

DE RELATIE TUSSEN HET NIVEAU VAN DE OPENBARE VERLICHTING EN  
DE VERKEERSVEILIGHEID

Een aanvullende literatuurstudie

R-88-10

Dr. ir. D.A. Schreuder

Leidschendam, 1988

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV



## INHOUD

### Voorwoord

1. Inleiding
2. Het effect van de aanwezigheid van openbare verlichting
3. De methodiek van onderzoek
4. De relatie tussen lichtniveau en ongevallen
5. De relatie tussen verlichting en andere parameters
  - 5.1. De verkeersafwikkeling voor gemotoriseerd verkeer
  - 5.2. De verkeersafwikkeling voor langzaam verkeer
  - 5.3. De burgerlijke veiligheid
  - 5.4. Het gevoel van veiligheid
6. Nader onderzoek
7. Aanbevelingen

### Literatuur

VOORWOORD

In 1982 is onder auspiciën van het Ministerie van Economische Zaken door de SVEN de brochure "Besparing op energie en kosten bij openbare verlichting" uitgegeven. Deze brochure is "tot stand gekomen in een samenwerkingsverband tussen de Ministeries van Economische Zaken, Binnenlandse Zaken, Verkeer en Waterstaat (Rijkswaterstaat) en de Nederlandse Stichting voor Voorlichtingskunde (NSvV)" (SVEN, 1982, blz. 1).

Veranderingen in de prijsstelling maakten een nieuwe uitgave van deze brochure nodig. Onderling overleg heeft tot het inzicht geleid tot nader onderzoek in deze materie gewenst is. Ten behoeve van dit onderzoek heeft de SWOV op verzoek van het Ministerie van Economische Zaken de onderhavige literatuurstudie opgesteld.

## 1. INLEIDING

Openbare weg- en straatverlichting heeft een viervoudige functie. Historisch gezien is de oudste ervan het verzekeren van de burgerlijke veiligheid, ook wel aangeduid als de misdaadpreventie - het voorkomen en bestrijden van de criminaliteit. Deze functie wordt reeds gedurende enige eeuwen door de openbare verlichting vervuld - met meer of minder succes. Meer recent zijn de functies ten behoeve van het gemotoriseerde verkeer: sinds een aantal decennia wordt tot de functie van de openbare verlichting gerekend het bevorderen van een vlot en veilig wegverkeer bij duisternis. Het gaat daarbij om twee functies: het bevorderen van de doorstroming en van de verkeersveiligheid. Nog recenter is een vierde functie in de belangstelling gekomen: het bevorderen van het gevoel van veiligheid. Wanneer zulk een gevoel ontbreekt worden bewoners - meer in het bijzonder de bejaarde bewoners, maar ook de bewoonsters - van woongebieden ernstig belemmerd om op straat te komen: allerlei sociale contacten worden bemoeilijkt of zelfs afgebroken. Vaak wordt hieraan nog toegevoegd (als een vijfde functie zo men wil) het bevorderen van de esthetische aspecten van de openbare ruimte, en het bevorderen van de economie (handel, toerisme).

De mate waarin aan deze functies kan worden voldaan hangt voor een groot deel af van de kwaliteit van de openbare verlichting (verder af te korten tot OV). En de kwaliteit op haar beurt is voor een aanzienlijk deel maatgevend voor de kosten van de OV, zowel wat betreft de aanlegkosten als de kosten van onderhoud. Om te komen tot een optimale besteding van gelden is derhalve een vergelijking tussen de "kosten" en de "baten" van de OV nodig. Daarbij moet worden opgemerkt dat in de onderhavige studie de aspecten van energiegebruik en energiebesparing een belangrijke rol spelen. Kosten van energie en monetaire kosten zijn tot op zekere hoogte tegen elkaar inwisselbaar. Op de details van de "wisselkoers" zal in deze studie niet verder worden ingegaan. En tenslotte is het bepalen van de optimale kostenbesteding een essentieel onderdeel voor het bepalen van de juiste prioriteitenstelling - zowel voor de kostenbesteding voor de openbare verlichting zelf als voor het opstellen en uitvoeren van verkeersveiligheidsmaatregelen meer in het algemeen.

De eerste stap om tot een bruikbare kosten/baten-analyse te kunnen komen is het kunnen beschikken over een kwantitatieve relatie tussen de kwali-

teit (kwantiteit) van de OV en de te bereiken effecten. Over deze relatie gaat de onderhavige literatuurstudie; de aandacht zal daarbij voornamelijk maar niet uitsluitend, uitgaan naar de effecten wat betreft het verminderen van aantal en/of ernst van de verkeersongevallen - het effect op de verkeersveiligheid dus. De reden voor deze keuze van de verkeersveiligheid als belangrijkste ingang van de hierna volgende beschouwingen is gelegen in het feit dat op dit terrein de belangrijkste bijdragen tot de kosten zowel als tot de baten van openbare verlichting worden verwacht. Aan de andere functies zal echter eveneens aandacht worden besteed. Er kan in dit verband worden gewezen op het feit dat voor de beschouwingen over OV zoals ze in deze notitie aan de orde komen, de begrippen "kwaliteit" en "kwantiteit" van de OV bijna geheel samenvallen en soms door elkaar kunnen worden gebruikt; het blijkt namelijk dat zowel de kwaliteit als de kwantiteit van de OV voor het grootste deel worden bepaald door, en dan ook kunnen worden uitgedrukt in, het lichtniveau. De andere kwaliteitscriteria (verblinding, gelijkmatigheid, geleiding enz.) spelen een ondergeschikte rol, vooral wanneer de aandacht in eerste instantie uitgaat naar aspecten van energiebesparing; zie hiervoor verder Hoofdstuk 5.

In het verleden is een aanzienlijke hoeveelheid onderzoek verricht naar het effect van OV op de verkeersveiligheid. De resultaten van dat onderzoek zijn op ruime schaal gepubliceerd. De SWOV heeft enige jaren geleden een overzicht van deze materie uitgegeven (Schreuder, 1983). Nu het Ministerie van Economische Zaken een opdracht aan de SWOV overweegt over deze materie lijkt het verstandig te beginnen met een aanvulling op dit eerdere literatuuroverzicht.

Bij deze aanvulling zal aandacht worden besteed aan het feit dat in het verleden het meeste onderzoek beperkt is gebleven tot het effect van de aanwezigheid van OV van een behoorlijke kwaliteit, en dat de in de aanhef bedoelde relatie slechts ten dele aan de orde is geweest. Tenslotte zal enige aandacht worden besteed aan de andere functionele aspecten van de OV.

## 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 OV 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. Reeds een aantal jaren geleden heeft de Commission Internationale de l'Eclairage een overzicht ervan gegeven (CIE, 1960). Dit overzicht is uiteraard verouderd, en een nieuwe versie ervan is in bewerking (CIE, 1988). De nieuwe versie is vooral van belang omdat daar, in tegenstelling tot de meeste andere compilaties, het oude CIE-rapport daarbij inbegrepen, een statistische verantwoording is gegeven voor alle afzonderlijke studies. Het resultaat daarvan is tamelijk ontvullend: het blijkt dat op een enkele uitzondering na geen van de studies methodologisch zonder blaam is, en dat de meeste resultaten statistisch niet of nauwelijks significant te noemen zijn - ook al wordt door de auteurs soms anders gesuggereerd!

Het globale eindresultaat is echter gelijk aan de gevolgtrekkingen uit de eerdere compilaties: men mag rekenen op een reductie van ca. 30% in de nachtelijke letselongevallen wanneer wegen die eerst niet of zeer slecht verlicht waren, worden voorzien van een "goede" OV. In het nieuwe CIE-rapport wordt deze gevolgtrekking omschreven als een resultaat van het samengaan van een groot aantal, ieder voor zich weinig overtuigende, studies; men kan volgens de CIE juist door dit samengaan van een wetenschappelijk gefundeerde uitspraak spreken. De "executive summary" van het CIE-rapport is als Bijlage I toegevoegd.

Tot een zelfde uitspraak kwam ook Schreuder (1983). De andere bekende compilaties zijn wat minder zorgvuldig in het weergeven van het eindresultaat van de studie: gewoonlijk wordt slechts de reductie van 30% van de nachtelijke letselongevallen vermeld (CIE, 1960; OECD, 1971; Fisher, 1977).

Walthert (1980) geeft zelfs een besparing van 50 à 60% aan.

De nieuwe CIE-studie is voorts van belang omdat resultaten zijn gegeven van onderzoek op andere wegen dan uitsluitend stedelijke uitvalswegen zoals in de meeste andere studies. Voor verschillende wegtypen, voor VOP's en voor tunnels is aangegeven in welke mate afwijkingen te verwachten zijn ten opzichte van de 30%. In het algemeen blijkt dat de afwijkingen, zo ze er al zijn, meestal klein zijn in vergelijking tot de experimentele onzekerheid in de resultaten. Wel is te vermelden dat vooral de ernst van de ongevallen op autosnelwegen gunstig wordt beïnvloed door de aanwezigheid van OV.

De nieuwe CIE-studie bevat de beschrijving van een groot aantal individuele studies. Sommige ervan zijn niet behandeld in het SWOV-overzicht. Volledigheidshalve zullen ze hieronder kort worden samengevat.

Eerst werden de resultaten van proeven op stedelijke wegen besproken. Tanner (1963) en Tanner & Harris (1955) hebben de proeven die in Engeland kort na de tweede wereldoorlog zijn uitgevoerd, samengevat. De resultaten zijn daarmee dezelfde als die welke elders waren gepubliceerd. Anders is het met een studie in Westminster (Foyster & Murchie, 1983; Foyster & Thomson, 1985). Verbetering van de verlichting leidde tot ongeveer 10% reductie in nachtelijke ongevallen en ongeveer 15% reductie in nachtelijke ongevallen met voetgangers. Borel (1958) heeft een reductie van 25 à 30% in nachtelijke ongevallen gerapporteerd bij het verhogen van het lichtniveau op een 13 km lang wegvak.

Vermindering van het lichtniveau leidde tot een toename van de nachtelijke ongevallen. Thygesen & Thanning (1981) vonden dat bij een halvering van de verlichting op een wegtraject van 14 km lengte de nachtelijke ongevallen met 50% toenamen. Witakowski (1980) rapporteerde een toename van 20% na een niet nader gepubliceerde vermindering van de verlichting. In Zweden is echter gevonden dat een vermindering in de verlichting die gepaard ging met een brandstof distributie voor de auto's niet leidde tot een toename in de ongevallen (Norrby et al., 1974).

Voor wegen buiten bebouwde kommen is iets dergelijks gevonden. Meestal ging het om de invloed van verlichting op wegen die eerder onverlicht waren. Lefevre (1962) vond een 20% reductie in ongevallen voor 1300 km buitenweg. Christie (1962) vond 75% reductie op een traject van 2,5 km. Tan (1975) vond een reductie van 34% op een 3,2 km lang wegtraject, terwijl Anon (1969) een significante, maar niet gespecificeerde afname te zien geeft op een 50 km lang wegvak. In geen van de gevallen is het lichtniveau aangegeven.



Op autosnelwegen zijn ook reducties gevonden. Een Japanse studie wees uit dat de verlichting van een niveau van  $1,8 \text{ cd/m}^2$  op een 13 km lang traject een gemiddelde reductie opleverde van 56%; bij droog weer was dit 62%, maar bij regen of sneeuw 46% (Nishimori, 1973). Een Amerikaanse studie leverde op dat na het uitschakelen van de verlichting op een 13,8 km lang traject van een 10-strooks autosnelweg de ongevallen in de winter meer toenamen dan in de zomer; in de winter met 40% en in de zomer 10% (Gramza et al., 1980). Tenslotte verstrekken Gramza et al. (1980) gegevens over de verlichting op knooppunten in autosnelwegen; 40% reductie in ongevallen na installatie van verlichting.

Op deze plaats kan het congres "Light for lives" worden vermeld dat in 1986 in Engeland plaatsvond. Op dat congres zijn nog wat aanvullingen gegeven op de eerder gepubliceerde gegevens (Birch, 1986; Large, 1986; Macaulay, 1986; Schreuder, 1986). Zie ook Wright (1984).

Sinds het verschijnen van de eerdere overzichtsstudie (Schreuder, 1983) zijn er enige nieuwe studies verschenen, die echter vooral de relatie tussen het verlichtingsniveau en de verkeersveiligheid betreffen. Deze studies zullen in Hoofdstuk 4 worden besproken. Eerst zullen echter enige opmerkingen over de methodiek van onderzoek worden gemaakt (Hoofdstuk 3).

### 3. DE METHODIEK VAN ONDERZOEK

Deze studie gaat over de relatie tussen de verkeersveiligheid en de kwaliteit van de openbare verlichting. Doel van deze studie is een bijdrage te leveren tot het optimaal gebruiken van de voor de openbare verlichting benodigde energie. We moeten "zuinig" zijn met energie, en wel om twee redenen: energie kost geld en energie kost (schaarse) grondstoffen. Het ligt dus voor de hand om de kwaliteit van de openbare verlichting uit te drukken in een maat die nauw aansluit bij de in deze studie centraal staande energiebeschouwingen.

Verlichtingstechnisch wordt de kwaliteit van OV gewoonlijk afgemeten naar vier criteria: het luminantieniveau, de gelijkmatigheid van het luminantiepatroon, de mate waarin verblinding begrensd is, en de visuele of optische geleiding (zie voor een gedetailleerde discussie van deze vier criteria De Boer (ed.) (1967) en Van Bommel & De Boer (1980)). Onderzoek betreffende het relatieve belang van deze vier criteria is echter nauwelijks uitgevoerd; ze zijn bijna steeds onafhankelijk van elkaar beschouwd. Aanbevelingen en richtlijnen worden steeds van ieder criterium apart opgegeven (CIE, 1977a; NSVV, 1958). Er zijn slechts enige oriënterende onderzoeken uitgevoerd op dit gebied; de resultaten (voor zover men daarbij van resultaten kan spreken) zijn samengevat door Schreuder (1983a). Er is daarbij een tendens waar te nemen waaruit blijkt dat het luminantieniveau van grotere invloed is op het totale kwaliteitsniveau dan de ongelijkmatigheid of de verblinding. Schreuder (1983a) haalt daarbij eerder door hem uitgevoerd onderzoek aan waarbij de volgende relatie is gevonden:

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

Daarbij is AI de algemene indruk; N, G en V zijn de subjectieve beoordelingen van niveau, gelijkmatigheid en verblinding. Ook Fisher heeft in Australië dergelijke resultaten gevonden die echter niet gepubliceerd zijn. Ook Cornwell (1973) heeft iets dergelijk gevonden:

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

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

De resultaten zijn niet direct te vergelijken omdat ook de visuele geleiding (VG) is meeverwerkt (zie Schreuder, 1983a en De Boer & Schreuder, 1966).

Het gaat hierbij om een relatie tussen de algemene indruk en andere subjectieve beoordelingen, en niet om de relatie tussen de algemene indruk en één of meer objectieve (fotometrische) grootheden, hetgeen voor verdergaande generalisaties wenselijk ware. Toch lijkt dit een belangrijke aanleiding om wat betreft het algemene kwaliteitscriterium in de eerste plaats naar het luminantieniveau te kijken. Deze voorkeur wordt ondersteund door de resultaten van het hierna te bespreken Engelse onderzoek, waar de ongevallen gerelateerd zijn aan een aantal verschillende fotometrische grootheden (Scott, 1980). Uit dit onderzoek kwam een duidelijke relatie tussen ongevallen en de gemiddelde wegdekluminantie naar voren; de ongelijkmatigheid bleek een geringere en bovendien onduidelijke invloed te hebben (zie Hoofdstuk 4), terwijl de andere fotometrische kwaliteitscriteria geen aantoonbare relatie met de ongevallen vertoonden. Tot zekere hoogte kan dit resultaat een gevolg zijn van de specifieke wijze waarop in Engeland de straatverlichting wordt ontworpen en aangelegd, maar het resultaat sluit nauw aan bij de door Schreuder (1983a) geciteerde metingen. Tenslotte kan worden vermeld dat bij de gangbare wijze van ontwerpen van OV en een directe relatie wordt verondersteld tussen de lamplichtstroom en het luminantieniveau (Schreuder, 1967). En de lamplichtstroom vertoont een nauwe (zij het niet precies lineaire) relatie met het opgenomen elektrische vermogen, het energiegebruik dus. Ofschoon dit slechts een globale benadering is, en ofschoon door een goed optisch ontwerp van de armaturen bereikt kan worden dat enerzijds het lichttechnische rendement van de installatie verhoogd kan worden en anderzijds de gelijkmatigheid en de verblindingsbegrenzing kan worden ondersteund, lijkt het in zijn totaliteit gerechtvaardigd om als primair kwaliteitscriterium van openbare verlichting de gemiddelde wegdekluminantie (soms te benaderen door het gemiddelde niveau van de verlichtingssterkte op het wegoppervlak) te gebruiken. Voor de onderhavige studie komt dit des te meer in aanmerking omdat de nadruk in deze studie ligt op het optimale gebruik van energie van OV.

Men mag verwachten dat OV meer "helpt" wanneer zij "beter" is. Deze uitspraak kan worden onderbouwd door hetgeen bekend is uit de wetenschappelijke kennis op het gebied van de optica en van de fysiologie en psychologie van de visuele waarneming. Zeer globaal samengevat: de visuele pre-

statie 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.

Er zijn 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. Deze ingewikkelde relaties zijn onderwerp van een apart onderzoek.

Ook al zijn de hierboven geschetste relaties momenteel nog niet in voldoende detail bekend, het is mogelijk om het totale effect van de OV op de ongevallen te onderzoeken. Dit wordt dan rechtstreeks gedaan: men zoekt de relatie tussen het geregistreerde lichtniveau op bepaalde wegen en straten, en het aantal en/of de ernst van de ongevallen die op de betreffende wegen en straten zijn geregistreerd. De in Hoofdstuk 2 genoemde onderzoeken zijn van deze aard; evenzo de onderzoeken die in Hoofdstuk 4 worden besproken.

Bij het zoeken naar een antwoord op de vraag hoeveel "goede" verlichting "helpt" heeft men meestal gebruik gemaakt van wegen of straten waarvan de verlichting is verbeterd (of verminderd, zoals de tijdens de energiecrisis van 1973 vaak gebeurde). Dit zijn zogenaamde voor- en nastudies. In beginsel zou men op dezelfde wijze te werk kunnen gaan wanneer men de meer gedetailleerde relatie tussen lichtniveau en ongevallen wil bestuderen; soms is dat ook wel gebeurd. Meestal echter gebruikt men - vaak uit praktische overwegingen - een andere methode: men vergelijkt op het zelfde moment (gedurende dezelfde periode) straten en wegen met verschillende verlichting wat betreft de ongevallen die daar zijn geregistreerd.

We zullen hier niet verder ingaan op de voor- en nadelen van deze twee methoden van onderzoek; in het bedoelde CIE-rapport is een apart hoofdstuk aan deze zaak gewijd. Dit hoofdstuk is als Bijlage II toegevoegd. Ook zal worden voorbij gegaan aan een derde wijze van onderzoek - een soort "intermediate level study", waarbij van een welgekozen onderdeel van de totale populatie (bijvoorbeeld van een steekproef van de wegen of van de verkeersdeelnemers) alle relevante gegevens van de ongevallen die daar hebben plaatsgevonden, worden geregistreerd. Niet alleen de standaardgegevens van de ongevallenstatistiek, maar veel meer details, welke voor de niet bij de ongevallen betrokken wegen en/of verkeersdeelnemers uit landelijke overzichten bekend zijn. Deze methode is in verlichtingsonderzoekingen tot nu toe niet toegepast; ze is echter met veel succes toegepast onder meer bij een onderzoek over ongevallen met zware vrachtauto's in relatie tot bepaalde weg- en verkeerskenmerken (Stein & Jones, 1987). Toepassing van deze methode bij verlichtingsonderzoek valt te overwegen. In de onderhavige literatuurstudie zullen echter alleen de resultaten van de belangrijkste onderzoekingen worden besproken (Hoofdstuk 4).

#### 4. DE RELATIE TUSSEN LICHTNIVEAU EN ONGEVALLEN

De twee grootste en meest bekende onderzoeken op het gebied van de relatie tussen lichtniveau en ongevallen zijn die welke zijn uitgevoerd in Engeland en in de USA (Philadelphia, Penn.). Beide studies zijn reeds in detail besproken in een eerder gepubliceerde overzicht (Schreuder, 1983). We zullen deze bespreking hier in het kort samenvatten.

Eerst de Engelse studie, zoals oorspronkelijk gepubliceerd door Scott (1980). Van zo'n zeventig wegen (alle stedelijke enkelbaans uitvalswegen met een snelheidslimiet van 30 mijl per uur) zijn alle relevante gegevens van ongevallen en van verlichting verzameld. Gegevens over het verkeer zijn niet verzameld, omdat ze niet in al hun compleetheid voor alle wegen beschikbaar waren. Men verwachtte 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. De studie omvatte een statistische analyse van de letselongevallen, waarbij het gevaar is gerelateerd aan een aantal verlichtingskenmerken. Het belangrijkste resultaat was dat er voor alle ongevallen gezamenlijk een duidelijke relatie gevonden is tussen het gevaar en het luminantieniveau, zie Afbeelding 1. Als men zich beperkte tot de ongevallen waarbij geen voetgangers waren betrokken bleek dat er ook een relatie kon worden gevonden tussen het gevaar en de gelijkmatigheid van het luminantiepatroon van de OV. Maar de relatie week af van wat men verwachtte: het gevaar is groter bij "goede" gelijkmatigheid dan bij "slechte". De auteurs geven geen toelichting op deze merkwaardige zaak. Uit ander onderzoek is de suggestie naar voren gekomen dat het daarbij gaat om ongevallen die te maken hebben met alcoholgebruik door voetgangers. Het is bekend dat dit laatste juist in Engeland vaak een probleem is (Sabey & Codling, 1978).

Het bleek dat van de vele gegevens over de verlichting die waren verzameld, alleen het luminantieniveau van belang was. De conclusies uit deze studie zijn dat er inderdaad een duidelijke reductie gevonden wordt in de nachtelijke letselongevallen wanneer er OV is; de reductie is groter naarmate het luminantieniveau hoger is. De relaties zijn echter niet nauwkeurig te bepalen: hoewel de metingen van de fotometrische karakteristieken zeer uitgebreid en zeer nauwkeurig zijn uitgevoerd, vertonen de eindresultaten een aanzienlijke spreiding ten gevolge van het feit dat de "steekproef" aan straten slechts klein was. En tenslotte is er over ande-

re straten dan stedelijke uitvalswegen niets te zeggen. Het hoort tot de doelstellingen van het door de SWOV geplande onderzoek om deze tekortkomingen te ondervangen.

De tweede belangrijke studie is uitgevoerd in de USA door het Franklin Institute te Philadelphia (Penn.); zie Gallagher et al. (1977). Overigens, in hetzelfde kader is naast de ongevallenstudies ook een onderzoek aangaande de waarneembaarheid van obstakels in het verkeer uitgevoerd (Gallagher et al., 1975). Dit laatste onderzoek is van groot belang voor het nader inzicht in de verwerking van visuele informatie door bestuurders van motorvoertuigen, maar het zal hier buiten beschouwing blijven. Een bespreking ervan is te vinden in Schreuder (1983; 1985). We zullen ons hier beperken tot de ongevallenstudie. Bij deze studie is van een grotere steekproef aan wegen en straten uitgegaan dan bij het Engelse onderzoek. Er zijn weinig gegevens van de verlichting verzameld, maar wel veel gegevens over het verkeer, de functie van de weg in het netwerk, over stedenbouwkundige aspecten en over de omgeving van de weg. Bij de statistische analyse van het materiaal is echter geen voldoende rekening gehouden met de sterke onderlinge samenhang tussen deze factoren. Zo kan het gebeuren dat wordt opgegeven dat de relatie tussen verlichting en ongevallen in aanzienlijke mate wordt bepaald door de wijze van bebouwing van de straat!

De invloed van de onderlinge samenhang tussen de variabelen kan alleen worden geëlimineerd door een hernieuwde analyse van het volledige gegevensbestand. In het kader van het SWOV-onderzoek wordt daarvan afgezien, omdat het twijfelachtig is in hoeverre de resultaten van deze studie voor Nederland relevant zijn: naast de evidente verschillen in verkeer en bebouwing is er ook een aanzienlijk verschil tussen de USA en Nederland in het niveau van de criminaliteit. De invloed daarvan op de beslissingen van wegbeheerders over OV zijn onbekend.

Naast deze twee grote onderzoeken zijn er een aantal weliswaar kleinere, maar wel recentere onderzoeken te melden. Ze stammen uit België, Nederland, Duitsland, Zweden, Polen en Engeland. We zullen ze hierna kort bespreken.

De Belgische studie betreft de evaluatie van besparingsmaatregelen op de autosnelwegen: bij een deel van de autosnelwegen werd tussen 00.30 uur en 05.00 uur de verlichting (verkeer en weer dienende) uitgeschakeld; bij een aantal andere 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 voor en na de veranderingen; vergeleken werd daarbij de veranderingen op de "behandelde" wegen met de veranderingen op de "onbehandelde" wegen.

Het resultaat is gegeven in Tabel 1 (naar De Clercq, 1985a en b; zie ook De Ries, 1987). Het negatieve gevolg van de besparingsmaatregelen op de veiligheid is duidelijk. 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/nacht-patroon van het verkeer. Ook is geen rekening gehouden met het feit dat de "behandelde" wegen om een bepaalde reden werden gekozen voor de "behandeling": men moet rekening houden met interacties. Omdat het materiaal uit België recent is en een gedetailleerde analyse mogelijk maakt, wordt een dergelijke verdergaande analyse overwogen en wel in een Belgisch-Nederlandse samenwerking.

De Nederlandse studies omvatten onder meer twee kleine onderzoeken, die beiden eerder als "pilot-studie" moeten worden beschouwd. Feitelijk hadden ze ook deze functie: ze vormen een onderdeel van de voorbereidingen voor een meer uitgebreid onderzoek.

De eerste betreft een studie in Dordrecht (Martens, 1985; Schreuder, 1985a). In Dordrecht is de avond/nacht-schakeling afgeschaft. Met ingang van eind september 1982 is de straatverlichting alleen op het "oude" nachtniveau gebruikt: het avondniveau werd niet meer gebruikt. Dit gaf de mogelijkheid een voor- en nastudie uit te voeren waarbij het quotiënt tussen de ongevallen in de avond- en nachtperioden voor en na de invoering van de maatregel werd vergeleken, en waarbij de niet "behandelde" straten als controle dienden. In Afbeelding 2 zijn de resultaten samengevat. De suggestie wordt gegeven dat een halvering van het lichtniveau pas merkbare negatieve effecten heeft bij een uitgangsniveau onder 5 lux; met andere woorden, het lijkt niet effectief het lichtniveau veel hoger dan 5 lux te maken. Er zij op gewezen dat deze tendens (want meer is het niet) gevonden is voor woonstraten met enige, maar geen grote, verkeersfunctie: immers, de aanpassing van het lichtniveau in de avond is bij verkeerswegen noch bij zuivere woonstraten doorgevoerd. Opvallend is overigens dat bij dit onderzoek is gevonden dat in vrijwel alle gevallen



de nacht/dag-verhouding van de ongevallen afnam; hetzelfde is ook in een van de door Pfundt besproken studies in Duitsland gevonden (zie verderop). Over de oorzaak van dit opvallende verschijnsel, dat blijkbaar vaker wordt gevonden en dat de interpretatie van voor- en nastudies over verlichting kan bemoeilijken, is niets bekend.

De tweede betreft een studie in Barendrecht (Schreuder, 1987). In Barendrecht zijn voor alle straten de relevante gegevens voor verkeer, verlichting en ongevallen verzameld, zij het op een zeer eenvoudige wijze. Dat was overigens nu net het "pilot"-karakter van deze studie: het ging daarbij om de vraag of het mogelijk is om op eenvoudige wijze gegevens te verzamelen die kunnen leiden tot bruikbare resultaten. De resultaten zelf zijn weergegeven in Afbeelding 3. De resultaten geven de suggestie dat voor wegen met een gemengde functie het quotiënt van de ongevallen bij duisternis en bij daglicht afneemt met toenemend lichtniveau: meer licht maakt de straat veiliger. Een dergelijke relatie kon voor de woonstraten niet worden gevonden omdat de woonstraten in Barendrecht wat betreft het lichtniveau nauwelijks verschillen vertonen. Wel is de verhouding tussen nacht- en dagongevallen in woonstraten duidelijk lager dan in wegen met een gemengde functie. Het is voorbarig om op grond van deze summiere resultaten te proberen hiervoor een verklaring te vinden. De oorzaak voor dit verschil kan immers evenzeer liggen in verschillen in het verkeersaanbod, of in het verkeersgedrag als in verschillen in de effectiviteit van de verlichting.

Een derde Nederlandse studie betreft een aantal kruispunten in de provincie Gelderland (Van Laarhoven, 1984). De studie omvatte 139 gelijkvloerse kruisingen. Wanneer men de dagongevallen en de duisternisongevallen ieder apart bekijkt, kunnen er geen zinnige resultaten worden afgeleid: het bleek dat naar mate er meer verlichting er was, de dagongevallen des te vaker voorkomen. Echter, men kan vermoeden dat dit effect vooral te maken heeft met de door de wegbeheerder gemaakte keuze, welke kruisingen voor verlichting van een bepaald niveau in aanmerking kwamen. Volgens de auteur is dit waarschijnlijk een zaak van verkeersbelasting. Maar het relateren van de duisternisongevallen aan de dagongevallen blijkt wel tot bruikbare resultaten te leiden. Gevonden wordt dat de verlichting van de hoofdweg tot een statistisch significante daling van de duisternisongevallen leidt; de verlichting op de zijweg blijkt geen invloed te hebben. Bij het onderzoek is het lichtniveau mede in de beschouwing betrokken,

maar de invloed ervan bleek bij de onderzochte kruispunten gering te zijn. Dit bleek anders te zijn voor de lengte van het verlichte weggedeelte. Er is gevonden dat het verlichten van het kruispunt zelf en van een kort weggedeelte erom heen de relatief de grootste bijdrage levert tot de veiligheid.

Deze conclusies zijn ten aanzien van de in het onderhavige rapport te stellen vraag niet geheel bevredigend. Overwogen wordt om de gegevens uit Gelderland aan een aanvullende analyse, waarbij speciaal op de invloed van het lichtniveau wordt gelet, te onderwerpen.

Interessant is de in Drenthe uitgevoerde studie. Hier zijn op een 1,3 km lang gedeelte van de provinciale planweg T8 in vijf jaar 13 letselgevallen geconstateerd; 5 bij daglicht en 8 bij duisternis. Op grond van deze relatie (meer dan tweemaal het landelijk gemiddelde) is de aanleg van openbare verlichting geadviseerd. De studie is vooral belangrijk omdat een gedetailleerde kosten/baten-berekening is uitgevoerd (Anon, 1982).

Tenslotte kan een onderzoek in Nederland worden vermeld dat momenteel in gang is. Het gaat om een in opdracht van de Rijkswaterstaat uitgevoerde ongevallenstudie op een aanzienlijk deel van het Nederlandse autosnelwegennet. Resultaten zijn nog niet beschikbaar. Een interimrapport over de relatie tussen het lichtniveau, de verkeersintensiteit en de verkeersongevallen zijn in concept gereed (Boender & Van den Brink, 1987).

Uit Duitsland zijn een aantal recente onderzoeken te melden. De gegevens zoals ze hier zijn gepresenteerd zijn ontleend aan een overzichtsartikel van het HUK-Verband (Pfundt, 1986). Het bleek niet mogelijk te zijn over de originele studies te kunnen beschikken.

De eerste studie die we vermelden 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. De ongevallenkosten zijn uit te drukken in een relatieve schaal, zodat het niet erg is dat niet precies kan worden aangegeven wat nu eigenlijk de kosten zijn van een ongeval (Flury, 1984; Schreuder, 1987a). Het lichtniveau wordt uitgedrukt in de geïnstalleerde lichtstroom per eenheid van weglengte (lmh/km). De resultaten zijn gegeven in Afbeelding 4. Het blijkt dat er wel een zekere relatie is tussen de twee variabelen; de relatie is echter

zwak en wordt overheerst door de spreiding in de gegevens. Onbekend is of deze spreiding verkleind zou kunnen worden als aanvullende gegevens gebruikt zouden worden, zoals gegevens over het verkeer, de relatieve ongevallenernst, de effectiviteit van de wegverlichting enz.

De tweede Duitse studie betreft een traject autosnelweg A430 waar de OV eerst werd gehalveerd en vervolgens gedoofd. Het resultaat, weergegeven in Afbeelding 5, is onduidelijk. Wanneer men (de kosten van) de dag- en nachtongevallen in de voorperiode vergelijkt met die in de twee onderzoekperiodes (gehalveerd en gedoofd) dan blijkt dat de nacht/dag-verhouding 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 Duitse studie betreft eveneens een traject autosnelweg van 14,4 km lengte van de B10 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 gegeven kan worden. Wel is het opvallend dat, in tegenstelling tot de meeste andere studies, deze twee studies over autosnelwegen in Duitsland geen positief effect van de OV te zien geven. Pfundt (op cit.) concludeert hieruit dat men voor- en nastudies voor verlichtingsonderzoek niet moet gebruiken. Dat moge een wijze raad zijn, bevredigend is dit zeker niet. Een nader onderzoek over deze materie is dan ook te overwegen.

Uit de studie op de B10 zijn gegevens afgeleid over de relatie tussen het verkeersaanbod en de ongevallen voor de dag- en nachtsituatie, de laatste voor verlichte en onverlichte weg. De resultaten zijn gegeven in Afbeelding 6. Vergelijking van de drie krommen laat een paar interessante - zij het voorlopige - conclusies toe. In tegenstelling tot de dagsituatie en de onverlichte weg, geeft de weg met OV een geleidelijke daling van het risico te zien. Voor de dag en de onverlichte weg is echter een duidelijk (secundair) maximum in het risico te constateren voor ca. 3000 vtg per uur per richting. Bij licht verkeer is het risico bij nacht op verlichte en niet-verlichte wegen ongeveer gelijk; bij middelmatig verkeer (ca. 1500 vtg per uur per richting) is het risico op de verlichte weg duidelijk hoger dan op de onverlichte weg, maar bij druk verkeer, waar de on-

verlichte weg en de dagtoestand beide een (secundair) maximum vertonen, is de verlichte weg duidelijk veiliger. Zonder nadere gegevens over de snelheid en over de volgafstanden kan geen definitieve uitspraak worden gedaan. Er zal worden nagegaan of deze nadere gegevens te verkrijgen zijn.

Tenslotte vermeldt Pfundt nog een studie over 5 steden in Nordrhein-Westfalen waar een avond/nachtregime is ingevoerd; tussen ongeveer 22.00 uur tot 06.00 uur werd de verlichting (ongeveer) gehalveerd. In drie van de vijf steden nam het nacht/dagquotiënt af, in één bleef het gelijk, en in één nam het toe. In 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 de hierboven genoemde studie in Dordrecht. Het resultaat was ook analoog; in vergelijking tot de straten waar de verlichting niet was verminderd, namen de ongevallen toe met 21% en de kosten ervan met 42% op straten waar de verlichting is verminderd; zie Afbeelding 7.

Een andere Duitse studie beschrijft een analoog onderzoek voor autosnelwegen (Lamm et al., 1985). De studie begint met een overzicht van de literatuur. Het overzicht levert niet veel nieuws. Naast een aantal studies waarbij een positieve invloed van de verlichting is geconstateerd, zijn ook enige studies geciteerd waarbij een dergelijk positieve invloed niet is gevonden (Yates & Beatty, 1970; Tamburrik & Johnson, 1965). Omdat het antwoord niet ondubbelzinnig was, is een onderzoek uitgevoerd. De ongevallen van 1972 tot 1981 op een 5,6 km lang traject van de A 648/A 66 van 1972 tot 1981 zijn geanalyseerd. Sectie I van 1,9 km lengte en Sectie II van 3,7 km lengte waren sinds december 1973 verlicht. Het lichtniveau is niet aangegeven. Sectie III van 2,3 km lengte diende als controle. De metingen besloegen 9 jaar. Het eerste jaar was de voorperiode: alle secties onverlicht. Gedurende de tweede periode (van 5 jaar) werden de Secties I en II gedurende de hele nacht verlicht. In de derde periode (3 jaar) werd de verlichting op Sectie I en II na 22.00 uur gedoofd. In Sectie II bleef de verlichting echter branden wanneer dat nodig was.

De resultaten, uitgedrukt in ongevallenquotiënten, zijn weergegeven in Tabel 2. De conclusie is getrokken dat in het onderhavige geval een - zij het niet statistisch significante - invloed van de openbare verlichting werd geconstateerd. Duidelijk is gesteld dat het positieve effect teniet wordt gedaan door tussen 22.00 en 5.30 uur het licht weer te doven. Avond/nachtschakelingen zijn dus af te raden.

Uit een Zweedse studie volgt de suggestie dat noch verhoging noch verla-  
ging van het lichtniveau in woongebieden invloed heeft op de veiligheid  
(Anon, 1987). Deze gegevens zijn ontleend aan een overzicht van de stu-  
die, waarbij details niet zijn vermeld. Het overzicht begint met een op-  
vallende uitspraak: "A survey of the .... literature .. shows that the  
reductions (of street lighting) have generally led to accident increases  
of only a few per cent at the most". Het overzicht geeft aan dat dit re-  
sultaat indirect bevestigd is door ervaring uit Gothenburg waar een ver-  
betering van de verlichting niet tot een verbetering van de veiligheid  
leidde. Een vergelijking tussen de woongebieden van Norrköping en  
Linköping leverde op dat de aanzienlijke vermindering van de verlichting  
bij nacht in Norrköping niet tot extra verkeersveiligheidsproblemen leid-  
de. Zonder nadere gegevens is het onmogelijk deze uitspraken te waarde-  
ren. Misschien betekent het alleen maar dat men in Zweden de toename van  
het aantal ongevallen met "slechts" een paar procent geen probleem vindt!  
(zie ook Thygesen & Thanning, 1981).

Uit Polen is het resultaat van een besparingsmaatregel voor de openbare  
verlichting gerapporteerd. Het ging daarbij over een reductie van 20% van  
de elektrische energie van straatverlichting. In Warschau bleek dit te  
leiden tot een relatieve toename van 30% van de nachtelijke ongevallen.  
De kosten van deze "extra" ongevallen bedroegen het zesvoudige van de  
kosten van de bespaarde energie (Peczynska, 1982).

Tenslotte een Engelse studie die nog niet is afgesloten. Het gaat om een  
op grote schaal uitgevoerde verandering van de verlichting in de City of  
London, waarbij vele oude lampen zijn vervangen door moderne lichtbron-  
nen, vooral door SON. De verandering heeft uiteraard vaak geleid tot een  
verandering in het lichtniveau; de meeste veranderingen zijn echter niet  
groot. De eventuele veranderingen in de ongevallen worden bewaakt. Het  
onderzoek is nog niet afgesloten, zodat definitieve gegevens nog niet  
verschaft zijn.

Over de in dit hoofdstuk besproken studies is nog het volgende op te mer-  
ken:

Ten eerste zijn er natuurlijk veel en veel meer plaatsen waar de verlich-  
ting is veranderd, hetzij om redenen van kosten- of energiebesparing, of  
gewoon omdat de verlichting aan vervanging toe was. Echter, in slechts  
enkele gevallen zijn de eventuele veranderingen in ongevallen, die met de

veranderingen in de verlichting gepaard gaan, onderzocht. Een overzicht van deze studie is neergelegd in de door het Bureau INDIS parallel met het opstellen van het onderhavige literatuuroverzicht uitgevoerd onderzoek (INDIS, 1987). We komen hierop nog terug bij de bespreking van het voorstel tot verder onderzoek,

Ten tweede blijkt dat de conclusies van het eerdere rapport (Schreuder, 1983) vrijwel volledig kunnen worden bevestigd. Deze waren:

- o Er is sprake van een duidelijke reductie van het aantal letselongevallen wanneer wegen met slechte of afwezige openbare verlichting worden vergeleken met wegen met goede verlichting. Bij urbane wegen met een belangrijke verkeersfunctie mag men rekenen op een reductie van ca. 30% in het aantal nachtelijke letselongevallen. Voor sommige andere wegtypen zijn vergelijkbare getallen gevonden.
- o In het algemeen neemt het aantal (en ook vaak de ernst) van de ongevallen af bij toenemend lichtniveau (meestal uitgedrukt in toenemende wegdek-luminantie).

De vragen die in dat rapport nog open stonden, zijn echter nog steeds niet definitief te beantwoorden. Deze zijn:

- Welke wegen en straten komen voor de installatie van openbare verlichting in aanmerking?
- Met welke afname mag worden gerekend bij andere wegtypen? Meer in het bijzonder bij woonstraten?
- Is er een bovengrens aan te geven voor het gebied waar een toename van het luminantieniveau gepaard gaat met een afname in de ongevallen?

Deze vragen dienen door nader onderzoek te worden beantwoord. Op dit onderzoek komen we verderop terug.

Ook is in het bedoelde rapport aangegeven dat er nog aanzienlijke lacunes in de kennis bestaan over de meer fundamentele verschijnselen die de samenhang tussen verlichting en onveiligheid kunnen beschrijven. Tevens is daar globaal vermeldt hoe een dergelijk onderzoek zou kunnen worden opgezet. Dergelijk onderzoek wordt momenteel uitgevoerd. We zullen hier niet verder op deze materie ingaan.

Ten derde dient een merkwaardigheid te worden vermeld. Bij de meeste van de meer recente, hierboven geciteerde onderzoeken is geconstateerd dat de effectiviteit van de verlichting afnam bij afnemend lichtniveau, wanneer dit tenminste op een directe wijze kon worden bepaald. Wanneer ech-

ter bij voor- en nastudies de nacht/dag-verhouding van de ongevallen werd gebruikt, werd vaak iets anders gevonden: de aantallen nachtongevallen bleken in de naperiode vaak lager te zijn dan in de voorperiode, ongeacht de veranderingen van de verlichting. Dit verschijnsel is nog niet opgelost. Daarvoor dienen vergelijkingen op landelijke en/of regionale schaal - en dan zowel binnen als buiten de bebouwde kom - van de ongevallen bij dag en bij nacht te worden gemaakt. Momenteel worden de gegevens voor een dergelijke vergelijking verzameld, zodat een uitspraak nog niet kan worden gedaan.

## 5. DE RELATIE TUSSEN VERLICHTING EN ANDERE PARAMETERS

Hiervoor is gesteld dat openbare verlichting vier functies heeft, en wel het waarborgen (resp. verhogen) van:

- de verkeersafwikkeling (zowel voor gemotoriseerd verkeer als voor langzaam verkeer);
- de verkeersveiligheid;
- de burgerlijke veiligheid (de misdaadpreventie);
- het gevoel van veiligheid.

Men mag verwachten dat er in alle vier gevallen een relatie bestaat tussen de kwaliteit of de kwantiteit van de openbare verlichting en de mate waaraan aan deze functies kan worden voldaan. In de eerdere studie (Schreuder, 1983) is alleen aan de tweede - de verkeersveiligheid - aandacht besteed; hetgeen daar is gevonden is in het voorafgaande kort samengevat en aangevuld met de meer recente gegevens.

### 5.1. De verkeersafwikkeling voor gemotoriseerd verkeer

Bij de bespreking van de relatie tussen de verkeersafwikkeling en de verlichting is het handig om een opklimmende reeks te maken van situaties waarbij door openbare verlichting de waarnemingsmogelijkheden toenemen: eerst geen openbare verlichting, en daarna openbare verlichting met verschillend niveau van kwaliteit of kwantiteit - korthedshalve aangeduid met opklimmend lichtniveau.

Het is bekend dat bij toenemend lichtniveau het gemak van waarnemen toeneemt (De Boer (ed.), 1967); te verwachten is dat ook het gemak van het aan het verkeer deelnemen (als autobestuurder of op andere wijze) toeneemt. Hierover zijn geen rechtstreekse onderzoeken bekend. Wel zijn er aanwijzingen dat in vele gevallen de snelheid van het gemotoriseerde verkeer toeneemt. Men drukt dit wel uit dat de bestuurders kennelijk zoeken naar een compensatie, waarbij gepoogd wordt het niveau van de prikkeling (of zelfs het niveau van het risico om bij ongevallen betrokken te raken) gelijk te houden (Veling, 1985; Janssen, 1986). Een toename van de rijsnelheid leidt echter niet steeds tot een toename van de maximale mogelijkheid om verkeer te verwerken: de (maximale) capaciteit van wegvakken blijkt te liggen bij een situatie waarbij de rijsnelheid ca. 70 km/uur is (Anon, 1985). Zowel bij hogere als bij lagere snelheid is de



"throughput" lager dan de capaciteit. Zo gezien mag men nauwelijks verwachten dat er vooral voor autosnelwegen de verkeersafwikkeling bevorderd wordt door een toename van het lichtniveau. Over een eventuele invloed van het lichtniveau op de ligging van het maximum zelf is niets bekend.

Een ander aspect is de verdeling van het verkeer over elementen van een verkeersnetwerk. Het is denkbaar dat als er twee (of meer) alternatieven wat betreft de route zijn om dezelfde bestemming te bereiken, bij voorkeur dat alternatief zal worden gekozen waarbij de inspanning minimaal is, of het rijgemak maximaal. Goed verlichte wegen zouden dus verkeer kunnen aantrekken. Er zijn echter geen onderzoekingen bekend waarvan de resultaten dit vermoeden bevestigen of ontkennen. Kortom, een relatie tussen verkeersafwikkeling en verlichting is denkbaar; het is echter niet te zeggen of deze relatie in feite bestaat, noch in welke "richting" de relatie werkt.

Bij deze onzekerheid moet mede worden bedacht dat motorvoertuigen bij duisternis steeds hun eigen verlichting voeren. Deze voertuigverlichting interfereert met de openbare verlichting. Men kan niet steeds voorspellen onder welke omstandigheden deze interferentie de waarneembaarheid zal verhogen en wanneer de waarneembaarheid verlaagd wordt. Wel is bekend dat onder sommige omstandigheden de interferentie aanzienlijk is, bijvoorbeeld bij het detecteren van retroreflectoren.

## 5.2. De verkeersafwikkeling voor langzaam verkeer

Deze wordt hier gebruikt om het gemak waarmee fietsers en voetgangers zich op straat kunnen voortbewegen, te beschrijven.

Wat betreft de fietsers is er weinig onderzoek beschikbaar. Gezien het feit dat Nederland bij uitstek als een fietsland beschouwd kan worden, behoeft het geen verwondering te wekken dat het weinige onderzoek op dit gebied in Nederland is uitgevoerd. Men mag zich hoogstens verbazen over het feit dat er niet veel meer onderzoek is uitgevoerd; wellicht heeft dit te maken met de lage "status" van de fiets als vervoermiddel (Schreuder, 1985b).

Uit een serie experimenten uitgevoerd onder de auspiciën van de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde NSvV komt naar voren dat voor het duidelijk kunnen waarnemen van kleine obstakels op het pad voor de fiet-

ser, het niveau van de openbare verlichting op de donkerste plaatsen tenminste ca.  $0.2 \text{ cd/m}^2$  moet bedragen (Anon, 1983.). De mastafstand moet in het algemeen niet meer dan 30 m bedragen. Voor zover het om het volgen van het pad gaat, is een aanzienlijk grotere mastafstand toelaatbaar. Bij proeven uitgevoerd door de Rijkswaterstaat op fietspaden buiten de bebouwde kom bleek dat een mastafstand van 60 m bij een gemiddeld niveau van tenminste 2 lux voldoende was (Anon, 1983a).

De voorzieningen ten behoeve van voetgangers zijn op bredere schaal onderzocht. Het meeste onderzoek betrof echter niet alleen de "afwikkeling" van het voetgangersverkeer, maar ook het gemak van waarnemen, de preventie en de bestrijding van de criminaliteit, en het waarborgen van een zeker gevoel van veiligheid voor de voetgangers. We zullen dit onderzoek bij dit laatste punt behandelen; zie par. 5.4.

Naast het specifieke onderzoek voor voetgangers op straat kan worden verwezen naar een analoog gebied: de noodverlichting nodig op ontruimingsroutes in gebouwen. Wat betreft de eisen aan de waarneembaarheid zijn de twee gevallen analoog. Veiligheidsvoorschriften geven minimale eisen, meestal uitgedrukt in het minimum van de horizontale verlichtingssterkte op de ontruimingsroute zelf. Uit onderzoek blijkt dat met ca. 0,5 lux grote objecten als meubelstukken en dozen kunnen worden ontweken; voor kleinere objecten is meer licht nodig (Simmons, 1975). In Nederland geldt dat op dergelijke routes de noodverlichting tenminste 1 lux moet verschaffen (NNI, 1971). In Engeland zijn de voorgeschreven waarden lager (ca. 0,2 lux) (BSI, 1975; Webber, 1987); in de USA hoger (ca. 5 lux) (Clark & Clark, 1978). Ook de Commission Internationale de l'Eclairage CIE heeft aanbevelingen op dit gebied in voorbereiding. Deze lijken meer op de Amerikaanse normen dan op de Engelse. Schreuder (1979) heeft hieruit een aanbeveling voor woonerven afgeleid, inhoudende dat de horizontale verlichtingssterkte niet lager moet zijn dan 1 lux.

### 5.3. De burgerlijke veiligheid

Zoals reeds in de Inleiding 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 ver-

lichting 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 slechts weinig onderzoek heeft plaatsgevonden aangaande de relatie tussen verlichting en criminaliteit. Het enige op behoorlijke schaal uitgevoerd onderzoek stamt uit de USA (Tien, 1979). 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. Voorbeelden daarvan zijn de studies van Murray (1960); Callender (1962); Hoover (1963, 1970); Berla (1965); Jones (1970) en Bennet (1976). 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" (Tien, 1979, blz. 30).

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 (Anon, 1987f; zie ook Nohlmans, 1987 en Anon, 1986c).

Een studie die veel aandacht heeft getrokken is gepubliceerd door Marinier (1983). In een Franse stad (Lyon) is nagegaan hoeveel misdrijven

er zijn gepleegd in straten die een verschillend lichtniveau hebben; zie Tabel 3. 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 wegooppervlak. Veelal neemt men aan dat het minimum daarvoor een betere maat is. Eenstemmigheid hierover bestaat echter nog niet (Simons et al., 1987; 1988).

Ook in Nederland is op dit terrein weinig gepubliceerd. Genoemd kunnen worden Aelen & Van Oortmerssen (1984) en Maas (1986). De tweede publicatie is voor een belangrijk gedeelte op de eerste gebaseerd. Beide publicaties geven een overzicht van de beschikbare internationale literatuur tot ca. 1983, alsmede het resultaat van enige ervaringen in Nederland. De studies geven aan dat er kan worden gesproken van een duidelijke relatie tussen de misdaadpreventie en de kwaliteit van de verlichting. De verdeling van het licht - het vermijden van donkere plekken - speelt naast het lichtniveau een belangrijke rol. Kwantitatieve gegevens zijn echter schaars. De studie van Aelen & Van Oortmerssen (1984) geeft bovendien enige ervaringen opgedaan in Den Haag. Samengevat komt het resultaat neer op een verhoging van de criminaliteit bij afnemende verlichting en omgekeerd. Een halvering van de verlichting leidde tot een toename van ca. 20% tot meer dan 100% van de criminaliteit van verschillende soort (Anon, 1976), terwijl een verhoging van het lichtniveau leidde tot reducties van 40 à 90% (Le Vere, 1977; Fischer, 1978). Ook de studie van Tien (1979) is aangehaald. Zie ook Van Oortmerssen (1987).

Er zijn nog enige studies te melden om de relatie tussen criminaliteit en verlichting. Roëll (1984) vermeldt dat het eerste criterium van een inbreker de mogelijkheid is om het betreffende gebouw ongezien binnen te komen. Dit is onderschreven door Anon (1983b). Een overzicht van de bedoelde relatie is gegeven door Austin (1976). Daarbij worden weer de meeste reeds genoemde onderzoeken aangehaald.

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 (Anon, 1986b). 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 (Bullen, 1987; Fleming, 1987; Marinier, 1985; Birch, 1986). Zo is op het in juni van dit jaar gehouden 21ste congres van de CIE onderzoek op dit terrein besproken. Omdat dit onderzoek bijna steeds, naast de bestrijding van de criminaliteit, het verhogen van het gevoel van veiligheid betrof, zullen we de resultaten in de volgende paragraaf bespreken.

#### 5.4. Het gevoel van veiligheid

Het is, zoals gezegd, pas recent dat er aandacht wordt besteed aan de functie die openbare verlichting kan hebben bij het waarborgen van een gevoel van veiligheid. Op zich is dat wel merkwaardig, omdat reeds lang bekend is dat het lastig vallen van mensen - vooral van vrouwen en meisjes - vooral op slecht verlichte plaatsen gebeurde. Zo valt het op dat bij het omvangrijke belevingsonderzoek dat voor de evaluatie van de herindelingsprojecten van woongebieden in Rijswijk en Eindhoven heeft plaatsgevonden, de verlichting - en zelfs de gehele nachtsituatie - buiten beschouwing gebleven (Kraay, 1984; Janssen & Kraay, 1984). Ook in het onderwijs blijkt dit het geval te zijn: in twee cursussen van het post-academische onderwijs over de bebouwde omgeving blijft het gevoel van veiligheid onbesproken (PATO, 1985, 1985a). En hetzelfde blijkt uit allerlei academische studies over criminaliteit en de relatie ervan tot sociale en stedenbouwkundige factoren (Buikhuizen & Van der Plas, 1986; Franke, 1987; Hoefnagels, 1987). Zoals gezegd, heeft de publikatie van het rapport van de Commissie Roethof over de zgn. kleine criminaliteit een belangrijke bijdrage geleverd tot het betrekken van de sterke toename van met name de seksuele, misdrijven, naast de behoefte tot besparing van

kosten en energie bij de besluitvorming over de openbare verlichting (Anon, 1986, 1987a, 1987d; Van Oortmerssen, 1987). Een belangrijke rol heeft het congres "Buiten gewoon veilig" gespeeld (Anon, 1987c). Het congresboek gaat in detail in op vele onderdelen van de ruimtelijke ordening en de stedenbouwkundige ontwikkelingen, daarbij wordt de verlichting vaak als belangrijk hulpmiddel genoemd (Hajonides et al., 1987). Deze activiteiten hebben geleid tot het instellen van een prijsvraag ten dienste van gemeenten (Anon, 1987e). Zie ook Anon (1984, 1986a).

Onderzoek was echter reeds op verschillende plaatsen uitgevoerd. Genoemd kan worden een studie over de eisen te stellen aan de verlichting van woonerven (Schreuder, 1979) en het onderzoek over de herkenbaarheid van mensen in voetgangersgebieden (Caminada & Van Bommel, 1980). Uit de eerste kwam naar voren dat het lichtniveau op de donkerste plaats op de weg van meer belang was dan het gemiddelde. De laatste studies zijn van belang omdat daar werd aangetoond dat de horizontale verlichtingssterkte een onvoldoende maat is voor het lichtniveau; de verticale verlichtingssterkte is al wat beter, maar de enige maat die behoorlijk blijkt te correleren met de visuele impressie is de semi-cylindrische verlichtingssterkte. Tot hetzelfde resultaat leidt onderzoek uit Zuid-Afrika (Yates, 1987). Tijdens het genoemde CIE-congres is een gehele "workshop" aan deze materie gewijd. Duidelijk bleek dat deze maat algemeen gebruikt dient te worden - ook overigens voor de karakterisering van de verlichting van sportvelden e.d. Helaas is er geen verslag over deze "workshop" beschikbaar.

Dit onderzoek heeft zijn neerslag gevonden in de aanbevelingen die momenteel door de CIE worden voorbereid (CIE, 1985). De aanbevelingen geven naast waarden uitgedrukt in de traditionele horizontale verlichtingssterkte ook waarden uitgedrukt in semi-cylindrische verlichtingssterkte. Over de hoogte van de aanbevolen waarden is nog discussie; naar Nederlandse begrippen zijn ze tamelijk hoog. Ook is het nog niet duidelijk op welke wijze een verlichtingsinstallatie moet worden ontworpen wanneer de semi-cylindrische verlichtingssterkte als criterium wordt gebruikt. De gangbare door de industrie geleverde gegevens over de lichtsterkteverdelingen van armaturen zijn daar nog niet op ingesteld.

Op dit congres is onderzoek uit Engeland gepresenteerd dat met dit resultaat in strijd schijnt te zijn (Simons et al., 1987, 1988). De onderzoekers hebben aangegeven dat hun resultaten met de semi-cylindrische verlichtingssterkte niet beter beschreven konden worden dan met de (traditionele en gemakkelijk te meten) horizontale verlichtingssterkte.

Nadere beschouwing leert echter dat dit alleen maar het geval is voor de specifieke verlichting die bij dit onderzoek is gebruikt. Dit onderzoek is vooral van belang omdat daarbij voor het eerst als belangrijkste criterium voor de kwaliteit van de verlichting ten behoeve van voetgangers gekeken is naar het gevoel van veiligheid, naast de mate waarin kleine objecten (zoals scheefliggende stoeptegels) zichtbaar zijn. Het resultaat is dat het lichtniveau op de donkerste plaats op het voetpad tenminste 1 lux moet zijn.

Vermeld kan worden een onderzoek naar de beleving van de verlichting door autobestuurders op (rechte, goed gedimensioneerde, matig drukke) auto-wegen buiten de bebouwde kom. Een groot aantal autobestuurders (ca. 5000) is na het passeren van een verlichtingsinstallatie ondervraagd naar hun mening over de verlichting. De verlichting werd gevarieerd tussen 0,3 en 1,3 cd/m<sup>2</sup>. Het lichtniveau had enige invloed op de beleving, maar wat dit betreft bleek dat ook het laagste onderzochte niveau over het algemeen reeds als bevredigend werd ervaren. Het aantal tegenliggers en de gelijkmatigheid van het luminantiepatroon bleken niet van belang te zijn voor de beleving. Bij regen werd de verlichting als regel hoger gewaardeerd. Deze resultaten doen vermoeden dat bij goed gedimensioneerde, rechte wegvakken de aanwezigheid van verlichting vooral bij slecht weer ten zeerste wordt gewaardeerd, maar dat het niveau van de verlichting (tenminste wanneer het hoger is dan 0,3 cd/m<sup>2</sup>) nauwelijks van invloed is (Van den Brink & Buijn, 1987).

Een vraag apart is de lichtkleur. Hierover bestaat geen eenstemmigheid. Op vele plaatsen heeft men lage-druk natriumlampen (SOX) geïnstalleerd. Naast opgaven dat SOX-verlichting ook door de bewoners als bevredigend wordt beschouwd (Van den Brink & Tan, 1979, 1980), zijn er gevallen waar SOX-verlichting aanleiding heeft gegeven tot protesten (Anon, 1987b). Dit geldt voor Nederland. Iets dergelijks is op internationaal vlak te constateren: in sommige landen (zoals bijvoorbeeld België en Engeland) wordt SOX-verlichting op grote schaal toegepast in woonstraten, terwijl in andere landen SOX wordt geweerd (bijvoorbeeld Denemarken en Hongarije). Een overzicht is gegeven door Schreuder (1986, 1987b).

SOX-verlichting heeft een voordeel boven alle andere lichtbronnen, en dat is de specifieke lichtstroom. SOX-lampen, meer in het bijzonder de grotere typen, hebben een specifieke lichtstroom van 200 lm/Watt of meer, terwijl de andere lampen die voor straatverlichting in aanmerking komen, nauwelijks meer, en meestal aanzienlijk minder, dan 100 lm/Watt leveren. Het nadeel is even evident: SOX-lampen leveren monochromatisch licht, waarbij geen andere kleuren dan geel en zwart kunnen worden onderscheiden. Overigens moet met de mogelijkheid rekening worden gehouden dat ten gevolge van de zgn. Purkinje-verschuiving (de grotere gevoeligheid van het visuele systeem bij blauw licht dan bij rood licht bij lage lichtniveaus) het voordeel van SOX-licht bij lage niveaus (in het mesopische gebied) wel eens voor een deel illusoir zou kunnen blijken te zijn (Halstead, 1987). Dit effect wordt nog versterkt door de invloed van de grootte van het gezichtsveld en de invloed van de frequentie van wisselingen van het gezichtsveld bij de vergelijkende metingen die aan de fotometrie van lichtbronnen verschillende kleur ten grondslag liggen (Bodmann, 1987). Een zeer gedetailleerde studie op dit gebied is in concept gereed en zal waarschijnlijk in 1988 worden gepubliceerd (CIE, 1988a).

Onderzoek op dit gebied is dringend gewenst, mede omdat de discussie hierover gewoonlijk door politieke en door commerciële overwegingen en door emoties wordt gekleurd. Een eerste poging tot onderzoek is in Schiedam in voorbereiding. Hier wordt in een bepaalde stadswijk waar de straatverlichting deels van SOX-lampen en deels van andere lampen is voorzien, de beleving van de verlichting zoals die bij de bewoners bestaat, onderzocht. Het onderzoek is kleinschalig, en zal niet meer dan een "pilot"-karakter kunnen hebben; te verwachten is dat de eventuele resultaten niet generaliseerbaar zijn. Dit onderzoek verdient echter navolging op grotere schaal.

We zullen dit hoofdstuk besluiten met een interessante, recente studie te vermelden waarbij niet een enkel, maar alle criteria tegelijk zijn beschouwd (Dickinson & Palmer, 1988). De studie is vooral van belang wegens de toepassing van een integrale benadering van het ontwerp; de functionele vereisten waarop dit ontwerp is gebaseerd, zijn afgeleid uit een in de praktijk uitgevoerd vooronderzoek. Gekozen is voor de volgende lichttechnische kwaliteitscriteria: gemiddelde wegdeklluminatie  $0,7 \text{ cd/m}^2$ , algemene ongelijkmatigheid 0,3 en verblindingsbegrenzing (toename van de drempelwaarde) 10%. Gekozen is voor SON-lampen. Al met al een verlichtings-systeem van hoog gehalte.



## 6. NADER ONDERZOEK

Uit het voorgaande is gebleken dat er sinds de publikatie van het eerdere SWOV-rapport (Schreuder, 1983) wel vorderingen zijn gemaakt, maar dat nog een aantal vragen op beantwoording wacht. De belangrijkste vragen zijn:

1. Welke relatie bestaat er tussen het niveau van de openbare verlichting en de verkeersveiligheid? En wat is de hoogste waarde waarboven geen verdere afname van de ongevallen verwacht mag worden?
2. Welke wegen en straten komen voor openbare verlichting in aanmerking? Anders gezegd, welke wegen en straten kunnen onverlicht blijven?
3. Welke relatie bestaat er tussen verlichting en verkeersveiligheid in woonstraten?
4. Welke relatie bestaat er tussen de openbare verlichting (aanwezigheid en lichtniveau) en de andere functionele parameters.
  - a. de verkeersafwikkeling voor gemotoriseerd verkeer en voor andere verkeersdeelnemers;
  - b. de voorkoming en bestrijding van criminaliteit, en
  - c. het waarborgen van gevoelens van veiligheid?

Allereerst de verkeersveiligheid (vragen 1 t/m 3). Voor zover het auto-snelwegen en autowegen buiten de bebouwde kom betreft, worden de vragen 1 en 2 bestudeerd in een onderzoek dat in opdracht van de Dienst Verkeerskunde van de Rijkswaterstaat wordt uitgevoerd door het Bureau Goudappel & Coffeng. Het onderzoek heeft de voorbereidende fasen gepasseerd en zal binnenkort beginnen. Voor wegen binnen de bebouwde kom is vooral vraag 1 van belang; voor woonstraten ook vraag 3. Immers, in Nederland zijn vrijwel alle straten binnen de bebouwde kom verlicht. Op dit gebied is er echter nog weinig bekend. Voor stedelijke hoofdwegen kan worden verwezen naar het eerder (in Hoofdstuk 4) geciteerde onderzoek uit Engeland waar een duidelijke relatie tussen het luminantieniveau en het nachtelijk ongevallenrisico is aangetoond; de spreiding is echter tamelijk groot, en een aantal ermee gerelateerde vragen is nog niet beantwoord.

Het vermoeden bestaat dat een andere aanpak, waarbij een veel groter aantal straten (en dus ongevallen) in het onderzoek wordt betrokken, wel een duidelijker resultaat zal kunnen opleveren, ook al moeten de metingen daarbij noodgedwongen aanzienlijk oppervlakkiger zijn. Een eerste "pilot"-onderzoek lijkt bevredigende mogelijkheden aan te duiden. Een

nader (voor)onderzoek op wat grotere schaal lijkt echter nog nodig te zijn om definitief tot de bruikbaarheid van deze methode te kunnen besluiten, meer in het bijzonder wat betreft de omvang die het onderzoek moet hebben, de problemen die men kan ontmoeten bij het verzamelen en interpreteren van de gegevens en de betrouwbaarheid van de gegevens. Ook dient te worden bekeken welke methoden het meest geschikt is voor de analyse van de gegevens. Bij dit nadere (voor)onderzoek kan onderzoek dat door het Bureau INDIS in het kader van het hier besproken onderwerp is uitgevoerd, van belang zijn, vooral wat betreft de selectie van de gemeenten die over gedetailleerde gegevens van verlichting en ongevallen beschikken (INDIS, 1987).

Wanneer deze methode bruikbaar is, kan ze ook voor andere wegtypen - met name voor woonstraten, vraag 3 - worden toegepast.

Wat betreft vraag 4 is er nog slechts weinig bekend. Vraag 4a vereist een aparte aanpak; het is echter de vraag of deze vraag erg relevant is voor het beleid gezien de geringe variaties die in de praktijk in de verkeersafwikkeling kunnen plaatsvinden. Anders is het wat betreft het gemak van waarnemen en het gemak van het deelnemen aan het verkeer; te verwachten is dat dit op een wijze kan worden onderzocht die analoog is aan de wijze waarop de beleving van de verlichting kan worden bestudeerd (vraag 4c). Bij vraag 4b en zeker bij vraag 4c dient de invloed van de lichtkleur mede te worden onderzocht. Naast het hier voorgestelde belevingsonderzoek dienen de theoretische aspecten van de fotometrie in het mesopische gebied te worden onderzocht.

Het lijkt van aanzienlijk belang om meer te weten over vraag 4b. Het is te verwachten dat een methode gebruikt kan worden die analoog is aan de hierboven voor vraag 1 voor wegen binnen de bebouwde kom beschreven methode. Een probleem daarbij is dat misdrijven aanzienlijk minder nauwkeurig worden geregistreerd dan verkeersongevallen, vooral wat betreft de locatie. Ook is de registratie minder centraal. Nagegaan dient te worden of de hier bedoelde methode inderdaad voor vraag 4b kan worden gebruikt.

## 7. AANBEVELINGEN

Op grond van het bovenstaande wordt aanbevolen om een (verder) vooronderzoek te doen uitvoeren waarbij de relatie tussen het niveau van de openbare verlichting enerzijds en de functionele parameters anderzijds - met name de verkeersveiligheid, de misdaadpreventie, het gemak van verkeersdeelname en het waarborgen van het gevoel van veiligheid - worden onderzocht.

Aanbevolen wordt voorts om dit (verdere) vooronderzoek uit te voeren aan de hand van de hierboven daartoe aangegeven methoden.

LITERATUUR

- Aelen, J.D. & Van Oortmerssen, J.G.H. (1984). De effecten van openbare verlichting op criminaliteit; Een literatuurstudie. Interimrapport. Rijksuniversiteit Leiden, 1984.
- Anon (1969). A study of the benefits of suburban highway lighting. Electrical Demonstration Branch, Tennessee Valley Authority, 1969 (cit.: CIE, 1988).
- Anon (1976). Public lighting - the case against cuts. Presented to members of Parliament at the House of Commons. London, 1976 (cit.: Aelen & Van Oortmerssen, 1984).
- Anon (1982). AVOC-experiment openbare verlichting weggedeelte T 8 (Deurze-Rolde). Brief d.d. 11 november 1982 (niet gepubliceerd). Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directie Verkeersveiligheid, 's-Gravenhage, 1982.
- Anon (1983). Fietspadverlichting; Een studie van de Commissie voor Openbare Verlichting van de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde. Elektrotechniek 61 (1983) 233-245.
- Anon (1983a). Enquête van Rijkswaterstaat inzake de verlichting van fietspaden. Appendix bij Anon (1983).
- Anon (1983b). The essentials of security lighting. EC 4131/3.83. The Electrical Council, 1983.
- Anon (1984). Ook oudere mensen hebben recht om op straat te lopen. Mensen op straat 30 (1984) 4 : 6-8.
- Anon (1985). Highway Capacity Manual (3rd edition). TRB Special Report No. 209. Transportation Research Board, Washington, D.C., 1985.
- Anon (1986). De straat is er .... ook voor vrouwen. Stichting Schiedamse Vrouwenemancipatie Organisatie SSV0, Schiedam, 1986.
- Anon (1986a). Ruimtelijke maatregelen kunnen sociale onveiligheid tegengaan. Mensen op straat 32 (1986) 1 : 17-20.
- Anon (1986b). Eindrapport Commissie kleine criminaliteit. Staatsuitgeverij, 's Gravenhage, 1986.
- Anon (1986c). Een veiliger buurt. ANWB, 's Gravenhage, 1986.
- Anon (1987). Traffic safety effects of reducing street lighting. VTI Topics (1987) 2 : 6.
- Anon (1987a). Openbare verlichting doorgelicht. Werkgroep Openbare Verlichting. Gemeente Harderberg, 1987.
- Anon (1987b). Jaarverslag 1986. Bewonersvereniging Schiedam-Zuid (blz. 6). Schiedam, 1987.

- Anon (1987c). Congres "Buiten gewoon veilig" trok ruim 600 deelnemers. Mensen op straat 33 (1987) 1 : 18-19.
- Anon (1987d). Mensen op straat voelen zich steeds onveiliger. Mensen op straat 33 (1987) 3 : 12-13.
- Anon (1987e). Buiten gewoon veilig; Prijs 1987. Juryrapport. Stichting Vrouwen Bouwen & Wonen, Rotterdam, 1987.
- Anon (1987f). Het dimmen van openbare verlichting. Eindrapportage. Demonstratieproject Energiebesparing No. 222. Nutsbedrijven, Eindhoven, 1987.
- Austin, B.R. (1976). Public lighting - the deadly reckoning. Public Lighting 41 (1976) 174 : 67-70.
- Bennet, B.L. (1976). The impact of street lighting on crime and traffic accidents (Part III). Library of Congress, Washington, D.C., 1976.
- Berla, N. (1965). The impact of street lighting on crime and traffic accidents (Part I). Library of Congress, Washington, D.C., 1965.
- Birch, R. (1986). Light for lives. The Lighting Journal 51 (1986) : 141-142.
- Bodmann, H.W. (1987). Visuelle Grundlagen der Lichttechnik. In: NSVV, (1987) blz. 17-25.
- Boender, J.P. & Van den Brink, T.D.J. (1987). Relatie verlichting, verkeersonveiligheid en intensiteit op autosnelwegen. DVK-nota 87-05 (concept). Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage, 1987.
- Borel, P. (1958). Accident prevention and public lighting. Bull. Schweiz. Elektrotechn. Verein 49 (1958) 1 (cit.: CIE, 1988).
- BSI (1975). Emergency lighting of premises. BS 5266 part I. BSI, London, 1975.
- Buikhuizen, W. & Van der Plas, C. (1986). Criminaliteit verklaard? Psychologie 5 (1986): 44-48.
- Bullen, A.A. (1987). Lighting and crime. The Lighting Journal 52 (1987): 231-234.
- Callender, D. (1962). Light, a weapon in war on accidents and crimes. American Motorists, March 1962 (cit.: Tien, 1979).
- Caminada, J.F. & Van Bommel, W.J.M. (1980). New lighting considerations for residential areas. Int. Lighting Rev. 31 (1980) : 69-75.
- Christie, A.W. (1962). An experimental low cost lighting system for rural highways. Light and Lighting 55 (1962) 9 (cit.: CIE, 1988).
- CIE (1960). Street lighting and accidents. Publication No. 8. Commission Internationale de l'Eclairage, Paris, 1960.
- CIE (1977). Measures of road lighting effectiveness. Commission Internationale de l'Eclairage, Karlsruhe, 1977.

- CIE (1977a). Recommendations for the lighting of roads for motorized traffic. Publication No. 12/2. Commission Internationale de l'Eclairage, Paris, 1977.
- CIE (1980). Proceedings 19th Session Kyoto. Publication CIE No. 50. Commission Internationale de l'Eclairage, Paris, 1980.
- CIE (1985). Guide to lighting of urban areas. (Third draft; In preparation). Commission Internationale de l'Eclairage, 1985.
- CIE (1987). Proceedings 21st Session Venice, 17-25 June 1987. Volume I. Commission Internationale de l'Eclairage, 1987.
- CIE (1988). Road lighting as an accident countermeasure. (In preparation). Commission Internationale de l'Eclairage, 1988.
- CIE (1988a). Mesopic photometry: history, special problems, and practical solutions. (In preparation). Commission Internationale de l'Eclairage, 1988.
- Clark, F. & Clark, R. (1978). Emergency: One man's answers. *Lighting Design & Appl.* 8 (1978) 10 : 16-17.
- Cornwell, P.R. (1973). Appraisals of traffic route lighting installations. *Lighting Research & Technol.* 5 (1973) : 10-16.
- De Boer, J.B. (ed.) (1967). *Public lighting*. Eindhoven, Centrex, 1967.
- De Boer, J.B. & Schreuder, D.A. (1966). Limitation de la gêne par les sources lumineuses en éclairage public. *Lux* (1966) 44: 491-500.
- De Clercq, G. (1985). Fifteen years of road lighting in Belgium. *Int. Lighting Rev.* 36 (1985) 1: 2-7.
- De Clercq, G. (1985a). *L'Eclairage des autoroutes*. Lux Europa, Lausanne, 1985.
- Denney, R.C. (1986). *Alcohol and accidents*. Sigma Press, Wilmslow, 1986.
- De Ries, J. (1987). Verkeer en verlichting. In: NSVV (1987) blz. 37-46.
- Dickinson, J. & Palmer, J.R.C. (1988). Achieving "the brighter borough". *The Lighting Journal* 53 (1988) 1: 24-31.
- Fisher, A.J. (1977). Road lighting as an accident countermeasure. In: CIE (1977).
- Fischer, S. (1978). Security lighting. *Int. Lighting Rev.* (1978) 4 (cit.: Aelen & Van Oortsmerssen, 1984).
- Fleming, R. (1987). Lighting design: A major element in the fight against crime. *The Lighting Journal* 52 (1987): 207-208, 213.
- Flury, F.C. (1984). Economische schade ten gevolge van verkeersonveiligheid. R-84-10. SWOV, Leidschendam, 1984.
- Foyster, M.J. & Murchie, D. (1983). The effect of road lighting improvements in Westminster on road accidents (Not published). Westminster City Council, 1983 (cit.: CIE, 1988).

- Foyster, M.J. & Thompson, M. (1985). The effect of road lighting improvements in Westminster on road accidents. Research note 46 (Not published). Westminster City Council, 1985 (cit.: CIE, 1988).
- Franke (1987). Misdaad loont. *Intermediair* 23 (1987) 31: 3-15.
- Gallagher, V.P.; Koth, B.W. & Freedman, M. (1975). The specification of street lighting needs. Report FHWA-RD-76-17. Franklin Institute, Philadelphia, 1975.
- Gallagher, V.P.; Schwab, R. & Janoff, M.S. (1977). Implementing a roadway lighting system based on the visibility level concept. In: CIE (1977).
- Gramza, K.; Hall, J.A. & Sampson, W. (1980). Effectiveness of freeway lighting. Report FHWA-RD-79-74. VS Federal Highway Administration, 1980. (cit.: CIE, 1988).
- Hajonides, T. et al. (1987). Buiten gewoon veilig. Stichting Vrouwen Bouwen & Wonen, Rotterdam, 1987.
- Halstead, M.B. (1987). Is colour important? Lightex Seminar, Blackpool, Oktober 1987.
- Hilton, M.H. (1979). The effectiveness of freeway lighting in reducing accidents. 49th Annual meeting ITE, Toronto, 1979 (cit.: CIE, 1988).
- Hoefnagels, G.P. (1987). Onveiligheid en onveiligheidsgevoelens in mens, straat en stad. *Stedebouw en Volkshuisvesting* 68 (1987) (maart): 91.
- Hoover, J.E. (1963). The lighted way. *General Federal Clubwoman Magazine*, February, 1963. (cit.: Tien, 1979).
- Hoover, J.E. (1970). Out of the darkness. *Street and Highway Lighting* 20 (1970) 4 (cit.: Tien, 1979).
- INDIS (1987). Inrichting van de openbare verlichting in Nederland. Rapport no. 1373. Bureau Indis, Amsterdam, 1987.
- Janssen, S.T.M.C. & Kraay, J.H. (1984). Demonstratieproject Herindeling en herinrichting van stedelijke gebieden. R-84-29. SWOV, Leidschendam, 1984.
- Janssen, W.H. (1986). Modellen van de verkeerstaak; De "state-of-the-art" in 1986. Rapport IZF 1986 C-7. Institute voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg, 1986.
- Jones, C. (1970). The impact of street lighting on crime and traffic accidents (Part II). Library of Congress, Washington, D.C., 1970.
- Kraay, J.H. (1984). Beleving van de verkeersonveiligheid voor en na de invoering van verkeersmaatregelen. R-84-27. SWOV, Leidschendam, 1984.
- Lamm, R.; Kloeckner, J.H. & Choueiri, E.M. (1985). Freeway lighting and traffic safety; A long-term investigation. TRB-1985-17. 64th TRB Annual Meeting. TRB, Washington, D.C., 1985.
- Large, G.S. (1986). Road accidents and lighting. *The Lighting Journal* 51 (1986) : 239-243.

- Lefevre, P. (1962). Effect of lighting on road traffic. *Automobilismo e Automobilismo Industriale*, 1962. (cit.: CIE, 1988).
- Le Vere, C.W. (1977). Street lighting as a crime deterrent. *Lighting Des. Appl.* (1977) Nov.
- Maas, C.J. (1986). De relatie tussen straatverlichting en criminaliteit. *Tijdschrift voor de Politie* 48 (1986) : 438-443.
- Macaulay, N.S. (1986). Road lighting in the United Kingdom. *The Lighting Journal* 51 (1986) : 153-156.
- Marinier, J.C. (1983). Public lighting reduces the level of violence and the number of attacks (In French). *Lux* (1983) 123 (June).
- Marinier, J.C. (1985). Role de l'éclairage public pour la sécurité des personnes contre les agressions. *Lux Europa*, Lausanne, 1985.
- Martens, J.B. (1985). *Verkeersveiligheid en openbare verlichting*. Dordrecht, 1985.
- Murray, D. (1960). How bright lights reduce crime. *Coronet Magazine*, February 1960 (cit.: Tien, 1979).
- NEOM (1987). Verslagen van de tweede en derde NEOM studiedag over energiebesparing openbare verlichting. Eindhoven, 24 november 1987.
- Nishimori, S. (1973). Effects of the installation of lighting on the whole length of the motorway upon nighttime accidents. Japan Highway Public Corporation. Tokyo, 1973 (cit.: CIE, 1988).
- NNI (1971). *Veiligheidsvoorschriften voor laagspanningsinstallaties*. NEN 1010. NNI, Rijswijk, 1971.
- Norrby, H. et al. (1974). The development of traffic in Stockholm during petrol rationing in the first quarter of 1974. Rapport No. 41. Stockholm Gatukontor, Stockholm, 1974 (cit.: CIE, 1988).
- Nohlmans, T. (1987). Motivatie en argumentatie voor de benadering van energiebesparing in het demonstratieproject Eindhoven. In: NEOM (1987).
- NSVV (1958). Aanbevelingen voor openbare verlichting. *Elektrotechniek* 36 (1958) : 455, 597, 620.
- NSVV (1987). 50 jaar NSVV, 50 jaar verlichting. Congres, 30 oktober 1987. Arnhem, 1987.
- OECD (1971). *Lighting, visibility and accidents*. OECD, Paris, 1971.
- PATO (1985). Leergang "Juridische en bestuurlijke aspecten van de bebouwde omgeving". PATO, Delft, 1985.
- PATO (1985a). Leergang "Integrale stadsvernieuwing onder nieuwe randvoorwaarden?" PATO, Delft, 1985.
- Peczynska, A. (1982). Investigations on the influence of switching off the lighting on accidents in Warsaw (Niet gepubliceerd). *Elektrovina*, Maribor, 1982.



- Pfundt, K. (1986). Verkehrssicherheit und Strassenbeleuchtung. Mitteilungen der Beratungsstelle für Schadenverhütung No. 28, S. 30-38. HUK-Verband, Köln, 1986.
- Roëll, A. (1984). Inbraken, wat weten we ervan? Economisch Statistische Berichten 69 (1984) : 1206-1211.
- Sabey, B.E. & Codling, P.J. (1975). Alcohol and road accidents in Great Britain. In: Proc. 6th Int. Conf. Toronto, 1975 (cit.: Denney, 1986).
- Schreuder, D.A. (1967). Theoretical basis of road lighting design. In: De Boer (ed.) 1967. Chapter III.
- Schreuder, D.A. (1979). The lighting of residential yards. Paper P-79-59. In: CIE (1980).
- Schreuder, D.A. (1983). De relatie tussen verkeersongevallen en openbare verlichting. R-83-12. SWOV, Leidschendam, 1983.
- Schreuder, D.A. (1983a). Glare in road lighting. CIE-Journal 2 (1983) 2: 53-57.
- Schreuder, D.A. (1985). Fundamentele overwegingen omtrent visuele en verlichtingskundige aspecten van de verkeersveiligheid. R-85-61. SWOV, Leidschendam, 1985.
- Schreuder, D.A. (1985a). Het effect van vermindering van de openbare verlichting op de verkeersveiligheid. R-85-58. SWOV, Leidschendam, 1985.
- Schreuder, D.A. (1985b). Kwaliteitsverbeteringen aan de verlichting van fietsen. R-85-6. SWOV, Leidschendam, 1985.
- Schreuder, D.A. (1986). Road lighting in Europe. The Lighting Journal 51 (1986) : 144-151.
- Schreuder, D.A. (1987). De relatie tussen lichtniveau en ongevallen; Een pilot-studie (Intern rapport; niet gepubliceerd). SWOV, Leidschendam, 1987.
- Schreuder, D.A. (1987a). Motorvoertuigverlichting overdag. R-88-4. SWOV, Leidschendam, 1988.
- Schreuder, D.A. (1987b). Practice and policy of road lighting in different countries. Paper 401. In: CIE (1987).
- Scott, P.P. (1980). The relationship between road lighting quality and accident frequency. Lab. Report LR 929. TRRL, Crowthorne, 1980.
- Simmons, R.C. (1975). Illuminance, diversity and disability glare in emergency lighting. Lighting Res. Technol. 7 (1975) : 125-132.
- Simons, R.H.; Hargroves, R.A.; Pollard, N.E.; Simpson, M.D. (1987). Lighting criteria for residential roads and areas. Paper 404. In: CIE (1987).
- Simons, R.H.; Hargroves, R.A.; Pollard, N.E.; Simpson, M.D. (1988). Lighting criteria for residential roads and areas. The Lighting Journal 53 (1988) 1 : 35-39.

- Stein, H.S. & Jones, I.S. (1987). Crash involvement of large trucks by configuration: A case-control study. Insurance Institute for Highway Safety, Washington, D.C., 1987.
- SVEN (1982). Besparing op energie en kosten bij openbare verlichting. SVEN, Apeldoorn, 1982.
- Tamburrik, T.N. & Johnson, R.T. (1965). Continuous freeway illumination. California Division of Highways, 1965 (cit. Lamm et al., 1985).
- Tan, T.H. (1975). Road lighting in practice. *Wegen* 47 (1975) : 20-24. (cit.: CIE, 1988).
- Tanner, J.C. (1963). Lighting improvement on urban roads in Great Britain. In: Research on Road Safety. Road Research Laboratory, 1963 (cit.: CIE, 1988).
- Tanner, J.C. & Harris, A.J. (1955). Street lighting and accidents; Some British investigations. CIE, Zurich, 1955 (cit.: CIE, 1988).
- Thygesen, N. & Thanning, A. (1981). An examination of the effects of reduced lighting on traffic accidents. Technical Memorandum Roskilde County Council, 1981 (cit.: CIE, 1988).
- Tien, J.M. (1979). Lighting's impact on crime. *Lighting Des. Appl.* 9 (1979) 12 : 21-30.
- Van Bommel, W.J.M. & De Boer, J.B. (1980). Road lighting. Philips Technical Library. Kluwer, Deventer, 1980.
- Van den Brink, T.D.J. & Tan, T.H. (1979). Openbare verlichting in woongebieden. *Verkeerskunde* 30 (1979) : 425-429.
- Van den Brink, T.D.J. & Tan, T.H. (1980). Openbare verlichting in woongebieden. Rijkswaterstaat, 1980.
- Van den Brink, T.D.J. & Buijn, H.R. (1987). De waardering van de verlichting van enkelbaanswegen buiten de bebouwde kom. *Verkeerskundige Werkdagen*, Deel 3, blz. 859-868. SVT, Driebergen, 1987.
- Van Laarhoven, A.J.M. (1984). De relatie tussen de verkeersveiligheid en openbare verlichting op kruisingen van rurale enkelbaanswegen. Dienst WVG, Provincie Gelderland, Nijmegen, 1984.
- Van Oortmerssen, J.G.H. (1987). De effecten van openbare verlichting op de criminaliteit. In: NEOM (1987).
- Veling, I.H. (1985). Risico en taakuitvoering. Rapport IZF 1985 C-1. Institute voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg, 1985.
- Walthert, R. (1980). Erhöhung der nächtlichen Verkehrssicherheit durch öffentliche Beleuchtung, unter Berücksichtigung von Energie Sparmassnahmen. *Z.f. Verkehrssicherheit* 26 (1980): 178-179.
- Witkowski, W. (1980). *Przegląd Elektrotechniczny*. R.LVi.2.1/80, 1980. (cit.: CIE, 1988).

- Webber, G.M.B. (1987). Way out lighting. The CIBS Journal 9 (1987) 8 : 39-40.
- Wright, P.D. (1984). The standards of street lighting and the effect on road accidents. Journal IPLE 49 (1984) 2.
- Yates, R.S. (1987). Semi cylindrical illuminance: the practical implication for residential streets. Paper 426. In: CIE (1987).
- Yates, J.G. & Beatty, R.L. (1970). Relation between lighting and accident experience between interchanges. Highway Res. Rec. No. 312. HRB, 1970 (cit.: Lamm et al., 1985).

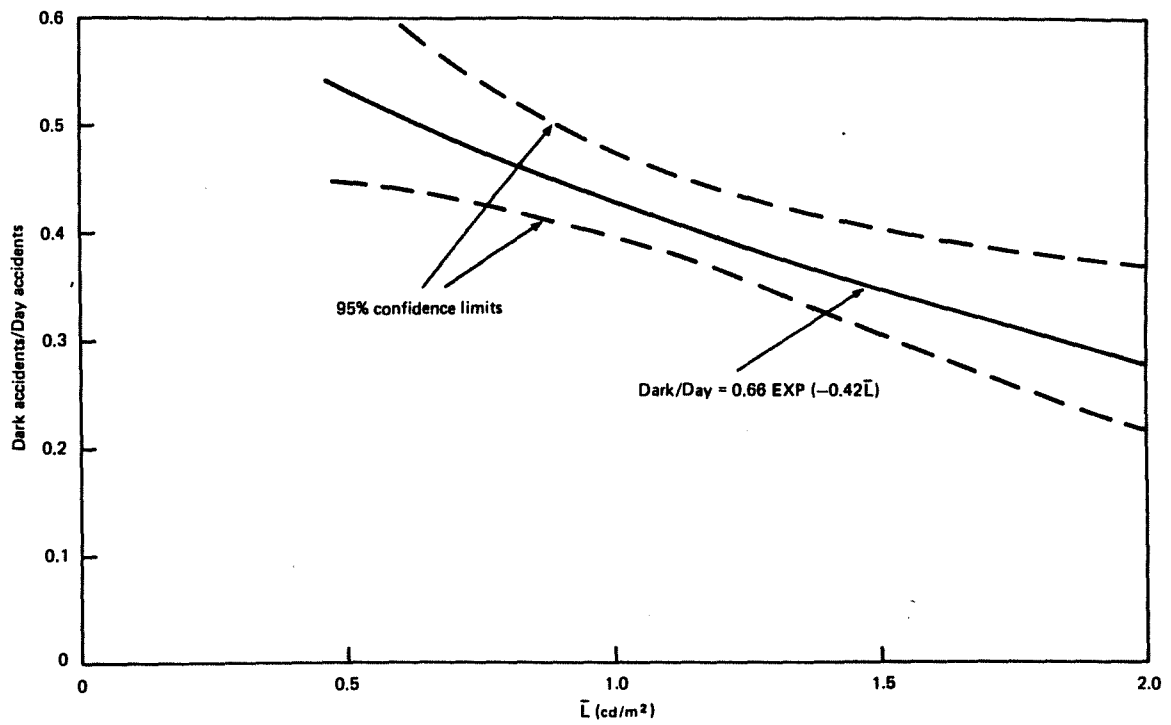
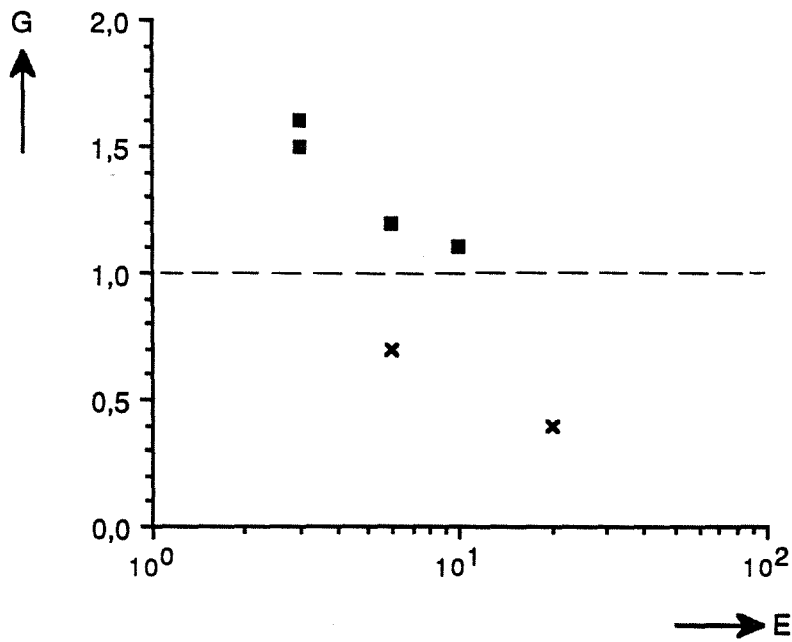
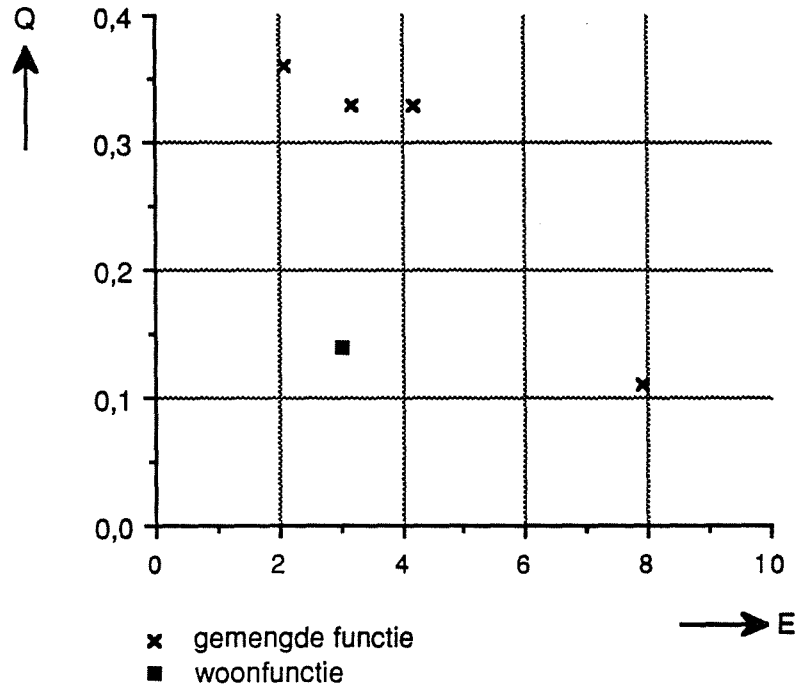


Fig.1 'BEST' FITTED RELATIONSHIP BETWEEN DARK : DAY ACCIDENTS AND  $\bar{L}$

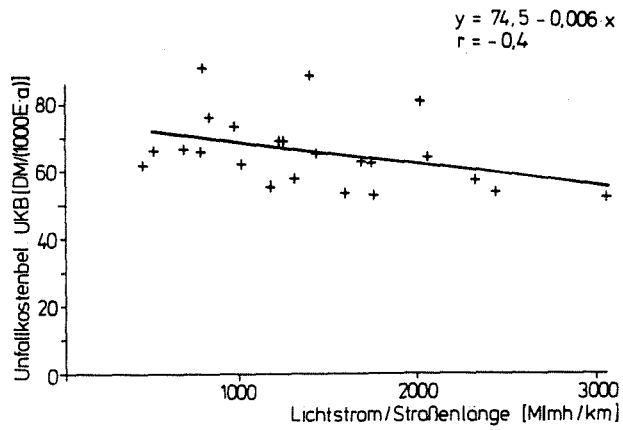
Afbeelding 1. De relatie tussen de nacht/dag-verhouding van ongevallen en het lichtniveau (cd/m<sup>2</sup>). Bron: Scott (1980).



Afbeelding 2. De relatie tussen het effect op de verkeersveiligheid (G) het lichtniveau van de openbare verlichting E (lux) (gebaseerd op gegevens van Martens, 1985). Bron: Schreuder (1985a).

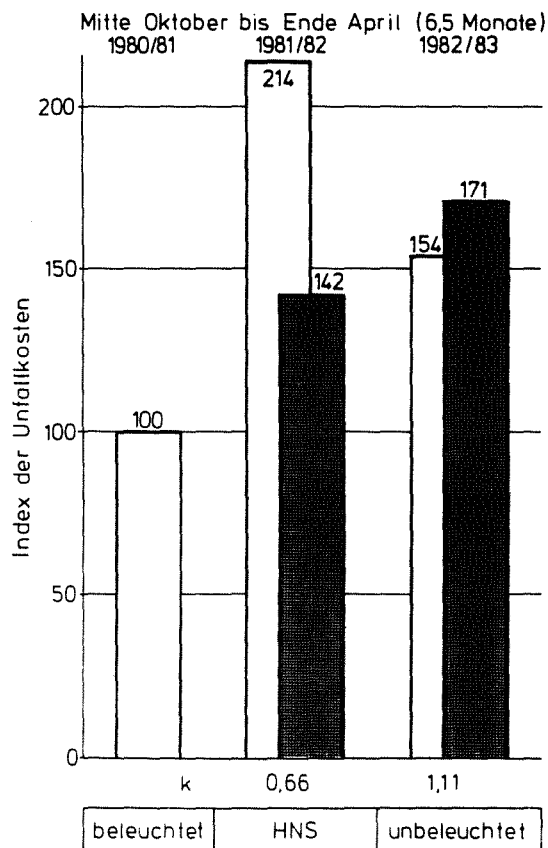


Afbeelding 3. De relatie tussen de nacht/dag-verhouding van ongevallen en het lichtniveau (lux). Bron: Schreuder (1987).



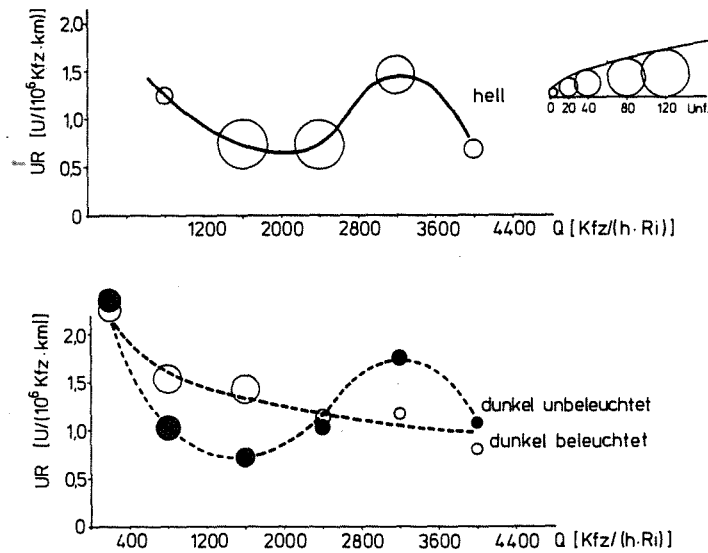
15: Dunkel-Unfälle und Beleuchtungsqualität:  
Ergebnis der Untersuchung in 23 nordrhein-westfälischen Städten unter  
Verwendung der von Scholz [15] mitgeteilten Werte

Afbeelding 4. Bron: Pfundt (1986).



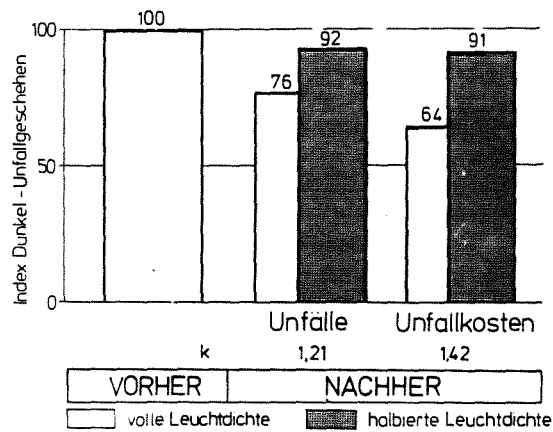
16: Rückschaltung der Beleuchtung auf der A 430 bei Essen (10,1 km)

Afbeelding 5. Bron: Pfundt (1986).



18: Unfallrate und Verkehrsstärke bei Helligkeit und Dunkelheit (mit und ohne Beleuchtung) für die B 10 Stuttgart – Esslingen (14,4 km)

Afbeelding 6. Bron: Pfundt (1986).



20: Unfallzahlen und Unfallkosten auf Straßen mit halbiertter und voller Leuchtdichte, Köln 1981 bis 1984

Afbeelding 7. Bron: Pfundt (1986).

**Tableau 1** : Nombre d'accidents s'étant produits entre 0h30 et 5h30 dans les douze mois aussi bien avant qu'après le 1<sup>er</sup> août 1981

sections d'autoroute sur lesquelles l'éclairage a été éteint entre 0.30h et 5.30h, après le 1 <sup>er</sup> août 1981 (600 km)		
	avant 1 août	après 1 août
accidents	156	139
tués	13	18
blessés graves	61	74
sections d'autoroute sur lesquelles l'éclairage n'a pas été éteint après le 1 <sup>er</sup> août 1981 (155 km)		
	avant 1 août	après 1 août
accidents	68	57
tués	5	5
blessés graves	36	21

**Tableau 2** : Nombre d'accidents s'étant produits au cours des douze mois avant et des douze mois après le 1<sup>er</sup> août 1981

sections d'autoroute sur lesquelles la luminance a été réduite de moitié après le 1 <sup>er</sup> août 1981 (955 km)		
	avant 1 août	après 1 août
accidents	382	364
tués	34	34
blessés graves	175	196
sections d'autoroute sur lesquelles la luminance n'a pas été réduite après le 1 <sup>er</sup> août 1981 (155 km)		
	avant 1 août	après 1 août
accidents	212	163
tués	11	10
blessés graves	94	53

**Tabel 1.** Resultaten van het uitschakelen of verminderen van openbare verlichting op autosnelwegen in België. Bron: De Clercq (1985a)



**Tableau 3** : Augmentation du nombre d'accidents de la circulation par suite de l'extinction de l'éclairage.

Nombre par an	prévu	réel	augmen- tation
accidents	131 (156 x 57/68)	139	8
tués	13 (13 x 5/5)	18	5
blessés graves	36 (61 x 21/36)	74	38

**Tableau 4** : Augmentation du nombre d'accidents de la circulation par suite de la réduction de l'éclairage.

Nombre par an	prévu	réel	augmen- tation
accidents	294 (382 x 163/212)	364	70
tués	31 (34 x 10/11)	34	3
blessés graves	99 (175 x 53/94)	196	97

Tabel 1. Resultaten van het uitschakelen of verminderen van openbare verlichting op autosnelwegen in België. Bron: De Clercq (1985a) (vervolg).

	Subsection I		Subsection II		Subsection III		
	Day	Night	Day	Night	Day	Night	
Before (B)	2.03	4.28	1.83	3.33	1.41	1.85	All Accidents
After 1 (A1)	0.88	1.97	1.08	1.66	1.13	2.08	
After 2 (A2)	0.62	1.76	0.90	2.18	0.93	1.89	
Before (B)	0.60	2.00	0.47	0.94	0.20	0.78	Accidents with personal injury
After 1 (A1)	0.22	0.61	0.26	0.56	0.26	0.42	
After 2 (A2)	0.09	0.45	0.14	0.54	0.16	0.31	

**Accident Rates (Accidents per  $10^6$  VKT) During the Different Time Periods for Day and Night Conditions on the Investigated Three Subsections**

Tabel 2. Bron: Lamm et al. (1985).

Verlichtingssterkte (lux)	Aanvallen	
	N	%
0-5	70	40,5
5-10	56	32,4
10-15	33	19,1
15-20	9	5,2
>20	5	2,8

Tabel 3. De relatie tussen het lichtniveau van openbare verlichting en aantallen aanvallen. Bron: Marinier (1983).

## PART ONE

STATEMENT on the problem of night road accidents and on road lighting as an accident counter measure.

## 1.1 INTRODUCTION

Night time accidents are consistently higher in number than day time accidents. In most industrialized countries the number of night time (casualty) accidents is almost half of the total number of accidents, whereas the night time traffic flow amounts to some 20 - 35% of the total traffic. Furthermore, night time accidents in general are more severe: the proportion of fatal accidents and the proportion of severe injuries to the total number of accidents (the severity rate) is higher at night - in some countries twice as high.

## 1.2 ROAD ACCIDENTS AT NIGHT

The relative frequency and severity of night time road accidents as compared to day time accidents is increased by factors such as increased alcohol usage, increased number of inexperienced young drivers, increased driving speeds as a result of lower traffic volumes and the increased influence of fatigue, an appreciable factor is the reduction of visibility at night. Therefore, adequate road lighting is a potential accident countermeasure. In this report the effectiveness of fixed overhead road lighting is investigated.

It is to be expected that there will be considerable interaction between the different factors that influence the frequency and severity of road accidents. So, the overall reduction of visibility may impair the drunken, inexperienced or tired drivers more than the sober, experienced or rested drivers. It should be noted that young persons generally can function better under low light levels than older people do. Further, it should be remembered that not only drivers suffer from reduced visibility in the dark: other road users are impaired as well. Finally it should be noted that darkness and adverse weather (fog, rain, snow) reinforce each other as factors that make accidents more frequent and more severe.

Road lighting can influence accidents involving visibility. It has been shown that:

- accidents by night are more severe
- their economic cost is increasing
- the greatest number of injured persons in urban areas are pedestrians
- accidents involving only vehicles are predominant in rural areas.

To examine the benefits of road lighting it is necessary to develop experiments comparing the rates and types of accidents with and without lighting.

## 1.3 ROAD LIGHTING AS AN ACCIDENT COUNTERMEASURE

The benefits of road lighting are best determined by carrying out accident studies, but care must be taken to ensure that only the influence of road lighting is contained in the end results. In the area of road lighting as an accident countermeasure, a study without methodological defects is very difficult to carry out. It is generally accepted and with sound evidence that road

lighting is an effective countermeasure for night time accidents. When efforts are made to quantify this beneficial effect, care should be taken to incorporate the points mentioned above in the investigations.

The most familiar method is "before-and-after" studies where the number and severity of accidents before the installation or upgrading of the road lighting is compared to the number and severity of the accidents after the change-over. Under the assumption that all other influencing factors are identical, the comparison yields the desired result. This experimental set-up has been widely used in the past; most of the reported accident studies make use of it. However, it is to be expected that in this set-up the influencing factors are not identical at all, the major influences being time and weather. In order to have a sufficiently large number of accidents to allow for statistical analyses, both the before and the after periods must span several years, as travel patterns and climatic conditions probably are very different in the two periods. These factors may completely hide the true results.

An obvious solution is to include a "control": a number of roads are selected that are similar to the roads under investigation, but where the lighting is not changed. Here, the accidents in the before and the after period are collected as well; the comparison between the "study" and the "control" yields the desired result. This approach is widely used in cases where an ideal "experimental design" can be used (random selection of samples etc). In the practice of road lighting research this usually is not feasible as the installation or upgrading of road lighting seldom can be done exclusively for experimental reasons. This means that appropriate control groups usually cannot be found.

The net result is that the reliability of most of the individual studies quoted in this report could be questionable. However, as the report includes a large number of individual studies, the report is useful, the impact is not derived from individual non-perfect studies but from a range of studies which largely point to the effectiveness of road lighting as an accident countermeasure. With this proviso in mind, the results of the studies are summarised below.

In all-purpose urban traffic routes it has on the basis of 28 individual studies been found that installation or improvement of road lighting has the following effects:

- . Pedestrian casualty accidents are reduced by 45 to 57 %
- . Casualty accidents of all road users are reduced by 21 to 23%
- . Reduction of fatal accidents is statistically insignificant
- . Injury accidents seem to have a relative reduction of 75%
- . All accidents to all road users are reduced by 9 to 35%

As a conclusion, it can be stated that road lighting is shown to be an effective accident countermeasure for all-purpose urban traffic routes, and that pedestrian accidents and severe accidents seem to be reduced most.

Pedestrian crossings are investigated separately. Here only 6 studies are used. The results indicate that flood-lighting the crossing reduces pedestrian accidents more than road lighting alone. Pedestrian accidents are, by the effect of lighting alone, reduced by 29 to 64%.

The number of studies on all-purpose rural roads is not large: seven for continuous lighting and four for intersections. In both cases, one study shows an increase in accidents. It seems that the results for rural all-purpose roads are less reliable than those for urban all-purpose roads. The results show a

reduction in casualty accidents by 16 to 60% and in all accidents by 14 to 75% for continuous lighting and a reduction of all accidents by 30 to 44% for intersections.

Rural motorways are studied in more detail: 10 studies concern continuous lighting and four partial lighting. All motorway studies seem to be hampered by the fact that the influence of (changes in) travel could not always be taken into account. The results indicate that continuous motorway lighting reduces all accidents by 22 to 56%, and casualty accidents by 28 to 57%. Two studies give ambiguous results as a result of the changes in travel. As regards partial lighting, the effect seems to be beneficial, but one study gives a significant increase of 47% for all accidents after a cutback in freeway lighting and another one gives a significant increase of 98 to 108% for severe injuries.

#### 1.4 THE INFLUENCE OF THE LIGHT LEVEL

In most cases, the studies quoted above refer to "poor (or no) lighting" as compared to "good" lighting. Three studies relate to the relationship between the lighting quality (quantity) and accident involvement. The first (the TRRL/Thorn study of UK) is a straight-forward accident study where the accidents in the day and night periods are compared (in the same period of time) for similar roads with different levels of luminance. The overall result indicates that the relative night time risk decreases with increasing luminance level. The influence of other lighting quality criteria (glare, uniformity etc.) seems to be small if present at all. The pedestrian accidents are not consistent with this general result.

The second (the Janoff et al. study of the USA) covers a large area of a city where the number of accidents per unit of night time vehicles was measured and compared to several lighting and demographic variables. The result was that accidents decrease when visibility (measured with a standard obstacle) increases. The number of accidents on streets with a higher level of illuminance seems, however, to be larger than on streets with a lower illuminance. A similar result was found in the third study (Box, USA) where town districts were compared to each other.

The Box study has often been quoted as an indication that road lighting causes accidents. This is incorrect as statistical studies in isolation never can show causal relationships. There are indications that, particularly for the urban lighting schemes that are traditionally used in the USA, there is a strong correlation between the level of horizontal illuminance and traffic volume. By investigating complete urban districts the influence of the amount of travel might confound the results. The problem is not fully solved, but in judging the result of the two USA-studies, one might take into account the well-known fact that visual performance increases with increasing light level. The positive influence on accidents of increasing the light level is furthermore supported by several smaller studies.

#### 1.5 COSTS AND BENEFITS OF ROAD LIGHTING

Cost/benefit appraisals can be used to assess the economic impact of road lighting. Such appraisals, although of great importance, can only be part of the evaluation of the effectiveness of lighting schemes, as important factors cannot be readily expressed in monetary values.

The costs of a lighting scheme include the installation, the maintenance (incl. lamp replacement) and the energy costs. It is not possible in all cases to determine exactly what should be included in the costs of the lighting. International comparisons prove to be very difficult.

The benefits of road lighting are primarily the reduction in accidents; further, there may be an increase in traffic flow on the road, and public safety, amenity and subjective feelings of security are usually enhanced. The latter aspects cannot be expressed in monetary terms; in accidents, however, there are other non-quantifiable aspects as well, like human suffering and loss of well-being.

Cost/benefit appraisals therefore have only limited value. They are of importance in the decision making processes of road authorities, but they never can give all the answers - even if all the monetary factors were known in detail, which is not the case.

Monetary cost/benefit appraisals can, however, be used as a means of assessing the order of priority for allowing lighting to be installed or to be upgraded. As the costs depend primarily (if not exclusively!) on the light level to be installed, and as benefits depend in the first instance on the traffic volume, it seems to be obvious that the traffic volume (present or predicted) is usually applied as the first criterion for priority. The values of the traffic volume where the decision to install lighting differ considerably between countries. It should be stressed that most of the volume warrants are recommended values; there seem to be no Governmental Agencies that produce formal and fixed values for such warrants. Cost-benefit appraisal methods and accident warrants are considered in detail in Appendix A.

In residential areas, the warrants for road lighting often relate more to public safety and amenity than to road safety or traffic flow. These aspects show no clear relationship to vehicle traffic volumes, so that different warrants are used. In many countries all urban roads and streets are lighted as a matter of policy.

Finally, it must be realized that lighting columns are an accident hazard. When the lighting on a specific road is upgraded, the increase in hazard may often be neglected; when installing new lighting, the possibility of collisions with lighting columns both during daytime and at night must be taken into account. As these collisions are related to the overall traffic volume, the relation between day time and night time traffic volumes should be taken into account when deciding whether a specific road should have lighting. Applying non-aggressive (i.e. break-away or slip-joint) columns may reduce the accident hazard considerably; the risks of columns falling on the road should, however, not be disregarded.

## 1.6 CONCLUSIONS

It can be stated that road lighting is an effective accident countermeasure, it produces an appreciable reduction in night time accidents. This statement is considered to be justified in spite of the fact that the different individual studies are not always completely reliable in the statistical sense, and of the fact that a few of these studies do not show a specific accident reduction. The impact is not derived from individual non-perfect studies, but from a wide range of studies which largely point to the effectiveness of road lighting as an accident countermeasure.

The studies do not show the precise accident reduction to be expected at one specific site which is equipped with lighting. The results show accident reductions which vary from 9 to 75%. However it can be concluded that the effect of a policy of installing good road lighting will result in an overall reduction of approximately 30%.

As regards the efficiency (cost/benefit) of lighting, several points should be taken into account. The first is that factors other than the lack of light (the lack of vision) impairs night time traffic. Further, it should be realized that some of the cost factors, and many of the benefit factors cannot be readily expressed in monetary terms. Monetary cost/benefit assessment can be used for defining orders of priority for the installation and upgrading of road lighting. However, the quantification of this is largely a national matter.

## APPENDIX B

## THEORETICAL CONSIDERATIONS ON STATISTICAL ACCIDENT STUDIES

## 1. Theory of public lighting as an accident countermeasure

Road lighting is supposed to act as an effective accident countermeasure because it enhances the possibility for visual perception. According to a generally accepted model of driver behaviour, perception permits interpretation; this leads to decisions and these result in actions. The driving task is primarily a decision making task.

The crucial concept is the perception, often expressed in terms of visibility. A road lighting installation provides visibility (the supply), the driving task requires visibility (the demand). It should be stressed that the definitions of visibility that are available at present, are not adequate. Nonetheless the concept is used frequently. The following model can be constructed:

$$\text{CL} - \text{L} - \text{Ph} - \text{Vis. Supply} \\ \text{Vis. Demand} - \text{Beh} - \text{Acc} - \text{CA}$$

where CL is costs of lighting; L is lighting installation; Ph is photometric and geometric characteristics; Beh is traffic behaviour; Acc is accidents and CA is costs of accidents.

From this it can be concluded that road lighting is an effective accident countermeasure when the supply exceeds the demand; it is a cost/effective (efficient) countermeasure when CA exceed CL. These questions are investigated in Appendix A.

## 2. Methods of research.

Three methods of research can be indicated:

a) measure CA and CL and compare them. As far as one is exclusively interested in monetary aspects of road safety, this can be done - in principle at least, as in practice most data are not available. For the assessment of the socio-economic aspects of road safety it is not adequate as the extremely important non-quantifiable factors (e.g. human suffering) are disregarded.

b) measure the accidents and the lighting. In principle this is possible and relevant; this approach is widely in use. Most studies in this report are of this type. As the method is essentially a statistical (correlation) method, it is not possible to find any causal relationship; all one can find is a statistical inference. This implies that unlike analytical studies, hypotheses cannot be verified; see sub-para c below, all one can do is falsify any hypothesis.

c) split up the chain between CL and CA and investigate all elements according to the normal methods of experimental research (analytical research). Causal relationships can be found, and can be verified. However, the results must be calibrated by means of statistical studies to allow a validation in terms of road safety.

For a valid evaluation of the lighting installation efficiency it is necessary to perform experiments comparing a criterion - number of accidents - under two types of conditions - with and without lighting (plus = P or minus = M) - in sample sites.



Through assigning a cost to every accidents and a value to human life it is possible to quantify this criterion in terms of money. However it should be noted that the methods to assess human life are different according to countries.

Three kinds of comparison can be distinguished:

- \* The experiment/control site comparison or with/without lighting that concerns two independent site samples.
- \* The before/after lighting comparison on the same site sample (or two paired samples), the comparison being made before and after.
- \* The experiment/control site + before/after comparison, which concerns two best possible independent site samples (experiment and control). The experiment is observed before and after lighting, and the control during the same lapse without change.

The comparisons are all the more valid as they concern random samples among the whole sites to be dealt with.

### 3 Statistical Studies

This report deals with statistical accident studies. In view of their statistical nature, all that can be found are statistical inferences. Only one way is open to investigate the effects of a road safety measure:

- . adopt the measure
- . count the accidents
- . define the null-hypotheses: no effect
- . test the null-hypothesis: reject or not.

Always there are two situations that are compared: with and without the measure. (plus:P and minus:M).

There are no problems when P and M are identical in all aspects apart from the measure under investigation. This situation can, however, never occur. First, it is necessary to check this. This implies measuring the circumstances, the measurements imply measuring errors. These should be compared with the errors of the measurement of the effect. More important, in practice one must expect that the P and M are essentially different in some respects. This sort of research may lead only to results that can be used at all, under a number of assumptions:

- . the differences between P and M are mutually independent
- . all differences can be expressed by means of "normal" statistical distributions
- . the measuring errors can be described by normal distributions as well
- . there are no systematic but only stochastic measuring errors

One may doubt whether all these assumptions are fulfilled in the real world. If, however, one surmises this, two possibilities exist to set up the investigations. P and M have to be separated; this can be done in location and in time. The corresponding methods of research are called the comparison method and the before-and-after method.

### 3.1 The comparison method

Essentially, P and M should be either identical or the discrepancies between P and M (other than the influence of lighting) should be random and independent. The analysis is the comparison between the random variations of the measurements and the random variations of the discrepancies. Standard statistical methods are available to assess whether the null-hypothesis should be rejected or not. When the discrepancies between P and M are non-random, a "relation study" may be used, where all variables are involved. Symbolically, this looks like:

$$N = f(L; a, b, c, \dots)$$

where N is the number of accidents, L the lighting and a, b, c, ... the other variables that describe the discrepancies between P and M. Here, a, b, c, ... act as parameters. The standard multivariate analysis can be used. An essential condition is that ALL relevant variables will be taken into account. This implies usually a large effort for data collection and for analysis. A major practical problem is that in reality usually the variables are not known and that many data are missing.

Often this type of investigation is used under simplified conditions. As it is well-known that the traffic volume is the major variable, it is often assumed that all other variables may be disregarded. Thus the accident rate (accidents expressed in vehicle-kilometres) is used. As a first approximation this may be justified, but the accuracy is limited as accidents do not depend in a linear fashion on travel and traffic volumes are not measured, only estimated for many roads.

Conclusion: this method is of limited value for practical investigations regarding the effects of road lighting. Results should be used with caution, taking into account the limits of the research.

### 3.2 The before-and-after method

In a before-and-after study, a measure is introduced after a Before period (B). The assessment takes place after the After period (A). As accidents are a fairly seldom phenomenon (particularly the fatal accidents, the only type of accidents for which the registration is accurate enough for valid results) both B and A must cover long periods of time, often several years each. The assumption that all conditions in P and M are equal, is never fulfilled. In some situations one may assume that these conditions change in a predictable way so that trends may be used. To a certain extent this often is the case for national trends - albeit that changes in oil prices may disrupt the trends - but not on a local scale as the installation of road lighting (e.g. in the After period) involves putting up lighting columns, and as improvements of road lighting usually are part of a more general road reconstruction scheme. Taking traffic volumes into account may improve the results to some extent, but the major problems stay on. The data collection and the (statistical) analysis are relatively simple and follow standard procedures.

Conclusion: Before-and-after studies are relatively simple to perform, but the results are of limited value.

### 3.3 Combined method

The comparison method and the before-and-after method can be combined with the aim to overcome some of the drawbacks of each of them. The combination is usually termed as Before-and-after study with control group. In some cases it is

possible to arrange that all elements in the research group (R) match exactly elements in the control group (C). In road lighting research this usually is not the case as the roads that come into terms for installation or improvement of the lighting usually are "conspicuous" in respect to their accident history. In other words, the roads selected for lighting schemes are essentially non-randomly selected (see Para 4). So one is restricted to a more general control.

The most simple is to use the day-time as a control for the night-time. However, many trends are different in the day from the night, e.g. drinking-driving accidents. Furthermore, in this way the problems of defining and measuring the conditions for P and M are the same as in the comparison method. Still, on pragmatic grounds a reasonable selection often can be made as regards the relevant variables. If this is combined with the correction for trends by taking the day-time and the traffic volume into account, and if the influence of lighting columns is considered, the net result may be acceptable as long as the restrictions are spelled out and the application of the results is specified.

Conclusion: The Before-and-after method with control allows investigations to be made with a reasonable degree of accuracy, provided a number of restrictions are carefully taken into account. However, it is the most reliable method.

#### 4 Regression to the mean

The installation and the improvement of road lighting usually depend on a political decision. This implies that consideration other than traffic and road safety factors may play a role, particularly in the timing of the measures and in the order of priorities. When the accident situation plays a role in the political decision - as is usually the case one must expect that the decision is based on a relatively small number of accidents. As accidents can be described with acceptable accuracy by Poisson distributions, one may expect that even for constant mean and spread - that is, when nothing changes - the actual number of accidents will be quite different from one period to another.

Here is a major pit-fall in statistical assessments of the effectiveness of road safety measures: it is to be expected that now and then very high numbers of accidents will be encountered, numbers that are naively judged to be far above the "average". It is likely that under such circumstances the political pressure is increased and the priorities are shifted, and that some sort of measure - e.g. installation of road lighting - is undertaken. As the effect is a matter resulting exclusively from the characteristic of the Poisson distribution, one may expect that in the next period the number of accidents will look much more "normal". To the naive onlooker, however, it will seem that the measure was very effective, even if the actual effect was nil.

This is relevant for this report in two ways: primarily it suggests that the priority for installation and upgrading of road lighting could be haphazard, but biased in the statistical sense. This factor should be taken into account when considering the roads for a control group. And further, it might severely mislead those who judge the effectiveness of lighting schemes, particularly for small schemes where the number of accidents is small. Apart from the fact that the accidents might not follow a Poisson distribution, for small numbers the approximation of the Poisson distribution by a normal distribution (required in order to be able to assess whether any differences that are found, are statistically significant) may be not permitted.

## 5 Sample size

### Sample sizes for before-and-after studies

In studies consisting of a "test" site or area in which road lighting is changed and a "control" of similar type and size with which the change in accidents is compared, the results are analysed in a 2 x 2 table of accident numbers, thus:

	Before	After
Test	N	Nx
Control	N	N

If test and control are chosen to contain approximately the same number of accidents, N say, in the "before" period, and it is assumed that the control will also experience approximately that number of accidents in the "after" period, then the test has approximately Nx accidents in the after period, where x measures the change in accident risk relative to the control.

The question arises of how large a sample is required to give a reasonable chance of detecting a benefit of the treatment; i.e. of rejecting the null hypothesis of "no effect". This depends on (a) the desired detection probability ("power" of the test), and (b) the size of effect one would hope to detect.

The attached figures show the power of the test to detect various sizes of reduction in risk, for sample sizes from 50 to 1000, and for significance levels of 5%, 10% and 20%. Note that these significance levels refer to a two-sided test, i.e. a test of the null hypothesis of "no effect" against the alternative of "some effect in either direction". If one wished to carry out a one-sided test, so that large apparent increases in risk would not be regarded as disproving the null hypothesis, then the significance levels would be halved.



