must be large in comparison to

the elements (the “graininess”) of the road surface. For traditional asphalt an area of 400 cm<sup>2</sup> did prove to be sufficient (SCW, 1974;1984). There are, however, reasons to believe that for modern surfaces (e.g. porous asphalt) the area must be considerably larger.

The C1-C2 system allows for the following steps:

- (i) the reflection of any road surface can be *characterized* by the values of the three factors;
- (ii) the surface can be *identified* when the three values are identical (or close) to the three values of another surface (e.g. a surface that is designated as a “standard” surface);
- (iii) road surfaces can be *classified* on the basis of P(2;0). A large study revealed that only two classes are needed to classify all “traditional” surfaces, provided P(0;0) is used as a “scaling factor”. It should be noted that this classification (the so-called C1-C2-system) is based on similarities of road lighting installations, and not, like the Qo-kappa-system on similarities in the reflection characteristics.

This system has been proposed in the Netherlands (Burghout, 1977). It is subsequently adopted by CIE as an alternative of the Qo-kappa-system (CIE, 1984). The C1-C2-system is applied for design purposes in a few steps. First, the P(0;0) and the P(2;0) of the surface are determined, yielding the C-class; next, the standard surface of that class is selected, and the calculations of the luminance and the uniformity are made. Because the standards for C1 and C2 are normalised on P(0;0) = 1, the result has to be multiplied by the value of P(0;0) of the actual surface.

This process seems to be simple; however, the three problems indicated earlier are still not solved: the iterative process is tedious and time-consuming; the results cannot be measured accurately, and the reflection characteristics are usually not known.

## Measuring the reflection properties of road surfaces *in situ*

The problem of assessing the reflection properties of road surfaces is, that at present measuring devices are rare (only two or three are available in the whole world), and they require road samples to be cut out of the road – usually quite large samples. All this is clumsy, time consuming and very expensive. In real life this means that the design of road lighting usually is based on estimated values of the reflection characteristics – or even, that the luminance concept is not used at all.

In this paper, a system is described that has been designed to measure the three values that are the base of the C1-C2-system, viz.: P(0;0); P(2;0) and P(1;90). The measurements can be performed *in situ*, on the actual road surface, during the daytime and without undue disturbance to the traffic on the road. The system is based on the standard CIE-geometry for defining and measuring the reflection characteristics of road surfaces, so that the data are directly applicable to the C1-C2-system of identification and classification, and can be used directly for lighting design.

As we mentioned before, the area for measurement must be at least 400 cm<sup>2</sup>, and in all likelihood considerably more for modern road constructions. The reflection properties are defined for parallel beams of light only, so a large measuring area requires a large installation or very complicated optics. There is no need, however, to do the measurements simultaneously. In the system described here, the measuring area is very small (only one or two square centimetres). A large number of measurements must be made consecutively to represent the large measuring area (or a “point” on the road). Thus, the system is essentially “dynamic”, and that was precisely a requisite for easy handling. As roads are quite large, there is very little restriction in the number of points (“mini-points”) that are actually measured to define the reflection in one “point” on the road.

For practical reasons, the direction of the “light rays” has been reversed, so that the light source is at the location of the observer and the (three) detectors at the location of the (three) light source points for the three reflection characteristics. This allows the simultaneous measurements of the three values. For simultaneous

calibration, a fourth detector can be added, so that all measurements are relative – herewith reducing the measuring deviations. For day and night measurements of road markings, two more detectors may be added: one representing daylight (the Qd mentioned earlier) and one representing the lighting by vehicle headlamps. In practice, the measurements are compared to a standard surface (a prepared piece of diffusely reflecting, grey plastic). The light source is a monochromatic laser. The colour of the laser is of no consequence, because earlier measurements have shown that all common asphalt and concrete road surfaces are “pure grey”. The detectors are standard silicium-diode cells with monochromatic filters; the recording is done by standard equipment: a switching device, an analogue-to-digital converter, and a portable (lap-top) PC for both registering the data as for the synchronisation of the different measurements.

In geometric optics it is allowed – by definition – to “turn around” the light rays; but when diffuse reflection (and therefore refraction) is involved, there might be raised some theoretical questions. At present no signs have been found that there are problems, but it is a matter for future consideration to ascertain this point (e.g. by reverting back the light rays in some experiments). Also the monochromatic (laser) light source may pose some restrictions on the applicability of the system; also here, further research is needed (e.g. by repeating some of the measurements at other wave-lengths of the light).

The measuring gear is mounted on a small cart that is pushed by hand at a walking pace. Stabilization and steering are no problem, and it is very simple to avoid by eye, patches of the road that should not be measured, e.g. repair spots. Future options include a trailer behind a car. In that case, special care has to be paid to stabilise the trailer: the measurement will be chopped when the laser and/or the detectors are displaced respective to their nominal places. The versatility of the cart allows the measurements to be made in normal traffic conditions (at least in urban streets). The laser is so intense that the measurements can be made in broad daylight; it is enough just to shield the direct sunlight. It should be mentioned that the laser is well within all normal safety requirements. The measurements take only a few minutes in each street, calibration and unloading and loading of the cart included.

The device can be used by road lighting authorities as a design tool for road lighting installations. Also it can be used for acceptance testing of roads, and also for classification of roads and road building materials.

## Preliminary results

As a part of a project to establish an optimal design and maintenance system for the public lighting in a medium-sized city in the Netherlands, a study was made to investigate the optimization of the public lighting in terms of energy. The measurement *in situ* of the reflection properties of the road surfaces was part of that study. This was based on the assumption that the road lighting design is based not on the actual reflection properties but on a (probably crude) estimation of these characteristics. The design cannot therefore be very accurate. Further it is assumed that road lighting authorities “play for safe” and increase the light level in case of doubt. This extra increase is not needed for road safety nor for comfort, as these aspects are well covered in the current recommendations (e.g. those of NSVV, 1990). This extra increase does represent energy and money that is not needed; it can be saved by a more accurate lighting design based on precise knowledge of the reflection properties of the road surface.

For this test, five roads were selected, all having a traffic function. The class of the roads was given by the traffic management of the city authorities. These classes were compared to the road classification of the national recommendations for road lighting (NSVV, 1990) to assess the required luminance level. Further, the reflection was measured with a prototype of the system described above. Next, the roads were classified according to the C1-C2-system, and a lighting installation was designed that allowed for the recommended luminance levels, using the C-class and the actual P(0;0) value as a scaling value. Finally, the power load per lengthwise meter was calculated and compared to the

power that was installed in reality. The results are given in the following table:-

street	existing situation			optimal situation			ratio	
	lamp	Watt s	W/m	lamp	Watt s	W/m		
1	SON 70	27	2.59	SON-T 70	31	2.26	0.87	
2	SON 70	25	2.8	SON-T 70	31	2.26	0.81	
3	SON 70	22	3.18	SON-T 70	25	2.8	0.88	
4	SOX 2*90	27	6.67	SOX-E 2*66	20	4.13	0.62	
5	HPL 250	23	10.87	SON-T 70	31	2.26	0.21	

In all cases there seems to be room for a considerable saving in energy. A more precise assessment of the savings can be made while using the identification rather than the classification of the road surfaces. It should be pointed out, however, that some of the saving is due to the use of more efficient light sources. The SON-T has a marginally higher flux than the SON, but still the saving is considerable. The saving is much higher with the SOX installation; in spite of the fact that SOX-E is more efficient. And the case of changing from HPL to SON is dramatic: only 20% of the original energy is needed!

## Conclusion

It is too early to come to a definite conclusion, but it seems that the system described in this paper allows for easy and rapid (and cheap) measurements of the reflection characteristics of road surfaces *in situ*. The data seem also to be useful: a better understanding of the reflection of the road can lead to considerable reductions in the power to be installed.

## References

- Burghout, F. (1977). Simple parameters significant of the reflection properties of dry road surfaces. In: CIE, 1977.
- CIE (1977). Measures of road lighting effectiveness. Symposium Karlsruhe, July 5-6, 1977. LiTG, Berlin, 1977.
- CIE (1984) Road surfaces and lighting (joint Technical Report CIE/PIARC). Publication No. 66. CIE, Vienna, 1984.
- De Boer, J.B. ed. (1967). Public Lighting. Centrex, Eindhoven, 1967.
- NSVV (1990). Aanbevelingen voor openbare verlichting (Recommendations for public lighting). NSVV, Arnhem, 1990.
- Schreuder, D.A. ((1967). The theoretical basis for road lighting design. Chapter III in: De Boer, ed., 1967.
- SCW (1974). Wegverlichting en oppervlaktetextuur (Road lighting and surface texture). Mededeling No. 34. SCW, Arnhem, 1974.
- SCW (1984). Lichtreflectie van wegdekken (The reflection of light by road surfaces). Mededeling 53. SCW, Arnhem, 1984.
- Westerman, H.O. (1963). Reflexionskennwerte von Strassenbeläge (Reflection characteristics of road surfaces). *Lichttechnik 15* (1963) 507-510.

## B.II.A. Kenmerken en aanbevelingen van wegtypen

Deel B.II.A. behandelt de kenmerken van verschillende wegtypen en de daarop gebaseerde aanbevelingen voor openbare verlichting. Deze aanbevelingen worden door de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde uitgegeven, en zijn in aanzienlijke mate gebaseerd op door de SWOV uitgevoerd onderzoek op het gebied van categorisering en classificering van wegen en straten. Ook de door de Rijkswaterstaat uitgebrachte Richtlijnen voor het Ontwerp van Autosnelwegen, respectievelijk, van Niet-Autosnelwegen (de bekende ROA en RONA) hebben een rol gespeeld. Het kenmerk is dat aan de hand van een determineersysteem niet zozeer de wegklasse zelf, maar rechtstreeks de verlichtingsklasse kan worden bepaald, en dat het gebaseerd is op (in beginsel) objectief vaststelbare kenmerken van de weg. Deze onderwerpen zijn besproken in het in 1990 door de NSVV uitgegeven Deel I van de bedoelde aanbevelingen.

Deel B.II.A. is gebaseerd op een in 1994 gegeven cursus, en is dus up-to-date. Wel dient te worden opgemerkt dat sinds 1990 een aantal verdere delen van de Aanbevelingen uitgegeven zijn, of op het punt staan om te worden uitgegeven. De in die delen behandelde materie betreft echter andere onderwerpen.



## B.II. TECHNIEK OPENBARE VERLICHTING

### B.II.A. KENMERKEN EN AANBEVELINGEN VAN WEGTYPEN (PBNA LES 6)

## **§ 2. Aanbevelingen voor Openbare Verlichting**

### **2.1 Deel I: 'Kwaliteitscriteria en aanbevolen waarden'**

De Aanbevelingen voor Openbare Verlichting van de NSVV bestaan uit vier delen. Het eerste deel is in 1990 uitgegeven onder de titel: 'Kwaliteitscriteria en aanbevolen waarden'. Het tweede deel gaat over meten en toetsen, de delen drie en vier respectievelijk over het ontwerpen en over de financiële aspecten.

Bij de bespreking van het eerste deel worden de Aanbevelingen zelf geciteerd. Het werken met de Aanbevelingen wordt in volgende lessen van deze cursus in detail behandeld. Hier geven we een algemeen overzicht.

'Bij de opzet van de onderhavige Aanbevelingen is in tegenstelling tot vorige uitgaven niet gezocht naar een 'goede' of 'net voldoende' openbare verlichting. Het is nu eenmaal zo, dat het thans technisch heel goed mogelijk is de verlichting zodanig uit te voeren dat de visuele waarneming sterk wordt verbeterd. Dit is evenwel op grond van economische en energetische overwegingen in de praktijk niet gewenst. Daarom is gekozen voor een technisch en economisch/energetische balans, dus voor een 'verantwoorde' verlichting:

- verantwoord ten aanzien van de taak van de openbare verlichting, namelijk het leveren van een bijdrage aan de verkeers- en openbare veiligheid
- verantwoord ten aanzien van het energieverbruik.'

'Het hoofddoel van dit deel van de aanbevelingen is het adviseren van belanghebbenden in alle aspecten welke betrekking hebben op de functionele eisen te stellen aan de openbare verlichting.'

Voor wegen binnen de bebouwde kom valt de nadruk wat betreft deze functionele eisen op: 'het bevorderen van de verkeersveiligheid en de vlotheid van het verkeer en het bevorderen van de openbare veiligheid (de sociale veiligheid). Naast het bevorderen van de verkeersveiligheid en de openbare veiligheid, is de openbare verlichting een additioneel stedenbouwkundig element, dat een wezenlijke bijdrage kan leveren aan de belevingswaarde van de openbare ruimte.' Onder dit laatste vallen dus de eerder genoemde subjectieve ervaringen (de subjectieve veiligheid en de leefbaarheid), en de economische en recreatieve aspecten.

'De functie van de verlichting buiten de bebouwde kom is het verbeteren van de kwaliteit van de verkeersafwikkeling.' Daarbij moet men bedenken dat in Nederland vrijwel alle wegen en straten binnen de bebouwde kom van een openbare verlichting zijn voorzien, maar dat de wegen buiten de bebouwde kom in meerderheid onverlicht zijn. Voor wegen buiten de bebouwde kom gaat aan de vraag naar de verlichtingskwaliteit dus de vraag vooraf, of de weg wel een openbare verlichting 'verdient'.

Tenslotte geven de aanbevelingen een aparte behandeling voor fietspaden aan. Dit is ingegeven door een aantal praktische overwegingen.

Ook worden in Deel I een aantal ontwerpaspecten behandeld. Het gaat daarbij om de lichtterugval, de energiebesparing en de daarmee samenhangende aspecten van dimmen en schakelen. Ook komen kleuraspecten aan de orde, alsmede de verlichting van aangrenzende gebieden en de uitloopverlichting.

## **2.2 De delen 2, 3 en 4**

Deel 2 van de Aanbevelingen betreft het meten van de lichttechnische karakteristieken van installaties voor openbare verlichting. In Les 12 van dit vak wordt uitgebreid ingegaan op deze materie.

Verderop zullen we ingaan op het feit dat voor sommige wegtypen de lichttechnische karakteristieken in luminanties worden uitgedrukt, en voor andere wegtypen in verlichtingssterkten. We zullen hier nog enige algemene gezichtspunten geven over lichttechnische metingen en hun toleranties.

*Metingen* worden uitgevoerd om gegevens over de installatie te verkrijgen. Deze gegevens hebben op zichzelf weer een of andere functie; de wijze van meting, en de eisen die eraan worden gesteld, worden bepaald door de functie die de meetresultaten vervullen. Hierover kan een algemeen schema worden opgesteld. De belangrijkste redenen voor het uitvoeren van metingen zijn:

- a. gegevens verschaffen over aansprakelijkheidsvragen en schade-toewijzing;
- b. gegevens verschaffen ten behoeve van afnamecontrole van leveranties;
- c. gegevens verschaffen ten behoeve het opstellen van richtlijnen en standaards;
- d. gegevens verschaffen voor het verlichtingsontwerp;
- e. gegevens verschaffen ten dienste van wetenschappelijk onderzoek;
- f. gegevens verschaffen ten dienste van onderhoudschema's;
- g. gegevens verschaffen ten dienste van overzichtsstudies (bijvoorbeeld ongevallenstudies).

Voor ieder van deze gevallen worden andere eisen gesteld aan de metingen. Maar ook kunnen we een aantal verschillende aspecten aanwijzen waarover de eisen worden gesteld, en wel:

- a. de 'status' van de metingen (de mate waarin er een autoriteit aan wordt toegekend);
- b. de nauwkeurigheid van de metingen (reproduceerbaarheid, duplicerbaarheid, gevoeligheid voor storingen zoals netspanningvariaties of temperatuurschommelingen);
- c. de snelheid waarmee de metingen kunnen worden uitgevoerd (wachtijden enzovoort);
- d. de kosten van de metingen (vooral personeelskosten, maar ook afschrijving van de apparatuur enzovoort);
- e. de storing die door de metingen wordt teweeggebracht (metingen vinden veelal op straat plaats, waarbij het verkeer kan worden verstoord of zelfs in gevaar gebracht).

We kunnen een 'matrix' opstellen waarin deze eisen voor de toepassingsgebieden worden aangegeven. Omdat het om een kwalitatieve inschatting gaat, volstaan we met de bekende 'plussen en minnen'.

eisen doel van de metingen	status	nauw- keurig- heid	snelheid	kosten	storing
aansprakelijk- heid	+++	++	-	—	—
oplevering	+++	+++	—	—	—
normen	++	++	-	-	—
ontwerp	0	++	+	0	-
onderzoek	—	+++	+	+	0
onderhoud	—	+	++	+++	+++
overzicht	—	—	+++	+++	+++

Metingen van natuurkundige aspecten in het werkelijke leven kunnen nooit een absolute nauwkeurigheid hebben; altijd is er sprake van *toleranties*. Toleranties zijn niet te vermijden, maar wanneer ze kleiner zijn dan een bepaald maximum doen ze ook niet veel kwaad. In de re-

gel blijkt dat metingen duurder worden naar mate de toleranties kleiner moeten zijn: duurder in apparatuur, in deskundigheid en in meettijd.

Wat betreft de luminantiemetingen voor wegverlichting is er nog een ander belangrijk punt: momenteel bestaan er geen goedkope en eenvoudige methoden om de luminantie van wegverlichtingsinstallaties op nauwkeurige wijze te bepalen. Zoals in de lessen 7 en 9 nader wordt toegelicht, zijn nog niet alle 'gereedschappen' beschikbaar om complete ontwerp- en beoordelingssystemen op te stellen voor wegverlichting.

Deel 3 gaat over het ontwerpen van verlichtingsinstallaties en deel 4 over de financiële aspecten van openbare verlichting. In andere lessen wordt op deze materie nader ingegaan.

### § 3. Klasse-indeling van wegen en straten

Er zijn drie redenen om wegen in klassen in te delen:

- ontwerp;
- beheer;
- gebruik.

Deze drie hangen onderling samen. Bij 'ontwerp' dient men te bedenken dat verschillende wegtypen wellicht op verschillende wijzen dienen te zijn ontworpen en uitgevoerd. Onder 'beheer' wordt verstaan de wegbeheerder: gaat het om rijkswegen, gemeentelijke wegen enzovoort. Het meeste belang is echter het 'gebruik'. Voor een goede classificatie van wegen dient aan het laatste punt de meeste aandacht te worden besteed: van de weggebruikers wordt op wegen van verschillende klasse een verschillend gedrag gevraagd.

De Nederlandse Stichting van Verlichtingskunde (NSVV) heeft, ten behoeve van de nieuwe Aanbevelingen voor Openbare Verlichting, een klasse-indeling opgesteld, die zowel voor nieuwe als voor bestaande wegen en straten kan worden gebruikt. De juiste klasse kan worden gevonden met behulp van een *determineersysteem*. De determinering gebeurt aan de hand van de tabellen die in de Aanbevelingen zijn opgenomen. Om wille van de overzichtelijkheid zijn in deze tabellen niet eerst nog eens de aanduidingen van de wegklassen aangegeven, maar direct de verlichtingsklasse. In een aantal aparte tabellen is aangegeven welke lichttechnische karakteristieken behoren bij elk van de verlichtingsklassen. In §3.5 wordt het determineren verder toegelicht.

#### 3.1 Bebouwing langs de weg

Wat betreft de locatie zijn de wegen in twee groepen ingedeeld:

- wegen buiten de bebouwde kom,
- wegen binnen de bebouwde kom.

### **Wegen buiten de bebouwde kom**

Het wegennet buiten de bebouwde kom bestaat in Nederland uit drie hoofdgroepen van wegen: autosnelwegen, autowegen en de overige wegen. Deze 'overige wegen' vormen een zeer heterogene groep; de enige gemeenschappelijke factor is, dat er een snelheidslimiet van 80 km/h bestaat.

Daarom worden ze algemeen aangeduid met '80 km/h-wegen'. Deze wegen vormen geen formele categorie. Er behoren autowegen, wegen met geslotenverklaringen, en wegen voor gemengd verkeer toe. De geslotenverklaringen kunnen allerlei voertuigtypen omvatten. Gebruikelijk zijn landbouwverkeer (tractoren; vee) en fietsen/bromfietsen.

*80 km/h-wegen* omvatten een belangrijk deel van het (verharde) Nederlandse wegennet. In de praktijk vindt men meestal wel een aantal overeenkomsten tussen de 80 km/h-wegen onderling. Er zijn ook vele uitzonderingen op deze regels.

- Het grootste deel van deze wegen zijn in beheer bij gemeenten; andere beheerders zijn provincie en waterschappen;
- het overgrote deel van deze wegen is open gesteld voor gemengd verkeer;
- langzaam verkeer (landbouwverkeer) komt veel voor;
- vrijliggende fietspaden komen voor, maar zijn uitzondering;
- het overgrote deel van deze wegen bestaat uit een enkele rijbaan met twee rijstroken (ze zijn dus ingericht voor twee-richtingverkeer);
- vele, maar lang niet alle, zijn voorrangswegen;
- in geval de wegen geen voorrangsweg zijn, zijn de onderlinge kruisingen slechts zelden als voorrangskruising uitgerust;
- beplanting langs de wegen komt veel voor;
- een aanzienlijk deel van deze wegen heeft een asfalt wegdek; betonstenen ('klinkers') komen echter ook veel voor;
- het overgrote deel van deze wegen is (bij duisternis) onverlicht;
- in vrijwel alle gevallen sluiten deze wegen direct aan op de naast de weg liggende erven (ze hebben dus naast een verkeersfunctie ook een erf functie);
- deze wegen dienen te voldoen aan de RONA-richtlijnen; in de praktijk is dit slechts zelden het geval.

*Autowegen* zijn een aparte categorie: op autowegen geldt een snelheidslimiet van 100 km/h. Mede omdat voor een autobestuurder 100 km/h en 80 km/h subjectief gezien slechts weinig verschillen (overigens is ook objectief het verschil slechts gering: slechts 20%), en omdat snelheidslimieten slecht worden gehoorzaamd, is dit onderscheid voor de praktijk nauwelijks relevant. De sporadische bordjes – die bij duisternis vrijwel onzichtbaar zijn – helpen ook niet veel. Maar toch is het verschil tussen een autoweg en een weg met gemengd verkeer (al dan niet met gesloten-verklaringen) van groot belang voor het verwachtingspatroon van de bestuurder, en dus voor het gewenste gedrag: er kan geen, of juist wel, langzaam verkeer op weg voorkomen!

*Autosnelwegen* vormen een categorie met een duidelijke omschrijving voor wat betreft het vereiste gedrag en voor wat betreft de ontwerpcriteria en de uitmonstering. Ook zijn ze als groep vrij goed homogeen.

### **Wegen binnen de bebouwde kom**

Volgens de klasse-indeling van de NSVV worden de wegen binnen de bebouwde kom, in tegenstelling tot de wegen buiten de bebouwde kom, wel verder opgesplitst, en wel volgens een belangrijk kenmerk van het verkeer: wegen met een *verkeersfunctie*, en wegen met een *bestemmingsfunctie*. Daarnaast zijn, zoals reeds vermeld, uit praktische gronden de vrijliggende fietspaden als een aparte 'klasse' ingevoerd.

### **3.2 De functie van de weg**

De wegen en straten worden onderverdeeld naar het doorgaand verkeer in wegen 'met in hoofdzaak een verkeersfunctie' en 'in hoofdzaak een verblijfsfunctie' (Tabel 2 van de Aanbevelingen). Dit aspect van de functie van de weg kan worden gebaseerd op directe tellingen of directe metingen. Dit aspect wordt gedefinieerd als het percentage doorgaand verkeer – waaronder wordt verstaan verkeer dat de verplaatsing niet begint, noch eindigt in de betreffende straat of weg. Het percentage doorgaand verkeer is vooralsnog niet gekwantificeerd.

De wijze waarop de functie van de weg in de beschouwingen wordt betrokken is voor wegen buiten de bebouwde kom en voor wegen met een verkeersfunctie binnen de bebouwde kom hierboven reeds besproken. We zullen nog enige toelichting geven op de functie bij wegen en straten met een verblijfsfunctie zoals die zijn behandeld in Tabel 4 van de Aanbevelingen. Het gaat daarbij in de eerste plaats om een indeling in:

- woongebieden
- voetpaden
- winkelgebieden
- parkeerterreinen
- industriegebieden.

Voor de woongebieden wordt een verdere onderverdeling gemaakt naar:

- straten en pleinen
- erven
- paden
- parkeerterreinen.

Hier is enige toelichting nodig. *Straten* en *pleinen* omvatten de 'gewone' woongebieden; daarvoor geldt de snelheidslimiet van 50 km/h. *Erven* zijn hetzij woonerven met de bekende, sterk van gewone straten afwijkende, verkeersregelingen (voorrang van rechts voor alle verkeer; snelheid niet meer dan stapvoets; geen voetpad enzovoort), en de zgn 30 km zones die qua regelgeving en inrichting een tussenvorm vertegenwoordigen tussen woonstraten en woonerven. Het belangrijkste aspect is de maximaal toegelaten snelheid van 30 km/h; ook treft men vaak maatregelen aan om doorgaand verkeer te weren. *Paden* zijn de voet- en fietspaden die delen van woongebieden onderling verbinden. *Parkeerterreinen* zijn de kleinere parkeergelegenheden die speciaal voor de bewoners zijn bedoeld; dit in tegenstelling tot de hierboven genoemde terreinen waar de grote parkings voor winkelcentra enzovoort. worden bedoeld.

Wat betreft de *winkelgebieden* wordt een onderscheid gemaakt tussen gebieden die permanent bewoond worden (winkelstraten in stadscentra) en gebieden die niet permanent bewoond worden (shopping centers en winkelcentra). Uiteraard heeft het al dan niet permanent bewoond zijn belangrijke consequenties voor de eisen die aan de openbare verlichting worden gesteld.

In al de bovenstaande gevallen is de toedeling eenduidig vast te stellen; meestal blijkt de toedeling zonder twijfel uit de bestemmingsplannen.

Voorts is in de Aanbevelingen rekening gehouden met de *openbare veiligheid*. Het areaal van de verblijfsgebieden is globaal in twee gebieden verdeeld. Een dergelijke indeling kan niet meer dan kwalitatief zijn; wel kan echter binnen een stadsgewest een inschatting worden gegeven in 'normale' en 'onveilige' gebieden. Met de eisen te stellen aan de openbare verlichting is daarmee rekening gehouden.

Tenslotte de verlichting van de omgeving en de drukte. De verlichting van de *omgeving* speelt een rol bij de eisen die aan de openbare verlichting worden gesteld. Ook dit is een kwalitatieve indeling waarbij enerzijds aan het feit wordt gedacht dat een woonstraat dicht bij een drukke, sterk verlichte hoofdweg wellicht wat meer licht 'verdient' dan een afgelegen woonstraat; anderzijds dat de grote steden in het Westen in algemene termen een hoger lichtniveau toepassen dan de kleine provinciestadjes elders. Ook hiermee wordt bij de eisen rekening gehouden. De *drukke* tenslotte spreekt voor zich.

### 3.3 Infrastructuur

De *infrastructuur* is een belangrijke invoer voor het determinatiesysteem. Voor de meeste wegtypen gaat het daarbij in de eerste plaats om de *wegbreedte*; hieronder verstaat men gewoonlijk de breedte van de verharding van de hoofdrijbaan, onafhankelijk van het feit of erop wordt geparkeerd of niet. Voetpaden, ventwegen, parkeerhavens, bushaltes en andere incidentele rijbaanverbredingen of -versmallingen worden niet meegerekend. Het blijkt voldoende te zijn, de wegbreedte in gebieden in te delen ('ranges'), bijvoorbeeld 'circa 7 à 8 meter breed' (Tabel 2 van de Aanbevelingen). Dit betekent dat de opgaven van de wegbreedten geen exact gesloten sequentie vormen; de volgende range is 'circa 10 à 14 meter breed'. Het wordt aan de vindingrijkheid van de ontwerper overgelaten om te bedenken wat er moet gebeuren met een weg van bijvoorbeeld 9,25 meter breed. De NSVV heeft hiervoor gekozen, omdat de stappen in de verlichtingsklassen tussen de ranges gewoonlijk niet al te groot zijn; dit toegeven aan de gebruikers-vriendelijkheid van de Aanbevelingen heeft dus geen belangrijke consequenties. Iets dergelijks geldt voor de RONA/ROA gegevens die voor de wegen buiten de bebouwde kom zijn gebruikt (Tabel 5 van de Aanbevelingen).

Andere aspecten van de infrastructuur spreken voor zich. De visuele waarneming wordt bemoeilijkt, en daarom de eisen aan de openbare verlichting verzaamd, wanneer een weg geen gescheiden rijbanen of gelijkvloerse kruisingen heeft of voor tweerichtingsverkeer is ingericht, of wanneer er op de rijbaan wordt geparkeerd. Bij de Aanbeveling is ermee rekening gehouden dat niet alle combinaties voor de praktijk even belangrijk zijn: smalle wegen van ca 5 meter met

ongelijkvloerse kruisingen komen niet of nauwelijks voor. Door deze ongebruikelijke combinaties weg te laten kan de omvang van de tabel beperkt blijven.

### 3.4 Het verkeer

Een andere belangrijke ingang voor het determineersysteem is het *verkeer*. We hebben hierboven aangegeven dat de wegen en straten onderverdeeld worden in wegen 'met in hoofdzaak een verkeersfunctie' en 'in hoofdzaak een verblijfsfunctie'. Dit wordt, zoals we eerder hebben aangegeven, gedefinieerd als het percentage doorgaand verkeer – waaronder wordt verstaan verkeer dat de verplaatsing niet begint, noch eindigt in de betreffende straat.

Ook hebben we reeds de geslotenverklaringen besproken. In Nederland heeft men daarmee een situatie die we in andere landen niet of nauwelijks vinden: er zijn drie soorten wegen:

- wegen voor uitsluitend snelverkeer (auto's en motorfietsen);
- wegen voor gemengd verkeer (alle verkeer);
- wegen met geslotenverklaringen (meestal betekent dit: open voor alle verkeer behalve voor fietsen en bromfietsen).

Zowel voor wegen binnen de bebouwde kom (Tabel 2 van de Aanbevelingen) als voor wegen buiten de bebouwde kom (Tabel 5) is deze indeling in drie groepen van belang; het heeft invloed op de visuele waarneming, en daarom ook op de eisen die aan de openbare verlichting moeten worden gesteld. Voor verblijfsgebieden heeft een dergelijke indeling geen zin: vrijwel alle verblijfsgebieden staan open voor alle verkeer.

Ten slotte de *snelheid*. De snelheid wordt vaak als een criterium gebruikt voor de eisen die aan de voorzieningen van de weg en de uitmonstering moeten worden gesteld. Eigenlijk zou het omgekeerd moeten zijn: het verkeer, en daarmee verbonden het wegtype, dienen de te rijden snelheid te bepalen, en de voorzieningen voor de weg en de uitmonstering ervan dienen daarvan te worden afgeleid. Om toch met de effecten van al dan niet optimale snelheidskeuze rekening te kunnen houden, heeft de NSVV (in navolging van ROA/RONA) het begrip *moeilijkheidsgraad* ingevoerd, meer in het bijzonder voor wegen buiten de bebouwde kom (Tabel 5 van de Aanbevelingen). De ROA/RONA geeft nog een aantal andere aspecten van weg, verkeer en omgeving, die in de 'verzamelterm' moeilijkheidsgraad zijn ondergebracht.

### 3.5 Het determineersysteem

De NSVV-Aanbevelingen zijn gebaseerd op een klasse-indeling van wegen. Hierboven hebben we de details besproken; hier volgt een samenvatting:

- De eerste hoofdindeling is naar bebouwing: wegen binnen en buiten de bebouwde kom, (tabellen 2, 4 en 5), alsmede vrijliggende fietspaden (tabel 3).



- De tweede hoofdingeling voor wegen binnen de bebouwde kom is de functie van de weg. De wegen en straten worden onderverdeeld naar het doorgaand verkeer in wegen 'met in hoofdzaak een verkeersfunctie' en 'in hoofdzaak een verblijfsfunctie' (tabellen 2 en 4). Het percentage doorgaand verkeer is vooralsnog niet gekwantificeerd.
- De tweede hoofdingeling voor wegen buiten de bebouwde kom is 'nieuwe wegen' en 'bestaande wegen'. De nieuwe wegen zijn onderverdeeld volgens de ROA/RONA (Tabel 5a), terwijl de bestaande wegen min of meer de structuur van de wegen binnen de bebouwde kom volgen (Tabel 5).
- Wegen binnen bebouwde kom met in hoofdzaak een verkeersfunctie worden onderverdeeld naar verkeer (autoverkeer, gemengd verkeer enzovoort), en naar infrastructuur (gescheiden rijbanen, parkeren, enzovoort).
- Wegen binnen de bebouwde kom met in hoofdzaak een verblijfsfunctie worden onderverdeeld naar functie (woongebieden, winkelgebieden, industriegebieden) en naar het niveau van de criminaliteit. Deze begrippen zijn vooralsnog kwalitatief gehanteerd; kwantificering (in bebouwing, in aantallen misdrijven enzovoort) is momenteel nog niet voorzien.

De classificatie is bedoeld om voor iedere afzonderlijke weg of straat de klasse te kunnen bepalen – het *determineersysteem* dus. Hiervoor hebben de elementen van dit determineersysteem in detail besproken; we zullen het nu samenvatten en in het kort aangeven hoe er mee gewerkt dient te worden.

De werkwijze om de verlichting bij een bepaalde (bestaande of nog te ontwerpen) weg of straat te vinden is dus eigenlijk zeer simpel:

1. men stelt vast of de weg binnen of buiten de bebouwde kom ligt (de bebouwing).
2. men stelt vast of de weg (in hoofdzaak of uitsluitend) een verkeersfunctie heeft of (in hoofdzaak of uitsluitend) een verblijfsfunctie (de verkeersfunctie).
3. men bepaalt een aantal kenmerken van de straat
  - verkeersbouwkundige kenmerken (al dan niet gelijkvloerse kruisingen; al dan niet eenrichtingverkeer; al dan niet parkeren op de hoofdrijbaan);
  - verkeerskundige kenmerken (verkeerssamenstelling: gemengd verkeer, fietsers enzovoort);
  - geometrische kenmerken (wegbreedte, aantal rijbanen enzovoort);
  - verkeerstechnische kenmerken (verkeersintensiteit).

Met al deze gegevens kan uit één van de vijf tabellen van Deel I van de Aanbevelingen direct worden afgelezen welke klasse van verlichting voor de betreffende weg noodzakelijk is (Tabel 2, 3, 4, 5 en 5a). Vervolgens kan uit twee verdere tabellen worden afgelezen welke verlichting aan de betreffende verlichtingsklasse voldoet. Dit zijn de Tabellen 6 en 7. In par 4. gaan we na hoe we deze tabellen moeten hanteren.

## § 4. Verlichtingsklassen

### 4.1 Het lichtniveau

Hierboven hebben we aangegeven dat uit een van de vijf tabellen van Deel I van de Aanbevelingen direct wordt afgelezen welke klasse van verlichting voor de betreffende weg noodzakelijk is, uitgedrukt in de verlichtingsklasse. Iedere verlichtingsklasse bestaat uit een opgave van het lichtniveau en de gelijkmatigheid, en vaak ook van de verblindingsbegrenzing. Daarbij is rekening gehouden met het feit dat voor verschillende toepassingen ook verschillende waarden voor het lichtniveau enerzijds en van de gelijkmatigheid en de verblindingsbegrenzing anderzijds, gecombineerd moeten worden. Daartoe zijn de verlichtingsklassen steeds door de *combinatie* van een *cijfer* en een *letter* aangeduid: het cijfer is een code voor het lichtniveau, en de letter een code voor de gelijkmatigheid en eventueel de verblindingsbegrenzing. Zo betekent de code 2B: 'gemiddelde luminantie gelijk aan  $1,5 \text{ cd/m}^2$ ;  $U_0$  groter dan 0,4;  $U_1$  groter dan 0,6;  $TI$  minder dan 15%'.  $U_0$ ,  $U_1$  en  $TI$  zijn maten waarin de gelijkmatigheid en de verblindingsbegrenzing worden uitgedrukt; we zullen ze toelichten in de paragrafen 4.2 en 4.3. Uit de tabellen 6 en 7 van de Aanbevelingen wordt afgelezen welke verlichting aan de betreffende verlichtingsklasse voldoet.

Het maakt daarbij opnieuw uit, of we met een verkeersweg, of met een verblijfsgebied te maken hebben. Voor wegen met uitsluitend of in hoofdzaak een verkeersfunctie wordt de verlichtingskwaliteit uitgedrukt in luminantiewaarden en de verblindingsbegrenzing. Meer in het bijzonder wordt het lichtniveau weergegeven in de *gemiddelde wegdek-luminantie*. Voor wegen en straten met uitsluitend of in hoofdzaak een verblijfsfunctie wordt het lichtniveau uitgedrukt in de *gemiddelde horizontale verlichtingssterkte*.

De gemiddelde wegdek-luminantie is als volgt gedefinieerd: 'de gemiddelde luminantie van het wegdek tussen 60 en 160 m voor de waarnemer bij een waarnemingspositie op 1,50 m boven het wegdek op een vierde van de rijbaanbreedte, gezien van de rechterkantstreep'.

### 4.2 De ongelijkmatigheid

Het tweede belangrijke kwaliteitscriterium van de wegverlichting is de *gelijkmatigheid*. Ook daarbij maakt het opnieuw uit, of we met een verkeersweg, of met een verblijfsgebied te maken hebben. Voor wegen met uitsluitend of in hoofdzaak een verkeersfunctie wordt ook de gelijkmatigheid uitgedrukt in luminantie-waarden, meer in het bijzonder in de gelijkmatigheid van het luminantiepatroon.

Het luminantiepatroon wordt gekarakteriseerd door twee kenmerkende grootheden, die ieder een aspect van het patroon kenmerken. De hierna volgende definities zijn ontleend aan de NSVV-Aanbevelingen. De eerste is de absolute gelijkmatigheid  $U_0$ . Deze is gedefinieerd als 'de verhouding van de kleinste luminantie in het voor de wegdek-luminantie relevante deel van het wegdek en de gemiddelde wegdek-luminantie ( $U_0 = L_{min}/L_{gem}$ )'.

De tweede maat is de langsgelijkmatigheid  $U_l$ . Deze is gedefinieerd als: 'de verhouding van de kleinste en de grootste luminantie langs de lijn door de waarnemingsplaats boven het wegdek op een vierde van de rijbaanbreedte, gezien vanaf de rechterkantstreep' ( $U_l = L_{\min}/L_{\max}$ ). Hoewel in principe elke lijn daarvoor in aanmerking komt is internationaal (CIE) overeengekomen hiervoor het midden van elke rijstrook te nemen'.

Voor wegen en straten met uitsluitend of in hoofdzaak een verblijfsfunctie wordt de verlichtingskwaliteit uitgedrukt in de horizontale verlichtingssterkte. Voor de gelijkmatigheid wordt het patroon van de verlichtingssterkte gebruikt. De gelijkmatigheid wordt uitgedrukt in de gelijkmatigheid van de horizontale verlichtingssterkte  $U_h$ . Deze is gedefinieerd als: 'de verhouding van de minimum en de gemiddelde horizontale verlichtingssterkte op het wegdek tussen twee opeenvolgende lichtpunten ( $U_h = E_{h,\min}/E_{h,\text{gem}}$ )'.

### 4.3 De verblindingsbegrenzing

*Verblindings* treedt op wanneer licht het oog treft, afkomstig van een lichtbron (verblindingslichtbron) die in richting afwijkt van het waar te nemen object. Verblindings verstoot de waarneming. In extreme gevallen wordt de waarneming onmogelijk (*absolute verblindings*); meestal is het niet zo erg, maar wordt de waarneming 'alleen maar' negatief beïnvloed. We spreken dan van *fysiologische verblindings*. Vaak ook wordt de Engelse term 'disability glare' gebruikt. Ook wanneer de verblindings geen aanwijsbare negatieve invloed heeft op de waarneming, kan hinder ontstaan. Dit kan vooral optreden bij zeer lage lichtniveaus. We spreken dan van *psychologische verblindings* of van gevoelsverblindings, of, met de Engelse term 'discomfort glare'.

Deze twee soorten van verblindings hebben, ondanks hun verschillen, veel gemeen. Het belangrijkste is dat beide toenemen bij toenemende lichtsterkte van de verblindingslichtbron. De disability glare neemt ongeveer recht evenredig toe. Ofschoon de discomfort glare iets minder sterk dan recht evenredig toeneemt, lijken de relaties in het gebied van lichtsterkten en luminanties dat voor de openbare verlichtings relevant is, zo veel op elkaar dat het niet nodig is voor beide verblindingssoorten aparte aanbevelingen te maken. In het verleden werden alleen aanbevelingen voor discomfort glare gegeven, maar in het kader van het streven naar een 'technisch en economisch/energetisch 'verantwoorde' verlichtings' heeft de NSVV voor de nieuwe Aanbevelingen gekozen voor de disability glare. In de aanbevelingen is ter kenschetsing van de disability glare de drempelwaardeverhoging of in het Engels 'threshold increment' gebruikt, aangeduid met *TI*. Deze is gedefinieerd als: 'De relatieve toeneming van de contrastdrempel, die bij aanwezigheid van verblindings benodigd is om de door die verblindings veroorzaakte verminderde contrastgevoeligheid te compenseren'. *TI* wordt in procenten aangegeven.

## B.II.B. Kwaliteitscriteria

In deel B.II.B. worden een aantal fundamentele gezichtspunten behandeld van de verschillende kwaliteitscriteria die bij openbare verlichting gebruikt kunnen worden.

Deel B.II.A. is gebaseerd op een in april 1993 gegeven voordracht die niet apart is uitgegeven. Het onderdeel kan dus als up-to-date worden beschouwd.

## 7. De verkeersveiligheid, wetenschappelijk en praktisch

Het voorafgaande was toegespitst op de verlichting voor het verkeer. Verlichting is een maatregel die kan worden gekozen met het oogmerk om daarmee de verkeersveiligheid te dienen. Om de verlichting als maatregel te optimaliseren, is het nuttig om na te gaan op welke wijze dergelijke maatregelen passen in het totaal van de activiteiten ter bevordering van de verkeersveiligheid. Daarvoor is het dienstig om een aantal wetenschappelijke en praktische aspecten van de verkeersveiligheid nader te bekijken. Daarbij kunnen we mooi het "drie-E-schema" gebruiken, waarbij alle verkeersveiligheidsmaatregelen worden opgedeeld volgens drie E's: Engineering, Education en Enforcement.

De beginjaren van het gemotoriseerde wegverkeer vielen samen met de tijd dat men, uitgaande van praktische overwegingen, aan kleine problemen weinig aandacht besteedde, ook al waren de gevolgen voor de betroffenen wellicht zeer ernstig. Verkeersonveiligheid werd niet als een probleem ervaren. Daarna kwam de tijd dat men zich realiseerde dat ongevallen vaak "veroorzaakt" werden door mensen die, meer of minder bewust, grote risico's namen, en dat het er vaak op leek dat het steeds dezelfde mensen waren die in ongevallen betrokken waren. Dit was de periode dat men zocht naar de ongevalsvatbaren ("accident prone"); de gedachte was dat men de verkeersveiligheid in het algemeen kon bevorderen door de brokkenmakers uit het verkeer te weren. Ofschoon er goede theoretische argumenten te vinden zijn voor het bestaan van brokkenmakers, bleek het uit praktische overwegingen niet mogelijk om bruikbare verkeersveiligheidsmaatregelen op dit gezichtspunt te baseren. Ten eerste is het niet mogelijk het begrip "brokkenmaker" op theoretische gronden zodanig te operationaliseren dat er een goede predictieve test kon worden opgezet; ten tweede bleek ook, dat een praktische test (het betrokken zijn in vele ongevallen) niet tot bruikbare resultaten vermocht te leiden, omdat het overgrote deel van de ongevallen "eerste" ongevallen zijn. Het weren van de brokkenmaker levert dus weinig rendement, terwijl er een aanzienlijke kans is dat de verkeerde uit het verkeer wordt geweerd. Dit is een uitvloeisel van de gedachte dat men ongevallen statistisch kan beschrijven met behulp van een Poisson-verdeling, waarbij een zeker aantal herhalingen van ongevallen direct uit het statistische karakter volgt. Enforcement bleek in dit opzicht niet effectief te zijn. Een variant op de brokkenmaker was het opsporen van tijdelijke situaties en omstandigheden die tot minder effectief verkeersgedrag leiden konden (alcohol, drugs, geneesmiddelen, maar ook mist en regen). Om dezelfde redenen leverde ook deze variant geen duidelijk effect op.

Maar in dezelfde periode bleek ook dat wegen en voertuigen vaak slecht waren ontworpen en toegerust voor het moderne snelverkeer. Men zocht naar verbeteringen in de techniek om de situatie te verbeteren. Het gaat daarbij om Engineering-maatregelen. Vaak bleek er inderdaad een zekere verbetering op te treden, maar vaak ook kreeg men de indruk dat deze verbetering weer werd "opgesoupeerd", bijvoorbeeld door harder te gaan rijden. De gedachte van de risico-homeostate was geboren. Voorlichting om dit "opsouperen" te beperken, bleek niet te helpen; deze vorm van Education bleek niet effectief te zijn.

De geringe effecten van de aanpak waarbij de brokkenmakers werden geweerd, in combinatie met het naar voren schuiven van de risico-homeostase, leidde tot de gedachte dat de mensen niet willen meewerken. Ongeveer in dezelfde periode werden belangrijke vorderingen gemaakt op het gebied van het milieu-bewustzijn; dit tezamen met de energiecrisis van 1972/73 leidde tot een stigmatisering van het autoverkeer. Er ontstond een stemming die kan worden omschreven met "ze leren het nooit"; "het zijn steeds dezelfde mensen" en "wie niet horen wil, moet voelen". Kortom, er werd "maatschappelijk ongewenst gedrag" geconstateerd, en dat diende middels "gedragsbeïnvloeding" te worden gecorrigeerd. Het verkeersveiligheidsbeleid werd gebaseerd op het "pakken" van de potentiële dader; en in het gedachtenschema dat toen opgeld deed, betekende dat "pakken in de portemonnaie". Al gauw bleek dat mensen zo niet in elkaar zitten; deze aanpak leverde niets op voor de verkeersveiligheid. Maar het bleek voor de overheid wel goedkoper te zijn dan de Engineering-maatregelen; vandaar wellicht de populariteit van dit soort maatregelen in bepaalde bestuurlijke kringen.

Maar in de maatschappij begon het besef door te dringen dat de meeste mensen niet zo zeer onwillig, als wel onwetend zijn. Wanneer de verkeersvoorzieningen zo worden uitgevoerd dat "vanzelf" het gewenste gedrag volgt, kan het verkeer veiliger worden gemaakt zonder ingrijpende (en dure) maatregelen voor de wetshandhaving. Bovendien werd de politie steeds meer belast met het bestrijden van de sterk toegenomen criminaliteit. Deze gedachte doet nog steeds opgeld; alleen de terminologie is veranderd. In plaats van "passieve verkeersveiligheidsmaatregelen" spreekt men nu over "duurzame veiligheid". De gedachte is afkomstig uit de nucleaire energiewinning; daar spreekt men over "inherentte veiligheid", waarmee bedoeld wordt dat er in geval van nood geen menselijk of elektronisch ingrijpen nodig is om de juiste handeling te verrichten waarmee de calamiteit afgewend kan worden; het zijn de alom aanwezige en "onfeilbare" natuurwetten die aan het werk worden gezet. Om onduidelijke redenen is deze waardevolle gedachte afgezwakt tot "duurzaam veilig", waarbij onder duurzaam in navolging van VROM wordt verstaan de eerste twee a drie decennia.

Tegelijk met, maar tegengesteld aan deze gedachte van een duurzame veiligheid, treedt een andere stroming aan de dag: uit een verlangen om "high tech"-elektronica ook in het wegverkeer toe te passen, worden allerlei geavanceerde systemen voorgesteld en deels zelfs al ingevoerd. Men spreekt heel gemakkelijk over "smart roads"; "smart vehicles" enz., zonder verder aan te geven hoe dit "smart" de verkeersafwikkeling en de verkeersveiligheid ook in de praktijk kan dienen. Het in toenemende mate vertrouwen op elektronische hulpmiddelen aan de weg of in de voertuigen brengt zekere gevaren met zich, die lijnrecht staan tegenover de gedachte van een inherent veilig systeem. Daarbij wil men immers juist degelijke hulpmiddelen vermijden! Het zijn echter allemaal Engineering-maatregelen die meestal erg veel geld kosten, zodat de uiteindelijke invoering op grote schaal nog wel even op zich zal laten wachten.

Momenteel, en hopelijk ook definitief, de laatste loot aan de boom van de modelvorming is de gedachte van "collega's in het verkeer". Het principe dat aan het geheel ten grondslag ligt, is dat het om mensen, medemensen gaat, waarvan men een zekere mate van eigen verantwoordelijkheid mag verwachten. Deze gedachte ligt in de lijn van de moderne theoretische pedagogiek, waar men heeft gevonden dat gewenst gedrag vooral door belonen van dat gedrag kan worden versterkt, en dat straffen van het ongewenste gedrag

veel minder effectief is (dat is immers ook "operant" gedrag). Moderne verkeersveiligheidsmaatregelen zijn daarbij in drie stappen opgebouwd:

- . eerst wordt de maatregel uitgelegd. Wanneer het een "goede" maatregel betreft, is dit uitleggen niet zo moeilijk, en vaak is dat al genoeg om het gewenste gedrag sterk te bevorderen;

- . vervolgens wordt het gewenste gedrag beloond. Vaak gebeurt dit letterlijk: mensen die hun autogordel dragen krijgen een geschenk(je);

- . pas dan gaat men over tot het straffen van de (hopelijk) enkele "zondaar"; niet zelden blijkt het daarbij te gaan om recidivisten die bij alle systemen in botsing met het gezag komen. De straf kan daarom beter bestaan uit een beperking om aan het verkeer deel te nemen (bijvoorbeeld door het rijbewijs af te nemen en de auto in beslag te nemen) dan uit een geldboete. Maar wel moet worden gezegd dat de ervaringen met preventie, en speciaal met generale preventie, niet erg hoopgevend zijn. Men zal, realistisch, moeten rekenen op het feit dat er steeds een bepaalde groep zal blijven die de regels aan zijn/haar laars lapt.

De ervaringen met deze aanpak zijn zeer hoopgevend. Er zijn vele gevallen bekend van duidelijke veranderingen in het gedrag. Of dit ook geleid heeft tot ongevallenreductie is meestal niet objectief vast te stellen, maar het mag wel worden verwacht. Wat de verlichting betreft, de voertuigverlichting, meer in het bijzonder het onderhouden van de verlichting in een goede staat, en het juiste gebruik ervan (bijvoorbeeld overdag, of op verlichte wegen) hoort bij deze groep van maatregelen. Dit geldt ook voor signaallichten en reflectoren die door auto's, fietsen en voetgangers worden meegevoerd.

De openbare verlichting is duidelijk een Engineering-maatregel. Daar waar dergelijke maatregelen effectief zijn, mag ook van de verlichting een bijdrage worden verwacht. Dit is geheel in overeenstemming met de resultaten van de ongevallenstudies. Een "goede" openbare verlichting blijkt steeds een positieve, en vaak een "cost-effective" invloed te hebben op de verkeersveiligheid. Omdat bij ongevallenstudies alleen het eindresultaat wordt gemeten, is een eventuele invloed van de risico-homeostase in deze conclusie begrepen. Ook het rijcomfort wordt bevorderd, alsmede het voorkomen van misdrijven en de subjectieve veiligheid.

## B.II.C. Nieuwe ontwikkelingen

In deel B.II.C. worden enige nieuwe ontwikkelingen behandeld. Op het gebied van de techniek vinden ontwikkelingen meestal nogal langzaam plaats. Daarover wordt een en ander vermeld. Van meer belang zijn ontwikkelingen op het gebied van beheerssystemen en op het gebied van veranderde inzichten over aansprakelijkheid en verantwoordelijkheid.

Deel B.II.C. is gebaseerd op een SWOV rapport uit 1992 (R-92-64), en is wat betreft de genoemde ontwikkelingen nog wel als up-to-date te beschouwen. Sindsdien hebben zich echter wel nieuwe ontwikkelingen voorgedaan op het gebied van de elektronische voorschakelapparaten, meer in het bijzonder de toepassing van 'dimmen' in de openbare verlichting, op het gebied van de luminantiemeting op de weg, op het gebied van ontwerp- en rekensystemen, waarbij gebruik zal worden gemaakt van kennissystemen ('expert systems'), op het gebied van kosten/baten-analyses en ten slotte op het gebied van (geautomatiseerd) systeembeheer. Vooral dit laatste heeft voordeel van de snelle ontwikkelingen op het gebied van Personal Computers, zowel wat betreft de 'hardware' als wat betreft de 'software'.



### 3.7.1. *Verkeersverlichting*

De grondgedachte van alle verkeersverlichting is het zodanig aanbrengen van verlichtingsmiddelen dat de daglichtsituatie zo goed mogelijk wordt nagebootst (de algemene verlichting). Naast de verlichting zijn ook signalering en markering van belang. De verlichtingsmiddelen kunnen aan de voertuigen (voertuigverlichting) of aan de weg (openbare verlichting) bevestigd zijn.

### 3.7.2. *Openbare verlichting*

#### 3.7.2.1. De techniek

Op het gebied van de techniek van de openbare verlichting zijn geen schokkende veranderingen te verwachten. In het verleden heeft de introductie van nieuwe lichtbronnen een aantal malen de techniek van de openbare verlichting diepgaand beïnvloed. Te denken is aan de overgang van gloeilampen naar gasontladingslampen en aan de introductie van SOX-lampen, daarna de introductie van SON-lampen, en meer recent de introductie van compacte fluorescentielampen. Ieder van deze introducties betekende een omwenteling in de toepassing. Een dergelijke gebeurtenis is binnen afzienbare tijd niet te verwachten. Ook niet de eventuele introductie van de QL-lamp; dit is in feite een dure, weinig efficiënte hogedruk-kwiklamp. Het enige voordeel is de lange levensduur, zodat de lamp kan worden gebruikt op plaatsen waar lampvervangings zeer moeilijk is. In de openbare straatverlichting is dit om twee redenen geen overweging van belang:

- naast de kosten zijn er nauwelijks probleempunten bij lampvervangings;
- de sterke vervuiling van de armaturen van de openbare verlichting maakt regelmatig onderhoud van de installatie toch noodzakelijk.

Wat betreft de lichtbronnen zijn er wel verbeteringen te verwachten in de lichtopbrengst en de kleurweergave, en mogelijk in de uitbreiding van het assortiment. Deze veranderingen zijn echter steeds geleidelijk en meestal zeer klein.

Wat betreft de armaturen geldt hetzelfde. Er is sprake van een geleidelijke, steeds doorgaande verbetering van details wat betreft lichtsterkteverdeling, optische karakteristieken, levensduur, bestandheid tegen vuil en water enz. Ook hier zijn belangrijke, schokkende veranderingen niet te verwachten. Wel betekent het dat de door de industrie te verschaffen gegevens ten behoeve van rekenprogramma's en andere ontwerphulpmiddelen regelmatig moeten worden herzien. Er is wellicht behoefte aan een systeem waarmee kan worden voorkomen dat met verouderde gegevens wordt gewerkt.

### 3.7.2.2. Het beheer

Bij het beheer van de openbare verlichting komen twee aspecten aan de orde: de taak van de beheerder, en de middelen die ter beschikking staan om het beheer naar behoren te kunnen uitvoeren. We zullen zeer in het kort op deze materie ingaan; over het eerste punt is meer te vinden in Schreuder (1992b); over het tweede in Guldemond (1992) en Steenks (1992). Er zij op gewezen dat de NSVV een rapport in voorbereiding heeft dat nader op deze materie ingaat, en waarbij de nadruk komt te liggen op het belang van goede (gemeentelijke) beleidsplannen. Dit punt is ook door Steenks (1992) besproken.

#### A. Taak van de beheerder van de verlichting

Openbare verlichting wordt gefinancierd uit de openbare middelen. Beleidmakers stippen het beleid uit, nemen de beslissingen over het beleid en kennen de middelen voor de uitvoering van het beleid toe. Beleidmakers worden via het politieke stelsel verkozen. Voor het beheer worden ambtenaren benoemd op basis van hun kennis. Er ontstaat dus een spanningsveld tussen de beleidmakers enerzijds die de beleidsdoelstelling opstellen en de middelen ter beschikking stellen, en de beheerders anderzijds, die, met als randvoorwaarde de beschikbare middelen, de taak hebben de beleidsdoelstellingen uit te voeren.

Een van de randvoorwaarden wordt gesteld door de relatie met het milieubeheer. Het Nederlandse milieubeleid is gebaseerd op de gedachte van de 'duurzame' samenleving. Bij de uitvoering komen twee hoofdlijnen naar voren:

1. *De vervuiler betaalt*. Dit betekent dat kosten die nodig zijn om de druk op het milieu te verminderen, tot de exploitatiekosten moeten worden gerekend.
2. *Integraal ketenbeheer*. Dit betekent dat bij een activiteit die het milieu kan belasten, wordt gekeken naar de gehele keten van vervaardiging, gebruik en verwijdering. Sommige beleidsmiddelen zijn brongericht, sommige zijn effectgericht. Concreet betekent dit onder meer dat de verwerking van afval tot de exploitatie moet worden gerekend. Zie verder onder B van deze paragraaf.

Een probleem dat in Nederland weinig aandacht krijgt is het stoorlicht. De duisternis, die van nature bij de nacht hoort, wordt verstoord en verdwijnt soms helemaal. Bestrijding van stoorlicht is niet alleen van belang voor het milieu, maar ook voor de economie. Stoorlicht is verspilld licht; er is energie voor gebruikt, er is geld voor betaald, en het wordt 'weggegooid'.

De verlichtingsbeheerder heeft aan de ene kant te maken met beleidmakers en aan de nadere kant met ontwerpers en uitvoerders. Naast vele vragen en problemen van niet-technische aard, moet de beheerder kunnen oordelen over de lichttechnische en kosten-technische aspecten van het ontwerp.

### B. *Beheersplannen*

In het verleden bleef het beheer van openbare verlichting vaak beperkt tot het per straat plaatsten van masten met armaturen en lampen, en het periodiek (al dan niet in groepsremplace) vervangen van de lampen. Gebleken is dat zulks vaak weinig efficiënt is.

Moderne beheersplannen, gebaseerd op het - gewoonlijk per PC - automatisch verwerken van gegevens bieden de mogelijkheden van aanzienlijke besparingen in energiegebruik en in kosten (Guldmond, 1992a). Een modern beheer is gebaseerd op de volgende stappen:

- inventarisatie en classificatie van de wegen in het beheersgebied;
- bepaling van de verlichtingsklasse per straat, gewoonlijk op basis van de NSvV-aanbevelingen;
- maken van een schetsontwerp voor de verlichting per straat;
- groeperen van deze gegevens tot een algemeen verlichtingsplan van het beheersgebied;
- incorporeren van onderhoud, voorraadbeheer, tariefstelling enz. in het ontwerp;
- incorporeren van milieu-aspecten (afvalverwerking) in het ontwerp;
- selecteren van de economisch en energetisch optimale oplossing van het ontwerp;
- inventariseren van de bestaande situatie;
- opstellen van een plan van invoering van het ontwerp, gegeven de stand van zaken van het moment, de noodzaak van het verkrijgen en handhaven van een bruikbare verlichting, en rekening houdend met de mogelijkheden van financiering.

### 3.7.2.3. Aansprakelijkheid en verantwoordelijkheid

#### A. *De situatie in Nederland*

In het verleden waren kwesties van verantwoordelijkheid en aansprakelijkheid wat betreft de openbare verlichting zeer eenvoudig. Ook het oude Burgerlijk Wetboek gaf aan dat ieder verantwoordelijk is voor het onder hem gestelde, personen en zaken. In de praktijk moest iemand die schade leed ten gevolge van onvoldoende verlichting, de schade zelf dragen. Er werd steeds verwezen naar de eigen verantwoordelijkheid om zich zodanig te gedragen dat de schade vermeden kon worden. Dit gold voor alle schade: verkeersongevallen, inbraken, overvallen, verkrachtingen enz. Alleen in geval van opzet of grove nalatigheid was (een deel van) de schade op de beheerder van de verlichting te verhalen.

Deze situatie is in 1990 met het van kracht worden van Nieuw Burgerlijk Wetboek (NBW) veranderd. Meer in het bijzonder het begrip 'produktaansprakelijkheid' is sterk verzwakt. Dit heeft consequenties voor de openbare verlichting. Volgens de nieuwe inzichten kan een weggebruiker die een ongeval op de weg krijgt ten gevolge van slechte verlichting de overheid aansprakelijk stellen indien hij kan aantonen dat de overheid door het niet plaatsen van de 'juiste' verlichting een *nalaten* heeft 'begaan'. Dit nalaten is dan volgens opvattingen in het maatschappelijk verkeer en jurisprudentie een geval van gevaarstelling (artikel 6:162 lid 2 NBW). Het betreft dan een onrechtmatige overheidsdaad. Bij een eis tot schadevergoeding kan de overheid in kwestie als procespartij worden gedaagd. De overheid in kwestie is het bevoegd gezag, dus meestal de Gemeente, daarbij vertegenwoordigd door B&W. In de praktijk is te verwachten dat de beheerder van de verlichting in geval van een rechtsgeding, de gegevens zal dienen te verschaffen. Uitbesteden van ontwerp en/of onderhoud van de verlichting vermindert deze aansprakelijkheid niet.

Wanneer er geen voorgeschreven advies noch een hoger besluit bestaat tot het realiseren van verlichting van een bepaalde kwaliteit, ligt de verantwoordelijkheid om zulks te doen bij de overheid in kwestie. Wanneer ongevallen e.d. plaats vinden die aan slechte verlichting te wijten zijn, is dit besluit alleen aan te vechten via de (moeilijker weg van de) AROB-procedure.

Omdat de situatie nog vrij nieuw is, bestaat er nog geen duidelijkheid wat het hierboven gebruikte begrip 'juiste verlichting' precies betekent. Vaak wordt aangenomen dat dit betekent: de verlichting die in opdracht van een hoger overheidsorgaan en eventueel via een bestemmingsplan is geplaatst, en waarvan de kwaliteit voldoet aan de door deskundigen vastgestelde voorwaarden. Vaak wordt daarbij verwezen naar de Aanbevelingen voor Openbare Verlichting, waarbij de NSvV dus als de bedoelde deskundige fungeert. Ook is er nog weinig te zeggen over rol welke de staat van onderhoud van de verlichting hierbij speelt. Vroeger waren er alleen problemen voor de overheid wanneer er sprake was van opzet of grove nalatigheid. Verwacht mag worden dat het schadebedrag dat van de overheid kan worden geëist, lager is wanneer kan worden aangetoond dat de verlichtingsinstallatie goed en zorgvuldig is onderhouden. We moeten daarbij bedenken dat verantwoordelijkheid, aansprakelijkheid en de toe te wijzen schadevergoeding niet identiek zijn.

#### *B. De Europese richtlijnen*

Mede ten dienste van het afbouwen van de handelsbarrières ten behoeve van de gemeenschappelijke Europese markt heeft de Economische Commissie ('Brussel') een aantal verstrekkende besluiten genomen. In het kort komen die erop neer dat na 1992 alle produkten die in Europa op de markt worden gebracht van een keurmerk moeten zijn voorzien. De keurmerken worden verleend onder auspiciën van de Economische Gemeenschap; het opstellen van de keuringseisen en van de keuringsmethoden is opgedragen aan de CEN (Centre Européen de Normalisation).

De eerste stap voor de harmonisatie is het opstellen van een CEN-norm. Voor vele produkten bestaan reeds CEN-normen, zoals bijvoorbeeld voor lichtmasten. Bestaat er voor een bepaald produkt geen CEN-norm dan wordt die opgesteld op basis van ISO-standards. Wanneer die er ook niet zijn, komen de aanbevelingen en richtlijnen van de professionele organisaties aan de beurt. En hierbij speelt - voor het verlichtingsgebeuren - de CIE een belangrijke rol, zeker in haar functie als ISO Standardizing Body. Zo worden de CEN-normen voor straat- en tunnelverlichting, voor verkeerslichten en voor wegmarteringen gebaseerd op de betreffende CIE-publikaties.

Het uiteindelijke oogmerk van de EC voor al deze activiteiten is meer dan alleen het wegnemen van handelsbelemmeringen tussen de lidstaten, maar ook het bevorderen van de veiligheid van de inwoners. Dit wordt nagestreefd door de uit dit werk naar voren komende CEN-normen op te nemen in European Directives; dit zijn stukken, bekrachtigd door de Europese Commissie, die bindend zijn voor de lidstaten. Momenteel is nog niet precies duidelijk wat dit betekent, maar in vele gevallen zal het erop neer komen dat niet alleen in nieuwe toestand aan de CEN-normen (bijvoorbeeld via een typekeuring) moet worden voldaan, maar dat alle installaties gedurende hun gehele 'leven' op elk moment aan de richtlijnen moeten voldoen.

Voor de praktijk van de openbare verlichting betekent dit drie dingen:

Ten eerste moeten alle verlichtingsinstallaties worden ontworpen in overeenstemming met de norm.

Ten tweede moeten alle installaties zodanig worden onderhouden dat ze blijven voldoen.

ten derde is het voor de regeling van de aansprakelijkheid bij eventuele ongevallen of misdrijven van belang dat duidelijk kan worden aangetoond dat het onderhoud 'naar behoren' is en wordt uitgevoerd.

### B.III. Doeltreffendheid

In deel B.III. wordt de doeltreffendheid (effectiviteit) van openbare verlichting als maatregel tegen ongevallen besproken, alsmede als middel ter voorkoming en bestrijding van de criminaliteit en als middel om de beleving (leefbaarheid) te verbeteren.

## B.III.A. Ongevallen

In deel B.III.A. worden de ongevallen besproken. Het gaat daarbij allereerst om het effect van de aanwezigheid van openbare verlichting op de ongevallen, en voorts over de relatie tussen het lichtniveau en de verkeersveiligheid. In dit deel wordt buitenlands onderzoek besproken, maar vooral wordt aan uitgebreide onderzoeken aandacht besteed, uitgevoerd door de SWOV in opdracht van de Ministeries van Verkeer en Waterstaat, en van Economische Zaken.

Deel B.III.A. is op een SWOV-rapport uit 1992 (R-92-64) gebaseerd, waarin het onderzoek over niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom uit 1990 en over stedelijke wegen en straten uit de jaren voor 1991 is samengevat. Wat dit betreft is dit deel dus up-to-date. In 1992 en 1993 is door de SWOV verder onderzoek uitgevoerd op autosnelwegen buiten de bebouwde kom; dit onderzoek is dus niet in dit deel verwerkt. Dit onderzoek is beschreven door Vis, A.A. (1993). Openbare verlichting en de verkeersveiligheid van autosnelwegen. R-93-19. SWOV, Leidschendam, 1993.

### B.III. DOELTREFFENDHEID

#### B.III.A. ONGEVALLLEN (R-92-64)

#### 4.2. Het effect van de aanwezigheid van openbare verlichting

In het verleden is het meeste onderzoek beperkt gebleven tot het effect van de aanwezigheid van openbare verlichting van een behoorlijke kwaliteit op het aantal ongevallen, soms ook op de ernst ervan. Het meeste onderzoek was bovendien beperkt tot urbane wegen die een belangrijke verkeersfunctie hebben. De vragen hoe goed 'behoorlijk' is en wat men mag verwachten voor andere wegtypen, zijn daarbij nog niet beantwoord.

Het bedoelde onderzoek is in een groot aantal, niet steeds toegankelijke, publikaties weergegeven. Overzichten en samenvattingen zijn gemaakt door de CIE (1960), de OECD (1972) en de SWOV. In 1983 publiceerde de SWOV een in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat uitgevoerde literatuurstudie over de relatie tussen de verkeersveiligheid en de openbare verlichting (Schreuder, 1983a). Deze studie is later aangevuld (Schreuder, 1988) en nog eens verder aangevuld (Schreuder, 1990a en 1992c). De resultaten van een en ander zijn nog eens (hernieuwd) bevestigd in een zeer recent CIE-rapport (CIE, 1993).

Het eindresultaat van al deze studies wordt als volgt in een enkele zin uitgedrukt:  
*"Men mag op stedelijke hoofdwegen met in hoofdzaak een verkeersfunctie, een reductie in de nachtelijke letselongevallen verwachten van ca. 30% wanneer de verlichting wordt verbeterd van zeer slecht tot goed".*

Deze gevolgtrekking kan worden omschreven als een resultaat van het samengaan van een groot aantal, ieder voor zich weinig overtuigende, studies; juist daardoor kan men spreken van een wetenschappelijk gefundeerde uitspraak. Gezien het feit dat al deze studies, waarbij in ieder geval het materiaal opnieuw is geëvalueerd, tot hetzelfde resultaat leiden, rechtvaardigt de uitspraak dat hier van een zeer goed gefundeerd feit gesproken mag worden. Ook de Commission Internationale de l'Eclairage CIE komt in haar recente overzicht van het relevante wetenschappelijke materiaal tot dezelfde uitspraak.

Er bleef echter in de studie van de SWOV een aantal vragen onbeantwoord:  
- Welke wegen komen voor een openbare verlichting in aanmerking?



- Hoe goed is 'goed'?
- Hoe groot is de reductie (indien aanwezig) voor andere wegtypen?
- Bestaat er een dergelijke relatie voor de andere functionele aspecten van de openbare verlichting (verkeersafwikkeling, burgerlijke veiligheid, leefbaarheid)?

Momenteel is vooral in Nederland onderzoek in gang om deze - en nog andere - vragen te beantwoorden.

De internationale studies betreffen ook verschillende andere wegtypen (maar geen woonstraten), VOP's en tunnels. Voor wegen buiten de bebouwde kom (autosnelwegen en 'andere' wegen, meest 'hoofdwegen') is een resultaat gevonden dat dicht ligt bij de 30% die voor hoofdwegen binnen de bebouwde kom zijn gevonden. De spreiding in het resultaat is echter, wegens de kleinere 'steekproeven' aan wegen, wat groter, zodat het resultaat minder betrouwbaar is. Voor andere wegtypen, voor voetgangersoversteekplaatsen en voor tunnels zijn besparingen aangegeven die afwijken van de genoemde waarde van 30%. In het algemeen blijken de afwijkingen klein te zijn in vergelijking tot de experimentele onzekerheid in de resultaten.

We noemen hier meer in het bijzonder een in Nederland uitgevoerd onderzoek waar in het kader van een bredere studie naar het effect van verlichting op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom, wegen met en zonder verlichting zijn vergeleken. Uit de analyse van de gegevens bleek dat op verlichte wegen het aandeel van de nachtongevallen vergeleken met het totale aantal ongevallen (n/t-ratio) aanzienlijk is dan op onverlichte wegen. Details zijn gegeven in Schreuder (1990a) en BGC (1990).

#### **4.3. De relatie tussen het lichtniveau en de verkeersveiligheid**

##### *4.3.1. Het lichtniveau als maatgevende grootheid*

Als hypothese wordt gewoonlijk gesteld dat de baten van de openbare verlichting (bijvoorbeeld uitgedrukt in het risico voor ongevallen) toenemen bij een toenemend lichtniveau. Deze hypothese is gebaseerd een aantal overwegingen, globaal als volgt samen te vatten: bij meer licht kan men beter zien, en dus ook beter kan rijden, en dus ook veiliger rijden ('hoe meer licht, des te veiliger').

De hypothese houdt in dat er een monotoon stijgende relatie bestaat tussen de veiligheid en het lichtniveau. Deze hypothese is de combinatie van drie afzonderlijke aannamen, te weten:

1. Er bestaat relatie tussen de gemiddelde horizontale verlichtingssterkte op het wegdek en de adaptatieluminantie.
2. Er bestaat een relatie tussen de adaptatieluminantie en de visuele prestaties.
3. Er bestaat een relatie tussen de visuele prestatie en de verkeersveiligheid.

Wanneer al deze drie relaties ieder voor zich monotoon stijgend zijn, is de 'som' van deze drie relaties ook een monotoon stijgende relatie. Dit zullen we nader bekijken. Uiteraard is het ook mogelijk dat de 'som' van de drie relaties een monotoon stijgende relatie is, terwijl niet alle drie dit ook zijn. Het is zelfs denkbaar dat de 'som' stijgend is wanneer twee van de relatie dalend zijn (of een andere gedaante, bijvoorbeeld een 'U'-

gedaante hebben), mits de derde 'sterker is dan de andere twee samen. Het valt buiten de opzet van deze studie om al deze varianten te bekijken.

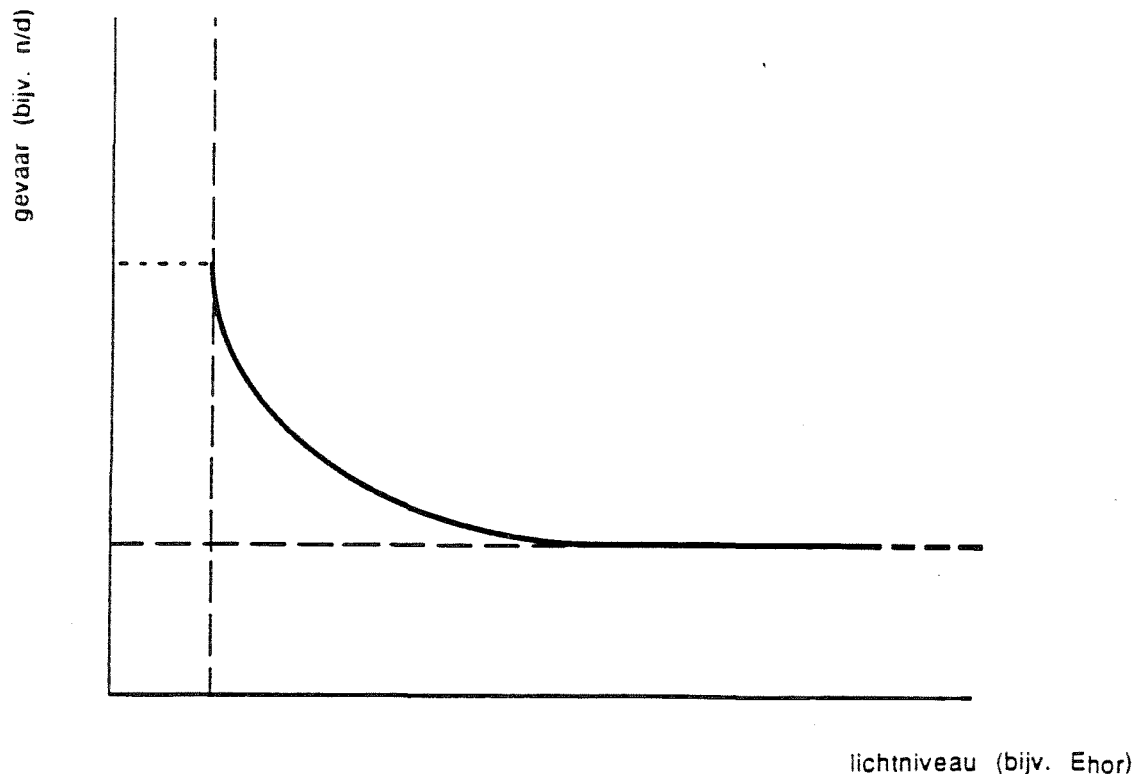
De eerste aanname (de relatie tussen de horizontale verlichtingssterkte en het adaptatieniveau) is in algemene termen juist. Maar wanneer men deze relatie meer in detail bekijkt, blijkt meestal dat er bij duisternis op wegen met een openbare verlichting geen precieze (rechte) evenredigheid bestaat tussen de horizontale verlichtingssterkte op het wegdek en de wegdekluminantie. Voorts beslaat het wegdek slechts een betrekkelijk klein deel van het gezichtsveld, zodat de adaptatietoestand mede (en vaak in overheersende mate) wordt bepaald door de luminanties in andere delen van het gezichtsveld. Allereerst dient men te denken aan de armaturen van de openbare verlichting, die immers steeds in het gezichtsveld voorkomen. Zelfs bij wegen die aan de door de NSvV en de CIE opgestelde eisen voor de beperking van de verblinding voldoen, is de adaptatieluminantie enige tientallen procenten hoger dan die welke met de wegdekluminantie zou overeenkomen. Het is bekend dat vele installaties, ook in Nederland, niet aan de aanbevelingen van de NSvV of van de CIE voldoen, met name in woonstraten.

Wanneer er in het gezichtsveld tegenliggers die dimlicht voeren, voorkomen, neemt de adaptatieluminantie sterk toe. Zelfs op goed verlichte wegen met een enkele tegenligger met goed afgestelde dimlichten kan de adaptatieluminantie gemakkelijk verdubbelen. Deze uitspraak is gebaseerd op de stijging in de waarnemingsdrempel ten gevolge van de optredende verblinding, maar niet op een directe meting van de adaptatieluminantie. Het is dus niet meer dan een - vrij accurate - benadering. En tenslotte kunnen andere lichtbronnen (etalages, kantoren, woonhuizen, sportvelden enz.) een aanzienlijke invloed hebben op de adaptatieluminantie.

De tweede aanname (de relatie tussen adaptatieniveau en de visuele prestatie) is in de literatuur hecht gefundeerd. Het is algemeen bekend dat bij een toenemend adaptatieniveau de visuele prestaties toenemen. Het onderzoek in het gebied van het zgn. 'mesopisch zien' heeft bovendien duidelijk gemaakt dat deze relatie vooral sterk is in het gebied van lichtniveaus dat voor deze onderzoeken relevant is.

Omtrent de derde relatie (tussen de visuele prestatie en de verkeersveiligheid) is slechts weinig onderzoek uitgevoerd. Meestal neemt men aan dat de relatie niet alleen bestaat, maar ook sterk is. Deze aanname zou afkomstig kunnen zijn van het 'gezonde verstand'-oordeel, dat het 'natuurlijk zo moet zijn: het is duidelijk dat je niet behoorlijk kan rijden wanneer je niet behoorlijk kan kijken'. Wanneer men echter een stapje verder gaat, blijkt deze aanname helemaal niet 'voor de hand' te liggen. Uit de ongevallenstatistieken komt duidelijk naar voren dat het risico om bij ongevallen betrokken te raken bij duisternis, bij slecht zicht en bij slecht weer aanzienlijk groter is dan bij goed zicht: de ongevallenquotiënten bij regen of bij mist zijn hoger dan die bij helder weer. Maar ondanks deze toename blijven de ongevallenquotiënten in absolute zin nog steeds bijzonder laag. Voor mensen die blijvend een verminderde visuele prestatie hebben, komt daar nog de compensatie bij. Deze compensatie gaat zover dat er nauwelijks enig verband is gevonden tussen de visuele prestatie van afzonderlijke mensen en hun betrokkenheid in ongevallen (Burg, 1964, 1968; Schreuder, 1988c).

De hypothese kan nader worden geïllustreerd. Wanneer men een maat voor het ongevalrisico bij duisternis (bijvoorbeeld het quotiënt van de aantallen ongevallen bij duister-



Afbeelding 1. *De relatie tussen 'gevaar' en lichtniveau.*

nis en bij daglicht, de  $n/d$ -ratio) uitzet tegen het lichtniveau (bijvoorbeeld uitgedrukt in de horizontale verlichtingssterkte  $E_{hor}$ ), verwacht men volgens de hypothese een verband dat als volgt kan worden gekenschetst. Het verband begint niet bij lichtniveau nul, omdat motorvoertuigen tenminste dimlichten voeren, die een kleine, maar bij geringe openbare verlichting merkbare, bijdrage leveren tot het lichtniveau. Vervolgens neemt de  $n/d$ -ratio af bij toenemend lichtniveau op grond van de eerder genoemde overwegingen. Deze afname blijft niet doorgaan, want ook bij zeer hoge lichtniveaus (bijvoorbeeld overdag) zijn er ongevallen die aan visuele aspecten zijn toe te schrijven. De relatie gaat niet naar  $n/d = 0$ , maar naar een waarde van  $n/d$  die groter is dan 0: de asymptoot. Na het bereiken van de asymptoot loopt het verband verder 'horizontaal'. In Afbeelding 1 is een schematische aanduiding gegeven van een dergelijke relatie.

Een analoge redenering kan worden opgezet wat betreft de andere functies van de openbare verlichting: zo kan men de nacht/dagverhoudingen voor het aantal misdrijven, voor de gevoelens van onzekerheid, en voor de oordelen over de leefbaarheid op precies dezelfde wijze uitzetten tegen het lichtniveau; steeds verwacht men een relatie van dezelfde gedaante.

Het probleem doet zich voor dat een dergelijk verloop niet steeds wordt gevonden. Daarom zijn we iets dieper ingegaan op deze hypothese. Als conclusie kan men stellen dat er dus wel een en ander valt af te dingen op de hypothese dat de veiligheid in toenemende mate wordt gediend bij een toename van het lichtniveau. Ook de praktijk geeft reden tot een zekere scepsis: er zijn onderzoeken waar de afname duidelijk is geconstateerd, maar ook het tegendeel is gevonden. We gaan in de par. 4.3.3.4 nader in op deze materie.

Men kan uit het voorgaande concluderen dat nader onderzoek nodig is; dergelijk onderzoek vindt momenteel plaats, en in par. 7.4.3 is een aanzet gegeven voor een meer gedetailleerde studie. De suggestie is gegeven om daarbij de nadruk te leggen op wegen binnen de bebouwde kom. Niet alleen komen deze wegen het meeste voor, maar men mag verwachten dat de effecten van de verlichting, en ook van de verstoringen, groter zijn dan op wegen buiten de bebouwde kom. Om dezelfde reden is in dit hoofdstuk veel plaats ingeruimd voor een beschrijving van het uitgevoerde onderzoek binnen de bebouwde kom.

Bij openbare verlichting wordt vaak gekeken naar de 'baten' van een eventuele verhoging van het lichtniveau. Uit onderzoek komt naar voren dat een verhoging van het lichtniveau inderdaad meestal samen gaat met een verbetering van de verkeersveiligheid. Om uit deze onderzoekresultaten een algemene 'regel' af te leiden moet onder meer met het verkeersaanbod rekening te houden. Bij een constant lichtniveau kan worden gesteld dat de opbrengst (de afname van het aantal ongevallen) in eerste benadering recht evenredig is met het verkeersaanbod - en dan in het bijzonder met het verkeersaanbod bij duisternis. Uit het onderzoek komt naar voren dat er duidelijke aanwijzingen zijn dat de afname van de nachtelijke ongevallen af hangt van het toegepaste lichtniveau.

Wat betreft de verkeersveiligheid zijn de monetaire baten afgeleid van de kosten van de ongevallen, waarbij men ervan uitgaat dat men kan bepalen hoeveel ongevallen door een verkeersveiligheidsmaatregel kunnen worden voorkomen ('bespaard'). Als uitgangspunt wordt de totale nationale economische schade op jaarbasis gebruikt. Men stelt de kosten van deze schade gewoonlijk op een bedrag tussen de 6 en 15 miljard gulden, afhankelijk van de economische definitie van schade. De niet-monetaire baten betreffen (het voorkomen van) menselijk leed, verlies van levenskansen en van levensvreugde (Flury, 1984, 1990). Het is moeilijk - hoewel niet onmogelijk - om een monetair equivalent voor deze niet-monetaire schade te definiëren. In par. 5.3.3 komen we terug op deze materie.

#### 4.3.2. *De opzet en aanpak van onderzoek*

Het onderzoek naar het effect van de aanwezigheid van openbare verlichting dat in par. 4.2 is besproken, wordt gewoonlijk als een *zgn. voor-en-na-studie* uitgevoerd. Hieronder wordt verstaan het onderzoek waarbij dezelfde wegen of straten wat betreft het ongevalpatroon worden vergeleken voor en na een verandering in de verlichting - meestal dus het aanbrengen van de verlichting. Het onderzoek dat naar de relatie tussen het lichtniveau en de ongevallen wordt uitgevoerd, is meestal op een andere grondslag gebaseerd: het gaat om *zgn. relatie-onderzoek*, waarbij de bedoelde relatie wordt onderzocht door wegen en straten die wat betreft de verlichting verschillen, maar die in de (alle) andere opzichten gelijk (of tenminste vergelijkbaar) zijn, wat betreft het ongevalpatroon onderling te vergelijken. Beide methoden hebben hun specifieke voor- en nadelen.

Bij relatie-onderzoek komen specifieke problemen aan de orde. We zullen deze problemen hier kort aanduiden aan de hand van de ervaringen met het onderzoek naar de relatie tussen het lichtniveau en de verkeersonveiligheid op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom. Uit de algemene ervaring blijkt dat alle wegkenmerken van niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom onderling in sterke mate zijn gecorreleerd, en dat de kenmerken in hoofdzaak afhangen van de verkeersintensiteit (etmaalintensiteit). Deze

ervaring is in een eerder door BGC voor DVK uitgevoerd (niet gepubliceerd) onderzoek opnieuw bevestigd. Een samenvatting ervan is gegeven in BGC (1987).

Overigens is het de vraag of deze ervaring algemeen geldig is. Uit de vergelijking van wegen zonder en met openbare verlichting komt de suggestie naar voren dat er naast de intensiteit nog andere kenmerken van weg en/of verkeer zijn die met de relatieve veiligheid samen hangen. Het lijkt wenselijk om de genoemde 'ervaring' voor de bij dit onderzoek betrokken wegen alsnog aan een nader onderzoek te onderwerpen. Dit is in beginsel mogelijk omdat voor het gehele bestand aan gebruikte wegen alle belangrijke kenmerken bekend zijn (BGC, 1990a).

Ook aangaande de verkeersintensiteit zelf dient een nadere opmerking te worden gemaakt. Wanneer de nachtelijke ongevallen op wegen met verschillende verlichtingskenmerken worden vergeleken, zou men bij deze vergelijking eigenlijk rekening moeten houden met de intensiteit van het nachtelijk verkeer, en niet met de etmaalintensiteit. Deze (nacht)intensiteit is echter vrijwel nooit bekend. Om toch de invloed van de verkeersintensiteit in rekening te kunnen brengen, is uitgegaan van de hypothese dat voor alle wegen binnen het onderzoek de verhouding (voor gehele kalenderjaren) tussen het verkeer bij duisternis en dat per etmaal constant is, meer in het bijzonder dat deze verhouding niet af hangt van het lichtniveau van de openbare verlichting. Deze hypothese lijkt plausibel, maar kan niet worden getoetst. Ook is te verwachten dat deze hypothese niet altijd correct is: men mag verwachten dat in sommige gevallen de wegbeheerder op wegen met uitzonderlijk sterk nachtelijk verkeer voor een hoger lichtniveau kiest.

Het gebruiken van de bedoelde hypothese van de constante relatie tussen nacht- en etmaalverkeer maakt het aan de andere kant mogelijk om ook de dag-ongevallen te gebruiken. Ook is het mogelijk om de lengte van het wegvak, de verkeersintensiteit en het aantal ongevallen te combineren tot een 'risicofactor' en wel de voor dit doel gebruikelijke aantal ongevallen per voertuigkilometer.

Het onderzoek betreft wegen die voorzien zijn van installaties voor openbare verlichting, onderling verschillend in de kwaliteit van de verlichting (luminantie en gelijkmatigheid). In het wegenbestand zijn ter vergelijking en ter beoordeling van de consistentie van het materiaal ook een aantal wegen zonder openbare verlichting opgenomen. Ofschoon de toestand 'onverlicht' eigenlijk geen deel uitmaakt van het onderzoek, zijn ook de onverlichte wegen in de analyse betrokken, in de verwachting dat het toevoegen van onverlichte wegen een aanvulling zou kunnen verschaffen over het antwoord op de vraag welke wegen verlicht moeten worden. Zoals verderop zal worden toegelicht, blijkt het materiaal geen duidelijke uitspraken op dit gebied mogelijk te maken.

#### *4.3.3. Het relatie-onderzoek tussen lichtniveau en ongevallen*

##### *4.3.3.1. Internationaal onderzoek op wegen buiten de bebouwde kom*

In een aantal landen (België, Duitsland, Zweden en Engeland) zijn kleine, maar recente onderzoekingen uitgevoerd. We geven hier een kort overzicht van de resultaten; een meer gedetailleerde bespreking is te vinden in Schreuder (1985) te melden. Daar zijn ook de verwijzingen te vinden naar de oorspronkelijke literatuur.

De Belgische studie betreft de evaluatie van besparingsmaatregelen op de autosnelwegen: bij een deel van de autosnelwegen werd tussen 00.30 uur en 5.00 uur de verlichting (verkeer en weer dienende) uitgeschakeld, bij een aantal wegen werd de verlichting gehalveerd (van ca. 2,5 naar ca. 1,3 cd/m<sup>2</sup>). Er is een vergelijking gemaakt tussen de aantallen ongevallen van verschillende ernst vóór en na de veranderingen, vergeleken werden daarbij de veranderingen op de 'behandelde' wegen met de veranderingen op de 'onbehandelde' wegen. De besparingsmaatregelen bleken een duidelijk negatieve invloed te hebben op de veiligheid. Wel moeten enige kanttekeningen worden gemaakt. Zo is er geen rekening gehouden met eventuele veranderingen in het verkeer, meer in het bijzonder in het dag/nachtpatroon van het verkeer. Ook is er geen rekening gehouden met het feit dat 'behandelde' wegen om een bepaalde reden werden gekozen voor de 'behandeling'. Een samenvatting is gegeven in Schreuder (1985). De gegevens zelf zijn gepubliceerd in Anon (1985).

Ook uit Duitsland zijn een aantal kleinere onderzoeken te melden. De eerste studie is een ongepubliceerd onderzoek van het Duitse normalisatie-instituut. Op grond van een enquête werden gegevens uit 23 steden in Nordrhein-Westfalen verzameld over de relatie tussen de kosten van ongevallen bij duisternis en het lichtniveau. Het blijkt dat er wel een zekere relatie is tussen de twee variabelen, de relatie is echter zwak en wordt overheerst door spreiding in de gegevens.

De tweede Duitse studie betreft een traject autosnelweg waar de openbare verlichting eerst werd gehalveerd en vervolgens werd gedoofd. Het resultaat is onduidelijk. Wanneer men de (kosten van) de dag- en nachtongevallen in de voorperiode vergelijkt met die in de twee onderzoekperioden (gehalveerd en gedoofd) dan blijkt dat de dag/nachtverhouding eerst is toegenomen en daarna gedaald. Zonder nadere gegevens over weglengte, aantal ongevallen, verkeersaanbod en vooral over de statistische significantie kan geen verdere uitspraak worden gedaan.

De derde studie betreft een traject autosnelweg van 14,4 km lengte van de B 10 tussen Stuttgart en Esslingen. Uit een vergelijking van de dag- en nachtongevallen in voor- en naperioden van ieder 11 maanden bleek het doven van de verlichting gepaard te gaan met een relatieve afname van de nachtongevallen. Ook hier geldt weer dat zonder verdere gegevens een definitief oordeel over de resultaten niet kan worden gegeven. Wel is het opvallend dat, in tegenstelling tot de meeste andere studies, deze twee studies in Duitsland geen positief effect van de openbare verlichting te zien geven. Tevens is de relatie tussen het verkeersaanbod en de ongevallen voor de dag/nachtsituatie afgeleid, de laatste voor verlichte zowel als onverlichte weg. Voor de situatie met openbare verlichting blijkt er een geleidelijke daling van het risico te zijn. Voor de dag en de onverlichte weg is echter een duidelijk (secundair) maximum in het risico te constateren voor ca. 3000 voertuigen per uur per richting. Bij weinig verkeer is het risico op de verlichte weg duidelijk hoger dan op onverlichte wegen, maar bij druk verkeer waar de onverlichte weg en dagtoestand beiden een (secundair) maximum tonen, is de verlichte weg duidelijk veiliger.

#### 4.3.3.2. Nederlands onderzoek op wegen buiten de bebouwde kom

##### *A. Onderzoekfasering*

Het recente Nederlandse onderzoek betreft het bepalen van de relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en de (frequentie en ernst) van verkeersongevallen. Enige jaren geleden heeft de Dienst Verkeerskunde (DVK) van Rijkswaterstaat het initiatief genomen een onderzoek uit te voeren naar de relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en verkeersongevallen. De DVK, de SWOV en Bureau Goudappel Coffeng hebben gezamenlijk een programma opgesteld. De achtergronden van dit programma zijn in detail beschreven in de bijlagen van het eindrapport van Deel I van die studie (Schreuder, 1990a).

Om praktische redenen is dit programma in drie fasen is onderverdeeld.

Fase I: de relatie tussen het niveau van de openbare verlichting op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom;

Fase II: de relatie tussen het niveau van de openbare verlichting op autosnelwegen buiten de bebouwde kom;

Fase III: de relatie tussen het niveau van de openbare verlichting op wegen binnen de bebouwde kom.

Fase I is afgesloten (BGC, 1990; Schreuder, 1990a). Fase II is momenteel in uitvoering waarbij de nadruk ligt op de wegvakken, terwijl Fase III nog niet is aangevangen.

##### *B. Opzet Fase I*

Het onderzoek is opgezet als een relatiestudie, waarbij kenmerken van de verlichting zijn gerelateerd aan kenmerken van de ongevallen, en waarbij de kenmerken van weg en verkeer als 'parameter' zijn opgenomen. Het onderzoek beslaat de jaren 1984 tot en met 1988.

Het wegenbestand dat in de eerste fase is gebruikt, bestaat in beginsel uit alle in Nederland aanwezige van openbare verlichting voorziene niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom. Om technische en praktische redenen moest een gedeelte van deze wegen afvallen. Een belangrijke factor daarbij was de eis dat de wegvakken gedurende de periode waarover het onderzoek zich uitstrekt, geen ingrijpende wijzigingen hebben ondergaan. Een tweede belangrijke factor was de eis dat een vak tenminste 400 meter lang moest zijn om in het bestand te worden opgenomen. Dit is gedaan om een zekere homogeniteit binnen ieder vak te bereiken. In de praktijk komen deze beperkingen erop neer dat het in hoofdzaak, maar niet bij uitsluiting, gaat om wegen met gesloten verklaringen voor het langzaam verkeer.

Het totale bestand bestaat uit ruim 90 wegvakken met een totale weglengte van ruim 7000 km. Een complete inventarisatie van alle gebruikte wegvakken is uitgevoerd en apart gerapporteerd (BGC, 1990a).

De ongevalgegevens zijn afkomstig van de Dienst Verkeersongevallenregistratie (VOR). Moeilijkheden bij het verschaffen van de voor dit onderzoek gewenste gegevens maakte het nodig om de VOR-gegevens aan te vullen met de gegevens die rechtstreeks uit de politieformulieren (de 'groentjes') zijn ontleend.

Het gebruikte bestand van de ongevallen omvat alle geregistreerde ongevallen met letsel

(doden en gewonden) en alle geregistreerde u.m.s.-ongevallen (ongevallen met uitsluitend materiële schade). Deze laatste categorie is toegevoegd om het bestand zo groot mogelijk te maken, ofschoon bekend is dat u.m.s.-ongevallen slechts voor een klein gedeelte in de VOR-registratie terecht komen. Toch zijn deze ongevallen gebruikt omdat er geen duidelijke redenen zijn aan te voeren dat de registratiegraad van u.m.s.-ongevallen op een systematische ('non random') wijze afhangt van het lichtniveau van de openbare verlichting.

De verlichtingsgegevens zijn afkomstig van de wegbeheerders. Omdat de gegevens over een vrij groot aantal jaren nodig waren, leverde de verzameling ervan moeilijkheden op. Daarom zijn de verlichtingsgegevens afkomstig van de wegbeheerders aangevuld met gegevens uit de in het kader van dit onderzoek uitgevoerde inventarisatie (BGC, 1990a). Het lichtniveau is bepaald met behulp van het door de DVK opgestelde computerprogramma RWSLICHT. Met als uitgangspunt het type van armatuur, lamp en wegdek, en de gegevens van de verlichtingsgeometrie (wegbreedte, paalafstand, ophanghoogte enz.) zijn de luminanties uitgerekend. De verlichtingsgegevens omvatten steeds tenminste de gemiddelde wegdek-luminantie  $L$  en de ongelijkmatigheidsmaten  $U_l$  en  $U_o$ .  $U_l$  betekent de gelijkmatigheid van het luminantiepatroon in de lengterichting van de weg (lichte en donkere dwarsstrepen);  $U_o$  betekent de algemene ongelijkmatigheid van het luminantiepatroon (het voorkomen van donkere plekken).

Ook de verkeersgegevens (ten minste bestaande uit gemeten of geschatte etmaalintensiteiten) zijn afkomstig van de wegbeheerders.

Het onderzoek betreft wegen die voorzien zijn van installaties voor openbare verlichting, onderling verschillend in de kwaliteit van de verlichting (luminantie en gelijkmatigheid). In het wegenbestand zijn ter vergelijking en ter beoordeling van de consistentie van het materiaal ook een aantal wegen zonder openbare verlichting opgenomen.

### *C. Resultaten Fase I*

Er blijkt een nauwe relatie te bestaan tussen de twee maten voor de ongelijkmatigheid  $U_l$  en  $U_o$ . Dit sluit aan bij de meer recente gedachten om in de toekomst slechts één van deze twee maten te gebruiken: wanneer er inderdaad steeds een aanzienlijke samenhang bestaat, levert het gebruik van twee grootheden in plaats van één, nauwelijks extra informatie op.

Er blijkt een vrij sterke samenhang te bestaan tussen de gemiddelde wegdek-luminantie en de gelijkmatigheid: wegen met een (relatief) hoge luminantie hebben over het algemeen een (relatief) goede gelijkmatigheid. De gevonden sterke samenhang tussen de luminantie en de gelijkmatigheid betekent dat het op grond van de resultaten van het onderhavige onderzoek niet mogelijk is om een uitspraak te doen over de relatieve merites van lichtniveau en gelijkmatigheid. Een 'pay off' tussen deze twee grootheden kan op grond van het hier gepresenteerde materiaal niet worden gevonden, evenmin als een beslissende uitspraak over de vraag of het luminantieniveau of juist de gelijkmatigheid het 'belangrijkste' ontwerpcriterium is.

Uit dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

- De n/t-ratio is op verlichte wegen steeds lager, en bij een middelmatig luminantieniveau reeds aanzienlijk lager, dan de ratio op onverlichte wegen. Wegens de verwachting



dat er sterke versturende factoren aanwezig zijn, kunnen op basis van dit onderzoek over de vergelijking van het risico op verlichte en onverlichte wegen geen 'robuuste' uitspraken worden gedaan.

- Er bestaat een statistisch significante relatie tussen het luminantieniveau en het risico bij nacht (ongevallen per voertuigkilometer). De luminantie blijkt slechts een vrij klein gedeelte van de variantie te verklaren. Het risico hangt, behalve van de verlichting, nog van andere factoren af.

Luminantie	L < 0,4	0,4 < L < 0,73	L > 0,73
Risico	0,59	0,37	0,26

- Er bestaat een (niet significante) tendens dat ook de dagongevallen per voertuigkilometer (op etmaalbasis) afnemen met toenemende luminantie. Een combinatie van deze gegevens levert op dat ook het aandeel van de nachtongevallen (de n/t-ratio) in aanzienlijke mate afneemt bij toenemende luminantie.

Luminantie	L < 0,4	0,4 < L < 0,73	L > 0,73
n/t-ratio	0,33	0,27	0,23

De verschillen in de ratio bij verschillende luminanties zijn niet significant op het 5%-niveau.

- Er zijn aanwijzingen dat het risico bij de laagste lichtniveaus niet veel lager is dan het risico op een onverlichte weg. Het heeft uit overweging van de verkeersveiligheid weinig zin om een 'slechte' verlichting aan te brengen. Een dergelijke 'slechte' verlichting levert een aanzienlijke verbetering van het subjectief ervaren rijcomfort (Van den Brink & Buijn, 1987, 1990).
- De invloed van de lichtmasten op de verkeersveiligheid niet mag worden genegeerd. Deze invloed is echter niet zo groot is dat de gunstige uitwerking van de aanwezigheid van verlichting op de verkeersveiligheid te niet wordt gedaan of in ernstige mate gereduceerd.
- Kosten/baten-analyses zijn een bruikbaar hulpmiddel bij het vergelijken van niet te zeer verschillende installaties onder overigens gelijke omstandigheden; ze kunnen bijvoorbeeld worden gebruikt om verschillende maar gelijksoortige ontwerpen voor dezelfde weg onderling te vergelijken.
- Kosten/baten-analyses zijn niet nauwkeurig genoeg om te worden gebruikt als criterium voor het al dan niet verlichten van wegen; vooral niet voor afzonderlijke wegvakken van niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom.

#### D. Fase II

Fase II van het onderzoek gaat over de verlichting van autosnelwegen. Dit onderzoek is bedoeld als een vervolg op het eerder uitgevoerde onderzoek naar dezelfde problematiek op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom.

Er zijn tussen autosnelwegen en niet-autosnelwegen verschillen aan te wijzen die repercussies kunnen hebben op het onderzoek.

- Het aantal kilometers autosnelweg is aanzienlijk geringer dan het aantal kilometers niet-autosnelweg. Ook het aantal kilometers *verlichte* weg is geringer. Ondanks de grotere verkeersintensiteit is het aantal ongevallen op autosnelwegen kleiner dan op niet-autosnelwegen. Dit laatste omdat het *risico* op niet-autosnelwegen groter is.
- De autosnelwegen in Nederland zijn vrijwel zonder uitzondering bij de Rijksoverheid in beheer; de verlichting is tot voor zeer kort op een centrale wijze tot stand gekomen, zodat de variatie in verlichting (in luminantie bijvoorbeeld) op autosnelwegen geringer is dan op niet-autosnelwegen. Overigens is uit een voorstudie van BGC gebleken dat de 'range' in verlichting waarschijnlijk voor het onderzoek voldoende is.
- Bij aansluitingen en knooppunten in autosnelwegen is er een aanzienlijk verschil tussen de hoofdrijbanen en de afslaande wegen, weefvakken en rangeerbanen. De praktijk leert dat er vaak ook verschillen bestaan in de registratie van ongevallen, en van toedeling van ongevallen aan weggedeelten. Op grond hiervan is besloten om het onderzoek in elk geval te beperken tot de hoofdrijbanen, en, wanneer de noodzaak zal blijken, tot de weggedeelten tussen aansluitingen en knooppunten. Dit laatste zal echter leiden tot een aanzienlijk kleiner bruikbaar areaal.

Voor de omvang van het onderzoek is de volgende schatting gemaakt. Uitgangspunt is 12 cellen (drie lichtniveaus en vier intensiteitsklassen). Per cel zijn voor een redelijk betrouwbare statistische verwerking *tenminste* 20 ongevallen nodig. Dit is een lage schatting; gemiddeld is gerekend op 50. Er zijn dus 600 relevante ongevallen nodig. Dit getal moet worden opgehoogd, en wel met een factor 4 (verlichte tegenover onverlichte weggedeelten); met 3 (aantallen ongevallen bij dag en bij duisternis); met 5/4 (4/5 van de ongevallen op de hoofdrijbaan) en nog eens met 5/4 (20% codeerfouten). In totaal zijn dus 11 250, afgerond 15 000 ongevallen nodig. Uit het DVK-bestand blijkt dat er op alle autosnelwegen in Nederland ruim 1200 letselongevallen per jaar plaatsvinden. Dit zou dus een onderzoeksperiode van ruim tien jaar vereisen. Dat is niet zinvol, dus beperking tot letselongevallen is niet mogelijk. U.m.s.-ongevallen moeten worden gebruikt. Dit levert extra problemen op bij de verzameling van ongevallengegevens. Er worden per jaar ruim 10 000 u.m.s.-ongevallen op autosnelwegen bij de VOR geregistreerd, dus een periode van twee jaar is voldoende.

BGC heeft in 1990 een schatting gemaakt over het benodigde areaal. Er is in Nederland 450 km autosnelweg verlicht. Verwacht is dat hieruit een voldoende aantal wegvakken van ca. 1000 m te vinden zijn die voldoende homogeen zijn. Voorts is (ter vergelijking) ca. 100 km onverlichte autosnelweg nodig. Het totale areaal waarover (volgens de schatting van BGC) gegevens moeten worden verzameld, is ca. 550 km. Het lopende onderzoek zal moeten uitwijzen of dit areaal te halen is, en of het groot genoeg is.

Het onderzoek loopt momenteel. Er deed zich een aantal problemen voor die te maken hebben met de volledigheid en de betrouwbaarheid van de gegevens. De problemen komen op verschillende terreinen voor: zowel bij de ongevallen als bij de verlichting, en bij het verkeer zijn veel van de gegevens onvolledig en/of onjuist. Het valt te bezien

of, na eliminatie van de 'zwakke plekken' nog voldoende aan betrouwbaar materiaal zal overblijven om tot uitspraken te kunnen komen die zowel discriminerend zijn wat betreft het resultaat, als wetenschappelijk verdedigbaar en statistisch significant. Er zij opgemerkt dat het onderzoek in Fase II in eerste instantie is toegespitst op wegvakken.

#### *E. Vervolgtraject*

Hierboven is de fasering van het onderzoek genoemd. Het gaat daarbij om drie fasen.

Fase I: niet-autosnelwegen;

Fase II: autosnelwegen;

Fase III: wegen binnen de bebouwde kom.

Van deze drie fasen is de eerste fase afgesloten, De resultaten voldoen aan de verwachtingen en maken een verder onderzoek niet nodig.

Fase II is nog in behandeling, zodat er over de resultaten nog niets te zeggen is. Het lijkt echter verstandig om reeds op voorhand rekening te houden met de mogelijkheid dat het areaal van het onderzoek niet groot genoeg zal blijken te zijn om statistisch betrouwbare, en voor de verkeersveiligheid relevante resultaten op te kunnen leveren.

Geografisch is een uitbreiding binnen Nederland niet mogelijk, omdat alle Nederlandse autosnelwegen reeds in het onderzoek zijn betrokken. Vergroting van het areaal kan alleen gebeuren door wegen in het buitenland in de beschouwingen te betrekken. Aangezien in heel wat landen dergelijk onderzoek wordt uitgevoerd - zij het meestal op kleinere schaal en minder systematisch - is een uitbreiding in beginsel heel goed mogelijk. De organisatie van een en ander zal echter moeilijk zijn. Een mogelijke opzet is om het onderzoek door Nederland te laten financieren, door een onafhankelijk advies- of ingenieursbureau te laten uitvoeren, en door een internationale organisatie zoals bijvoorbeeld de CIE, de OECD de PIARC of de IRF te laten begeleiden.

Voor Fase III is al heel wat materiaal beschikbaar, zijn het dat het op een andere wijze dan de gegevens van de Fasen I en II is verzameld. Verdere uitbouw van het onderzoek, zowel wat betreft de verkeersveiligheid als wat betreft de criminaliteit is echter nodig. Eerder is een mogelijke opzet geschetst, waarmee de benodigde gegevens kunnen worden verzameld. Ook de subjectieve veiligheid en de leefbaarheid moeten worden onderzocht in relatie tot de openbare verlichting.

Wanneer al deze gegevens bijeen zijn gebracht, is een integratie nodig. Deze integratie is meer in het bijzonder nodig wanneer een kosten/baten-analyse van de openbare verlichting wordt geëntameerd. Een dergelijke analyse is essentieel om de merites van openbare verlichting te kunnen afwegen tegen de merites van automobielverlichting of van wegmarkeringen.

#### 4.3.3.3. Internationaal onderzoek op wegen binnen de bebouwde kom

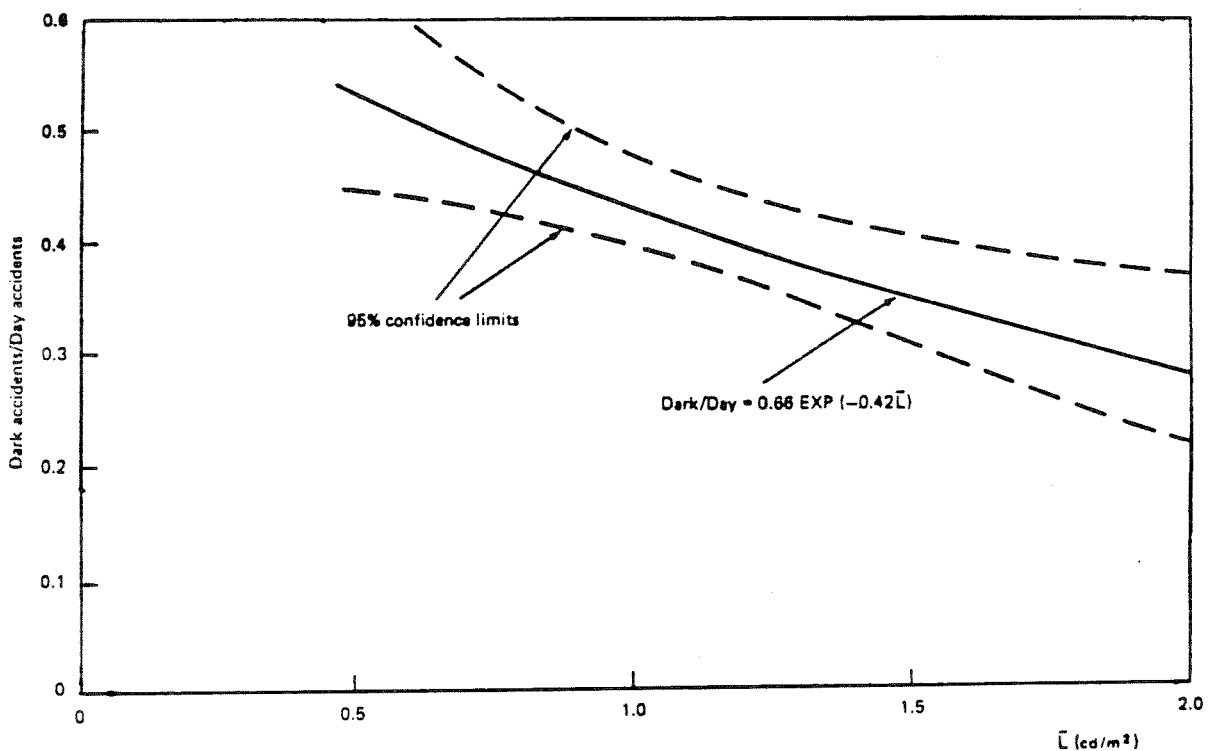
De relatie tussen lichtniveau en ongevallen is in het verleden minder frequent onderzocht.

De belangrijkste internationale onderzoeken zijn die uit Engeland en uit Philadelphia (VS). We zullen de resultaten hier in het kort samenvatten. Details zijn gegeven in de literatuur; zie daarvoor Scott, 1980; Gallagher et al., 1975 en Schreuder (1983; 1985, 1988).

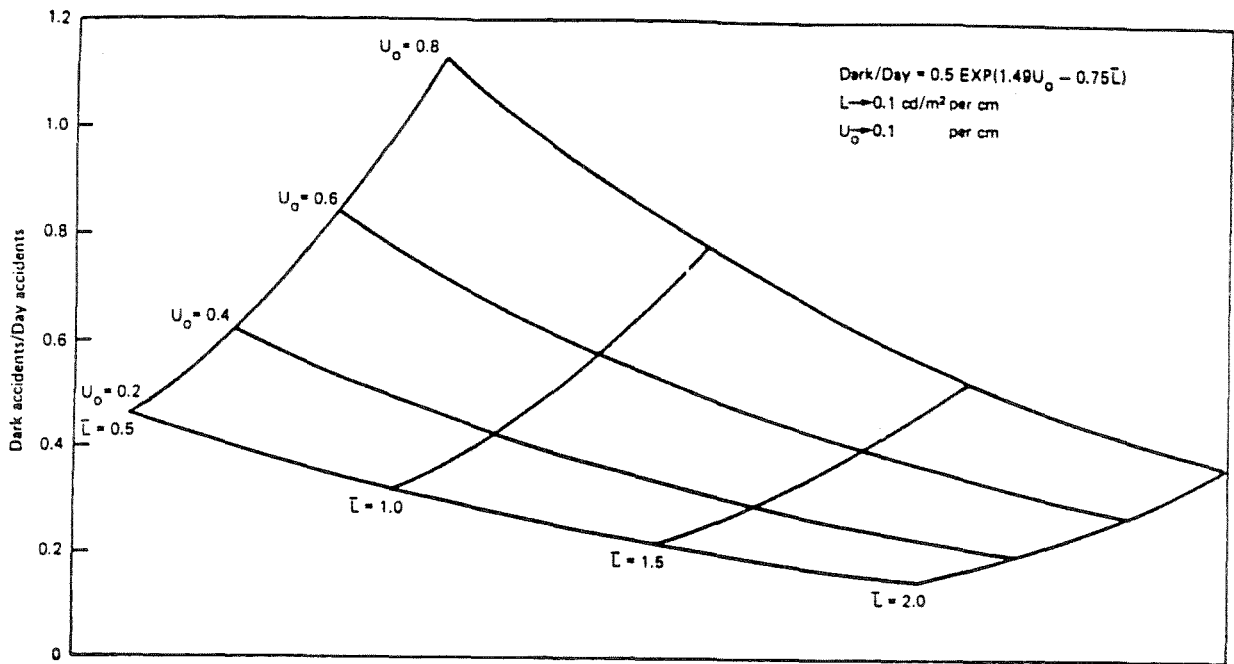
In de Engelse studie zijn van ca. 70 stedelijke enkelbaans uitvalswegen alle relevante gegevens van ongevallen en van verlichting verzameld. Gegevens over het verkeer zijn niet verzameld. Men nam aan dat alle invloeden van het verkeer verdisconteerd konden worden door het 'gevaar' uit te drukken in het quotiënt van ongevallen bij daglicht en bij duisternis. Voor letselongevallen is een duidelijke relatie gevonden is tussen ongevallen en het lichtniveau (zie Afbeelding 2).

Een nadere analyse leverde echter enige moeilijk te verklaren feiten op. Wanneer men zich concentreerde op ongevallen tussen voertuigen, en de voetgangersongevallen buiten beschouwing liet, vond men een vergelijkbare afhankelijkheid van het lichtniveau. Maar ook bleek dat bij *toenemende* gelijkmatigheid het relatieve aandeel van de nachtongevallen *toenam* (zie Afbeelding 3). Dit was in strijd met wat men voordien algemeen had aangenomen. Men volgde gewoonlijk de volgende redenering: een betere gelijkmatigheid is een betere verlichting, en een betere verlichting leidt tot minder ongevallen, en niet tot *meer* ongevallen. Zie verder Scott (1980) die overigens zelfs geen poging waagt om dit onverwachte resultaat te verklaren.

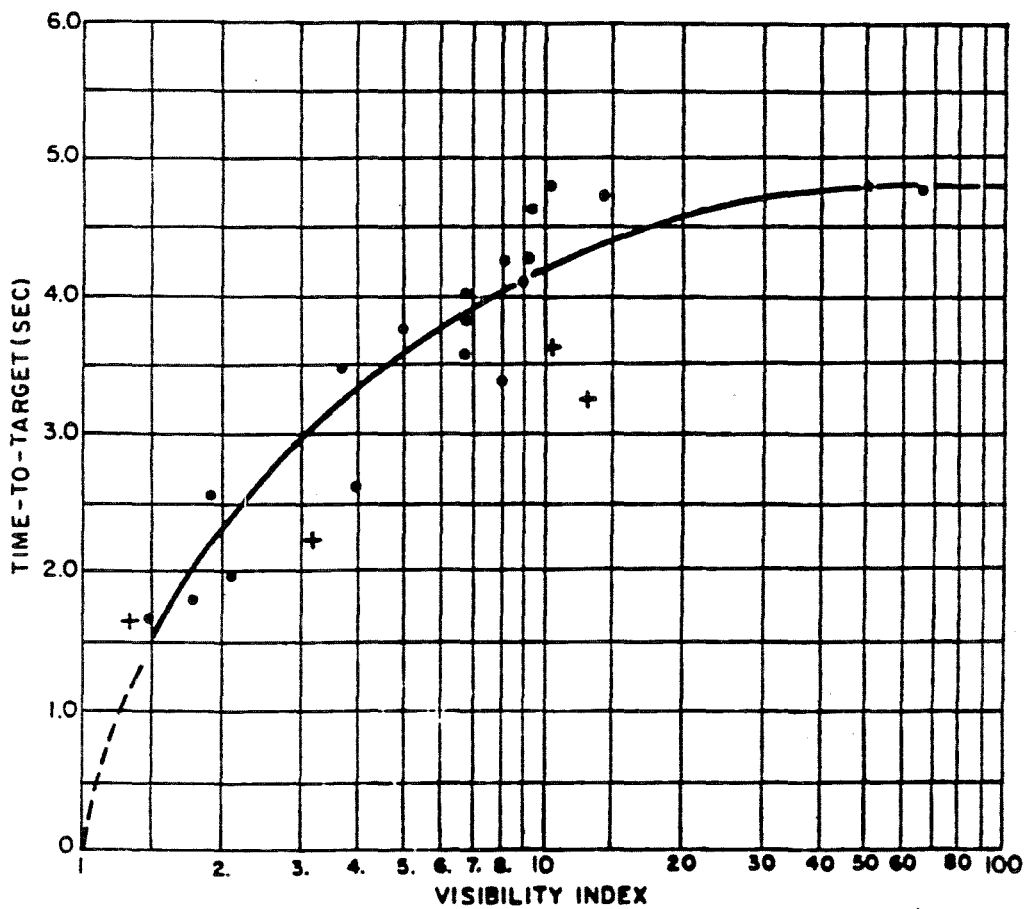
Bij een in Philadelphia (VS) uitgevoerde studie is een grotere steekproef gebruikt. Er zijn weinig gegevens over de verlichting verzameld, maar wel veel gegevens over het verkeer, en over stedenbouwkundige aspecten. De ongevallenstudie heeft nauwelijks bruikbare resultaten opgeleverd. Naast deze ongevallenstudie is een onderzoek naar de waarneembaarheid van obstakels uitgevoerd. Men heeft bepaald op welke afstand de bestuurders van auto's een obstakel op straat van voldoende belang achtten om ervoor te remmen. ('time to target'. Het blijkt dat deze afstand met toenemend lichtniveau (hier uitgedrukt



Afbeelding 2. De relatie tussen ongevallen (nacht/dag-verhouding) en het lichtniveau ( $\text{cd/m}^2$ ) (Bron: Scott, 1980).



Afbeelding 3. De relatie tussen ongevallen (nacht/dag-verhouding) en het lichtniveau met de ongelijkmatigheid als parameter (Bron: Scott, 1980).



Afbeelding 4. De relatie tussen de 'time to target' en de visibility index (Bron: Gallagher et al., 1975).

in de 'visibility index' eerst toeneemt maar al gauw afvlakt. Er is kennelijk een waarde van het lichtniveau te vinden waarboven een verdere verhoging geen (nuttig) effect heeft (zie Afbeelding 4).

Samengevat: Deze twee onderzoeken suggereren dat er over het algemeen wel van een verbetering van de verkeersveiligheid sprake is bij toenemend lichtniveau, maar dat de relatie niet altijd duidelijk blijkt. Soms is er zelfs van een tegengestelde relatie sprake. Dit resultaat wordt soms gebruikt als ondersteuning van de in par.3.4.2.2 beschreven Small Target Visibility; men neemt aan dat bij een weg met zeer goede gelijkmatigheid kleine voorwerpen kunnen 'verdwijnen', en dat zou dan tot een toename van het aantal ongevallen leiden.

Ook uit Duitsland zijn een aantal kleinere onderzoeken te melden. Details zijn weer gegeven in Schreuder (1985). De eerste studie is een ongepubliceerd onderzoek van het Duitse normalisatie-instituut. Op grond van een enquête werden gegevens uit 23 steden in Nordrhein-Westfalen verzameld over de relatie tussen de kosten van ongevallen bij duisternis en het lichtniveau. Het blijkt dat er wel een zekere relatie is tussen de twee variabelen, de relatie is echter zwak en wordt overheerst door spreiding in de gegevens. Voorts nog een Duitse studie over vijf steden in Nordrhein-Westfalen waar een avond/nachtregime is ingevoerd. Tussen ongeveer 22.00 uur en 6.00 uur werd de verlichting (ongeveer) gehalveerd. In drie van de vijf steden nam het dag/nachtquotiënt af, in één bleef het gelijk en in één nam het toe zodat er geen duidelijke resultaten te vinden zijn. In één van de steden (Keulen) was het echter mogelijk om de verhouding tussen de avond- en nachtperiode te vergelijken voor straten met en zonder avond/nachtregime, net als in een in Schreuder (1985) beschreven pilotstudie in Dordrecht. Het resultaat was dan ook analoog, in vergelijking tot de straten waar de verlichting niet was verminderd, namen in de straten waar de verlichting is gehalveerd de ongevallen toe met 21% en de kosten ervan 42%.

#### 4.3.3.4. Nederlands onderzoek op wegen binnen de bebouwde kom

##### *A. Motief voor onderzoek*

Zoals we reeds eerder hebben aangegeven in dit rapport, vertegenwoordigt de openbare verlichting relatief slechts een zeer bescheiden post op de bestedingen, zowel wat betreft geld als wat betreft (elektrische) energie. Toch gaat het in absolute maat om aanzienlijke bedragen, en het is dus alleszins gerechtvaardigd om te proberen dat het geld en de energie die voor de openbare verlichting nodig zijn, zo goed mogelijk worden gebruikt. Dit streven is te meer gerechtvaardigd in tijden waar zowel de overheidsuitgaven als het gebruik van energie kritisch worden bekeken.

In 1981 is op initiatief van het Ministerie van Economische Zaken door de Stichting Voorlichting Energiebesparing Nederland SVEN een brochure uitgegeven om de gemeenten te helpen effectiever met de kosten voor openbare verlichting om te gaan (SVEN, 1981). Het doel was de exploitatiekosten van de openbare verlichting te verminderen zonder de kwaliteit (uitgedrukt in verkeersveiligheid en burgerlijke veiligheid) geweld aan te doen. Deze brochure is opgesteld door medewerkers van drie ministeries (Economische Zaken, Verkeer en Waterstaat en Binnenlandse Zaken). De Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde NSvV heeft haar medewerking verleend. De brochure is op ruime schaal verspreid, en heeft in aanzienlijke mate aan haar doel beantwoord.

De in de brochure gebruikte gegevens, en daarmee ook de op die gegevens gebaseerde aanbevelingen uit de brochure, zijn echter afhankelijk van de tijd; ze zijn intussen veelal achterhaald. Dit betekent dat een ongewijzigde herdruk - toen de brochure uitverkocht was - af te raden was.

Ter voorbereiding van een nieuwe SVEN-brochure is besloten om een onderzoek naar de effectiviteit van openbare verlichting te doen uitvoeren. Deze aanpak leidde ertoe dat het zwaartepunt van de op wegen binnen bebouwde kommen komt te liggen.

#### *B. Aanpak van het onderzoek*

Het onderzoek bestond uit drie gedeelten:

1. Rapportage over de stand van zaken.
2. Het opstellen van een overzicht over de tot nu toe genomen maatregelen voor energiebesparing.
3. Het uitvoeren van een voorstudie.

Voor Deel 1 van de opdracht (rapportage van de stand van zaken) is uitgegaan van de in 1983 in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat uitgevoerde literatuurstudie (Schreuder, 1983). Deze studie leidde tot de conclusie dat:

'Goede openbare verlichting voor belangrijke stadsstraten een afname van ca. 30% in de nachtelijke letselgevallen kan bewerkstelligen. Voorts heeft het er de schijn van dat de reductie voor wegen binnen bebouwde gebieden groter is dan die voor rurale (auto) (snel)wegen' (zie ook par. 4.2).

Er bleven echter in deze studie een aantal vragen onbeantwoord:

- Welke wegen komen voor een openbare verlichting in aanmerking?
- Hoe goed is 'goed'?
- Hoe groot is de reductie (indien aanwezig) voor andere wegtypen?
- Bestaat er een dergelijke relatie voor de andere functionele aspecten van de openbare verlichting (verkeersafwikkeling, burgerlijke veiligheid, leefbaarheid)?

Voor het overzicht van de stand van zaken is deze literatuurstudie aangevuld; daarbij is met name aandacht besteed aan de vraag hoe goed 'goed' is. Deze vraag kan alleen worden beantwoord wanneer de relatie tussen het niveau (kwaliteit of kwantiteit) van de openbare verlichting en de verkeersveiligheid bekend is (Schreuder, 1988).

De studie leidde tot de conclusie dat de bedoelde relatie (nog) niet kon worden vastgesteld, en dat deel nader onderzoek nodig is.

Wat betreft Deel 2 zijn de volgende conclusies getrokken:

- Er lijkt nog een zekere - zij het niet zeer grote - ruimte aanwezig te zijn voor verdere energiebesparende maatregelen. Daarbij dient te worden bedacht dat de kwaliteit van de verlichting gehandhaafd dient te blijven.
- Nader onderzoek is gewenst om deze maatregelen te preciseren, met name wat betreft de toe te passen lichtniveaus.
- Er is behoefte aan goede, eenvoudige en praktisch bruikbare voorlichting.

Wat betreft het verkeersveiligheidsbeleid is de volgende opmerking te maken: Er lijkt ruimte te bestaan om een zekere besparing van energiegebruik toe te passen onder handhaving van de verkeersveiligheid.

Wat betreft het beleid omtrent de misdaadpreventie valt op dat er nog een aanzienlijk gebrek is aan 'harde' gegevens over de relatie tussen openbare verlichting en (voorkoming van) criminaliteit. Nadere studie dienaangaande lijkt gewenst.

Op basis van de conclusies uit de eerste twee onderdelen van de voorstudie waren voor de begeleidingsgroep aanleiding om aan te bevelen dat ook het derde onderdeel van de voorstudie zou worden uitgevoerd. Dit derde onderdeel heeft het karakter van een 'pilotstudie'.

Wat betreft de misdaadpreventie bleek dat er weinig 'harde' gegevens bestaan over de relatie tussen openbare verlichting en (voorkoming van) criminaliteit. Nadere studie dienaangaande lijkt gewenst. Hoewel het onderzoek in de eerste plaats de verkeersveiligheid betrof, is ook aan de misdaadpreventie enige aandacht besteed. Zie verder par. 4.5.

### *C. De opzet van het onderzoek*

Het onderzoek is opgezet als een relatie-onderzoek. Het gaat om het bepalen van de relaties tussen groepen van gegevens betreffende de volgende aspecten:

- ongevallenkenmerken
- verlichtingskenmerken
- wegkenmerken
- verkeerskenmerken
- (criminaliteitskenmerken).

Er is voor een simpele aanpak gekozen: onderzocht wordt de relatie tussen de verlichtingskenmerken en de ongevallen, waarbij de andere twee groepen kenmerken (weg en verkeer) als 'parameter' worden gehanteerd. Verder is de proef gebaseerd op de gedachte om een zo groot mogelijke 'steekproef' aan ongevallen te krijgen; omdat de middelen zeer beperkt waren, betekende dit dat de andere kenmerken slechts in globale mate konden worden verzameld. Dit leidde tot de wens om het onderzoek uit te voeren in betrekkelijk kleine geografisch en organisatorisch af te grenzen 'gebieden'. Hierdoor kon gebruik worden gemaakt van het feit dat het een enkele of hoogstens een klein aantal mensen alle relevante gegevens gemakkelijk op een eenvormige wijze bijeen kunnen brengen; meestal heeft een enkel persoon het overgrote deel 'in zijn hoofd'. De gegevens uit de verschillende gebieden moeten uiteraard op elkaar aansluiten.

De proefnemingen zijn in een aantal fasen uitgevoerd. De eerste fase betrof de opdracht van het Ministerie van Economische Zaken; de resultaten zijn gepubliceerd in Schreuder (1989a) en hebben betrekking op gegevens uit Amsterdam (West) en Leeuwarden. Later is het onderzoekgebied uitgebreid met gegevens uit Utrecht, Oss en Barendrecht. De resultaten van de twee fasen zijn samengebracht in Schreuder (1992c).

Aangezien de omvang van het bestand aan gegevens nog niet groot genoeg lijkt te zijn, is een verdere uitbreiding wenselijk. Deze uitbreiding kan samenvallen met Fase III van het in par. 4.3.3.2 genoemde onderzoek dat door DVK is geëntameerd.

### *D. Benodigde en beschikbare gegevens*

Zoals hierboven is aangeduid zijn gegevens over de ongevallen, de verlichting, de weg en het verkeer (en de criminaliteit) nodig. Deze gegevens dienen voor alle wegen en straten die bij het onderzoek betrokken waren, apart te worden verzameld. In totaal ging het om



ongeveer drie duizend straten. De ongevalgegevens zijn voor alle betrokken gemeenten verzameld. In Utrecht en Oss is gebruik gemaakt van de gegevens die door de Dienst Verkeersongevallenregistratie VOR zijn vastgelegd. Voor Amsterdam, Leeuwarden en Barendrecht zijn de door de gemeente zelf opgestelde registraties gebruikt.

Het lichtniveau is gekarakteriseerd door de gemiddelde horizontale verlichtingssterkte  $E_{hor}$  op de rijbaan. Dit is slechts een benadering voor de grootheden die de waarneming in wegen en straten bepalen, met name van de luminantie van het wegoppervlak.

Voor het in rekening brengen van gegevens over de weg en het verkeer is een classificatie van wegen nodig, waarin deze aspecten verdisconteerd zijn. In navolging van de Aanbevelingen voor Openbare Verlichting van de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde NSvV is voor een indeling in twee klassen gekozen: wegen met (in hoofdzaak) een verkeersfunctie, en wegen met (in hoofdzaak) een verblijfsfunctie (NSvV, 1990). Een indeling met slechts twee klassen heeft het voordeel dat het aantal straten en het aantal ongevallen per klasse behoorlijk groot is; het nadeel is dat in iedere klasse wegen voorkomen die onderling tamelijk sterk kunnen verschillen. Om dit laatste nadeel te onderwerpen, is een klasse-indeling nodig die meer in detail gaat.

De hier gebruikte methode leidt tot een groot pakket gegevens. Het aantal inwoners van het onderzochte areaal bedraagt ca. 540 000, het aantal geregistreerde ongevallen ca. 22.333 waarvan overdag ca. 17.020 en bij duisternis ca. 5.313.

#### *E. Conclusies*

Uit dit onderzoek zijn de volgende conclusies getrokken:

1. De omvang van het onderzoek is (nog steeds) niet groot genoeg om statistisch significante uitspraken te kunnen doen die betrekking hebben op afzonderlijke wegklassen.
2. Voor de wegen met een verkeersfunctie en voor de wegen met een verblijfsfunctie is de verhouding tussen de ongevallen bij duisternis en bij dag vrijwel precies gelijk, ofschoon men mag verwachten dat wegen met een verkeersfunctie een groter nachtaandeel in het verkeer hebben.
3. Op straten met (uitsluitend of in hoofdzaak) een verblijfsfunctie correspondeert zowel op wegvakken als op kruisingen een hoger lichtniveau met een lager nachtaandeel van de ongevallen. Een verdubbeling van het niveau van de verlichting blijkt te corresponderen met een afname van ca. 3% in het aantal nachtelijke ongevallen.
4. Op wegvakken van straten met (uitsluitend of in hoofdzaak) een verkeersfunctie correspondeert een hoger lichtniveau met een lager nachtaandeel van de ongevallen.
5. Daarentegen correspondeert op kruisingen in straten met (uitsluitend of in hoofdzaak) een verkeersfunctie een hoger lichtniveau met een hoger nachtaandeel van de ongevallen.

#### *F. Discussie*

De conclusie 1 leidt tot de suggestie om nader onderzoek te doen; dit past in het in par. 4.3.3.2 reeds aangegeven vervolgtraject.

De conclusies 3 en 4 zijn in overeenstemming met de verwachting die volgt uit de overwegingen die in par. 4.3.1 zijn gegeven: betere verlichting leidt tot minder ongevallen. De conclusie 5 is daarmee echter in strijd. Zonder nader onderzoek is het niet mogelijk om een duidelijke verklaring te geven voor dit - onverwachte - feit; er zij echter op

gewezen dat de verwachtingen wel vaker niet in overeenstemming bleken te zijn met de resultaten van het onderzoek. We zijn dit al tegen gekomen bij het Engelse onderzoek bij de relatie tussen ongelijkmatigheid en de ongevallen (par. 4.3.3.3); ook in Duitsland bleken de resultaten soms af te wijken van deze verwachting (par. 4.3.3.1). Voorts kunnen we wijzen op gedragsonderzoek waarbij in een - overigens sterk geabstraheerde omgeving - openbare verlichting niet bleek bij te dragen tot een betere waarneembaarheid op kruisingen (Janssen & Van der Horst, 1980).

Er zijn verschillende mogelijkheden te bedenken die tot dit onverwachte resultaat zouden kunnen leiden:

- Er is sprake van een overcompensatie in het risiconemend gedrag (zie par. 3.3.1.7). Op zichzelf is dit wel mogelijk; er zijn gevallen bekend - niet uit de verlichtingswereld overigens - waar dit is geconstateerd. Een verklaring is echter hieruit moeilijk af te leiden; immers, wanneer er van overcompensatie sprake is, is niet te verwachten dat dit alleen op kruisingen en niet op wegvakken plaatsvindt.
- Dimlichten van auto's uit zijstraten kunnen minder opvallend zijn naarmate het lichtniveau hoger is (Janssen II, 1984). Dit zou kunnen leiden tot meer ongevallen op kruisingen bij een hoger lichtniveau.
- Kruisingen die een meer dan gemiddeld risico bij duisternis vertegenwoordigen, worden extra verlicht. Dit levert alleen een verklaring op wanneer *ondanks* deze extra verlichting het extra nachtrisico niet of niet geheel is weggenomen. Dit kan heel goed het geval zijn; fouten in het wegontwerp kunnen maar zeer ten dele door de verlichting worden 'goed gemaakt'. Een verklaring voor het gevonden resultaat kan dit feit echter moeilijk opleveren, omdat in Nederland in vrijwel alle gevallen de verlichting van de belangrijkste straat over de kruisingen met minder belangrijke straten wordt doorgetrokken.
- Wanneer een bepaalde weg een hoger lichtniveau krijgt en de kruisende wegen niet, wordt het verschil tussen de wegen wat betreft de waarneembaarheid groter. Het is denkbaar dat daarmee de kruising gevaarlijker wordt, omdat met name het langzaam verkeer uit de zijweg minder duidelijk waarneembaar is. Door het hogere lichtniveau op de hoofdweg ziet de kruising er echter voor de weggebruikers die zich op de hoofdweg bevinden, minder gevaarlijk uit. De combinatie van deze twee effecten kan leiden tot een relatief groter aantal ongevallen op de beter verlichte wegen.
- Over het algemeen worden belangrijker verkeerswegen - met meer en sneller verkeer - van een hoger lichtniveau voorzien dan de minder belangrijke verkeerswegen. De kruisingen van deze wegen met wegen van een lagere 'orde' zijn meestal voorzien van een aangepaste voorrangregeling, of uitgerust met verkeerslichteninstallaties. Bij verkeerswegen van minder belang is dit meestal niet het geval. Dit betekent dat men op belangrijke verkeerswegen - die dus meestal een hoog lichtniveau hebben - een ander type ongeval zal mogen verwachten dan op de minder belangrijke verkeerswegen. En andere typen ongevallen kunnen op een andere wijze door duisternis worden beïnvloed. Daarbij komt dat verkeerslichteninstallaties niet zelden 's avonds worden uitgeschakeld.
- Mogelijk kan het ongevallenpatroon ook op een andere wijze van belang zijn. Het is mogelijk dat de dag/nachtverhouding van ongevallen die niet of nauwelijks door visuele of verlichtingskundige aspecten worden beïnvloed, afwijkt van de dag/nachtverhouding van ongevallen die in aanzienlijke mate door deze visuele of verlichtingskundige aspecten worden beïnvloed. Men kan daarbij denken aan bepaalde typen alcoholongevallen. Dit verschil kan leiden tot een schijnbare afhankelijkheid van het lichtniveau.

Kortom, er is een aantal redenen die er toe zouden kunnen leiden - of tenminste ertoe zouden kunnen bijdragen - dat voor verkeerswegen op kruisingen een hoger lichtniveau kan corresponderen met een hoger nachtaandeel van de ongevallen. Het verdient aanbeveling om deze materie nader te onderzoeken.

## B.III.B. Criminaliteit

In deel B.III.B. is de relatie tussen de verlichting en de voorkoming en bestrijding van de criminaliteit behandeld. Door de SWOV is enig onderzoek uitgevoerd op dit gebied, ofschoon het niet tot de verkeersveiligheid behoort, en wel als 'spin off' van een aantal ongevallenstudies.

Deel B.III.B. is op een SWOV-rapport uit 1992 (R-92-64) gebaseerd, en is als up-to-date te beschouwen.

### B.III.B. CRIMINALITEIT (R-92-64)

Zoals reeds eerder is aangegeven, is traditioneel de burgerlijke veiligheid, of de bestrijding of voorkoming van criminaliteit al sinds eeuwen de belangrijkste reden voor het aanbrengen van openbare verlichting in steden. Het zij echter vermeld dat, tenminste in Nederland, er geen expliciete verplichting bestaat voor de overheid om openbare verlichting te installeren. De Gemeentewet vermeldt dat het de plicht is van het Gemeentebestuur om de veiligheid van de burgers te waarborgen. Gewoonlijk wordt dit geïnterpreteerd als een verplichting voor openbare verlichting.

Gezien het feit dat de verlichting reeds zo lang met dit expliciete doel wordt geïnstalleerd, is het verwonderlijk dat er in het verleden slechts weinig onderzoek heeft plaatsgevonden aangaande de relatie tussen verlichting en criminaliteit.

Het enige op behoorlijke schaal uitgevoerd onderzoek stamt uit de USA. Het onderzoek betrof een steekproef van 41 verlichtingsprojecten, waarvan er slechts 15 gebruikt konden worden voor een evaluatie. Gezien de geringe omvang van de evaluatiesteekproef is een statistische analyse van de resultaten achterwege gelaten.

De studie bevat een aantal suggesties ten behoeve van de wegbeheerders. De suggesties betreffen vooral het beleid voor misdaadpreventie en minder de technische uitmonstering van de wegen. Gegevens van de afname van de criminaliteit ten gevolge van een verbetering van de openbare verlichting - of omgekeerd - zijn niet verschaft. Tenslotte bevat de studie een overzicht van de in de literatuur gepubliceerde gegevens. Deze gegevens zijn over het algemeen onvolledig, en vaak zelfs van twijfelachtige gehalte. Meestal zijn de gegevens meer kwalitatief - gebaseerd op opinies van politiefunctionarissen - dan kwantitatief. De studie besluit met de aanbeveling dat er niet alleen meer onderzoek moet worden gedaan, maar dat ook een nieuwe techniek daarvoor moet worden ontwikkeld.

"Therefore, it is recommended that a single project evaluation design be developed, implemented, refined and promulgated as a model evaluation study".

Vermeld kan nog worden een studie uit Eindhoven, waar - onder auspiciën van de NEOM - is onderzocht of 'dimmen' beter is dan 'uitschakelen' voor nachtschakelingen. De criminaliteit is in het proefgebied meer afgenomen dan in de rest van de stad. Dit levert de suggestie op dat de criminaliteit wellicht vooral bestreden kan worden door zeer donkere plekken op de weg te vermijden.

Een studie die veel aandacht heeft getrokken is in Frankrijk uitgevoerd. In de stad Lyon is nagegaan hoeveel misdrijven er zijn gepleegd in straten die een verschillend lichtniveau hebben. Het blijkt dat er veel meer misdrijven plaatsvinden op slecht verlichte straten dan op goed verlichte straten. Het is echter moeilijk om hieruit een kwantitatieve conclusie te trekken zonder nadere gegevens over de omvang van het stratennet in de betreffende stad voor de verschillende klassen van verlichtingssterkte, en over de 'expositie': het aantal potentiële slachtoffers dat zich op de bedoelde straten bevindt. Ook is het twijfelachtig of de misdaadpreventie voldoende beschreven is door de opgave van het gemiddelde niveau van de verlichtingssterkte op het wegoppervlak. Veelal neemt men aan dat het minimum daarvoor een betere maat is. Eenstemmigheid hierover bestaat echter nog niet.

In Nederland is op dit terrein in het verleden nauwelijks onderzoek uitgevoerd. Er zijn wel enige publikaties, maar die zijn voor een groot deel op de beschikbare internationale literatuur tot ca. 1983 gebaseerd, aangevuld met het resultaat van enige ervaringen in Den Haag (Maas, 1986). Samengevat leveren de verschillende studies op dat een vermindering in de verlichting leidt tot een verhoging van de criminaliteit, en omgekeerd. Een halvering van de verlichting leidde tot een toename van ca. 20% tot meer dan 100% van de criminaliteit van verschillende soort, terwijl een verhoging van het lichtniveau leidde tot reducties van 40 à 90%.

Sinds het rapport van de Commissie Roethof is openbaar gemaakt is de belangstelling voor de relatie tussen aspecten van de bebouwde omgeving en de criminaliteit aanzienlijk toegenomen. Bij deze aspecten van de bebouwde omgeving speelt de verlichting uiteraard een belangrijke rol; uit praktijkervaringen is weer gebleken dat naast het lichtniveau vooral de verdeling van het licht een belangrijke rol speelt. Gebleken is ook dat een

goede verlichting een gunstige uitwerking heeft zowel op de preventie als op de bestrijding van criminaliteit. Kwantitatieve gegevens ontbreken echter. Een belangrijke rol heeft in dit verband de Stichting Vrouwen Bouwen en Wonen te Rotterdam gespeeld.

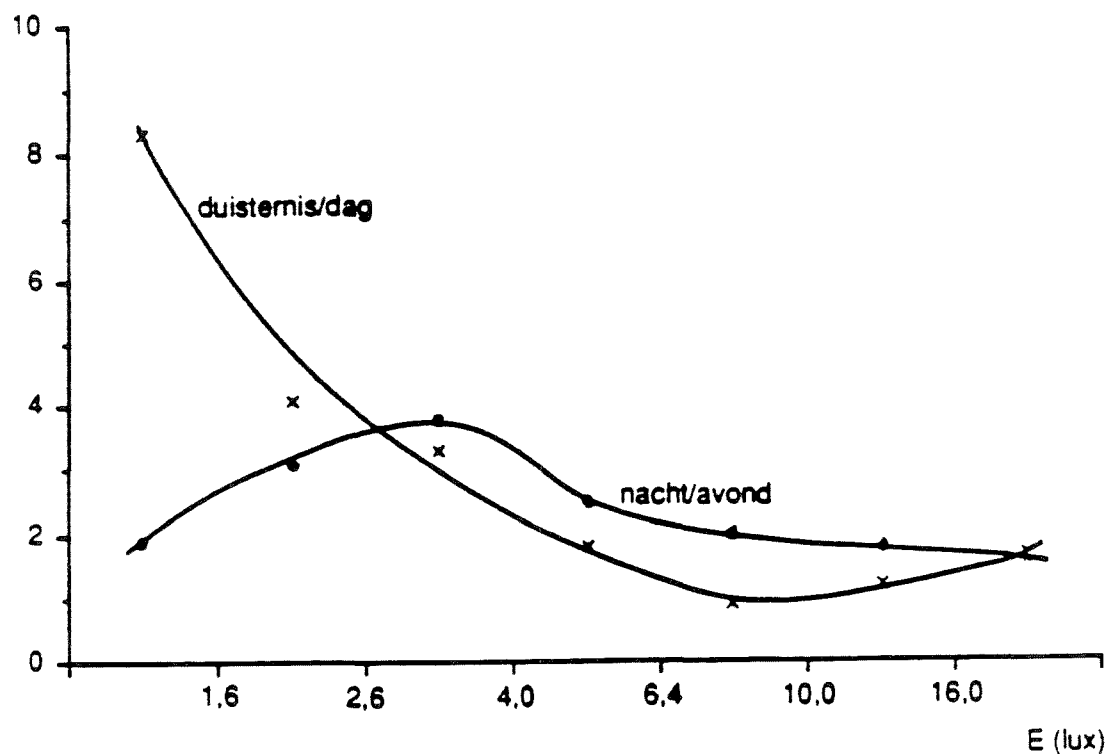
Ook internationaal is de belangstelling voor openbare verlichting als middel voor misdaadpreventie groeiende. Zo is op het in 1987 gehouden 21ste congres van de CIE onderzoek op dit terrein besproken.

Dit alles heeft geleid tot een onderzoek in de Gemeente Oss. In feite is het onderzoek een 'spin-off' van de studie naar het optimaliseren van de openbare verlichting, en dan meer speciaal wat betreft het beheer van de verlichting.

De gegevens van de criminaliteit zijn niet onderverdeeld naar wegklasse. Ook een onderverdeling naar type misdrijf is niet zinvol aangezien alleen diefstallen uit auto's frequent zijn. De andere misdrijven komen (gelukkig!) slechts in zodanig kleine aantallen voor dat een analyse niet zinvol is.

Uit de gegevens blijkt dat het relatieve aandeel van misdrijven bij duisternis duidelijk afneemt bij toenemend lichtniveau (zie Afbeelding 5). Bovendien blijkt er eveneens een dalende tendens te zijn in de verhouding tussen 'nacht' en 'avond'-misdrijven bij toenemend lichtniveau.

De conclusie lijkt gerechtvaardigd dat openbare verlichting een doeltreffende maatregel tegen criminaliteit is. Daarbij dient te worden bedacht dat de opgaven van misdrijven voor het overgrote deel diefstallen uit auto's betreffen. Om over andere misdrijven een even duidelijke uitspraak te kunnen doen, dient het onderzoek te worden uitgebreid. Wel kan worden opgemerkt dat bij straten met hoge lichtniveaus slechts weinig inbraken worden gemeld. Het is niet bekend of de bebouwing daarbij een rol speelt.



Afbeelding 5. De relatie tussen criminaliteit en lichtniveau (Bron: Schreuder, 1992c).

## B.III.C. Beleving

In deel B.III.C. is de relatie tussen de verlichting en de beleving behandeld. Het gaat daarbij om de leefbaarheid en de subjectieve veiligheidsbeleving, twee zaken die moeilijk zijn te definiëren. Ook op deze gebieden is door de SWOV enig onderzoek uitgevoerd, ofschoon ze niet tot de verkeersveiligheid behoren, en wel als 'spin off' van een aantal ongevallenstudies.

Deel B.III.B. is op een SWOV-rapport uit 1992 (R-92-64) gebaseerd. Omdat er vooral op het gebied van de subjectieve veiligheidsbeleving recentelijk nogal wat onderzoek is uitgevoerd, is dit deel niet meer volledig up-to-date. Voor de meer recente studies wordt verwezen naar Schreuder, D.A. (1994). *Road lighting as a crime countermeasure*. Paper presented to the Kansai Lighting Engineers, Osaka, Friday, 22 July 1994. DSC Duco Schreuder Consultancies, Leidschendam, 1994.

#### 4.6. Subjectieve ervaringen

Sinds de oliecrisis van 1973, en sterker nog na de verschillende bezuinigingsronden van de Overheid is de straatverlichting onder druk komen te staan; energiebesparing en kostenvermindering gingen hand in hand. Daarbij is niet alleen aandacht besteed aan de verlichting van wegen voor het snelverkeer, maar ook aan woonstraten; de laatste omdat er zo veel van zijn.

Men streefde een kostenvermindering op drie manieren na: ten eerste werden vele lampen uitgeschakeld, ten tweede werd de verlichting later ontstoken en eerder gedoofd, en ten derde werden de lampen vervangen door lampen die minder energie gebruikten. Tegen de eerste twee is ernstig bezwaar aangetekend, vooral vanuit het gezichtspunt van de verkeersveiligheid. De laatste lijkt op het eerste gezicht een verstandige maatregel.

Door andere lampen te kiezen kan men op twee wijzen energie en dus energiekosten besparen: ten eerste kan men lampen nemen met een hoger (lichttechnisch) rendement. Dit zijn meestal natriumlampen: de witachtige hoge-druk natriumlampen (SON) en de gele (monochromatische) lage-druk natriumlampen (SOX). Vooral de laatste worden vaak gekozen op grond van hun hoge specifieke lichtstroom. Wegens hun monochromatisch licht is kleurherkenning echter onmogelijk. Voor woonstraten wordt dit vaak als een groot bezwaar gevoeld. Er is echter een mogelijkheid dat het grote voordeel van de hoge specifieke lichtstroom bij lage lichtniveaus terugloopt. We zullen hier niet nader ingaan op deze theoretische problemen. En de tweede mogelijkheid is om gewoon kleine lampen te nemen - die dus weinig licht uitstralen.

De beleidsbeslissingen over de openbare verlichting blijken op gemeentelijk niveau voor een groot deel bepaald te worden door de kosten. Daarbij worden aanleg- en bedrijfskosten, mede door de grote verschillen in tariefstelling, vaak op zeer verschillende wijze ten opzichte van elkaar gewogen. Om tot een verantwoorde kosten/baten-vergelijking te komen, moeten deze kosten worden afgewogen tegenover de functie van de openbare verlichting. Daarbij keek men meestal alleen maar naar het waarborgen van de verkeersafwikkeling en de verkeersveiligheid bij duisternis. De andere functies, zoals het verzekeren van de burgerlijke veiligheid, en het verschaffen van een zeker 'gevoel van veiligheid' kwamen meestal nauwelijks aan de orde. Weliswaar heeft de sinds enige jaren bestaande belangstelling voor de bestrijding en voorkoming van de 'kleine criminaliteit' hierin enige verandering gebracht.

Bij dit geheel is meestal geen aandacht besteed aan de mening van de bewoners - toch de belangrijkste 'gebruikers' van de openbare verlichting. We vermelden hier een kleine 'pilot-studie' uitgevoerd in een wijk in Schiedam (Schreuder, 1989b, c). Sinds enige jaren is in Schiedam een systematische herwaardering van de openbare verlichting in uitvoering. Daarbij zijn de volgende uitgangspunten gebruikt:

- hoofdwegen worden met hoge-druk natriumlampen (SON) verlicht;
- woonstraten worden met lage-druk natriumlampen (SOX) verlicht;
- in sommige straten worden, bijvoorbeeld op grond van architectonische overwegingen, fluorescentielampen (SL) gebruikt;



- hoge-druk kwiklampen (HPL) en fluorescentiebuizen (TL) die in het verleden veel zijn toegepast, worden geleidelijk vervangen door SOX, SON of SL (we gebruiken hier de handelsbenamingen SON, SOX, SL, HPL en TL omdat ze zo kort zijn).

In de wijk Schiedam Zuid treft men vooral straten met vrij oude, meest lage bebouwing. De wijk heeft een sterk 'wijkkarakter'. In een aantal straten zijn enige honderden enquêteformulieren uitgezet.

De enquête bestond uit drie vragen. De eerste vraag betrof de mening over de algemene indruk overdag en 's nachts van een viertal straten in de wijk, alsmede de mening over de kwaliteit van de verlichting. De tweede vraag betrof de indruk of de verandering van de verlichting in vier straten een verbetering was. De betreffende veranderingen zijn echter vrij lang geleden uitgevoerd, terwijl er geen nauwkeurige gegevens beschikbaar zijn over de oude toestand. De antwoorden op de tweede vraag zijn verder niet gebruikt. De derde ging over de verlichting en de zichtbaarheid in de eigen straat. Over negen straten zijn voldoende gegevens verzameld om tot een oordeel te komen. Van zeven straten zijn bovendien nog enige aanvullende gegevens verzameld.

Behalve de gerichte vragen was er ook de gelegenheid tot het geven van algemeen commentaar; een gelegenheid waarvan zeer ruim gebruik is gemaakt.

De gegevens over de verlichting van de straten waren bekend. De verlichtingssterkten varieerden van 1,7 lux tot 14,7 lux.

Bij de analyse van deze gegevens is niet ingegaan op de statistische spreiding of op de betrouwbaarheidsintervallen. De reden is dat men er niet van mag uitgaan dat de gegevens onderling onafhankelijk zijn; voorts zijn de aantallen in deze 'steekproef' te klein voor een gedegen statistische analyse.

Uit de antwoorden blijkt dat het oordeel over de verlichting vrijwel uitsluitend wordt bepaald door het lichtniveau, en - binnen de mogelijkheid van discriminatie van deze oriënterende studie - in het geheel niet door de lichtkleur. Dit volgt uit de directe beoordeling van de verlichting, maar ook uit de relatieve beoordeling van de straat. Daarvoor zijn de antwoorden 's nachts prettig' gecorrigeerd voor het percentage 'overdag prettig' door deze twee percentages op elkaar te delen. Dit geeft een indruk over het verschil in appreciatie van de straat tussen de dag- en de nachtsituatie. Deze twee opinies blijken vrijwel precies tot het zelfde resultaat te leiden.

Vraag 3 bestond uit een aantal onderdelen. Over een aantal aspecten van de verlichting konden meningen worden gegeven. De resultaten zijn ten gevolge van de kleine aantallen niet meer dan indicaties. Toch lijken er wel enige aanwijzingen gevonden te kunnen worden. Zo vindt men als regel dat er te veel donkere plekken op de weg zijn (50% tot 91%), terwijl het algemene niveau slechts zelden te laag is gevonden (15% tot 18%; dit bij verlichtingssterkten tussen 2,8 lux en 9,5 lux). Een relatie met de verlichtingssterkte lijkt er echter niet te bestaan. Over de gevoelens van veiligheid bij nacht verschilden de meningen: positieve oordelen lagen tussen 18% en 64%. Ook hier lijkt geen relatie met de verlichtingssterkte te bestaan. Tenslotte de mening dat men als voetganger voldoende kon zien: positieve oordelen lagen tussen 35% en 64%. Hier lijkt een zwakke relatie met de verlichtingssterkte aanwezig te zijn: de laagste score hoort bij de donkerste straat. Maar wel blijkt dat de zichtbaarheid voor te voet gaan aanzienlijk beter wordt beoordeeld dan de het gevoel van veiligheid.

Alle straten hadden SOX-verlichting. De lichtkleur werd negatief beoordeeld. Voor alle met SOX verlichte straten te zamen blijkt dat gemiddeld 66% van de respondenten de kleur 'akelig' vindt. Hondexoop is blijkbaar ook een probleem: 65% merkt op dat deze onzichtbaar is. Daarentegen is verbinding en instraling in de woning slechts zelden een probleem: resp. 4% en 12,5% ondervindt hinder. Tenslotte blijkt dat vrijwel alle mensen - ondanks de nodige kritiek - graag in de wijk wonen: ruim 95% woont er graag en evenveel voelen zich overdag veilig op straat.

Uit de ze oriënterende studie komen de volgende punten naar voren:

- de meningen over de straat bij duisternis en die over de openbare verlichting zijn zeer analoog;
- de mening over de kwaliteit van de openbare verlichting wordt uitsluitend bepaald door het lichtniveau (verlichtingssterkte); de lichtkleur speelt geen enkele rol;
- SOX-verlichting wordt over het algemeen 'akelig' gevonden;
- men voelt zich 's nachts vaak onveilig op straat;
- het lichtniveau moet tenminste 3 à 4 lux bedragen om als voldoende beoordeeld te worden (het laagste was 1,7 lux);
- steeds werden er donkere plekken geconstateerd;
- voor het gaan te voet werd over het algemeen juist voldoende gezien; bij het laagste niveau waarbij deze vraag is gesteld (2,8 lux) was het kennelijk te weinig.

Omdat vrijwel alle straten waarvoor de vraag 3 is beantwoord met SOX-lampen werden verlicht, is het niet mogelijk om enige uitspraak te doen over de mate waarin deze effecten van het lichtniveau of van de lichtkleur afhangen. Om dit te onderzoeken is een meer uitgebreide studie nodig, waarbij een grotere variatie in lichtkleur en lichtniveau ter beschikking moet staan.

## B.IV. Doelmatigheid

In deel B.IV. zijn enige opmerkingen gemaakt over de doelmatigheid van openbare verlichting. Het gaat daarbij niet om het nut op zichzelf (de doeltreffendheid), maar om de relatie tussen het nut en de kosten (kosten/baten-relatie). Op dit gebied is tot nu toe door de SWOV weinig onderzoek verricht; in de inleiding zijn enige nieuwe SWOV-rapporten vermeld.

Deel B.IV is gebaseerd op een in 1993 uitgevoerde studie (Schreuder, D.A. *Het niveau van de openbare verlichting op verschillende categorieën van wegen*. DSC Duco Schreuder Consultancies, Leidschendam, 1993.) en is dus als up-to-date te beschouwen.

#### B.IV. DOELMATIGHEID (NIVEAU..; DSC)

##### 3. De onderzoeksvraag

Op basis van de in par. 2 en 3 gegeven overwegingen, worden allereerst de beleidsvragen omgevormd tot een onderzoeksvraag, waarvoor in het onderhavige rapport een antwoord wordt gezocht. De onderzoeksvraag luidt:

. wat is de uit doelmatigheidsoverwegingen aangaande de verkeersveiligheid de optimale verlichtingstoestand voor wegen van verschillende klasse en van verschillend type?

#### 4. Kosten van openbare verlichting

Zoals in par. 2 is aangegeven, is het niet mogelijk om in algemene termen de kosten van openbare verlichting op te geven. Gekozen is voor een andere aanpak. Voor een aantal specifieke wegvakken zijn door de Dienst Verkeerskunde in overleg met de wegbeheerders (onder meer de Directie Noord-Holland van de Rijkswaterstaat) gegevens verschaft over de kosten van de verlichting, te weten:

- . de A 1 (Amsterdam - Vechtbrug; 2 \* 3 rijstroken - lijnverlichting);
- . de A 205 (S17) (Amsterdam - A9; 2 \* 2 rijstroken - lijnverlichting);
- . de N 9 (Alkmaar - Den Helder; tweestrooks weg - eenzijdige mast-verlichting);
- . de A 4 (Prins Clausplein - Leiderdorp; 2 \* 3 of 2 \* 4 rijstroken - tweezijdige mast-verlichting; project).

Van deze wegvakken zijn gedetailleerde gegevens verkregen over de kosten van aanleg, onderhoud en bedrijf van de verlichting. Deze opgaven gelden voor 1992. De gegevens zijn weergegeven in de tabellen I, II, III en IV. In Tabel Ia is een hypothetische installatie gepresenteerd, waarbij de 135 W SOX-lampen van Tabel I vervangen zijn door 180 W SOX-lampen.

Ten opzichte van de oorspronkelijke opgaven van de Rijkswaterstaat zijn de gegevens in een aantal opzichten aangepast aan het doel van deze studie. Zo is bij lijnverlichting niet uitgegaan van twee eindstukken per vak (per km) maar van een eindstuk (in sommige gevallen ware het wellicht beter uit te gaan van een nog lager aantal eindstukken per km); de lampkosten zijn niet bij de installatiekosten opgenomen, en reinigen is bij het incidenteel onderhoud in rekening gebracht. Er is geen rekening gehouden met een eventuele post "onvoorzien". De opgaven zijn gedaan exclusief BTW. Voor de afschrijving is met een rente van 8% gerekend. Bij de afschrijving is de restwaarde op "nul" gesteld, aannemende dat de feitelijke restwaarde gelijk is aan de kosten van het verwijderen van de resten en van de afvalverwerking. De afschrijving is berekend middels de in PlanPerfect opgenomen sub-routine.

Deze aanpak heeft uiteraard aanzienlijke beperkingen. In feite kunnen de gegevens in het geheel niet worden gegeneraliseerd; ze zijn uitsluitend geldig voor de wegvakken waarop ze betrekking hebben. Wanneer ze toch worden gegeneraliseerd, zoals in deze studie gebeurt, dan moet men rekening houden met aanzienlijke afwijkingen. Het is heel goed denkbaar dat een analoge installatie op een ander wegvak, bij een nadere wegbeheerder, tot aanzienlijk andere kosten leidt. Dat heeft natuurlijk niets te maken met de installatie zelf, maar wel met de organisatie, de administratie, de wijze van financiering en afschrijving, en met de tariefstellingen bij het beheer, alsmede met de aannamen over rentestandaard en levensduur van (delen van) de installatie.

De ontwerpen zijn allen gebaseerd op het bereiken van een gemiddelde wegdek-luminantie van 1 cd/m<sup>2</sup>. Omdat gegevens over het wegdek, alsmede in sommige gevallen ook de gegevens over de armaturen ontbreken, is het echter niet mogelijk de berekening te controleren. De luminantie van de andere installaties is geschat, in evenredigheid met de lichtstroom per km worden bepaald. De omrekening van de kosten is uitgevoerd aan de hand van gegevens van Philips (1990). Daarbij is aangenomen dat, gegeven de hogere

"efficacy", de specifieke lichtstroom van de 180 W-lampen 1,05 \* zo hoog is als die van de 135 W-lampen. De lichtstroom wordt dus  $(180 * 1,05)/135 = 1,4$  maal zo hoog; zo ook de luminanties. De gegevens van Tabel Ia zijn dus een benadering, maar gezien de geringe verschillen tussen de installaties met 135 W en 180 W lampen, lijkt deze benadering gerechtvaardigd. Ook voor de niet-autosnelweg is ermee gerekend dat het ontwerp op 1 cd/m<sup>2</sup> is gebaseerd. Voor de installatie met SON (Tabel IV) is er eveneens van uitgegaan dat op een 2 \* 3 autosnelweg de gemiddelde wegdek luminantie 1 cd/m<sup>2</sup> bedraagt.

De ontwerpen van de tabellen I en IV zijn uitgevoerd voor autosnelwegen met 2 \* 3 rijstroken, het ontwerp van Tabel II echter voor een 2 \* 2 autosnelweg. De installaties voor de 2 \* 3 autosnelweg en die voor de 2 \* 2 autosnelweg verschillen alleen in het aantal lampen per km. (55 resp. 44). Bij een lijnverlichting neemt echter de gemiddelde luminantie per rijstrook van de middenberm uit naar de zijberm toe af. In de praktijk komt het erop neer dat men, om ook voor een 2 \* 3 autosnelweg deze 1 cd/m<sup>2</sup> te bereiken, de binnenste twee rijstroken van een hoger niveau moet voorzien. Omgekeerd betekent dat een installatie, waarmee op een 2 \* 2 autosnelweg een luminantie van 1 cd/m<sup>2</sup> bereikt kan worden, op een 2 \* 3 autosnelweg kan worden gebruikt, zij het met een lager niveau. Wanneer men de lampen in gedachten vervangt door een type met hogere wattage (en dus een hogere bruto-lichtstroom) zoals in Tabel Ia is gebeurd, komt men weer op een hogere luminantie uit. Omgekeerd komt men bij het in gedachten toepassen van een installatie voor 2\*2 rijstroken (tabel II) op een weg met 2\*3 rijstroken op een lagere luminantie uit; geschat is op 80% van de uitgangswaarde, dus op 0,8 cd/m<sup>2</sup>.

Op deze wijze kan men de verschillende ontwerpen beschouwen als varianten voor de verlichting van een 2 \* 3 autosnelweg met verschillend luminantie-niveau. In het onderhavige rapport zal zulks op deze wijze gebeuren. Samenvattend zijn de resultaten van de kostenberekeningen de volgende, waarbij de jaarkosten op veelvoudigen van honderd gulden zijn afgerond:

tabel	aantal rijstr	soort	lamp type	lamp watt	aantal la/km	luminantie cd/m <sup>2</sup>	kosten jaar
1	2*3	lijn	SOX	135	55	1	46800
1a	2*3	lijn	SOX	180	55	1,4	54100
2	2*2	lijn	SOX	135	44	1	43100
(2)	2*3	lijn	SOX	135	44	0,8	43100
3	1*2	mast	SOX	90	40	1	17100
4	2*3	mast	SON	250	15	1	21700

## 5. Baten van openbare verlichting

### 5.1. Kosten van ongevallen

Openbare verlichting gaat gepaard met een vermindering in het aantal ongevallen (zie par. 5.2.2). De bedragen die overeen komen met de kosten van deze "bespaarde" ongevallen kunnen worden beschouwd als de baten van de openbare verlichting. De kosten van ongevallen bestaan enerzijds uit monetaire kosten en anderzijds uit niet-monetaire kosten. Ofschoon de niet-monetaire kosten (menselijk leed) een zeer belangrijke factor vormen, worden ze in deze studie - in overeenstemming met wat gebruikelijk is (Flury, 1992) niet in rekening gebracht.

Voor de bepaling van de monetaire kosten van de verkeersonveiligheid is gebruik gemaakt door Flury (1992, Bijlage 3) gepresenteerde opgave van de door het Bureau McKinsey & Company verzamelde bedragen. Volgens McKinsey bedroeg de totale kosten van de verkeersonveiligheid in Nederland in 1983 fl 5.935.000.000,-. Dit bedrag stemt goed overeen met de schatting die door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat in het "Nationaal plan voor de Verkeersveiligheid II" is gegeven (Anon, 1985). In Bijlage 1 van dit Plan is in detail ingegaan op de kosten van de verkeersonveiligheid, waarbij, naast de studies van McKinsey en de SWOV, ook een studie van het Nederlands Economisch Instituut is gebruikt. Samenvattend is gesteld: "Op basis van een voorlopig oordeel is het realistisch de kosten van de verkeersongevallen te schatten tussen de 5 en 6 miljard gulden per jaar" (Anon, 1985, blz 162). Deze opgave is, wellicht op grond van "politieke" overwegingen, wat vaag gesteld. Ook is niet duidelijk voor welk jaar deze schatting geldt. We zullen verder de opgave van Flury (1992) gebruiken, die uitkwam op 5.935 miljoen gulden voor 1983.

In 1983 zijn in Nederland volgens een door de SWOV aangepaste opgave van de VOR 54.252 ongevallen met letsel geregistreerd (incl. doden). De kosten per geregistreerd slachtoffer-ongeval bedragen dus:

$$\begin{array}{r} 5.935.000.000 \\ \text{-----} \\ 54.252 \end{array} = 109.397 \text{ (gulden van 1983)}$$

Zoals gezegd, hebben de opgaven van de kosten betrekking op 1992. Een vergelijking tussen de kosten en de baten kan uiteraard alleen worden gemaakt wanneer de bedragen betrekking hebben op dezelfde periode. De een kan worden opgehoogd, de ander worden verlaagd. Omdat de resultaten momenteel van belang zijn, en omdat de kosten zijn opgegeven voor typen van verlichting die in 1983 nog niet bestonden (SON-T 250 W bijvoorbeeld), is voor het eerste gekozen. De baten (de getallen van McKinsey dus) zijn opgehoogd tot 1992. Het is echter niet zonder meer duidelijk welke "ophoogfactor" moet worden gekozen. Het gaat in algemene termen om de "geldontwaarding". Hiervoor is echter geen algemeen geldige maat aanwezig. Bovendien is het niet duidelijk welke prijsstijgingen voor de schatting van de kosten van de verkeersongevallen het meest in aanmerking komt. Men zou kunnen kiezen voor de loonkosten, de kosten voor de volksgezondheid, de premies van ongevallen- en auto-verzekeringen, de rijksuitgaven of

voor nog nadere maten. Zie hiervoor bijvoorbeeld Flury (1984; 1992). Het is echter in dergelijke gevallen gebruikelijk om een maat te kiezen die kan gelden als criterium voor de kosten van het levensonderhoud. Twee, onderling verschillende, opgaven komen daarvoor in aanmerking. Ten eerste is in mondeling overleg met het CBS, de "Prijsindexcijfers van de gezinsconsumptie (reeks voor de totale bevolking)" als criterium gebruikt. Deze cijfers worden jaarlijks door het CBS gepubliceerd (zie bijvoorbeeld CBS, 1993, blz 338). In Tabel V zijn de betreffende getallen opgenomen met 1985 als richtgetal (100%). Ook is gebruik gemaakt van de gegevens die gebruikelijk zijn voor de bepaling van de bedragen voor de alimentatie in geval van echtscheiding. Deze gegevens zijn verschaft door het Ministerie van Justitie op basis van de Circulaire van 6 juli 1972, en omvatten het indexcijfer van de lonen per peildatum van 30 september van ieder jaar. Ook deze gegevens zijn in Tabel V. opgenomen.

De ophoogfactor van 1983 naar 1992 bedraagt volgens deze twee opgaven 1,1867 resp. 1,209. Deze opgaven schelen niet al te veel. Omdat de loonkosten iets meer relevant lijken voor de verkeersongevallen dan de prijzen, is voor de laatste ophoogfactor gekozen.

Daarmee komt men tot een bedrag van fl. 132.261,- (zijnde  $109.397 * 1,209$ ) voor de kosten per geregistreerd slachtoffer-ongeval in guldens van 1992.

Bij het gebruik van deze getallen moet bedacht worden dat de kosten zijn uitgedrukt in guldens per slachtoffer-ongeval, terwijl bij het SWOV-onderzoek van alle geregistreerde ongevallen (inclusief UMS) gebruik is gemaakt. Dit maakt een omrekening nodig. Als basis voor de omrekening is gebruik gemaakt van het bestand van de SWOV-studie (Vis, 1993). Het totale (gekoppelde), door de SWOV gebruikte bestand bestond uit

. dodelijke ongevallen	177
. letselongevallen	3.046
. slachtoffer-ongevallen	3.223
. u.m.s.-ongevallen	24.501
. totale bestand	27.724

Per geregistreerd ongeval (alle ongevallen) worden de kosten dus

$$\begin{array}{r}
 3223 \\
 \text{-----} * 132261 = 15375,75 \\
 27724
 \end{array}$$

per geregistreerd letsel-ongeval in guldens van 1992. Er zij op gewezen dat dit bedrag een rekengrootheid, is waarbij de totale kosten van de verkeersonveiligheid zijn toegerekend aan het aantal geregistreerde letselongevallen. Het geldbedrag moet niet worden beschouwd als de "gemiddelde" kosten van een letselongeval. Een letselongeval is een ongeval waarbij tenminste een betrokken persoon letsel heeft opgelopen. Het aantal letsel-slachtoffers is dus over het algemeen iets groter dan het aantal letselongevallen. Voorts zij erop gewezen dat alle opgaven van "aantallen ongevallen" steeds, tenzij anders aangegeven, betrekking hebben op geregistreerde letselongevallen.

Het hierboven gegeven bedrag van fl 15.375,75 is de basis voor de vergelijking met de kosten, zoals die zijn gegeven in de tabellen I t/m IV.



## 5.2. Ongevallen op autosnelwegen

### 5.2.1 De baten van openbare verlichting op autosnelwegen

De studie van Vis (1993) was toegespitst op de relatie tussen het niveau van de openbare verlichting op autosnelwegen, en de verkeersveiligheid. Daarom zijn de autosnelwegen gegroepeerd naar het lichtniveau (luminantieniveau). Wanneer men alle wegen samenneemt, en het ontbreken van verlichting als een "nulniveau" beschouwt, lijkt uit de afbeelding 6 van Vis (1993) te volgen dat de ratio tussen nachtongevallen en etmaalongevallen (een maat voor het "extra" nachtelijke risico) afneemt met toenemende luminantie. Een statistische uitwerking is niet gegeven, zodat niet kan worden vastgesteld of de "duidelijke" relatie ook daadwerkelijk statistisch significant is. In het onderhavige rapport is deze analyse daarom nog wat verder doorgevoerd. Allereerst is alleen gekeken naar wegen die van een openbare verlichting zijn voorzien. Immers, ontbreken van verlichting is niet hetzelfde als een installatie met luminantie nul (bijvoorbeeld een installatie die buiten werking is). Zo kunnen bij de laatste wel ongevallen met lichtmasten optreden, terwijl overdag van een duidelijke geleiding door de lichtmasten sprake is. Voorts zijn de groepen " $< 0,7 \text{ cd/m}^2$ " en " $> 1,3 \text{ cd/m}^2$ " vervangen door de groepen " $0,5 \text{ cd/m}^2$ " en " $1,5 \text{ cd/m}^2$ ". Op deze wijze is een betere regressie-analyse uit te voeren. De verschillen tussen deze twee wijzen van presentatie van de gegevens is niet precies bekend, maar het is te verwachten dat het verschil verwaarloosbaar klein zal zijn. Voorts zijn niet de luminanties zelf, maar de logaritmen ervan genomen, omdat daarmee gemakkelijker verhoudingen kunnen worden bepaald.

Op basis van de gegevens uit de tabellen 5 en 6 uit studie van Vis (1993) is Tabel VI opgesteld. Het verkeersrisico (uitgedrukt in aantallen geregistreerde ongevallen per miljoen voertuig-kilometers) voor het totale bestand aan wegen, dus voor alle intensiteitsklassen, is opgegeven. De eerste rij uit Tabel VI betreft het risico bij nacht (Vis, l.c., Tabel 5); de tweede rij het risico bij dag (Vis, l.c., Tabel 6). Het risico is, volgens Vis, opgegeven voor onverlichte wegen en voor wegen die tot verschillende luminantieklassen behoren. In de laatste kolom van Tabel VI is het gemiddelde opgenomen van de waarden die door Vis zijn opgegeven voor de verschillende luminantieklassen. Opgemerkt moet worden dat hier het gemiddelde voor de luminantieklassen gebruikt is als benadering voor het resultaat voor de "som" van alle wegen. Tenslotte is in de derde rij van Tabel VI de verhouding opgegeven van de risico bij nacht en bij dag, de n/d-ratio. Deze getallen zijn dus afgeleid uit de gegevens van Vis.

Uit deze tabel blijkt dat in alle gevallen de nacht/dagratio uitgedrukt in vtg.km groter is dan 1; dat wil zeggen dat autosnelwegen bij duisternis relatief gevaarlijker zijn. Maar ook blijkt dat deze ratio op verlichte wegen aanzienlijk lager is dan op onverlichte wegen. Voor alle verlichte wegen samen is de ratio 1,170, terwijl voor alle onverlichte wegen de ratio 1,458 bedraagt. De verhouding tussen deze ratio's is 0,802; dit wil zeggen dat verlichte wegen relatief 20% veiliger zijn dan onverlichte wegen. Dit getal van 20% (eigenlijk 0,198) geeft dus de baten weer van de aanwezigheid van openbare verlichting op autosnelwegen. Gezien de omvang van de baten kan men gerust stellen dat de openbare verlichting op autosnelwegen een doeltreffende verkeersveiligheids-maatregel is. Het is daarbij van belang te constateren dat het onderzoek het gehele Nederlandse autosnelwegen-net beslaat, maar daarbinnen alleen over de wegvakken (de hoofdrijbaan) betrekking heeft.

Knooppunten, weefvakken en in- en uitvoegstroken zijn in de SWOV-studie buiten beschouwing gebleven (Vis, 1993, blz 13).

Wanneer men kijkt naar de afzonderlijke luminantieklassen, dan is, net als in de studie van Vis, een zekere afname van de n/d-ratio (dus van het nachtelijke risico) te constateren. Zie ook Afbeelding 1. Een regressie-analyse bevestigt dit; zie Tabel VII. De regressie-coëfficiënt is -0,08072. De standaard-deviatie in de X-waarden is echter veel groter (0,365334) zodat er van een statistisch significante relatie geen sprake is. Dit betekent dat er geen statistisch significante afname van het nachtrisico gevonden kan worden bij toenemend lichtniveau.

Dit schijnbare verschil tussen de analyse in dit rapport en die van Vis (1003) ligt vooral in het feit dat hier wegen zonder openbare verlichting niet als wegen met "0" cd/m<sup>2</sup> zijn gehanteerd, maar buiten de analyse zijn gehouden.

De constatering dat de verkeersveiligheid niet gediend lijkt te worden door een verhoging van het lichtniveau, lijkt in strijd met veel van de resultaten van eerder onderzoek, waar veelal is gevonden dat de veiligheid (bijvoorbeeld uitgedrukt in de nacht/dag-verhouding van de ongevallen) toeneemt met toenemend lichtniveau (Zie bijvoorbeeld Schreuder, 1983, 1985b, 1988b). Daarover is een en ander te zeggen. Ten eerste is bij meer modern onderzoek in sommige gevallen deze toename niet gevonden; soms is zelfs een afname geconstateerd (Schreuder, 1992). Maar aangezien dat in een specifieke situatie geldt (kruisingen binnen de bebouwde kom) is het beter deze resultaten hier buiten beschouwing te laten. Van meer belang is wellicht de constatering dat bij steeds verdere toename van het lichtniveau een "asymptoot" te verwachten is (Schreuder, 1989). Nu zijn de verschillen tussen de resultaten van de SWOV-studie (Vis, 1993) en van de onderhavige aanvullende analyse wellicht te begrijpen wanneer men stelt dat ook het laagste niveau dat bij de studie is betrokken (< 0,7 cd/m<sup>2</sup>) reeds "boven" de asymptoot ligt. Wanneer dit inderdaad het geval is, hetwelk wel te rijmen is met de subjectieve ervaring op wegen met dergelijke lichtniveaus, dan zou men mogen aannemen dat het, uit overwegingen van de verkeersveiligheid, geen zin heeft autosnelwegen met een hoger lichtniveau dan ca 0,7 cd/m<sup>2</sup> te verlichten - dit wellicht in tegenstelling tot wegen van andere typen. Ook kan het zijn dat onder ongunstige weersomstandigheden zowel de verkeersveiligheid als het rijcomfort gediend zijn met een hoger niveau (Van den Brink & Buijn, 1990). Met enige "veiligheidsmarge" lijkt het gerechtvaardigd om te stellen dat het minimale lichtniveau (in gebruikstoestand!) op autosnelwegen niet boven 1 cd/m<sup>2</sup> hoeft te liggen. Deze waarde stemt overigens goed overeen met de door de NSVV uitgebrachte Aanbevelingen voor openbare verlichting (NSVV, 1990).

### 5.2.2 De kosten/baten van openbare verlichting op autosnelwegen

Wanneer men de relatie tussen de kosten en de baten wil bepalen, is het niet zinvol om een onderscheid te maken tussen de relatie wat betreft de aanwezigheid van openbare verlichting, en de wijze waarop deze relatie afhangt van het luminantie-niveau. De kosten hangen immers direct af van het luminantieniveau.

Voor het totaal van de verlichte autosnelwegen - voor alle verlichtingsklassen tezamen - bedraagt het ongevalrisico 's nachts 0,40, uitgedrukt in het aantal geregistreerde

ongevallen per miljoen voertg.km (Vis, 1993, tabel 7). Daarbij moeten we opmerken dat deze opgaven bepaald zijn aan de hand van enerzijds de nachtelijke ongevallen, maar anderzijds de verkeersintensiteit per etmaal. In par. 5.2.1. is aangegeven dat de aanwezigheid gepaard gaat met een vermindering met 19,8% van het nachtelijke ongevalsrisico. Hiermee is het nachtelijke ongevallenrisico te schatten in geval de wegen onverlicht zouden zijn. Dit geschatte risico bedraagt:

$$1,198 * 0,40 = 0,4988,$$

uitgedrukt in het aantal geregistreerde nachtelijke ongevallen per miljoen voertg.km; de "besparing" bedraagt dus

$$0,4988 - 0,40 = 0,0988$$

opnieuw uitgedrukt in het aantal geregistreerde nachtelijke ongevallen per miljoen voertg.km. Om het aantal "bespaarde" ongevallen per jaar per km te bepalen, moet dit getal worden vermenigvuldigd met het verkeer op jaarbasis. Dit bedraagt  $365 * n$ , waarin  $n$  het verkeer op dagbasis (de etmaal-intensiteit) is. Tezamen met de in par. 5.1. afgeleide kosten van fl 15.375,75 per geregistreerd ongeval (in guldens van 1992) levert dit de "batenkant" op, te weten:

$$(0,0988 * 365 * n * 15375,75)/1.000.000 = \text{fl } 0,5545 * n$$

per geregistreerd letsel-ongeval per jaar per km.

De kosten van de openbare verlichting voor een drietal luminantieniveaus is zijn gegeven in par. 4. Gelijkstelling van de kosten en de baten, uitgedrukt in  $n$ , geeft het "break-even-point" voor de openbare verlichting: het verkeersaanbod  $n$  (per etmaal) waarbij de besparingen van de ongevallen opwegen tegen de kosten van de openbare verlichting.

Voor autosnelwegen met 2\*3 rijstroken, voor de lijnverlichting en voor de drie gegeven luminantieniveau blijkt het "break-even-point" te zijn:

luminantie cd/m <sup>2</sup>	tabel	kosten	"break-even-point" (etmaalintensiteit)
0,8	(II)	fl 43100	77.733
1,0	I	fl 46800	84.407
1,4	Ia	fl 54100	97.573
en voor de mastverlichting			
1,0	IV	fl 21700	39.134

Voor de lijnverlichting blijken de break-even-waarden voor de etmaal-intensiteit in de buurt liggen van de hoogste waarden die men in Nederland voor de meeste wegen tegenkomt. Voor de mastverlichting ligt het break-even-punt echter veel lager. Dit blijkt uit Afbeelding 2. In deze afbeelding is de frequentieverdeling van de etmaal-intensiteiten weergegeven van de wegen die in de SWOV-studie zijn gebruikt. Deze afbeelding is gebaseerd op de getallen uit Tabel VIII, die op haar beurt is ontleend aan de Afbeelding 3 van Vis (1993). Er zij op gewezen dat deze gegevens niet exact zijn, omdat Tabel VIII is gebaseerd op getallen die uit de figuur van Vis (l.c.) zijn afgelezen. Voor ons doel is de benadering echter nauwkeurig genoeg.

Uit Afbeelding 2 kunnen de volgende waarden van het break-even-punt worden afgelezen:

verlichting	luminantie	percentage wegnnet
lijn	0,8	8
lijn	1,0	7
lijn	1,4	5
mast	1,0	47

Uit deze overwegingen lijkt de conclusie duidelijk: lijnverlichting is 5 tot 8% van de Nederlandse autosnelwegen doelmatig (kosten-dekkend), meer in het bijzonder voor de wegen en weggedeelten met de hoogste verkeersintensiteit. Verlichting middels lichtmasten is echter in bijna de helft van de autosnelwegen doelmatig (kosten-dekkend). Bij deze overwegingen moet men er echter rekening mee houden dat (vaak zelfs geringe) afwijkingen in de uitgangspunten kunnen leiden tot aanzienlijke afwijkingen in de inschatting zowel van de kosten als van de baten.

Hiervoor zullen we twee eenvoudige voorbeelden geven:

\* Het eerste voorbeeld betreft een stijging van de stroomkosten met 20%. Volgens Tabel I worden de jaarlijkse kosten ongeveer fl 50.000,- in plaats van fl 46.800,-. Het break-even-punt verschuift voor 1 cd/m<sup>2</sup> naar ruim 90.000 vtg/etm, of wel volgens Afbeelding 2 van 7% naar 6% van het wegnnet - ruim 15% minder.

\* Het tweede voorbeeld betreft het gebruik de door de SWOV voorgestelde kosten voor de verkeersonveiligheid. Volgens Anon (1985, blz. 156) heeft de SWOV twee opgaven gedaan: fl 9300 miljoen volgens een "lage" schatting, en fl 14100 miljoen volgens een "hoge" schatting. Wanneer deze waarden worden gebruikt in plaats van de hier gebruikte opgave van McKinsey ten bedrage van fl 5935 miljoen, betekent dit een verhoging van de kosten per geregistreerd ongeval van fl 15.375,75 naar ruim fl 24.000,- resp ruim fl 36.000,- per geregistreerd ongeval. Voor de kosten per geregistreerd ongeval per jaar per km. betekent dit fl 0,8689 \* n, resp. fl 1,3173 \* n in plaats van fl 0,5545 \* n; het break-even-point voor 1 cd/m<sup>2</sup> verschuift van 84.407 vtg/etm. naar 53.861 vtg/etm. resp. 35.527 vtg/etm; en de corresponderende fracties van het wegnnet gaat volgens Afbeelding 2 van 7% naar 24% resp. 53%, verhogingen met factoren boven de 3 resp. boven de 7!

Deze grote veranderingen in de uitkomsten bij een aanzienlijke, maar geheel te rechtvaardigen verandering in de uitgangspunten wijst erop dat men voorzichtig moet zijn met het hanteren van dergelijke kosten/baten-vergelijkingen in beleidsoverwegingen. Een nadere studie dienaangaande lijkt gerechtvaardigd. Globaal kan men echter gerust stellen dat openbare verlichting op autosnelwegen, zeker wanneer die met masten is uitgevoerd, heel vaak doelmatig (kosten-dekkend) zal zijn, en vaak zeer duidelijke financiële winst kan opleveren. Daarbij dient bedacht te worden dat de kosten meestal direct door de wegbeheerder dienen te worden gedragen, terwijl de baten aan de gemeenschap in haar geheel ten goede komen. In een maatschappelijk bestel, waarbij er een nauwe relatie bestaat tussen de publieke en private sectoren, zoals in Nederland het geval is, mag dit nauwelijks als een belangrijk argument gelden!

Ook wegen waarvoor de doelmatigheid van openbare verlichting niet duidelijk aantoonbaar is, zijn er ook andere redenen aan te wijzen om toch openbare verlichting aan te brengen. De verlichting is, zoals hierboven is aangegeven, tenminste voor 2 \* 3 autosnelwegen,

duidelijk doeltreffend - zij draagt duidelijk bij tot de verkeersveiligheid. Voorts bestaan er aanwijzingen dat vooral bij slecht weer (mist, regen, enz.) openbare verlichting nog een aanvullende bijdrage kan leveren tot de verkeersveiligheid. En de waarde van de openbare verlichting voor het comfort is duidelijk aangetoond (Van den Brink & Buijn, 1990).

### 5.3. Ongevallen op niet-autosnelwegen

#### 5.3.1. Het onderzoek

In opdracht van de Rijkswaterstaat is door de SWOV een onderzoek gedaan naar de relatie tussen het lichtniveau en de ongevallen op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom. Een groot deel van het onderzoek is uitgevoerd door Bureau Goudappel Coffeng te Deventer. De resultaten zijn gegeven in BGC (1990, 1990a) en Schreuder (1990), en samengevat in Schreuder (1992a).

Het wegenbestand omvatte 92 wegvakken met verlichting met een lengte van in totaal ruim 7000 km, en 35 vakken zonder verlichting. De verlichte vakken omvatten vrijwel het gehele betreffende areaal in Nederland. Het gaat om enkelbaans niet-autosnelwegen buiten bebouwde kommen (met geslotenverklaring voor fietsers). Ook zijn een aantal kruisingen onderzocht, hetwelk echter niet tot extra inzicht heeft geleid (BGC, 1990, blz 2). De ongevallen zijn afkomstig uit de aan de VOR geleverde gegevens, en betreffen alle geregistreerde ongevallen (inclusief u.m.s.-ongevallen) uit de jaren 1984 t.m. 1988. Het bestand bestond uit 1622 ongevallen.

#### 5.3.2 De baten ten gevolge van openbare verlichting op niet-autosnelwegen

Tabel 2.2. van BGC (1990) geeft een overzicht van de in het onderzoek gevonden ongevallen per km weglengte. Deze tabel is overgenomen in Tabel IX. Op basis van de geconstateerde ongevallen bij dag op verlichte wegen en ongevallen bij dag en bij nacht op onverlichte wegen kan een schatting worden gemaakt van het aantal ongevallen dat bij nacht op de nu verlichte wegen gevonden zou zijn, wanneer de verlichting afwezig zou zijn. Het verwachte aantal is:

$$\begin{array}{r} 8,01 \\ \text{-----} * 3,49 = 5,22 \\ 5,36 \end{array}$$

Het aantal geconstateerde ongevallen is 3,02; de "besparing" is dus  $5,22 - 3,02 = 2,20$  ongevallen per 5 jaar per km, dus 0,44 ongevallen per jaar per km.

Een schatting over het verkeer op de bedoelde wegen is gebaseerd op gegevens verschaft in Janssen (1988). Het onderzoek betreft de klasse van wegen WGib (wegen voor gemengd verkeer met één rijbaan, en een gesloten-verklaring voor fietsers). In 1986 waren er 6537 km van deze wegen in Nederland. Het gemiddelde verkeer bedroeg 5186 voertuigen per etmaal, en op deze wegen zijn in 1986 3540 slachtofferongevallen geteld. Op basis van de in par. 5.1. gegeven wijze kan dit aantal worden opgehoogd tot alle geregistreerde ongevallen, gebruik makend van de opgaven uit Vis (1993): 3223 letselongevallen, en 27.724 geregistreerde ongevallen (inclusief u.m.s.). De ophoogfactor is dus

$$\begin{array}{r} 27724 \\ \text{-----} = 8,6019 \\ 3223 \end{array}$$

Voor het WGib-wegennet komt met tot de volgende schatting van het totaal aan geregistreerde ongevallen van  
 $8,6019 * 3540 = 30.451$ .  
 Per km is dit dus

$$\begin{array}{r} 30.451 \\ \text{-----} = 4,658 \\ 6537 \end{array}$$

De steekproef die in het BGC-onderzoek is gebruikt, is dus veel veiliger dan het landelijke net. Uit tabel IX blijkt dat op de onverlichte wegen in 5 jaar 8,85 ongevallen per km plaats vonden, dus per jaar 1,77. Landelijk is 4,658 gevonden; de verhouding is dus

$$\begin{array}{r} 1,77 \\ \text{-----} = 0,37999 \\ 4,658 \end{array}$$

Bij de steekproef is een "besparing" gevonden van 0,44 ongevallen per jaar per km. Met deze ophoogfactor kan men op landelijke basis verwachten

$$\begin{array}{r} 0,44 \\ \text{-----} = 1,1579 \text{ ongevallen per km per jaar.} \\ 0,37999 \end{array}$$

Het hierboven gegeven bedrag van fl 15.375,75 is de basis voor de vergelijking met de kosten, zoals die zijn gegeven in de tabellen I t/m IV.

In par. 4. is afgeleid dat de kosten van een geregistreerd ongeval gesteld kunnen worden op fl 15.375,75. Per jaar per km levert de "besparing" in ongevallen als baten op voor de verlichting:

$$1,1579 * 15.375,75 = \text{fl } 17.803,58.$$

### 5.3.3 De kosten/baten van openbare verlichting op niet-autosnelwegen

Vergelijkt men het resultaat van de berekeningen uit par. 5.3.2., die uitkwamen op een bedrag van fl 15.375,75 voor de baten op voor de verlichting met de kosten voor de voor dit type wegen gebruikelijke verlichting, die volgens par. 4. fl 17.100 per jaar per km bedragen, dan blijkt dat gemiddeld over het landelijke net de openbare verlichting nog juist doelmatig (kosten-dekkend) is.

Het break-even-punt voor de kosten van de verlichting (het verkeersaanbod  $n$  - per etmaal - waarbij de besparingen van de ongevallen opwegen tegen de kosten van de openbare verlichting) kan als volgt worden bepaald. Gevonden is dat gemiddeld voor het niet-autosnelwegennet de "besparing" per km fl 17.803,58 bedraagt. Ook is aangegeven dat het gemiddelde verkeersaanbod 5168 vtg/etm bedraagt. Voor  $n$  voertuigen per etmaal is de besparing per km dus

$$\begin{array}{r} 17803,58 \\ \text{-----} * n = 3,433 * n \\ 5168 \end{array}$$

Gezien de kosten, volgens par. 4., van fl 17.100 is het break-even-punt bereikt voor

$$3,433 * n = 17100$$

Hieruit volgt  $n = 4981$  (voertuigen per etmaal). Deze etmaalintensiteit wordt op een aanzienlijk deel van het Nederlandse wegennet overtroffen. Hieruit blijkt dus dat voor een aanzienlijk deel van het Nederlandse enkelbaans wegennet openbare verlichting zowel een doeltreffende als een doelmatige verkeersveiligheids-maatregel is. Interessant is te constateren, dat het bedoelde verkeersaanbod dicht in de buurt ligt van de waarde van 3250 vtg/etm, die door Anderson et al (1984) is opgegeven voor de doelmatigheid van kruisingen buiten de bebouwde kom.

## Literatuur A- en B-boek

- Adrian, W. (1964). Zur Blendungsbewertung bei der Beleuchtung von Strassen. *Lichttechnik* 16 (1964) 541-546.
- Adrian, W. (1969). Die Unterschiedsempfindlichkeit des Auges und die Möglichkeit ihrer Bewertung. *Lichttechnik* 21(1969)2A-7A.
- Adrian, W. (1978). Bericht über die Messung des Schöneegg-Tunnels von 17.2.78. (Niet gepubliceerd; Bijlage bij Riemenschneider, 1978).
- Adrian, W. (1989). Visibility of targets: Model for calculation. *Lighting Res. & Technol.* 21(1989)181-188.
- Adrian, W. & Schreuder, D.A. (1968). The assessment of glare in street lighting. *Light & Lighting* 61(1968) 360-361.
- Adrian, W. & Schreuder, D.A. (1970). A simple method for the appraisal of glare in street lighting. *Lighting Res. & Technol.* 2(1970) 61-73.
- Adrian, W. & Schreuder, D.A. (1972). A modification of the method for the appraisal of glare in street lighting. In: CIE, 1972.
- Anderson, K.A.; Hoppe, W.J.; McCoy, P.T. & Price, R.E. (1984). Cost-effective evaluation of rural intersection lighting levels. TRB 63rd Annual Meeting, Washington DC, 1984.
- Anon (1963). Research on road safety. HMSO, London, 1963.
- Anon (1969). Fourth annual NASA-University Conference on Manual control, University of Michigan, Ann Arbor, March 21-23, 1968. NASA SP-192. NASA, Washington, DC., 1969.
- Anon (1974). Wegontwerp en wegverlichting tegen de achtergrond van de verkeersveiligheid. Pre-adviezen congresdag 6 december 1974. Het Nederlandse Wegencongres, Den Haag, 1974.
- Anon (1974a). Das Prinzip der Gegenstrahlbeleuchtung für Strassentunnels. *Alumagazin*, Zürich, April 1974.
- Anon (1982). Zichtbaarheid 's nachts van wegmarkeringen op droge en natte wegdekken. SCW-Mededeeling 52 / SVT-Mededeeling 17. SCW, Arnhem, 1982.
- Anon (1983). Fietspadverlichting: Een studie van de Commissie voor Openbare Verlichting van de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde. *Elektrotechniek* 61(1983)233-245.
- Anon (1985). Verlichting der autosnelwegen; Invloed der besparingsmaatregelen op de ongevalen. Ministerie van Openbare Werken, Brussel, 1985.
- Anon (1985). Nationaal plan voor de Verkeersveiligheid II. Tweede Kamer, vergaderjaar 1985-1986, 18 195 nrs, 18-19. Oktober 1985.
- Anon (1985). Swedish National Code of Practice for Road Lighting. Highway Administration, Stockholm, 1985.
- Anon (1986). Le marquage routier en France. ISTED, Bagnaux, 1986.
- Anon (1986a). L'amélioration de la visibilité de nuit des marquages routiers par les traitements de surface des microbilles de verre. In: Anon (1986).
- Anon (1987). (Rapportage van een plan voor de nieuwe ingang voor de Schipholtunnel; geen titel, geen auteur. Verslag van een voorstel gemaakt door de Universiteit van Nijmegen). 1987 (Jaartal geschat).
- Anon (1991). Controlled road lighting. Proposal submitted to the Commission of the European Communities, Promotion of Energy Technologies for Europe (THERMIE). Rijkswaterstaat, Rotterdam, June 1991 (Niet gepubliceerd).
- Armour, M.; Carter, R.E.; Cinquegrana, C.; Griffith, J.R. (1989). Study of single vehicle rural accidents, Volume 1: Accident data report. GR/89/4. Road Traffic Authority, 1989.
- Asmussen, E. & De Boer, J.B. (1962). A luminance meter for street lighting. *Public Lighting* 27 (1962) no. 118: 136.
- Asmussen, E. (1972). Transportation research in general and travellers decision making in particular as a tool for transportation management. In: OECD (1972a).
- Balder, J.J. & Fortuin, G.J. (1955). The influence of time of observation on the visibility of stationary objects. *Proc. Comm. Int. Eclair*, 1955, Zürich.



- BGC (1987). Onderzoek relatie lichtniveau-aantal ongevallen. Bureau Goudappel Coffeng, Deventer, 1987. (Bijlage 1 in Schreuder, 1990c).
- BGC (1990). Verlichting op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom; Effecten en niveaus. RWE/917/09/Mn. Bureau Goudappel Coffeng, Deventer, 1990.
- BGC (1990a). Verlichting op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom; Data. Bureau Goudappel Coffeng, Deventer, 1990 (Niet gepubliceerd).
- Biesheuvel, M.A. & Planken, J.J.A. (1989). Bepaling f-factor tunnelingang, Afstudeeropdracht Hoger Technisch Onderwijs HTO. Rotterdam.
- Blaauw, G.J. (1983). Requirements for markings and raised pavement markers. In: CIE (1983).
- Blaauw, G.J. & Padmos, P. (1981). De zichtbaarheid 's nachts van wegmarkeringen op droge en natte wegen. IZF 1981 C-20. IZF-TNO, Soesterberg, 1981.
- Blaauw, G.J. & Riemersma, J.B.J. (1975). Interpretation of roadway designs by an analysis of driver's visual scanning and driving behavior on straight and curved roadway sections. Report C-5. IZF-TNO, Soesterberg, 1975.
- Blackwell, H.R. (1946). Contrast thresholds of the human eye. *Journ. Opt. Soc. Amer.* 36 (1946) 624-643.
- Blaser, P. (1990). Counterbeam lighting; A proven alternative for the lighting of the entrance zones of road tunnels. *Transp. Res. Record* 1287, pp. 244-251.
- Blaser, P. & Dudli, H. (1982). Die Sichtverhältnisse in der Einfahrzone von Strassentunneln mit Gegenstrahlbeleuchtung. In: SLG (1982).
- Boer, J.B. de (z.j.). The concept 'Road Surface Luminance' and its application to public lighting. *Ill. Engng. Soc. (London) Monograph* no. 4.
- Boer, J.B. de (1951). Fundamental experiments of visibility and admissible glare in road lighting. CIE, Stockholm, 1951.
- Boer, J.B. de & Van Heemskerck Veeckens, J.F.T. (1955). Observations on discomfort glare in street lighting. CIE, Zürich.
- Boer, J.B. de (1958). Strassenleuchtdichte und Blendungsfreiheit als praktische Masstäbe für die Güte öffentlicher Beleuchtung *Lichttechnik* 10 (1958) 359-364.
- Boer, J.B. de & Schreuder, D.A. (1966). Limitation de la gêne par les sources lumineuses en éclairage public. *Lux* (1966) No. 40: 491-500.
- Boer, J.B. de (ed). (1967). *Public lighting*. Eindhoven, Centrex, 1967.
- Boer, J.B. & Schreuder, D.A. (1967). Glare as a criterion for the quality in street lighting. *Trans. Illum. Engn. Soc. (London)*. 32 (1967) 117-128.
- Boer, J.B. de & Knudsen, B. (1963). The pattern of road luminance in public lighting. CIE, Vienna, 1963.
- Boereboom, A.; Boer, J.B. de & Massart, P. (1963). *Mesure des luminances en éclairage public*. *Comm. Int. Eclair.* (1963) Wien.
- Bonomo, M. (1980). L'illuminazione dei tratti iniziali delle gallerie autostradali (De verlichting van de ingangen van tunnels in autosnelwegen). *Luce* (1980) 1: 1-15.
- Bovy, P.H.L. (1991). Mobiliteit in cijfers, modellen en scenario's. In: PAOVV (1991).
- Broadbent, D.E. (1958). *Perception and communication*. Pergamon Press, London, 1958.
- Buijn, H.R.; Van den Brink, T.D.J. & Schreuder, D.A. (1991). Road lighting for road safety, public security and amenity. In: CIE (1991).
- Burg, A. (1964). An investigation of some relationships between dynamic visual acuity, static visual acuity and driving record. Report No. 64-18. Univ. of California, Los Angeles, 1964.
- Burg, A. (1968). Vision and driving; A summary of research findings. *Ann. Meeting Highway Research Board*, 1968.
- Burghout, F. (1977). Kenngrößen der Reflexionseigenschaften von trockner Fahrbahndecken. *Lichttechnik* 29(1977)23.
- Burghout, F. (1977a). Simple parameters significant of the reflection properties of dry road surfaces. In: LITG (1977).
- Burghout, F. (1977b). Simple parameters significant of the reflection properties of dry road surfaces. In: CIE (1977).

- Cavallo, V. et al. (1988). Perception and anticipation in negotiating curves: the role of driving experience. In: Anon. (1988c).
- CBS (1989). Statistiek van de ongevallen op de openbare weg 1988. CBS-Publikaties. SDU-Uitgeverij, Den Haag.
- CBS (1992). Statistiek van de ongevallen op de openbare weg 1991. CBS-Publikaties. SDU-Uitgeverij, Den Haag.
- CBS (1992). Statistiek van de ongevallen op de openbare weg 1991. SDU-Uitgeverij, Den Haag, 1992.
- CBS (1993). Statistisch jaarboek, Den Haag. SDU-Uitgeverij, 1993.
- CIE (1965). International recommendations for the lighting of public thoroughfares. Publication No. 12. CIE, Paris, 1965.
- CIE (1972). Comte rendue dixseptieme session de la Commission Internationale de l'Eclairage CIE. Publication No. 21A. CIE, Paris, 1972.
- CIE (1976). Calculation and measurement of luminance and illuminance in road lighting. Publication No. 30. CIE, Paris, 1976.
- CIE (1977). Measures of road lighting effectiveness. Symposium Karlsruhe, July 5-6, 1977. LITG, Berlin, 1977.
- CIE (1977). Recommendations for the lighting of roads for motorized traffic. Publication No. 12/2. CIE, Paris, 1977.
- CIE (1980). Proceedings 19th Session of CIE, Kyoto, Japan, 1979. Publication No. 50. CIE, Paris, 1980.
- CIE (1981). Guide on the emergency lighting of building interiors. Publication No. 49. CIE, Paris, 1981.
- CIE (1981). An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance. Publ. No. 19/2 (two volumes). CIE, Paris.
- CIE (1983). International symposium Visual aspects of road markings, Paris, 2-3 May, 1983. Reports and papers. CIE, Paris, 1983.
- CIE (1984). Tunnel entrance lighting. Publication No. 61. CIE, Paris, 1984.
- CIE (1984a). Road surfaces and lighting. Joint Report from CIE and PIARC. Publication No. 66. CIE, Paris, 1984.
- CIE (1987). Guide to the properties and uses of retroreflectors at night. Publication No. 72. CIE, Vienna, 1987.
- CIE (1988). Visual aspects of road markings. Publication No. 73. CIE, Vienna, 1988.
- CIE (1990). Guide for the lighting of road tunnels and underpasses (Draft March 1990). Publication No. 26/2. CIE, Vienna, 1990.
- CIE (1991). Proceedings 22nd Session Melbourne 1991. Australian National Committee on Illumination, Melbourne, 1991.
- CIE (1992). Vergadering van CIE Divisie 4, Praag, September 1992 (Niet gepubliceerd).
- CIE (1993). Road lighting as an accident counter-measure. Publication No. 8/2. CIE, Vienna, 1993.
- Cohen, A. (1985). Visuelle Informationsaufnahme während der Fahrzeugsteuerung in Abhängigkeit der Umweltmerkmale und der Fahrpraxis. Schweizerische Zeitschrift für Psychologie 44(1985)249-288.
- Cohen, A.S. & Zwahlen, H.T. (1989). Blicktechnik in Kurven. Wissenschaftliches Gutachten. BFU-Report 13. BFU/BPA/UPI, Bern, 1989.
- Cornwell, P.R. (1973). Appraisals of traffic route lighting installations. Lighting Res. & Technol. 5(1973)10-16.
- Crothers, R.P. (1990). Pro-beam; A viable alternative to lighting tunnel entrances. Paper prepared for Visibility Symposium. TRB, Washington D.C., July 25, 1990.
- CROW (1987). Zicht op wegmarkeringen. Publikatie No. 2. CROW, Ede, 1987.
- CROW (1991). Cursus openbare verlichting. CROW, Ede, 1991.
- Dunbar, C. (1938). Necessary values of brightness contrast in artificially lighted streets. Trans. Illum. Engng. Soc. (London) 3(1938)21.
- Dutruit, M. (1974). Die Retro-Reflexion. Regionale Strassen Konferenz. IRF, Budapest, 1974.

- Ebell, R.J.E.V.; Groot, R.E.; Schreuder, D.A. & Theewis, S.R. (1984). Probleemanalyse visuele waarneembaarheid van kruisende fietsers en bromfietsers bij duisternis in relatie tot een RVLV-maartregel. IWACC 1984-1 (Twee delen). IWACC, Oudendijk, 1984.
- Erbay (1974). Atlas voor de reflectie-eigenschappen van wegdekken. Berlijn, 1974 (Niet gepubliceerd).
- Fisher, A. (1973). A review of street lighting in relation to safety. Dept. of Transport NR/18. Governmental Publishing Service, Canberra, 1973.
- Flury, F.C. (1977). Economische schade door verkeersongevallen 1970 t/m 1976; Aanvulling op tabel 31 in Tien jaar verkeersonveiligheid in Nederland. R-77-23. SWOV, Voorburg, 1977.
- Flury, F.C. (1984). Economische schade ten gevolge van verkeersonveiligheid. R-84-10. SWOV, Leidschendam, 1984.
- Flury, F.C. (1989). Gedifferentieerde kosten van ongevallen. R-89-44. SWOV, Leidschendam, 1989.
- Flury, F.C. (1990). De ontwikkeling van de verkeersveiligheid tot en met 1988 en het beleid uit het Meerjarenplan Verkeersveiligheid 1987-1991. R-90-28. SWOV, Leidschendam, 1990.
- Flury, F.C. (1992). De kosten van de verkeersonveiligheid; Een interimrapport. A-92-31. SWOV, Leidschendam, 1992. (Niet gepubliceerd).
- Fry, G.A. (1965). Distribution of focussed and stray light on the retina produced by a point source. Journ. Opt. Soc. Amer. 55 (1965) 333-335.
- Gallagher, V.P.; Koth, B.W. & Freedman, M. (1975). The specification of street lighting needs. FHWA-RD-76-17. Franklin Institute, Philadelphia, 1975.
- Graham, C.H. (ed.) (1965). Vision and visual perception. Wiley, New York, 1965.
- Geijtenbeek, M. (1992). Contrastmetingen verkeerstunnels. Eindrapport Hogeschool Rotterdam.
- Gregory, R.L. (1970). The intelligent eye. Weidenfeld & Nicholson, London, 1970.
- Griep, D.J. (1968). Traffic accidents, visual performance and driving behaviour. In: Henkes (ed.) (1968).
- Griep, D.J. (1971). Analyse van de rijtaak. Verkeerstechniek 22(1971)303-306; 370-378; 423-427; 539-542.
- Grijs, J.C. de (1972). Visuele beoordeling van verlichtingscriteria in Den Haag en Amsterdam. Electrotechniek 50 (1972) no. 14.
- Guldmond, L. (1992). Beheersplannen verlichting. In: PAOVV (1992a).
- Guldmond, L. (1992a). Onderhoud; tarieven. In: PAOVV (1992a).
- Hagenzieker, M.P. (1989). Visuele selectie in het verkeer; Een interimrapport. R-89-60. SWOV, Leidschendam, 1989.
- Hagenzieker, M.P. (1990). Time courses in visual information processing: The influence of luminance on localisation and identification performance. Paper presented at the Second International Conference on Visual Search, September 3-6, 1990. University of Durham, Durham, 1990.
- Hagenzieker, M.P. (1991). Visuele selectie in het verkeer; Tweede interimrapport. R-91-78. SWOV, Leidschendam, 1991.
- Hagenzieker, M.P. (1991a). Visual perception and vehicle lighting during daytime: A conceptual model. In: CIE (1991).
- Hagenzieker, M.P. & Van der Heijden, A.H.C. (1990). Time courses in visual-information processing: Some theoretical considerations. Psychological Research 52(1990) 5-12.
- Hagenzieker, M.P. & Van der Heijden, A.H.C. (1990a). Time courses in visual-information processing: Some empirical evidence for inhibition. Psychological Research 52 (1990) 13-21.
- Harris, A.J. & Christie, A.W. (1951). The revealing power of street lighting installations and its calculation. Trans. Ill. Engng. Soc. (London) 16 (1951) 120-128.
- Hautala, P.V. & Simons, R.H. (1991). Luminance criteria and visibility measures for road lighting design. Workshop. In: CIE (1991).
- Henkes, H.E. (ed.) 1968. Perspectives in ophthalmology; Report of the 1967 Postgraduate Courses held under the auspices of the Netherlands Ophthalmological Society and the Medical Faculty of Rotterdam. June 1967. Excerpta Medica Foundation, Amsterdam.
- Hopkinson, R.G. & Collins, J.B. (1970). The ergonomics of lighting. Macdonald & Co., London.

- IES (1988). Annual Conference of The Illuminating Engineering Society of North America, August 7-11, 1988. Minneapolis, Mn., 1988.
- Janoff, M.S. (1988). Subjective rating of visibility and alternative measures of roadway lighting. In: IES (1988).
- Janssen, S.T.M.C. (1974). Verkeersveiligheid als criterium voor het wegontwerp. In: Anon (1974).
- Janssen, S.T.M.C. (1979). Categorisering van wegen buiten de bebouwde kom. R-79-43. SWOV, Voorburg, 1979.
- Janssen, S.T.M.C. (1988). De verkeersveiligheid van wegtypen in 1986 en 2010. R-88-3. Leidschendam, SWOV, 1988.
- Janssen, S.T.M.C. & Schreuder, D.A. (1974). Karakteristieken van het wegverkeer. In: Anon (1974).
- Janssen, W.H. (1984). De detectie van een mogelijke botsing bij gebogen nadering van een kruispunt. IZF 1984-C3. IZF-TNO, Soesterberg, 1984.
- Janssen, W.H. (1986). Modellen van de rijtaak; De 'state-of-the-art in 1986'. IZF 1986 C-7. IZF-TNO, Soesterberg, 1986.
- Janssen, W.H. & Van der Horst, A.R.A. (1980). The perception of impending collision in night-time driving. IZF 1980 C-17. IZF-TNO, Soesterberg, 1980.
- Janssen, S.T.M.C. (1991). Accident risk on bridges and tunnels compared with the total road network. Paper presented at: Ile Symposium international et exposition: Les ouvrages d'art et la sécurité routière (Abstract). 19-22 Juin 1991. Luxembourg.
- Janssen, S.T.M.C. (1991a). Vergelijking van de verkeersonveiligheid in tunnels en op bruggen van autosnelwegen. SWOV, Leidschendam (Niet gepubliceerd).
- Keitz, H.A.E. (1967). Lichtberechnungen und Lichtmessungen. Philips Tech. Bibl., Eindhoven, 1967.
- Ketvirtis, A. (1989). Directional light application in vehicular tunnel illumination design. Paper to be presented at IES National Conference 1989 (Zonder nadere aanduiding aangehaald door Crothers, 1990).
- KNMI (1992). Jaaroverzicht van het weer in Nederland 89, 13. KNMI De Bilt, 1992.
- Knudsen, B. (z.j.). The dangerous points in public lighting. Ill. Engng. Soc. (London).
- Knudsen, B. (1967). Lamps and lanterns. Chapter 6 in: De Boer (ed.) (1967).
- Knudsen, B. (1968). De morke punkter in vejbelysning (Dangerous points in street lighting). Dansk Vejtidskrift (1968)8:153-164.
- Koornstra, M.J. et al., (eds.) (1992). Naar een duurzaam veilig wegverkeer. SWOV, Leidschendam, 1992.
- Krause, D. (1979). Visibilité de nuit des marquages routiers par temps de pluie. PV 79.568. Laboratoire Regional de Saint-Quentin, 1979.
- Krauze, D. (1984). Etude de la signalisation horizontale; Visibilité de nuit par temps de pluie de marques expérimentaux appliqués en rive sur chaussée circulée. PV 84-194. Laboratoire Regional de Saint-Quentin, 1984.
- Krendel, E.S. & McRuer, D.T. (1960). A servomechanism approach to skill development. J. Franklin Institute 269(1960)1:24-42 (Ref. Krendel & McRuer, 1969).
- Krendel, E.S. & McRuer, D.T. (1968). Psychological and physiological skill development; A control engineering model. Proc. 4th Annual Conference on Manual Control, 1968.
- Krendel, E.S. & McRuer, D.T. (1969). Psychological and physiological skill development; A control engineering model. Ch. 15 in: Anon (1969).
- Le Grand, Y. (1956). Optique physiologique, Tome III. Ed. Revue Optique, Paris, 1956.
- Levelt, P. (1987). Onderzoek naar bogen; Inventarisatie ten behoeve van boog-onderzoekers. SWOV, Leidschendam, 1987. (Niet gepubliceerd).
- Licht84 (1984). Gemeinschaftstagung der Lichttechnischen Gesellschaften Deutschland, Niederlande, Oesterreich, Schweiz, Mannheim, 5-7 Juni, 1984.
- LITG (1976). Lichttechnische Tagung '76, München, 31/5-3/6 1976.
- LITG (1977). Measures of road lighting effectiveness. Symposium, Karlsruhe, 5-6 July 1977. LITG, Berlin, 1977.

- Maas, C.J. (1986). De relatie tussen straatverlichting en criminaliteit. Tijdschrift voor de Politie 48(1986)438-443.
- Matanzo, F. & Rockwell, T.P.H. (1967). Driving performance under night time conditions of visual degradation. Human Factors 9(1967)427-432.
- Meseberg, H.-H. (ed.) (1990). Fahrbahnmarkierungen '90. DGSM Heft 9. Kirschbaum Verlag, Bonn, 1990.
- Meseberg, H.-H. (ed.) (1990). Lichttechnische Anforderungen an Fahrbahnmarkierungen. In: Meseberg (ed.) (1990).
- Meseberg, H.-H. (ed.) (1990a). Lichttechnische eigenschappen von Markierungen. In: Meseberg (ed.) (1990).
- Meseberg, H.-H. (ed.) (1990b). Erläuterungen zu den 'Hinweisen für die Anwendung von Fahrbahnmarkierungen mit erhöhten Nachtsichtbarkeit bei Nässe'. In: Meseberg (ed.) (1990).
- Michon, J.A.; Eijkman, E.G.J.; De Klerk, L.F.W. (eds.) (1976). Handboek der psychonomie. Van Loghum Slaterus, Deventer, 1976.
- Michon, J.A.; Eijkman, E.G.J. & De Klerk, L.F.W. (eds.) (1979). Handbook of psychonomics (2 volumes). North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1979.
- NAASRA (1988). Guide of traffic engineering practice, Part 12: Roadway lighting. National Association of State Road Authorities, Sydney, 1988.
- Narisada, K.; Inoue, T. & Bjorset, H.-H. (1977). Tunnel lighting; Luminous intensity of luminaires to guide approaching drivers. Draft, March 1977 (Ref. CIE, 1984).
- Narisada, K. & Yoshikawa, K. (1974). Tunnel entrance lighting; Effect of fixation point and other factors on the determination of requirements. Lighting Res. Technol. 6 (1974) 9-11.
- Neis, H. (1985). Zur Problem der Erfassung und Beurteilung von profilierten Fahrbahnmarkierungen im trockenen und nassen Zustand. Dissertation. Technische Hochschule Darmstadt, 1985.
- NNI (1971). Veiligheidsvoorschriften voor laagspanningsinstallaties. 2e druk, gewijzigd, met correcties. NEN 1010. Nederlands Normalisatie-instituut NNI, Rijswijk, 1971.
- Noordzij, P.C.; Hagenzieker, M.P. & Theewes, J. (1993). Visuele waarneming en verkeersveiligheid, Eerste concept. SWOV, Leidschendam, 1993 (Niet gepubliceerd).
- Norman, D.A. (ed.) (1976). Memory and attention. Second edition. John Wiley & Sons Inc., New York, 1976.
- Novellas, F. (1982). Eclairage des tunnels routiers; Intérêt des systèmes à mobilisation de contraste. Rev. Routes Aérodr., 1982 (Jaartal geschat).
- NSVV (1957). Aanbevelingen voor openbare verlichting. Moormans Periodieke Pers, Den Haag, 1957 (Jaartal geschat).
- NSVV (1974/1975). Richtlijnen en aanbevelingen voor openbare verlichting. Electrotechniek 52(1974)15; 53(1975) 2 en 5.
- NSVV (1977). Het lichtniveau van de openbare verlichting in de bebouwde kom. Electrotechniek 55(1977) 90-91.
- NSVV (1990). Nieuwe aanbevelingen voor openbare verlichting in Nederland; Een voorpublicatie. Elektrotechniek 67 (1989): 983-988.
- NSVV (1990). Aanbevelingen voor openbare verlichting; Deel I. NSVV, Arnhem, 1990.
- NSVV (1990a). Licht90. Tagungsberichte Gemeinschaftstagung, Rotterdam, 21 - 23 Mai, 1990. NSVV, Arnhem, 1990.
- NSVV (1992). Aanbevelingen voor de verlichting van lange verkeerstunnels. NSVV, Arnhem.
- NSVV (1993). Aanbevelingen voor openbare verlichting; Deel II, Meten en berekenen. NSVV, Arnhem, 1993 (In druk).
- OECD (1972). Lighting, visibility and accidents. OECD, Paris, 1972.
- OECD (1972a). Symposium on road user perception and decision making. OECD, Rome, 1972.
- OECD (1976). Adverse weather, reduced visibility and road safety. OECD, Paris, 1976.
- OECD (1990). Behavioural adaptation to changes in the road transport system. OECD, Paris, 1990.
- OTA (1970). Tenth International Study Week in Traffic and Safety Engineering. OTA, Rotterdam, 1970.

- Padmos, P. (1981). Veiligheids- en comfortaspecten van het autorijden bij duisternis buiten de bebouwde kom, in relatie tot wegverlichting. IZF 1981-C-21. IZF-TNO, Soesterberg, 1981.
- Padmos, P. (1982). Discussiebijdrage. In: SLG (1982).
- Padmos, P. & Alferinck, J.W.A.M. (1983). Verblinding bij tunnelingangen II: De invloed van atmosferisch strooilicht. IZF 1983 C-9. IZF-TNO. Soesterberg, 1983.
- Padmos, P. & Alferinck, J.W.A.M. (1983a). Verblinding bij tunnelingangen III: De invloed van de autovoorrui. IZF 1983 C-10. IZF-TNO. Soesterberg, 1983.
- Padmos, P. (1984). Visually critical elements in night time driving in relation to public lighting. In: TRB (1984).
- Padmos, P. (1988). Visuele problemen op autosnelwegen bij duisternis. IZF 1988 C-17. IZF-TNO, Soesterberg, 1988.
- Padmos, P. (1991). Hartslag als maatstaf voor belasting tijdens het autorijden bij duisternis. IZF 1991 C-2. IZF-TNO, Soesterberg, 1991.
- Padmos, P. & Walraven, J. (1982). Wegverlichting buiten de bebouwde kom; Welke visuele informatie heeft een automobilist nodig? Elektrotechniek 60(1982) 449-451.
- PAOVV (1991). Verkeer en milieu: Van woorden naar daden. Cursus, Delft, 16-18 april 1991. PAO-VV, Orgaan voor postacademisch onderwijs in de vervoerswetenschappen en de verkeerskunde, Rijswijk/Delft, 1991.
- PAOVV (1991a). Cursus Openbare Verlichting. Delft/Eindhoven, 22-24 januari 1991. PAO-VV, Orgaan voor postacademisch onderwijs in de vervoerswetenschappen en de verkeerskunde, Rijswijk/Delft, 1991.
- Paulmann, G. & Neis, H. (1985). Untersuchungen über die Erhöhung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe durch Verstärkung der Retroreflexion infolge profilierte Markierungen. Forschungsbericht 3.143 G 81 C. Technische Hochschule Darmstadt, 1985.
- PBNA (1992). Cursus Openbare Verlichting. PBNA, Arnhem, 1992.
- Philips (1989). Philips Licht; Pijlslijst Pocket-Lichtcatalogus 89/90. Philips Nederland, B.V. Eindhoven, 1989.
- Philips Armaturen voor Buitenverlichting. Philips Nederland N.V., Eindhoven (z.j.).
- Polak, P.H. (1987). De relatie tussen openbare verlichting en verkeersveiligheid; Methodologische notitie. SWOV, Leidschendam, 1987.
- Reeb, O. (1962). Grundlagen der Photometrie. G. Braun, Karlsruhe, 1962.
- Riemenschneider, W. (1978). Influence of asymmetric lighting to visibility. Novelectric, Buchs, 9th October 1978 (Niet gepubliceerd).
- Riemersma, J.B.J. (1979). The perception of deviation from a straight course. IZF 1979 C-6. IZF-TNO, Soesterberg, 1979.
- Riemersma, J.B.J. (1985). Koershouden op de rechte weg. Verkeerskunde 36(1985)367-372.
- Riemersma, J.B.J. (1988). Zonering en herkenbaarheid; Een experiment. IZF 1988 C-2. IZF-TNO, Soesterberg, 1988.
- Riemersma, J.B.J. (1988a). Enkelbaans/dubbelbaans autowegen; beleving van de weggebruiker. IZF C-4. IZF-TNO, Soesterberg, 1988.
- Riemersma, J.B.J. (1988b). Waarnemen van boogkenmerken. IZF 1988 C-8. IZF-TNO, Soesterberg, 1988.
- Riemersma, J.B.J. (1989). Waarnemen van weg en omgeving en rijtaak. In: Handboek Sociale Verkeerskunde. Van Gorcum, Assen/Maastricht, 1989.
- Riemersma, J.B.J. (1989a). The effects of transition curves and superelevation on the perception of road-curve characteristics. IZF 1989 C-18. IZF-TNO, Soesterberg, 1989.
- Riemersma, J.B.J. (1989b). Vergelijking VSC-snelheidsgegevens en IZF-beoordelingen van bogen. Memo IZF 1989-M25. IZF-TNO, Soesterberg, 1989.
- Rockwell, T.H.; Ernst, R.L. & Rulon, M.J. (1967). Research on visual requirements in night driving. Final Report EES 254-1. NCHRP. Ohio State University, Columbus, Ohio, 1967.
- Schober, H. (1960). Das Sehen (2 Bände). Fachbuchverlag, Leipzig, 1958-1960.
- Schoon, C.C. & Schreuder, D.A. (1993). HID-autokoplampen en verkeersveiligheid. R-93-7. SWOV, Leidschendam, 1993.

- Schouten, T.M. (1972). Verblinding, enige fysiologische, leeftijdsafhankelijke oorzaken. R-72-9. SWOV, Voorburg, 1972.
- Schreuder, D.A. (1962). Warum Beleuchtung mit Natriumdampflampen? Elektrizitätsverwertung 37 (1962) 191-195.
- Schreuder, D.A. (1962). Aufgehellte Fahrbahndecken und lichttechnische Probleme. Asphalt u. Teerstrassen (1962). Heft 16, 144-153.
- Schreuder, D.A. (1964). Lichting in adverse weather. Traffic Engng. Control 5 (1964) 720-723.
- Schreuder, D.A. (1964). De luminantietechniek in de straatverlichting. De Ingenieur 76(1964)E89-E99.
- Schreuder, D.A. (1964a). The lighting of vehicular traffic tunnels. Centrex, Eindhoven.
- Schreuder, D.A. (1967). The theoretical basis for road lighting design. Chapter III In: De Boer (ed.) (1967).
- Schreuder, D.A. (1970). A functional approach to lighting research. In: OTA (1970).
- Schreuder, D.A. (1970a). Road lighting and traffic safety; A functional approach. Lux (1970) no 57: 146-147; 256-263.
- Schreuder, D.A. (1971). Autoverlichting binnen de bebouwde kom. Verkeerstechniek (1971) 583-588.
- Schreuder, D.A. (1972). De motivatie tot voertuiggebruik. Internationale Faculteit, Haarlem, 1972.
- Schreuder, D.A. (1972a). The coding and transmission of information by means of road lighting. In: SWOV (1972).
- Schreuder, D.A. (1972b). Discomfort glare in street lighting. Lighting Res. Technol. 4(1972)47-48.
- Schreuder, D.A. (1974). De rol van functionele eisen bij de wegverlichting. In: Anon. (1974).
- Schreuder, D.A. (1977). The relation between lighting parameters and driving performance. In: LITG (1977).
- Schreuder, D.A. (1978). Zichtbaarheid van wegmarkeringen op natte wegen; Een literatuurstudie. SVT/SCW, Arnhem, 1987.
- Schreuder, D.A. (1979). Tunnel lighting engineering; The third generation. Contributed to CIE TC 4.6, SC 3. SWOV, Voorburg, 1979.
- Schreuder, D.A. (1979a). The lighting of residential areas. R-79-49. SWOV, Voorburg, 1979. In: CIE (1980).
- Schreuder, D.A. (1980). Tunneleinfahrtbeleuchtung: Die dritte Generation. R-80-27. SWOV, Voorburg, 1980. In: LITG, 1980. Zie ook: Schreuder (1981a).
- Schreuder, D.A. (1980a). Geprofileerde wegmarkeringen. R-80-51. SWOV, Voorburg, 1980.
- Schreuder, D.A. (1981). De verlichting van tunnelingangen; Een probleemanalyse omtrent de verlichting overdag van lange tunnels. R-81-26 I en II. SWOV, Voorburg, 1981.
- Schreuder, D.A. (1981a). De verlichting van tunnelingangen: De derde generatie. R-81-21. SWOV, Leidschendam, 1981. Ook: Wegen 55(1981)242-245.
- Schreuder, D.A. (1983). Glare in road lighting. CIE Journal 2(1983)53-57.
- Schreuder, D.A. (1983). De relatie tussen verkeersongevallen en openbare verlichting. R-83-12. SWOV, Leidschendam, 1983.
- Schreuder, D.A. (1985). Het effect van vermindering van de openbare verlichting op de verkeersveiligheid. R-85-58. SWOV, Leidschendam, 1985.
- Schreuder, D.A. (1985a). Fundamentele overwegingen omtrent visuele en verlichtingskundige aspecten van de verkeersveiligheid. R-85-61. SWOV, Leidschendam, 1985.
- Schreuder, D.A. (1985b). Toepassingen en gebruiksmogelijkheden van retroreflecterende materialen in het wegverkeer; Een overzicht van de stand van zaken. R-85-62. SWOV, Leidschendam, 1985.
- Schreuder, D.A. (1985c). Regelen, beheersen en sturen... bijvoorbeeld in het wegverkeer. Wegen 59(1985) 217-220.
- Schreuder, D.A. (1985d). De zichtbaarheid van wegmarkeringen op natte wegen; Een aanvullende literatuurstudie. R-85-23. SWOV, Leidschendam, 1985.

- Schreuder, D.A. (1988). De relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en de verkeersveiligheid; Een aanvullende literatuurstudie. R-88-10. SWOV, Leidschendam, 1988.



- Schreuder, D.A. (1988a). Road lighting and priorities for observation. Illum. Engn. Yougoslavia, Zagreb, 1988.
- Schreuder, D.A. (1988b). Visual aspects of the driving task on lighted roads. CIE Journal 7(1988)1:15-20.
- Schreuder, D.A. (1988c). Gezichtsvermogen en verkeersveiligheid. R-88-9. SWOV, Leidschendam, 1988.
- Schreuder, D.A. & Oud, H.J.C. (1988). The predetermination of the luminance in tunnel entrances at day. R-88-13. SWOV, Leidschendam.
- Schreuder, D.A. (1989). The field factor for the determination of tunnel entrance luminance levels. Paper presented at the SLG/CIE Symposium on: New developments in tunnel lighting; Lugano, Switzerland, 12 October 1989.
- Schreuder, D.A. (1989a). De relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en de verkeersveiligheid; Een voorstudie. R-89-45. SWOV, Leidschendam, 1989.
- Schreuder, D.A. (1989b). Enquete wijst uit: Straten zijn onveilig en licht is akelig. De Gorzette 17(1989)1:23-25.
- Schreuder, D.A. (1989c). Bewoners oordelen over straatverlichting. PT Elektronica- Elektrotechniek 44(1989)5:60-64.
- Schreuder, D.A. (1990). Aanbevelingen voor de verlichting van lange tunnels voor het gemotoriseerde verkeer. R-90-10. SWOV, Leidschendam.
- Schreuder, D.A. (1990). De veldfactor bij de bepaling van de verlichtingsniveaus bij tunnelingen. R-90-10. SWOV, Leidschendam, 1990.
- Schreuder, D.A. & Schoon, C.C. (1990). De relatie tussen het koershouden van voertuigen van voertuigen en wegmarkering op 80 km/uur-wegen; Een literatuurstudie. R-90-54. SWOV, Leidschendam.
- Schreuder, D.A. (1990a). De relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en de verkeersveiligheid op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom. R-90-45. SWOV, Leidschendam, 1990.
- Schreuder, D.A. (1991). Tegenstraalverlichting in tunnels; Een overzicht van de beschikbare literatuur. R-91-96. SWOV, Leidschendam.
- Schreuder, D.A. (1991). Visibility aspects of the driving task: Foresight in driving. A theoretical note. R-91-71. SWOV, Leidschendam, 1991.
- Schreuder, D.A. (1991a). Motorway lighting under fog conditions. R-91-72. SWOV, Leidschendam, 1991.
- Schreuder, D.A. (1991b). Verkeersveiligheid en burgerlijke veiligheid. In: CROW (1991).
- Schreuder, D.A. (1991c). De veldfactor bij de bepaling van de verlichtingsniveaus bij tunnelingen; Verslag van een nadere analyse van het experimentele onderzoek. R-91-65. SWOV, Leidschendam, 1991.
- Schreuder, D.A. (1991d). Practical determination of tunnel entrance lighting needs. Paper presented at the TRB Annual Meeting, Washington DC, January 15, 1991.
- Schreuder, D.A. (1991d). Lighting requirements in the entrance of tunnels in traffic conditions. Paper prepared for presentation at the CIE Session in Melbourne, Australia, July 1991.
- Schreuder, D.A. (1991e). Verkeersveiligheid. In: PAOVV (1991a).
- Schreuder, D.A. (1991f). A device to measure road reflection in situ. In: CIE (1991).
- Schreuder, D.A. (1992). 30-jarig bestaan van de SWOV. SWOV-schrift no 50, maart 1992, blz. 13-15.
- Schreuder, D.A. (1992a). Tegenstraalverlichting in tunnels; Een overzicht van de beschikbare literatuur. R-91-96. SWOV, Leidschendam.
- Schreuder, D.A. (1992a). De invloed van windturbineparken op de verkeersveiligheid. R-92-74. SWOV, Leidschendam.
- Schreuder, D.A. (1992b). Taak en functie van de openbare verlichting. Les 1 in: PBNA (1992).
- Schreuder, D.A. (1992c). De relatie tussen de veiligheid en het niveau van de openbare verlichting. R-92-39. SWOV, Leidschendam, 1992.
- Schreuder, D.A. (1992d). Openbare verlichting als verkeersveiligheidsmaatregel; stand van zaken en toekomst. R-92-64. SWOV, Leidschendam, 1992.

- Schreuder, D.A. & Lindeijer, J.E. (1987). Verlichting en markering van motorvoertuigen; Een state-of-the-art-rapport. R-87-7. SWOV, Leidschendam, 1987.
- Scott, P.P. (1980). The relationship between road lighting quality and accident frequency. Lab. Report LR 929. TRRL, Crowthorne, 1980.
- SCW (1974). Wegverlichting en oppervlaktetextuur (Road lighting and surface texture). Mededeling No. 34. SCW, Arnhem, 1974.
- SCW (1982). Zichtbaarheid 's nachts van wegmarkeringen op droge en natte wegdekken. SCW-Mededeling 52 / SVT-Mededeling 17. SCW, Arnhem.
- SCW (1984). Lichtreflectie van wegdekken (The reflection of light by road surfaces). Mededeling 53. SCW, Arnhem, 1984.
- Sheridan, T.B. & Ferrell, W.R. (1974). Man-machine systems. The MIT Press, Cambridge, Mass., 1974.
- Skene, P. & Turner, H.J. (1976). Studies of road lighting systems: Dural Study. University of New South Wales, 1976 (Niet gepubliceerd).
- SLG (1982). Bericht Lichttechnische Gemeenschapstugung "Licht82. Dok.No.500/82. SLG, Zürich, 1982.
- Sørensen, K. (1975). Road surface reflection data. Report No. 10. Lysteknisk Laboratorium, Lyngby, 1975.
- Sørensen, K. & Nielsen, B. (1974). Road surfaces in traffic lighting. Report No. 9. Danish Illuminating Engineering Laboratory, Lyngby, 1974.
- Springer, J.F. & Huizinga, K.E. (1969). Beschouwingen ten aanzien van een esthetisch verantwoorde vormgeving van wegen, Deel 3. Wegen 43(1969)226-234.
- Springer, J.F. & Huizinga, K.E. (1974). Het wegbeeld als toetssteen voor het wegontwerp. Twee delen. Rijkswaterstaat Serie No 15. Den Haag, 1974.
- Stam, A. (1989). Resultaten meting tunnelverlichting Drechtunnel. Stam en Van Vuren, Organisatieadviseurs, Sliedrecht (Niet gepubliceerd).
- Steenks, K. (1992). Beleidsaspecten gemeentewegen. In: PAOVV (1992a).
- Stembord, H.L. & Swart, L. (1991). Tunnels veiliger dan 'gewone' wegen? Wegen 65 (1991) 3: 11-14.,
- Stolzenberg, K. (1984). Konzepte und Empfehlungen für Tunnelbeleuchtung. In: Licht84 (1984).
- SVEN (1981). Besparing op energie en kosten bij openbare verlichting. SVEN, Apeldoorn, 1981.
- SWOV (1972). Psychological aspects of driver behaviour. Symposium Noordwijkerhout, 2-6 August 1972. SWOV, Voorburg, 1972.
- Tan, T.H.; Van den Brink, T.J.D. & Swart, L. (1983). Tunnelingangsverlichting. Elektrotechniek 61 (1983) 669-675.
- Tanner, J.C. & Harris, A.J. (1955). Street lighting and accidents; Some British investigations. In: CIE (1955).
- Theewes, J. (1989). Visual selection: Endogenous and exogenous control; A review of the literature. IZF 1989 C-3. IZF-TNO, Soesterberg, 1989.
- Theewes, J. (1990). Exogenous and endogenous control of visual attention. IZF 1990 C-3. IZF-TNO, Soesterberg, 1990.
- Theewes, J. (1992). Selective attention in the visual field.. Proefschrift VU, Amsterdam. Bariet, Ruinen, 1992.
- Tooke, W.R. & Hurst, D.R. (1975). Wet night visibility study. G. Dot Res. Proj. No. 6701. Dept. of Transportation of Georgia, 1975.
- TRB (1984). Providing visibility and visual guidance to the road user. Symposium, July 30-August 1, 1984. TRB, Washington, DC, 1984.
- TRB (1988). Symposium on visibility criteria for signs, signals and roadway lighting. Minneapolis, Mn, August 3-5, 1988. Transportation Research Board, Committee on Visibility, 1988.
- Turner, H.J.(1972). The effectiveness of the NSW Street Lighting Subsidy System. National Road Safety Symposium, Canberra, 1972
- Van Bommel, W.J.M. (1978). Optimization of road lighting installations by the use of performance sheets. Lighting Res. & Technol. 10(1978)189.

- Van Bommel, W.J.M. & De Boer, J.B. (1980). Road lighting. Kluwer, Deventer, 1980.
- Van den Brink, T.D.J. (1984). Experimenten met daglichtroosters. Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde (Niet gepubliceerd).
- Van den Brink, T.D.J. (1991). Verkeer en licht: Visuele aspecten. Den Haag, RWS/ DVK, 1991.
- Van den Brink, T.D.J. (1992). Beleidsaspecten Rijkswegen. In: PAOVV (1992a).
- Van den Brink, T.D.J. & Buijn, H.R. (1987). De waardering van de verlichting van enkelbaanswegen buiten de bebouwde kom (Niet gepubliceerd).
- Van den Brink, T.D.J. & Buijn, H.R. (1990). Die Bewertung öffentlicher Beleuchtung von Landstrassen. In: NSVV, 1990a.
- Vermeulen, J. & Knudsen, B. (1968). Het ontwerpen van een verlichting van voorgeschreven luminantie en gelijkmatigheid. Philips Tech. Tijdschr. (168)29.
- Vis, A.A. (1993). Openbare verlichting en de verkeersveiligheid van autosnelwegen. R-93-19. SWOV, Leidschendam, 1993.
- Vos, J.J. (1983). Verblinding bij tunnelingangen I: De invloed van strooilicht in het oog. IZF 1983 C-8. IZF-TNO, Soesterberg, 1983.
- Vos, J.J. & Padmos, P. (1983). Straylight, contrast sensitivity and the critical object in relation to tunnel entrance lighting. CIE, Amsterdam, 1983.
- Waldram, J.M. (1938). The revealing power of street lighting installations. Trans. Illum. Engn. Soc. (London) 3(1938)173-196.
- Walraven, J. (1980). Visueel critische elementen bij nachtrijden; Een verkennend onderzoek. Rapport C 80-22. IZF-TNO, Soesterberg, 1980.
- Walsh, J.W.T. (1953). Photometry (2nd edition). Constable Co. Ltd., London, 1953.
- Walthert, R. (1976). Verschiedene Systeme der Tunnelbeleuchtung. In: LITG (1976).
- Walthert, R. (1977). Tunnel lighting systems. Int. Lighting Rev. (1977)112.
- Walthert, R. (1978). Sehverhältnisse im Bereich von Tunneln. Strasse und Verkehr 64(1978)235-239.
- Weir, D.H. & McRuer, D.T. (1967). Conceptualization of overtaking and passing manoeuvres on two-lane rural roads. Vol. IV. Driver control. Systems Technology Inc., Hawthorne, Cal., 1967.
- Wertheim, A.H. (1986). Over het meten van visuele opvallendheid van objecten in het verkeer. IZF 1986 C-25. IZF-TNO, Soesterberg, 1986.
- Westermann, H.-O. (1963). Reflexionskennwerte von Strassenbelägen (Reflection characteristics of road surfaces). Lichttechnik 15(1963)507-510.
- Westermann, H.-O. (1964). Das Reflexionsverhalten bituminöser Strassendecken im Zusammenhang mit der Griffigkeit. Strasse u. Tiefbau 18(1964)290-295.
- Westermann, H.-O. (1967). Het ontwerpen van de openbare verlichting van de stad. Pol. Techn. Tijdschr.(1967)854-859.
- Wilde, G.J.S. (1982). The theory of risk homeostatis: Implications for safety and health. Risk Analysis 2(1982)209-225. (Cit.: OECD, 1990).
- Wilde, G.J.S. (1982a). Critical issues in risk homeostatis theory. Risk Analysis 2(1982) 249-258 (Cit.: OECD, 1990).
- Wilde, G.J.S. (1984). Evidence refuting the theory of risk homeostatis? A rejoinder to Frank P. McKenna. Ergonomics 27(1984)197-304.
- Zwahlen, H.T. (1979). Driver eye scanning behaviour at tunnel approaches. Vol 1. Franklin Inst. Res. Lab. Philadelphia, Pa, 1979.
- Zwahlen, H.T. (1980). Driver eye scanning behaviour in rain and during an unexpected windshield wiper failure. Z.f.Verkehrssicherheit 26(1980)148-155.

