

DE RELATIE TUSSEN VERKEERSONGEVALLEN EN OPENBARE VERLICHTING

Consult aan de Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde

R-83-12

Dr.ir. D.A. Schreuder

Leidschendam, 1983

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

SAMENVATTING

Openbare verlichting wordt in eerste instantie beschouwd als een maatregel die dient om de verkeersveiligheid te bevorderen. Het is een voor de hand liggende gedachte dat het wegverkeer, waarbij visuele waarneming zo'n grote rol speelt, gediend is bij een behoorlijke verlichting wanneer het daglicht ontbreekt - 's nachts dus. De vraag echter wat hierbij onder "behoorlijk" dient te worden verstaan blijkt erg moeilijk te beantwoorden te zijn.

Op 13 augustus 1979 heeft de Dienst Verkeerskunde van de Rijkswaterstaat aan de SWOV een opdracht verleend een consult uit te brengen aangaande de relatie tussen verkeersveiligheid en openbare verlichting. Dit consult blijft beperkt tot de eigenlijke relatie tussen verkeersongevallen en openbare verlichting. Het materiaal betreffende het grotere verkeersveiligheidsgebied en op de daarbij behorende randgebieden zal in een aantal aparte rapporten worden neergelegd.

Vrijwel al het in dit consult gebruikte materiaal is afkomstig van statistische ongevallestudies. Dit is niet gedaan omdat die zulk betrouwbaar materiaal opleveren. Maar andere gegevens (in-depth studies bijvoorbeeld, of conflictstudies) zijn nauwelijks beschikbaar.

Ook bij de in het consult weergegeven aanhalingen en besprekingen bleek weer dat in de meeste gevallen niet aan alle voorwaarden voor goede statistische onderzoeken is voldaan. Dit betekent dus dat al deze studies, individueel bekeken, niet veel overredingskracht bezitten; in hun totaliteit geven ze echter voldoende aanleiding tot uitspraken.

Het is gebruikelijk ongevallen te nemen als maat voor de verkeersonveiligheid. Hoewel dit een voor de hand liggende opmerking lijkt, zit er nog wel één en ander aan vast. Een gevolg ervan is dat statistische methoden van centraal belang zijn bij het bestuderen van verkeersveiligheid. Een veel gebruikte methode is die welke als "voor- en na-studie" wordt aangeduid. Bij de meeste in het consult besproken studies is deze methode toegepast. Ook de zogenaamde methodiek voor black spots kan als een variant worden beschouwd.

Voor het op de juiste waarde beoordelen van een maatregel (zoals bijvoorbeeld het aanbrengen van openbare verlichting van een bepaald kwaliteitsniveau) moeten de baten van die maatregel bekend zijn (de doel-

treffendheid of effectiviteit); wanneer deze maatregel bovendien nog vergeleken moet worden met andere maatregelen, dan moet ook nog de kosten/batenverhouding bekend zijn (de doelmatigheid of efficiency). In dit consult dat beperkt blijft tot het bespreken van de baten, wordt op dit laatste niet ingegaan. De baten kunnen, voorzover het de verkeersveiligheid betreft, worden uitgedrukt in de reductie van het aantal ongevallen dat resulteert uit het aanbrengen van openbare verlichtingsinstallatie van een bepaalde kwaliteit. Aangezien de registratie van schade-ongevallen zeer onvolledig is, beperkt men zich als regel tot ongevallen met dodelijke afloop. Het is niet juist de reductie in het aantal verkeersongevallen als de enige "opbrengst" van openbare verlichting te beschouwen. De vlotheid van de verkeersafwikkeling, het rijcomfort, de esthetische aspecten, en vooral de burgerlijke veiligheid en misdaadpreventie worden aanzienlijk verbeterd door een goede openbare verlichting.

Bij ongevallenstudies van het type "voor- en nastudies" is het in dit geval gebruikelijk daarbij de aantallen ongevallen bij nacht en bij dag te vergelijken. Gewoonlijk gaat men uit van de gedachte dat de algemene trends in de verkeersontwikkeling, waarmee bij voor- en nastudies steeds rekening moet worden gehouden, voldoende in rekening worden gebracht door de nacht/dag-verhoudingen voor en na het aanbrengen van de verlichting te vergelijken. Hieraan kleven twee bezwaren: het is bekend dat bij de trendmatige veranderingen van het verkeer ook de verdeling van het verkeersaanbod over het etmaal verandert, en dat bovendien met weersinvloeden (strengere winters, enz.) rekening moet worden gehouden. Dit kan door de voor- en nastudies te combineren met een studie waarbij wordt gebruik gemaakt van een "controlegroep" (hier dus een groep weggedeeltes waarbij de voor- en naperiode voor wat betreft de verlichting niet verschillen).

In de loop van de laatste 25 jaar is er veel onderzoek uitgevoerd om de baten van openbare verlichting te kunnen bepalen. Vrijwel steeds betrof het voor- en nastudies, waarbij een weg of weggedeelte met goede openbare verlichting in de naperiode werd vergeleken met hetzelfde weggedeelte zonder openbare verlichting (of onder zeer slechte verlichting) in de voorperiode. De betreffende weggedeelten werden steeds verlicht, omdat dit om andere redenen dan de proefneming nodig werd gevonden; deze weggedeelten waren dus niet "random" gekozen, zoals eigen-

lijk zou moeten om van een gecontroleerd experiment te kunnen spreken. Voorts is vrijwel nooit aangegeven wat "goede" verlichting precies betekent, en zelden zijn vergelijkingen op controlewegen gerapporteerd. Ook over de technische verwerking - en daarmee over de statistische betrouwbaarheid - is weinig bekend; meestal zijn alleen "spreidingen" opgegeven, zonder dat precies is aangegeven wat daarmee is bedoeld. Anderzijds zijn er geen aanwijzingen dat er studies zijn verzwegen omdat de resultaten niet klopten met de hypothese. Dit volgt natuurlijk niet uit het gepubliceerde materiaal, maar veel meer uit informele contacten.

Het consult omvat de bespreking van een groot aantal gepubliceerde studies, als volgt gerubriceerd:

- Straatverlichting binnen bebouwde gebieden
- Vergelijking tussen goede en slechte of afwezige verlichting
- De invloed van het lichtniveau
- De energiecrisis van 1973/1974
- Wegverlichting buiten de bebouwde kom
- Algemene overzichten.

Op basis van de in het rapport gegeven studies kan men in algemene termen concluderen dat goede openbare verlichting voor belangrijke stadsstraten een afname van ongeveer 30% in de nachtelijke letselongevallen kan bewerkstelligen. Voorts zijn er aanwijzingen dat ook voor andere categorieën wegen een reductie kan worden bereikt, maar dat deze het grootst zal zijn voor wegen binnen bebouwde gebieden.

Men dient te bedenken dat uit de statistische onderzoeken van de soort die in dit rapport zijn beschreven, in feite alleen correlaties kunnen worden afgeleid, en geen causale verbanden. De term, "bewerkstelligd" die hierboven is gebruikt, is (impliciet) mede ingegeven door hetgeen op basis van andersoortig onderzoek bekend is over de oorzaken van nachtelijke verkeersongevallen.

Evenmin kunnen uit dergelijke algemene statistische studies gegevens worden afgeleid over typen ongevallen (obstakelongevallen e.d.), noch over wegsituaties (bijv. kruispunten) waarbij het aanbrengen van openbare verlichting het meeste effect zou hebben.

Minder duidelijke gegevens zijn beschikbaar aangaande de relatie tussen de kwaliteit (of kwantiteit) van de verlichting en de ongevallen. Er zijn duidelijke aanwijzingen dat voor belangrijke stadsstraten een hoger kwaliteitsniveau gerelateerd is aan minder ongevallen (of relatief minder nachtongevallen), maar aan de andere kant lijkt het erop dat andere factoren (daarbij kan men dan allereerst aan verkeersfactoren denken) een veel grotere invloed hebben, waarmee niet compleet rekening is gehouden kunnen worden, waardoor de verlichtingskwaliteit niet los staat van die factoren. Dit houdt in dat die andere factoren (mede) verantwoordelijk kunnen zijn voor de geconstateerde verbanden tussen ongevals aantallen en verlichtingskwaliteit.

Uitgewerkte aanbevelingen zijn in een consult met een beperkte doelstelling niet op zijn plaats. Er kunnen wel enkele suggesties worden gedaan.

* Het heeft weinig zin met de traditionele voor- en nastudies verder te gaan in de verwachting daarmee het te bereiken percentage reductie in de nachtelijke ongevallen nader te preciseren.

* Bepaald dient te worden wat het minimale lichtniveau is waarbij het bedoelde verkeersveiligheidseffect wordt bereikt. Dit zou in beginsel bereikt kunnen worden door:

- aansluiting te zoeken bij het lopende onderzoek omtrent de analyse van de rijtaak, en wel in die vorm dat de situatie "duisternis" en het hulpmiddel "verlichting" wordt ingebracht als omgevingsfactor;
- een ongevallenonderzoek op te zetten waarbij globale licht- en verkeersgegevens (waaronder ook geometrische wegkenmerken) worden gebruikt.

* Voor zover het wegen buiten de bebouwde kom betreft verdient het aanbeveling om nader te bestuderen welke wegen (wegvakken, kruisingen, e.d.) van een openbare verlichting dienen te worden voorzien ("warrants" voor openbare verlichting). Hierbij kan de analyse van de rijtaak, zoals hierboven bedoeld, een belangrijke rol spelen.

INHOUD

Voorwoord

1. Inleiding
2. De methoden voor statistisch ongevalsonderzoek
 - 2.1. Algemeen
 - 2.2. Voor- en nastudies
3. Openbare verlichting als maatregel tegen ongevallen
 - 3.1. Inleiding
 - 3.2. Straatverlichting binnen bebouwde gebieden
 - 3.2.1. Vergelijking tussen goede en slechte of afwezige verlichting
 - 3.2.2. De invloed van het lichtniveau
 - 3.2.3. De energiecrisis van 1973/1974
 - 3.3. Wegverlichting buiten de bebouwde kom
 - 3.4. Algemene overzichten
4. Conclusies
5. Aanbevelingen

Tabellen en Afbeeldingen

Geraadpleegde literatuur

Annex I. De invloed van de obstakelwerking van lichtmasten op de nacht/dag-verhouding van ongevallen.

Annex II. De berekening van de voor proefnemingen benodigde weglengte.

VOORWOORD

Openbare verlichting wordt in eerste instantie beschouwd als een maatregel die dient om de verkeersveiligheid te bevorderen. Het is een voor de hand liggende gedachte dat het wegverkeer, waarbij visuele waarneming zo'n grote rol speelt, gediend is bij een behoorlijke verlichting wanneer het daglicht ontbreekt - 's nachts dus. De vraag echter wat hierbij onder "behoorlijk" dient te worden verstaan blijkt erg moeilijk te beantwoorden te zijn.

Op 13 augustus 1979 heeft de Dienst Verkeerskunde van de Rijkswaterstaat aan de SWOV een opdracht verleend een consult uit te brengen aangaande de relatie tussen verkeersveiligheid en openbare verlichting. Dit consult zou het karakter van een "state-of-the-art" rapport moeten krijgen, een compleet overzicht van de stand van zaken.

Tijdens het uitwerken van deze opdracht bleek de hoeveelheid beschikbaar materiaal zeer groot te zijn. Niet alleen zou een compleet overzicht van de vraagstelling en alles wat ermee te maken heeft leiden tot een document van buitensporige omvang, zeker gezien het consultkarakter van de opdracht, maar ook zou dit alles een onevenredig lange tijd in beslag nemen.

In overleg met de Begeleidingsgroep Verlichtingsonderzoeken, ingesteld door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, is toen een andere weg gekozen: het consult zou zo spoedig mogelijk worden afgehandeld, en beperkt blijven tot de eigenlijke, begrensde, vraagstelling. Het materiaal dat intussen op de meer uitgebreide vraagstelling, en op de daarbij behorende randgebieden, was verzameld, zal vervolgens in een aantal aparte rapporten, die ieder een deelgebied omvatten, worden neergelegd. Het ontwerp van dit consult is in de Begeleidingsgroep besproken. Van het daar geleverde commentaar is dankbaar gebruik gemaakt. Speciale dank gaat uit naar dr. P. Padmos van het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO.

Dit rapport is geschreven door dr.ir. D.A. Schreuder (Afdeling Pre-crash onderzoek).

Prof.ir. E. Asmussen, directeur

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

1. INLEIDING

In het verleden is een grote hoeveelheid onderzoek betreffende de relatie tussen verkeersveiligheid en verlichting uitgevoerd, zowel in Nederland - dat traditioneel een grote rol hierin heeft gespeeld - als in het buitenland. De veelheid van het onderzoek maakt het moeilijk een overzicht ervan te verkrijgen; bovendien is het, ten gevolge van de grote verschillen in wetenschappelijk niveau van al dit onderzoek, moeilijk een beeld te krijgen van het eindresultaat. Tenslotte zijn de resultaten van dit onderzoek vaak gebruikt om bepaalde standpunten te ondersteunen, of zelfs om bepaalde economische beslissingen te onderbouwen. Men heeft niet zelden geprobeerd uit de resultaten van het onderzoek argumenten te ontleen om aan de ene kant bepaalde produkten (lichtbronnen, elektrische energie) te pousseren, maar ook aan de andere kant om bepaalde bezuinigingen door te voeren. Uiteraard heeft dit alles geleid tot een zeer onoverzichtelijke situatie.

Een state-of-the-art rapport op te stellen in opdracht van de Dienst Verkeerskunde van de Rijkswaterstaat diende hierin ordening aan te brengen. Daarbij is gepoogd volledigheid te betrachten. Allereerst is gestreefd naar volledigheid voor wat betreft de in de loop van de jaren naar voren gebrachte, en vaak weer verworpen, gezichtspunten; maar er is ook een poging aangewend om een zekere mate van volledigheid zo niet te bereiken dan toch te benaderen voor wat betreft de beschikbare en relevante literatuur. En tenslotte is gestreefd naar volledigheid betreffende de factoren die te maken hebben met de relatie tussen verkeersongevallen en openbare verlichting. Zoals in het Voorwoord reeds is aangegeven, leidde dit alles tot een rapportage die in omvang ver uitgaat boven wat in normale gevallen als een "consult" wordt beschouwd. Het onderhavige consult betreft de eigenlijke vraagstelling betreffende de relatie tussen verkeersongevallen en openbare verlichting. Vervolgens zullen als een aparte rapportage de verdere achtergrond, de gedetailleerde uitwerking van een aantal punten, en de repercussies van het hier behandelde op randgebieden, worden beschreven.

Volgens deze aanpak blijft dit consult dus beperkt tot ongevallen, en meer specifiek tot ongevallenstudies. Op andere plaatsen zal worden ingegaan op de vraag of ongevallen wel het meest geschikte criterium zijn om de verkeersveiligheid te beschrijven; in dit rapport wordt evenmin

ingegaan op de belangrijke vraag hoe de relaties tussen ongevallen en verlichting eigenlijk beschreven zou kunnen worden. We vermelden hier slechts de onderzoeken die recentelijk zijn uitgevoerd - veelal nog niet voltooid - aangaande de relatie tussen visuele waarneming en de analyse van de rijtaak en die welke betrekking hebben op de visueel kritische aspecten van de rijtaak. Een zeer groot deel van dit onderzoek is in uitvoering bij het Instituut voor Zintuigfysiologie IZF-TNO; de resultaten zijn neergelegd in een groot aantal rapporten van Blaauw, Riemersma, Padmos, Walraven en anderen. Een overzicht is gegeven (met uitgebreide literatuurverwijzingen) door Veling (1982); zie ook Padmos & Walraven (1982) en Walraven (1980). Een poging om deze rijtaakaspecten in directe relatie te brengen met verlichtingsvormen wordt voorbereid door Schreuder (1983).

Een aparte vermelding verdient de in opdracht van de Rijkswaterstaat uitgevoerde studie van Vos (1976). In dit rapport is een kritische beschouwing gegeven aan de overwegingen die ten grondslag hebben gelegen van de in eerdere jaren uitgegeven aanbevelingen omtrent het gewenste minimale luminantie-niveau voor wegen, meer in het bijzonder betreffende de aanbeveling om voor belangrijke verkeerswegen met een niveau van ten minste 2 cd/m² te voorzien. De studie besluit met de conclusie "dat geen van de in de literatuur gebezigde argumenten zodanig dwingend zijn dat daaruit alleen tot één wenselijk lichtniveau kan worden besloten. Voor het nemen van een beleidsbeslissing zal ook plaats moeten worden ingeruimd voor sociaal-economische argumenten". Het gaat hier om een belangrijke studie waarmee zeer terdege rekening zal moeten worden gehouden wanneer wordt ingegaan op de vraag welk lichtniveau nu eigenlijk noodzakelijk is. We laten deze studie van Vos hier verder onbesproken omdat de ongevallenstudies voor zover ze worden gebruikt, in het verslag van onze studie meer in detail aan de orde zullen moeten komen.

Nog een paar opmerkingen over de opbouw van dit consult. Vrijwel al het gebruikte materiaal is afkomstig van statistische ongevallenstudies. Dit is niet gedaan omdat die zulk betrouwbaar materiaal opleveren, eerder in tegendeel. Maar andere gegevens (in depth-studies bijvoorbeeld, of conflictstudies) zijn nauwelijks beschikbaar. De bespreking van de ongevallenstudies wordt voorafgegaan door een aantal opmerkingen over de methodiek betreffende studie. Deze opmerkingen zijn toegevoegd

omdat ze mede van dienst kunnen zijn om te beoordelen hoe betrouwbaar de afzonderlijke studies zijn (of liever: hoe onbetrouwbaar). Immers, het blijkt, ook uit de hier weergegeven aanhalingen en besprekingen, dat in de meeste gevallen niet aan alle voorwaarden voor goede statistische onderzoekingen is voldaan. Dit betekent dus dat al deze studies, individueel bekeken, niet veel overredingskracht bezitten; in hun totaliteit echter geven ze aanleiding tot de uitspraak, zoals in de conclusies is gegeven, dat "goede openbare verlichting voor belangrijke stadsstraten een reductie van ongeveer 30% van de nachtelijke letselgevallen kan bewerkstelligen". Voorts zijn er aanwijzingen dat ook voor andere categorieën van wegen een reductie kan worden bereikt. Uiteraard is dat geen "bewijs" in de strikte zin van het woord; elders zijn suggesties gegeven op welke wijze nader onderzoek wellicht tot een duidelijke, ondubbelzinnige uitspraak zou kunnen leiden (Schreuder, 1982a, 1983). We zullen hier niet verder ingaan op de vragen wat nu eigenlijk een "bewijs" is en in welke mate epidemiologisch onderzoek betrouwbare en bruikbare gegevens kan opleveren.

Vervolgens nog een opmerking aan de structuur (of liever de gebrek aan structuur) in de opsomming van de besproken ongevallestudies. Afgezien van een globale indeling in studies die betrekking hebben op wegen binnen, resp. buiten de bebouwde kom, is afgezien van een strikte poging tot structurering. De voor de hand liggende, maar weinig informatie opleverde onderverdelingen naar auteur, land van herkomst, of jaartal, blijkt op praktijkoverwegingen geen voordeel op te leveren. Ze zouden namelijk veel herhalingen en cross-referenties nodig maken. Indelingen naar gebruikte methode of naar beschouwde typen weg of verkeer blijken evenmin mogelijk. Afgezien van de ook hierdoor benodigde herhalingen ontbreekt in vele gevallen de daartoe noodzakelijke achtergrond. Van een van de meest zinvolle onderverdeling - die naar betrouwbaarheid van de studie of geloofwaardigheid van de resultaten - is afgezien omdat dit een kwantificering van die betrouwbaarheid en (of geloofwaardigheid), ten minste in een ordinale schaal, zou vereisen. Dit is uiteraard in strikte zin onmogelijk; en omdat pogingen daartoe (bijvoorbeeld een globale indeling of klassificatie) de suggestie van een nauwkeurigheid, groter dan te verantwoorden is, suggereert, is er geheel van afgezien. Rijp en groen blijven dus door elkaar staan. Alleen

zijn de studies die duidelijk rechtstreeks met de zgn. energiecrisis van 1973 en de daarmee samenvallende lichtreducties te maken hebben, bij elkaar geplaatst. Dit alles is in Hoofdstuk 3 samengebracht.

In Hoofdstuk 4 zijn de conclusies uit dit rapport samengevat, terwijl in Hoofdstuk 5 een aantal aanbevelingen, vooral voor verdere studies zijn gegeven. Omdat het hier om een consult met een beperkte doelstelling gaat, zijn deze aanbevelingen beknopt gehouden en in algemene termen gesteld. Een nadere uitwerking zou eerder in een Probleemanalyse thuis horen.

Deze Inleiding wordt besloten met een paar opmerkingen omtrent het reeds lang in behandeling zijnde rapport van de CIE, dat eveneens gaat over de relatie tussen verlichting en ongevallen. Dit rapport is bedoeld om de oude Publikatie No. 8 (CIE, 1960) te vervangen. De voortgang is echter betreurenswaardig langzaam; in november 1982 is het nog steeds zeer onvolledige vierde concept ter bespreking aangeboden. Het blijkt dat voor het CIE-rapport in grote lijnen dezelfde studies zijn gebruikt die hier aan de orde komen; maar ook blijkt dat de CIE iets verder gaat wat betreft de gesuggereerde nauwkeurigheid en wel door de resultaten in tabelvorm weer te geven. Het is van belang te vermelden dat de ter zake dienende CIE-commissie na uitgebreide discussie heeft besloten om in het rapport geen klassificering wat betreft de nauwkeurigheid of de betrouwbaarheid van de besproken studie te gebruiken.

2. DE METHODEN VOOR STATISTISCH ONGEVALLENONDERZOEK

2.1. Algemeen

Het is gebruikelijk ongevallen te gebruiken als maat voor de verkeers-
onveiligheid. Hoewel dit een voor de hand liggende opmerking lijkt, zit
er nog wel één en ander aan vast; zie hiervoor Asmussen (1981) en
Asmussen & Schreuder (1977). Een gevolg van dit uitgangspunt is dat
statistische methoden van centraal belang zijn bij het bestuderen van
verkeersveiligheid. De overwegingen die hierbij een rol spelen zijn
ondermeer samengevat in een tweetal OECD-rapporten. OECD (1970) geeft
een overzicht van allerlei statistische methoden en technieken, terwijl
OECD (1981) is toegespitst op de evaluatie van verkeersveiligheidsmaat-
regelen. Vooral dit laatste rapport is van groot belang voor de hier
behandelde materie.

Uiteraard is er over de methodiek van ongevallenstudies veel gepubli-
ceerd. Algemene beschouwingen daarover zijn ondermeer gegeven door Box
(1972); Brownfield (1980); Bull (1970); Cibie (1980); Goudappel (1965);
Marsden (1976); OECD (1970); Perchonok (1972); SWOV (1976a; 1979). Door
Smeed & Jeffocate (1970) wordt overigens gewaarschuwd tegen het onzorg-
vuldig gebruiken van dergelijke methoden, met name tegen het gebruiken
van globale getallen. Het gevaar bestaat dat er dan verkeerde conclu-
sies worden getrokken.

Een veel gebruikte methode is die welke als "voor- en na-studie" wordt
aangeduid. We zullen verderop een aantal gevallen bespreken waarbij
deze methode is toegepast. Over de toepassing van deze methode voor
ongevallenstudies zij verwezen naar ondermeer Fisher (1977a) en Lalani
(1980) en ook naar Shuldiner (1974) die een aantal kritische opmerkingen
dienaangaande maakt.

De zogenaamde methodiek voor black spots kan als een variant worden
beschouwd. Details zijn te vinden in OECD (1976); zie ook Anon (1979).
De daarvoor gebruikelijke multivariate technieken zijn onder meer be-
sproken door Koornstra (1970, 1970a, 1978); zie ook Richards & Ben
Akiva (1975).

Een interessante overzichtsformule is gegeven door Jørgensen (1970).
Die geeft de volgende formule: $d = aN^P$.

Daarin is

d = aantal ongevallen per km per jaar

N = average daily traffic ADT

a en p zijn constanten (waarbij $0,7p < p < 1,1$; voor a is helaas geen waarde opgegeven, waardoor de toepassing van de formule beperkt is).

Tenslotte wordt nog Sheppard (1970) vermeld die aangeeft onder welke voorwaarden ten behoeve van statistische studies ook enquêtes kunnen worden gebruikt.

We zullen ons verder concentreren op het verkeer bij duisternis. Voor het op de juiste waarde beoordelen van een maatregel (zoals bijvoorbeeld het aanbrengen van openbare verlichting van een bepaald kwaliteitsniveau) moeten de baten van die maatregel bekend zijn (de doeltreffendheid of effectiviteit); wanneer deze maatregel bovendien nog vergeleken moet worden met andere maatregelen, dan moet ook nog de kosten/batenverhouding bekend zijn (de doelmatigheid of efficiency).

Hier zullen we ons beperken tot de baten. De baten kunnen, voorzover het de verkeersveiligheid betreft, worden uitgedrukt in de reductie van het aantal ongevallen dat resulteert uit het aanbrengen van openbare verlichtingsinstallatie van een bepaalde kwaliteit. Aangezien de registratie van schade-ongevallen zeer onvolledig is, beperkt men zich als regel tot ongevallen met dodelijke afloop (zie bijv. SWOV, 1976; Carlquist, 1974).

In sommige landen is de registratie van ongevallen voldoende goed om ook de letselongevallen voor verdere (statistische) verwerking te kunnen gebruiken; zie OECD (1981), Hoofdstuk III.

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

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

echter momenteel niet mogelijk. Enige nadere gegevens zijn te vinden in OECD (1980).

Ten tweede kleven er aan vele van de studies waarover in de literatuur wordt bericht, meer of minder ernstige methodologische onvolkomenheden (zie hiervoor Brühning & Weissbrodt, 1981; CIE, 1982; Hargroves & Scott, 1979; Koornstra, 1978; Van den Burgt & Dévény, 1981).

2.2. Voor- en nastudies

De meeste ongevallenstudies die zijn gerapporteerd zijn van het type "voor- en nastudies". Het is gebruikelijk om daarbij de "statistic" k te gebruiken, die is gedefinieerd als

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

waarin:

A het aantal ongevallen bij nacht na de installatie van openbare verlichting

B het aantal ongevallen bij nacht vóór de installatie van openbare verlichting

a het aantal ongevallen bij dag na de installatie van openbare verlichting

b het aantal ongevallen bij dag vóór de installatie van openbare verlichting.

De "statistic" k is voorgesteld in CIE (1960) en wordt sindsdien vrij algemeen gebruikt (zie ook CIE, 1982 en OECD, 1971).

De gedachte is dat de algemene trends in de verkeersontwikkeling, waarmee bij voor- en nastudies steeds rekening moet worden gehouden, voldoende in rekening worden gebracht door de nacht/dag-verhoudingen voor en na te vergelijken. Hieraan kleven twee ernstige bezwaren: het is bekend dat bij de trendmatige veranderingen van het verkeer ook de verdeling van het verkeersaanbod over het etmaal verandert, en dat bovendien met weersinvloeden (strengere winters, enz.) rekening moet worden gehouden. Dit kan door de voor- en nastudies te combineren met een studie waarbij een "controlegroep" wordt gebruikt (dat wil zeggen een weggedeelte waarbij de voor- en naperiode wat betreft de verlichting

niet verschillen) gekenmerkt door $k' = (A'/B')/(a'/b')$. Wanneer de nacht/dag-verhouding alle trends voldoende zouden beschrijven, zou $k' = 1$ zijn. Voorts moet men er rekening mee houden dat men bij aanbrengen van openbare verlichting niet alleen een reductie van de nachtelijke ongevallen mag verwachten op basis van de verbeterde waarnemingscondities: lichtmasten zijn obstakels, zodat men mag verwachten dat er, zowel 's nachts als overdag, ongevallen bijkomen als gevolg van botsingen met de lichtmasten. Wanneer dit aantal aanzienlijk is, dan kan een vertekend beeld ontstaan. In Annex I is een nadere beschouwing gegeven over de grootte die deze vertekening kan aannemen, en over de wijze waarop ze kan worden bepaald.

De "statistic" k is minder maatgevend dan soms wordt gemeend. Uiteraard geeft k - wanneer tenminste de juiste gegevens worden gebruikt - direct het reductiepercentage weer dat is gevonden bij de betreffende proefneming. Wanneer men echter probeert om dit gegeven te generaliseren, d.w.z. ook toepasbaar te verklaren voor andere gevallen, dan moet men ermee rekening houden dat ongevallen als een kansverschijnsel moeten worden opgevat. Dit betekent dat, wanneer men dezelfde proef onder identieke omstandigheden zou uitvoeren, het gevonden reductiepercentage niet hetzelfde zou zijn. Statistisch drukt men dit uit dat men de "nulhypothese: er is geen verbetering" al dan niet verwerpt (met een bepaalde overschrijdingskans). Wanneer men concludeert dat de nulhypothese verworpen dient te worden, dan moet men echter niet denken dat daarmee een hypothese dat het reductiepercentage precies zo groot is als het percentage dat gevonden is bij de specifieke proefneming ook bevestigd is. Wat men zou kunnen doen is aangeven wat de betrouwbaarheidsgrenzen van k zijn (bijvoorbeeld: met de betrouwbaarheidsgrenzen van + 5% liggen de waarden van k tussen en).

Dit alles geldt voor die gevallen waarbij van een flinke reductie in de ongevallen sprake is. Zoals gezegd gaat dit op voor die gevallen waarbij bijvoorbeeld in de voorperiode geheel geen, of zeer slechte verlichting aanwezig was, en in de naperiode goede of tenminste behoorlijke. Met als uitgangspunt dat de functie van verkeersverlichting is het bevorderen van de veiligheid, kan men ook het verband tussen de kwaliteit van de verlichting enerzijds en de ongevallen anderzijds onderzoeken.

Daarbij gaat men zoeken naar de functie $N = f(Q)$, waarbij N het aantal ongevallen is en Q de kwaliteit van de verlichting. Wanneer men - gemakshalve - de gemiddelde luminantie \bar{L} als maat voor de kwaliteit gebruikt, krijgt men dus $N = f(\bar{L})$. Het is te verwachten dat de grafiek van deze functie de volgende kenmerken vertoont: bij lage \bar{L} (zoals voorkomt bij dimlicht) behoort een bepaalde waarde van N . Bij toenemende \bar{L} neemt N monotoon af met een afnemende helling, om bij hoge \bar{L} te naderen naar een eindwaarde. Deze grafiek is schetsmatig weergegeven in Afbeelding 1.

Men kan het verloop van deze functie - in beginsel tenminste - kwantitatief bepalen op de volgende wijze: men neemt een onverlicht wegvak, men telt - bijvoorbeeld gedurende een jaar - de ongevallen. Men brengt vervolgens een verlichting aan met een niveau \bar{L}_1 ; weer worden gedurende een jaar de ongevallen geteld. Dit herhaalt men voor de luminantie \bar{L}_2 , \bar{L}_3 , enz. totdat men aan de eindwaarde van de luminantie komt. Onderwijl wordt, o.a. door controlegroepen te bestuderen, met geleidelijke, algemene verandering in het ongevallenpatroon rekening gehouden. Wanneer men op hetzelfde moment verschillende wegen met \bar{L}_1 , \bar{L}_2 , \bar{L}_3 voorziet, kunnen alle proeven tegelijk worden genomen, zodat de totale tijdsduur van de proeven niet te groot hoeft te worden.

Uitgangspunt van deze redenering is dat men een Poissonverdeling mag aannemen voor het beschrijven van ongevallenfrequenties. Dit blijkt inderdaad het geval te zijn, zowel uit theoretische overwegingen (Moroney, 1951; Wijvekate, 1967) als uit de praktijk (Garwood, 1970; Rasch, 1960, 1970; Srour, 1970; zie ook OECD, 1970).

Aan deze methode kleeft slechts één bezwaar, maar dat bezwaar is dan ook volstrekt onoverkomelijk: de lengte van de wegen die beschikbaar moet zijn, is veel te groot, zelfs wanneer men beschikt over betrouwbare gegevens omtrent ongevallen met gewonden - en dus niet, zoals in Nederland, uitsluitend over ongevallen waarbij doden zijn gevallen.

Uit de in Annex II gegeven berekening van de voor proefneming benodigde weglengte volgt dat men (bij een overschrijdingskans van 5%) al gauw de beschikking moet hebben over duizenden kilometers weg, zeker wanneer het gaat om kleine stappen in N - wanneer men dus de functie op een nogal nauwkeurige wijze wil beschrijven. Zoals gezegd, deze manier is voor de praktijk veel te duur. Voor- en nastudies kan men dan ook alleen gebruiken wanneer er grote effecten te verwachten zijn.

3. OPENBARE VERLICHTING ALS MAATREGEL TEGEN ONGEVALLLEN

3.1. Inleiding

In de loop van de laatste 25 jaar is er veel onderzoek uitgevoerd om de baten van openbare verlichting te kunnen bepalen. Vrijwel steeds betrof het voor- en nastudies, waarbij een weg of weggedeelte met goede openbare verlichting in de naperiode werd vergeleken met hetzelfde weggedeelte zonder openbare verlichting (of onder zeer slechte verlichting) in de voorperiode. De betreffende weggedeelten werden steeds verlicht omdat dit om andere redenen dan de proefneming nodig werd gevonden; deze weggedeelten waren dus niet "random" gekozen, zoals eigenlijk zou moeten om van een gecontroleerd experiment te kunnen spreken. Voorts is vrijwel nooit aangegeven wat "goede" verlichting precies betekent, en zelden zijn vergelijkingen op controlewegen gerapporteerd. Ook over de technische verwerking - en daarmee over de statistische betrouwbaarheid - is weinig bekend; meestal zijn alleen "spreidingen" opgegeven, zonder dat precies is aangegeven wat daarmee is bedoeld. Anderzijds zijn er geen aanwijzingen dat er studies zijn verzwegen omdat de resultaten niet klopten met de hypothese. Dit volgt natuurlijk niet uit het gepubliceerde materiaal maar veel meer uit informele contacten. De meest recente van de vele verzamelingen van gegevens is die welke is gepubliceerd door de OECD (1980). Van groot belang is evenzeer de door de CIE voorbereide herziening van de oude Publikatie No. 8 (CIE, 1960). Deze herziening omvat een aantal nieuwere ongevallenstudies die informatie kunnen geven over de relatie met de openbare verlichting. Te hopen is dat de publikatie niet nog langer op zich zal laten wachten; zie CIE (1982); Fisher (1977a, 1977b).

Er bestaan een groot aantal overzichten van de vele studies die in de loop van de jaren zijn uitgevoerd. De meeste van deze overzichten zijn verouderd en door de moderne van OECD en CIE achterhaald; voorts zijn ze niet allemaal even kritisch. Om een indruk te geven van deze overzichten, noemen we er hier een paar. Er zijn Spaanse studies die aandacht besteden aan inferieure verlichting binnen bebouwde kommen (Anon, 1974b, 1974c). Anon 1971 vermeldt het bekende, hieronder toegelichte, getal van 35%. Borel (1973) concentreert op voetgangersongevallen (zie

ook Walthert, 1974, 1976, 1978, 1980). De Brabander (1971) heeft speciale aandacht besteed aan de interactie met automobielverlichting. In Regnault (1974) en Anon (1974d) wordt geconstateerd dat in bepaalde delen van het wegennet het percentage nachtongevallen op onverlichte wegen 53% van het totaal aan ongevallen bedraagt, maar op wegen met verlichting slechts 27%. Duff (1974, 1974a) vermeldt een 11% toename van ernstige ongevallen ten gevolge van de tijdens de energiecrisis verminderde verlichting; zie ook Talbot (1975, 1975a). We komen verderop nog terug op de invloed van de energiecrisis. Millington (1979) vermeldt dat bij 64 straten waarvan de verlichting werd verbeterd, er een reductie van nachtelijke ongevallen plaatsvond die voor stadsstraten 30 à 45% bedroeg, voor wegen buiten de bebouwde kom 19 tot 48% en voor autosnelwegen 16 tot 55%. Box (1970, 1971) heeft naast andere studies die verderop aan de orde komen, ook de invloed van de leeftijd van de verkeersdeelnemers onderzocht. Tenslotte nog een opsomming van een paar overzichten: Christie & Moore (1958); De Boer & Schreuder (1972); Dreyfuss (1971); Günther (1978); Gaymard (1972); Sabey (1973); Sabey & Johnson (1973); Schreuder (1973); Turner (1972, 1973) en Widen (1974).

We zullen hier een globaal overzicht geven van alle studies die uit de literatuur gevonden zijn. Uiteraard moet voor bijzonderheden verwezen worden naar de oorspronkelijke publikaties. Het hieronder gegeven overzicht is ten dele gebaseerd op de reeds genoemde studies van de OECD (1980) en de CIE (1982); zie daarvoor ook Fisher (1977b). Voorts is gebruik gemaakt van de documentatiegegevens van de OECD (het IRRD-bestand) en van het SWOV-bestand. Tenslotte is alle beschikbare literatuur "doorgebladerd". Ondanks dit kan uiteraard geen volledigheid worden gegarandeerd.

3.2. Straatverlichting binnen bebouwde gebieden

3.2.1. Vergelijking tussen goede en slechte of afwezige verlichting

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

- De eerste grote, systematische studie over de relatie tussen wegverlichting en verkeersongevallen is in Engeland uitgevoerd in de vijftiger jaren. Deze studie is in detail besproken in Anon (1963). De studie is samengevat in CIE (1960) en OECD (1971); zie ook Fisher (1977b); OECD (1980); Farouki (1977). Het ging daarbij om 64 straten waar de verlichting van "slecht" was opgetrokken tot "goed" volgens de toenmalige code (BSI, 1952). De resultaten kunnen als volgt worden samengevat:

voetgangers-letselongevallen	reductie	45%
andere letselongevallen	"	23%
dodelijke ongevallen	"	50%
ongevallen met zwaar letsel	"	33%
ongevallen met licht letsel	"	27%
alle letselongevallen	"	30%

Alle resultaten waren statistisch significant op tenminste het 5%-niveau (met uitzondering van de ongevallen met dodelijke afloop, waar het in de steekproef om kleine aantallen - ca. 20 - ging). In totaal zijn enige duizenden ongevallen in het onderzoek betrokken.

Dit onderzoek heeft methodologisch model gestaan voor de meeste erna uitgevoerde ongevallenstudies. Zo is hier voor het eerst op grote schaal gebruik gemaakt van de dagsituatie als vergelijkingsgroep. Deze methode is opgezet en toegelicht door Tanner (z.j.). De resultaten zijn in Engeland op grote schaal gebruikt bij de afweging op basis van kosten en baten over de wenselijkheid van verlichting; zie ook Tanner (1958) en Christie & Moore (1958); Marsden (1976); Lehmann (1966).

- In een studie over wegen uit zowel urbane als rurale gebieden constateerd Box (1972), net als in zijn studie omtrent Syracuse, NY. (Box, 1972a) een minimum voor de nacht/dag-verhouding bij 5 à 10 lux. Zijn conclusie lijkt op zijn minst voorbarig; de gedaante van de kromme die de meetpunten moet representeren wordt sterk bepaald door het feit dat de onverlichte wegen (0 lux) op dezelfde figuur zijn weergegeven. Beperkt men zich tot de wegen met openbare verlichting (tussen ca. 3 lux en ca. 15 lux) dan zou men eerder kunnen besluiten tot een toename van de nacht/dag-verhouding bij toenemend lichtniveau (zie Afbeelding 2). De genoemde studies van Box (1972, 1972a) laten beiden zien dat, tenminste onder bepaalde omstandigheden, bij toenemend lichtniveau de nacht/dag-verhouding toeneemt. Deze feiten worden niet zelden gebruikt

om de suggestie te wekken dat veel licht gevaarlijk zou zijn. Deze suggestie is echter voorbarig wanneer er geen gegevens beschikbaar zijn over de verdere omstandigheden met name betreffende het verkeer en betreffende de besluitvorming die is gehanteerd om te komen tot bepaalde lichtniveaus voor bepaalde wegen. Wel lijkt het gerechtvaardigd om uit deze onduidelijke situatie de conclusie te trekken de nacht/dag-verhouding van ongevallen, zonder nadere gegevens over het verkeer, slechts een gebrekkige maat oplevert voor de verkeersonveiligheid. Uiteraard geldt dit evenzo voor andere studies.

- De reeds genoemde studie in Syracuse, N.Y. (Box, 1972a) is vooral van belang uit het oogpunt van de methodiek van ongevallenstudies. Ook hier is weer de nacht/dag-verhouding gebruikt als maat voor de verkeersveiligheid bij nacht. Het onderzoek betrof belangrijke wegen (major en collector roads) met een totale lengte van 105 mijl.

Het resultaat van de totale studie geeft aan dat er sprake is van een duidelijk minimum in de nacht/dag-verhouding voor lichtniveaus in de buurt van 15 tot 20 lux. Zowel bij lagere als bij hogere verlichtingsniveaus wordt een hogere nacht/dag-verhouding gevonden. Op basis hiervan wordt door Box (1972a) een voorstel gedaan om te komen tot een optimaal lichtniveau. Hij concludeert ondermeer: "It appears possible to "overlight" as well as to "underlight" a given street". Wanneer men echter de relatie tussen de nacht/dag-verhouding en dat lichtniveau voor aparte klassen van wegen bekijkt, dan lijkt deze conclusie iets te ver gaan. Klasse 1 (hoofdwegen in het stadscentrum) vertoont een grillig beeld; als er al van een trend sprake is, is dat een geringe toename van de nacht/dag-verhouding bij toenemend lichtniveau. Klasse 6 (collector roads in de buitenwijken) daarentegen vertonen een afname. Dit laatste is wat te verwachten is, het eerste (de toename bij klasse 1) en daarmee wellicht verbonden het voorkomen van een minimum bij klasse 2 (hoofdwegen in de voorsteden) en van het totaal doen vermoeden dat er andere invloeden - waarschijnlijk verkeersinvloeden - een rol spelen. Tenminste, dit lijkt meer waarschijnlijk dan de door Box (1972a) gegeven verklaring dat het hier om een invloed van de verbinding gaat. Verkeersgegevens zijn echter niet gepubliceerd, dus een definitieve uitspraak kan niet worden gedaan.

Het is opvallend dat Box in andere studies (bijv. Box, 1970a) wel con-

cludeert dat er een algemeen nuttig effect te verwachten is van verlichting. "... that lighting of urban freeways effects a reduction of approx. 40% in night find accidents. This has a very positive cost benefit ratio ranging up to 2.3."; zie ook Box (1971).

- Een Australische studie (Turner, 1962) geeft een relatie tussen de kwantiteit van de verlichting en de veiligheid. Op basis van een studie over 10 wegvakken van 2,1 tot 8,3 mijl lengte is de relatie tussen geïnstalleerde lichtstroom en het nacht/dag-quotiënt van ongevallen bepaald (zie Tabel 1). Het bleek dat die relatie kon worden beschreven met de betrekking $N/D = 1,53 - 0,236 \log \phi$, waarin N de nachtongevallen en ϕ de lichtstroom is, uitgedrukt in geïnstalleerde lumens per 100 feet weglengte.

Naar schatting correspondeert het in Tabel 1 gegeven interval met verlichtingssterkteniveaus van 2 lux tot 15 lux. Hierbij hoort volgens de gegeven betrekking een verbetering van ongeveer 30% wanneer van slechte naar goede verlichting wordt overgegaan; N/D verandert dan van 0,80 naar 0,56. Overigens geeft de kromme (zie Afbeelding 3) de suggestie dat het niet veel zin heeft het niveau hoger te maken dan een 7 tot 10 lux (zeg 6.000lm/100ft).

Deze laatste opmerking is niet in overeenstemming met de resultaten uit een ander Australisch onderzoek (Thorpe, 1963). Het betreft hier 17 straten die tot een "goed" of "zeer goed" niveau zijn verlicht. Zeer goed komt daarbij overeen met tenminste 10.000 lumen per 100 ft dus zeg maar globaal 12 lux of meer. In een voor- en nastudie is een significante daling gevonden van de N/D-relatie voor letselongevallen (34%) en voor alle ongevallen (21%). Een verbetering naar "goed" dat overeenkwam met 7.000-10.000 lumen per 100 ft (dus 8-12 lux) ging gepaard met een toename van de nacht/dag-verhouding. Thorpe trekt daaruit de conclusie dat een matige (of volgens moderne standaard, hetgeen in dit geval betekent: na 1963) slechte verlichting erger is, meer gevaar oplevert, dan geen verlichting. Dit lijkt een wel erg voorbarige conclusie, zeker omdat niets is opgegeven over het verkeer en de eventuele veranderingen daarin, noch over de reden of de uitvoering van die veranderingen.

Een derde studie, ook door Thorpe (1963) beschreven, geeft wel meer de

suggestie dat betere verlichting gerelateerd is met een verlaging van de nacht/dag-verhouding in de ongevallen (alle ongevallen (zie Tabel 2). De bedoelde relatie is maar zwak aanwezig, zeker wanneer men rekening houdt met het feit dat groep I in het stadscentrum ligt en groep II er buiten. Het is maar de vraag of de relatie bij groep II-IV nog significant is; een opgave is niet gedaan.

Tenslotte een meer recent Australisch onderzoek waarbij de lijn van Turner zoals hierboven aangegeven, is gevolgd (Skene, 1976). Het gaat hier om een veel groter aantal installaties, maar de gevonden relatie is erg analoog, en wel $N/D = 0,844 - 0,167 \ln(LHF/sw)$. Hierin is LHF de zgn. lower hemisphere lantern flux en s en w de bekende paalafstand en wegbreedte. Afbeelding 4 geeft de meetgegevens weer en de bedoelde betrekking. Het lichtniveau is daarbij uitgedrukt in LHF/A_R waarin A_R de eenheid van oppervlak is (dus ft^2). Het nut van deze in engels sprekende landen nogal gebruikelijke tamelijk bizarre maat is niet erg duidelijk; de eenheid zal ongeveer neerkomen op 3 à 4 lux.

Fisher (1977b) concludeert uit deze studie dat het vervangen van slechte verlichting door een volgens de Australische standaard leidt tot een reductie van de bij nacht plaatsvindende letselongevallen met 29%. Ook de groepering van de gegevens zoals weergegeven in Afbeelding 4 geeft aan dat bij een hoger lichtniveau als regel een lagere nacht/dag-verhouding hoort. En ook hier heeft het er weer de schijn van dat een verhoging tot meer dan ca. 5 lux niet veel meer oplevert.

- Een "traditionele" voor- en nastudie uit Australië (Turner, 1972, 1973) gaf aan dat verlichting volgens de Australische code (zie Forbes, 1964) een bijdrage tot de veiligheid op kan leveren. Het ging daarbij om ca. 140 km weg in Sydney, waar voor alle typen ongevallen een aanzienlijke reductie in de nachtongevallen werd geconstateerd. De dagongevallen worden als controle gebruikt. De resultaten zijn samengevat in Tabel 3.

- Een van de weinige onderzoeken waarbij een controlegroep is gebruikt bij een voor- en nastudie is beschreven door Amundsen (1977, 1977a). Het gaat hier om 9 straten waarvan de verlichting is verbeterd, vergeleken met 9 goed verlichte straten. Er is een duidelijke afname van de nacht/dag-verhouding gevonden in de proef (van 47 naar 19%), ter-

wijl tegelijk de nacht/dag-verhouding bij de controlegroep toenam (van 21 naar 33%), een toename die overigens statistisch niet significant is. Scott (1979) concludeert uit deze gegevens dat er tamelijk sterke aanwijzingen zijn (significant op 10%-niveau) dat de verbetering van de verlichting samenging met een reductie van de nachtongevallen van ca. 70%.

- Een Engelse studie (Fisher, 1972) gaf de volgende ongevallenratio's (uitgedrukt in de nacht/dag-verhouding):

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

- Dit sluit aan op een belangrijke studie die in Engeland is uitgevoerd. Het bleek dat (op 19 plaatsen) op wegen met hoge snelheidslimieten een verbetering in de verlichting resulteerde in een reductie van het aantal ernstige ongevallen met 60% en van alle letselongevallen met 50%. Ook voor andere wegen waren er reducties, maar die waren kleiner en bovendien statistisch minder significant (Sabey & Johnson, 1973; zie ook Tanner & Harris, 1955; Tanner & Christie, 1955; OECD, 1971; Cornwell & Mackay, 1972). Zuman (1980) geeft als samenvatting een reductie van 30% voor de nachtelijke letselongevallen door verbetering van de verlichting; zie ook Christie & Walker (1969).

- DalGLISH (1974) beschrijft openbare verlichting vooral als een hulpmiddel voor de politie ter bestrijding van ongevallen en misdrijven. Wat betreft de ongevallen: voor "het land" (dat zal wel het gehele United Kingdom zijn) wordt opgegeven voor 1973 een totaal van 353 700 slachtoffers waarvan 7410 doden, bij een totaal aan kosten van £ 615 miljoen. De studie is vooral van belang wat betreft de misdaadpreventie.

- Een uitgebreide studie is gepubliceerd door Sielski (1967). Deze studie is vermeld door Stark (1973). De studie van Sielski bevat een samenvatting van de twijfelachtige studie van Wyatt & Lozano (1957) die hierna is besproken. Voorts is vermeld dat er een daling van 59% in de

dodelijke ongevallen 's nachts is geconstateerd na het verbeteren van de verlichting (tot een niveau van 20 lux) van 125 km hoofdweg. Dit is geconstateerd op basis van een eenvoudige vergelijking van de ongevallen vóór (3 jaar) en ná (7 jaar).

Voorts haalt Sielski twee gevallen aan van straten waarbij de verlichting is verbeterd. In beide gevallen gaat het om kleine trajecten, zodat ook de aantallen ongevallen klein zijn (Tabel 4).

Op basis van deze kleine aantallen kunnen geen behoorlijke conclusies getrokken worden, zeker omdat alle andere gegevens (verkeer enz.) ontbreken. In samenvattingen worden echter de door Sielski genoemde besparingen vaak wel weer opgenomen. In dit opzicht zijn de door de CIE (1982) en OECD (1980) gegeven samenvatting meer kritisch en daarmee vermoedelijk meer betrouwbaar.

- Een moeilijk te interpreteren studie is gepubliceerd door Wyatt & Lozano (1957). Het gaat daarbij om drie secties van een grote boulevard in Chicago. De verlichting van die drie secties, die hetzelfde verkeer verwerkten was 1,5; 3,5 en 9 lux. De ongevallen zijn gering in aantal; de conclusies zijn getrokken vooral op de schade-ongevallen, en het heeft er de schijn van dat de registratie daarvan niet constant is. De studie is interessant omdat er een gedetailleerde kostenraming in is opgenomen.

- Een drietal belangrijke studies zijn bijeengebracht door Box (1966). Ten eerste de verbetering van de verlichting in Kansas City, apart gepubliceerd in Box (1956). In Afbeelding 5 is weergegeven hoe het nachtelijk percentage van voetgangersongevallen met dodelijke afloop veranderde in relatie tot de fractie van de wegen die van nieuwe verlichting zijn voorzien. De dramatische daling van het percentage nachtongevallen is moeilijk te interpreteren, omdat niet bekend is hoe het percentage voetgangersverkeer 's nachts veranderde, en hoe de verlichting vóór en ná was.

Ten tweede is een dergelijke studie voor Trenton, N.J. gerapporteerd. Ook hier levert een toename van de verlichting een (doorgaande) afname in ongevallen op niet alleen voetgangersongevallen maar ook andere ongevallen. Maar ook hier is niet duidelijk wat "meer" licht nu eigenlijk precies betekent. Hier wreekt zich een te globale weergave van de feiten.

Hetzelfde geldt voor de derde door Box (1966) geciteerde studie betreffende hoofdwegen in Kansas City. De indruk bestaat dat een verhoging naar een 4 lux niet veel oplevert, maar niet is aangegeven hoe het niveau voor de verbetering was.

- In een andere studie van Box (1966a) is voor een deel weer hetzelfde materiaal verwerkt, maar er zijn ook studies besproken die niet elders zijn gerapporteerd. Het totaal van deze studie betreft meer dan 114.000 ongevallen.

Van belang lijkt de studie uitgevoerd in Cleveland (Anon, z.j.). In deze studie waren 33 wegvakken betrokken verspreid over de gehele USA. De nachtongevallen in de voorperioden waren totaal 356, in de naperioden 202 (steeds één jaar). Het gaat daarbij vooral om verbeteringen in de verlichting. Aangezien er geen opgaven zijn gedaan over het verkeer, en zelfs niet over de dagongevallen, is de waarde van de conclusie (een reductie in de nachtongevallen van 64%) wat onduidelijk.

De studies over Kansas City en Trenton, N.J. zijn hier herhaald. Maar er is wel een andere studie uit Kansas City vermeld. Het ging om 93 mijl hoofdwegen. De reductie in nachtongevallen bleek af te hangen van het lichtniveau (zie Tabel 5).

Tenslotte vermeldt Box nog een studie in Chicago (Anon, 1959). Hier nam, na verbeterde verlichting, het aantal dodelijke ongevallen op 533 mijl weglengte, af met 48% (van 156 in 1952 naar 81 in 1958).

- Stark (1973) is een van de velen die een overzicht van een aantal ongevallenstudies heeft opgenomen. Daarbij is gebruik gemaakt van de studies van Anon (1970); Billion & Parson (1962); Box (1956, 1971); Huber & Tracy (1966); Johnson & Tamburri (1965); Seburn (1948); Sielsky (1967) en Yates & Beatty (1970). Het gaat hier om een zestal grote studies waarbij een kleine 100.000 ongevallen in beschouwing zijn genomen.

Zo is het onderzoek van Box (1956) samengevat. Op 122 straten bleek dat ongeveer 25% van het verkeer bij duisternis plaatsvond; maar 63% van de voetgangersongevallen vond 's nachts plaats. Na verbetering van de verlichting nam dit af tot gemiddeld 30%. Dit was in 1951, dus in een tijdperk dat straatcriminaliteit nog verwaarloosbaar was. De studie van Stark geeft nog meer van dergelijke getallen.

Van belang is deze studie vooral wegens de meer theoretische beschouwingen over de methodologie van ongevallenstudies. Met name wordt gewezen op de noodzaak om goede steekproeven te nemen; details zijn gegeven omtrent de praktische uitvoering. Daarbij is gewezen op studies van Carroll et al (1971) en Michaels (1959).

- Heck (1966) heeft een studie besproken die in Washington, D.C. is uitgevoerd die vooral de kosten betreft. Interessant is de constatering dat de late nacht relatief van belang is: tussen middernacht en 6 uur vindt 5% van het verkeer plaats, 11% van de ongevallen en 17,4% van de daarmee gerelateerde kosten. Ook bleek dat gemiddeld genomen nachtongevallen zonder openbare verlichting veel "duurder" waren dan die bij openbare verlichting (resp. \$ 1341 en \$ 549).

Aangezien het daarbij over 20.000 ongevallen ging, is volgens Heck de besparing door openbare verlichting bijna \$ 16 miljoen. Wanneer de rest van het wegennet ook verlicht zou zijn, zou nog eens bijna \$ 6 miljoen kunnen worden bespaard. Aangezien de gemiddelde kosten van een dagongeval \$ 399 bedragen, is wellicht een verder besparing nog mogelijk. Ofschoon niet vermeld, doet de grondigheid van de studie vermoeden dat voor de hand liggende "valkuilen" als verschil in registratie wel vermeden zullen zijn.

- De door Walthert et al (1970) gerapporteerde Zwitserse studie is het vermelden waard. De resultaten wijken in twee opzichten af van wat elders is gevonden. Ook hier is weer de nacht/dag-verhouding van ongevallen als maat gebruikt, en ook hier is weer een afname gevonden bij toenemende verlichting (zie Afbeelding 6). Echter, de lichtniveaus zijn veel hoger dan die welke bij de andere proefnemingen voorkwamen - zelfs veel hoger dan in de praktijk gebruikelijk is. En de tweede afwijking bestaat daarin dat de nacht/dag-verhouding bij toenemende verlichting blijft afnemen, zelfs bij die hoge niveaus; zie ook Walthert & Hehlen (1980).

Het gaat hier overigens om een proefneming. De zeer hoge niveaus zijn kennelijk op experimentele basis uitgevoerd. De studie is echter op zeer goede wijze uitgevoerd, en in detail door Walthert, Mäder et al (1970) gerapporteerd, zodat in dat opzicht niet aan de juistheid van de resultaten getwijfeld hoeft te worden. Of de resultaten gegeneraliseerd kunnen worden, blijft overigens de vraag.

- Uit een studie in Hamburg uitgevoerd bleek dat bij een verdubbeling van de wegdekkluminantie het aantal nachtelijke ongevallen met 10% afnam, terwijl in dezelfde periode op wegen waarbij de verlichting niet veranderd was, het aantal nachtelijke ongevallen met ca. 1% was afgenomen. Ook bleek dat bij een verbetering van de verlichting het percentage van de nachtelijke ongevallen ten opzichte van alle ongevallen afnam van 33% naar 25% (Scholz, 1977).

Bij een andere proef werd, ook in Hamburg, de verlichting in een twintigtal straten verbeterd. Op die wegen werd een reductie van 20% van het aantal nachtongevallen geconstateerd. Vooral voor voetgangersongevallen werden voordelen verwacht (Anon, 1979a).

Aan de andere kant blijkt dat, eveneens in Hamburg (Anon, 1979a), een vermindering van de verlichting met het oog op de energiebesparing die DM 2 miljoen opleverde, aan extra ongevallen DM 18 miljoen kostte (zie ook Scholz, 1978). Het ging hierbij om het vroeger overschakelen op de zogenaamde "nachtschakeling".

In Hamburg zijn nog steeds veel straten met gaslantaarns verlicht. Bij de ombouw naar elektrisch licht wordt een verhoging van ongeveer een factor 2 bereikt in het lichtniveau en wel van ongeveer 0,4 naar 0,8 cd/m² bij een zeer sterke daling van de energiekosten. Een aantal van de straten met omgebouwde verlichting is vergeleken met naburige straten die niet werden veranderd (als controlegroep). Bij de controlegroep bleef het percentage nachtongevallen ongeveer gelijk (36%, resp. 34%), terwijl in de omgebouwde straten dat percentage sterk afnam (van 33% naar 24%) (Scholz, 1978).

Ook heeft men in Hamburg nagegaan of het toepassen van lichtgekleurde wegdekken van invloed was op de verkeersveiligheid (Scholz & Von Stosch, 1978). Ofschoon de indruk is gewekt dat dit aspect is onderzocht en dat er positieve resultaten zijn (de ondertitel van het bedoelde artikel luidt: Helle bituminöse Deckschichten vermindern Unfälle) is de studie beperkt gebleven tot economische factoren, met name betreffende de winst ten gevolge van het feit dat met minder lichtstroom (dus minder energie) dezelfde wegdekkluminantie kan worden bereikt. Wel worden de reeds elders genoemde onderzoeken vermeld, en tenslotte wordt een opgave van het resultaat van het verlichten van een traject autosnelweg van ca. 11 km lengte. Daar was het nachtaandeel van de ongevallen 26; op het aansluitende, 20 km lange, onverlichte gedeelte daarentegen 39%.

- Een belangrijke studie is gerapporteerd door Cornwell (1971). Het vormt een onderdeel van een dissertatie, die behalve de ongevallenstudie ook een vrij compleet overzicht geeft van de stand van zaken op het eind van de jaren zestig. De dissertatie is niet gepubliceerd (Cornwell, 1972a). De belangrijkste gegevens zijn samengevat in Cornwell (1972); Cornwell & Berry (1972) en Cornwell & Mackay (1972). Behalve de bekende "statistic k" waarmee met de voor- en naperiode zowel overdag als 's nachts rekening wordt gehouden, is ook een controlegebied gebruikt.

De studie omvatte in totaal 16 stadsstraten, 43 wegen buiten de bebouwing, en 42 rurale hoofdwegen (trunk roads). Het eindresultaat, dat ook in Cornwell & Mackay (1972) is gepubliceerd, is dat er in alle groepen een aanzienlijke reductie van de letselgevallen bij duisternis. De volgende reducties zijn opgegeven voor de drie wegtypen: 38,0%; 36,9% en 28,1%. Vervolgens zijn gecorrigeerde waarden opgegeven: 33,0%, 38,1% en 27,7%, met significantieniveaus van 1; 0,1 en 1%. Overigens is niet opgegeven waaruit die correcties bestaan.

Op deze proefnemingen is door het TRRL kritiek uitgeoefend. Sabey & Johnson (1973) hebben een studie geschreven over een aantal trunk roads. De beschrijving van de proef is niet erg duidelijk, maar het lijkt te gaan over een andere steekproef als die welke door Cornwell is gebruikt. De wegen zijn opgesplitst naar de daar geldende snelheidslimieten. Ten gevolge daarvan zijn de groepen van wegen zo klein geworden dat geen statistisch significante uitspraak kan worden gedaan. De kritiek van Sabey & Johnson lijkt dan ook niet erg gefundeerd. Cornwell vindt een algemeen getal voor de reductie (en wel bijna 30%). Het is niet onderzocht of de ter plaatse geldende snelheidslimieten van invloed is. Nu vinden Sabey & Johnson dat de snelheidslimiet inderdaad van invloed is op de grootte van de gevonden reductie. Dit is echter geen reden om de door Cornwell gevonden globale reductie in twijfel te trekken. De kritiek van Sabey & Johnson, en de door henzelf uitgevoerde studie, waarbij door de toevallige samenstelling van hun steekproef alleen bij een hoge snelheidslimiet (70 mile/h, dat zijn dus bijna steeds rurale autosnelwegen) een significant resultaat gevonden is, kan allicht de indruk wekken dat verlichting alleen helpt op wegen waar met hoge snelheid mag worden gereden. Deze opmerkingen zijn door Wister (1979) uitgewerkt; zie ook Lukaschek (1979).

- Een voor- en nastudie waarbij tot zekere hoogte verkeersgegevens gerapporteerd zijn, is beschreven in Anon (1969a). Het gaat om ca. 50 km hoofdweg in de buitenwijken van Nashville, Tenn. De proefnemingen zijn zorgvuldig opgezet; naast het dagelijkse verkeer zijn ook andere relevante kenmerken gerapporteerd. De verlichting in de naperiode was 14 à 15 lux, in de voorperiode was er geen openbare verlichting. De reductie in het ongevallenquotiënt is voor alle gerapporteerde ongevallen 22% en voor letselongevallen 39%. Ook hier blijkt dus dat vooral ernstige ongevallen sterk afnemen. (Vermeld is dat de surveillance, dus vermoedelijk ook de registratie van ongevallen, niet is veranderd.) Vooral interessant is het gegeven dat vooral de oude en jonge bestuurders voordeel hebben van de verlichting, een feit overigens waarvoor geen verklaring is gegeven (zie Afbeelding 7).

Ook deze studie besluit weer met een kosten/batenvergelijking. Men besluit tot een jaarlijkse besparing per mijl weglengte na het aanbrengen van de verlichting van \$ 1,867.

- Min of meer terzijde vermelden we hier de studies waarbij de invloed van verkeerslichten op de ongevallen is bekeken; zie Welleman (1981). Zo vindt Toomath (1972) dat bij alle kruispunten 's nachts 40,4% van de ongevallen plaatsvinden, maar bij verkeerslichten 50,8%. Op basis daarvan pleit hij voor betere verkeerslichten. Zonder gegevens over het verkeer lijkt dat een te voorbarige conclusie.

3.2.2. De invloed van het lichtniveau

- Een interessant onderzoek is uitgevoerd in Philadelphia door het Franklin Institute. Het belang is gelegen in het feit dat in dit onderzoek voor de eerste maal naar de "vraag"-kant is gekeken, en niet zoals in alle andere onderzoekingen, alleen naar de "aanbod"-kant. De "vraag-en-aanbod" theorie is elders besproken (Schreuder, 1972, 1974, 1977, 1978b, 1982).

Het onderzoek heeft niet veel bruikbare resultaten opgeleverd, omdat het behept was met een aantal theoretische en methodologische tekortkomingen. We komen elders terug op dit onderzoek (Schreuder, 1982a) dat beschreven is door Gallagher et al (1975, 1975a) en Gallagher & Meguire (1974, 1975).

We vermelden dit onderzoek hier, omdat in relatie ermee ook een ongevalstudie is uitgevoerd. Daarbij werd bij een aantal installaties een relatie gezocht tussen variabelen van licht en zichtbaarheid (verlichtingssterkte en de gelijkmatigheid daarin, de luminantie, en de visibility index VI). Er werd een correlatie gevonden tussen de ongevallen en de VI, meer speciaal met de 15%-waarde van de VI. Dit was in overeenstemming met de verwachting. Ook werd echter een relatie gevonden tussen de ongevallen en de 15%-waarde van de verlichtingssterkte - de ongelijkmatigheid dus. Deze relatie was echter tegen de verwachting in, namelijk een toenemend aantal ongevallen bij toenemende 15%-waarde. Op basis hiervan werd vermoed dat noch de verlichtingssterkte noch de gelijkmatigheid daarvan een redelijke maat is voor de kwaliteit van de verlichtingsinstallatie (Janoff et al, 1977, blz. 42). Van belang bleek te zijn het type en de locatie van de betreffende weggedeelten (stadscentrum of niet; dichtheid van de bebouwing). Wanneer dit in rekening wordt gebracht, kan de volgende relatie worden gegeven:

$$N = 1,52 + 2,67 (\text{Loc}) + 0,0000855 (D) + 1,26 (\text{HFC15}) - 0,415 (\text{VI.15})$$

waarin:

N = aantal ongevallen

Loc = stadscentrum of niet*

D = bebouwingsdichtheid*

HFC15 = 15%-waarde van verlichtingssterkte (in fc)

VI.15 = 15%-waarde van zichtbaarheid*

Deze studie is om een aantal redenen van belang. Ten eerste gaat het om een grote, goede opgezette en goed uitgevoerde studie. Het betrof ca. 1.000 ongevallen. Ten tweede is een zeer gedetailleerde ongevallenanalyse gemaakt, die bovendien op accurate en moderne wijze statistisch is uitgevoerd. Ten derde wordt ook hier aandacht besteed aan de "vraag"-aspecten. Ten vierde zijn economische en kosten/bateneffecten mee beschouwd. Een ernstig bezwaar is dat er geen verkeersgegevens beschikbaar zijn.

*We laten hier korthedshalve onbesproken waarin deze grootheden worden uitgedrukt.

- Van groot belang is een onderzoek dat kort geleden in Engeland is uitgevoerd. In tegenstelling tot vrijwel alle andere onderzoeken op dit gebied, waar over de kwaliteit van de verlichting buitengewoon weinig bekend was (meestal niet meer dan "aanwezig" of "afwezig") heeft men hier gekozen voor een zeer gedetailleerde meting van de verlichting. Voor alle wegvakken betrokken in het onderzoek werd gemeten: de gemiddelde luminantie, de gemiddelde horizontale en verticale verlichtingssterkte, de algemene en de langsongelijkmatigheid, de helderheid van de omgeving, en de verblinding. Van dezelfde wegvakken zijn de ongevallen verzameld. De opzet is globaal beschreven door Marsden (1976). De metingen zijn beschreven door Green & Hargroves (1979); de eerste resultaten zijn gepresenteerd door Cobb et al (1979), terwijl de resultaten in detail zijn besproken in Scott (1980) en Hargroves & Scott (1979); zie ook Zuman (1980); Scott (1980a); Anon (1979b); Schreuder (1979d). Omdat geen verkeersgegevens beschikbaar waren, is als maat voor de veiligheid gekozen voor de verhouding tussen nacht en dagongevallen. Een uitgebreide en gedetailleerde variantie-analyse leverde globaal het volgende op:

- Er is een duidelijke relatie tussen de gemiddelde luminantie en de nacht/dag-verhouding. Deze relatie, te zamen met de variantiebreedte, is gegeven in Afbeelding 8.

- Ofschoon er een zekere relatie gevonden is tussen de verlichtingssterkten en de luminantie van de omgeving, en de ongevallen, zegt dit verder niet veel omdat er een sterke relatie is tussen al die verlichtingsmaten (zoals natuurlijk te verwachten is).

- Er was geen relatie tussen de ongelijkmatigheden en de verblindingsmaten, en de ongevallen.

Dit resultaat is in overeenstemming met de verwachting, en er is dan ook - begrijpelijk - veel aandacht aan besteed.

Een nadere uitsplitsing naar ongevallen waarbij voetgangers waren betrokken en ongevallen waarbij geen voetgangers waren betrokken, leverde echter resultaten op die niet zo goed met de voorspellingen overeenkwamen. Het volgende bleek:

- Er was geen enkele relatie te vinden tussen ongevallen met voetgangers en de fotometrische gegevens. Dit is niet in overeenstemming met de verwachting: immers er wordt vaak gesteld dat juist voetgangers voordeel

hebben bij goede verlichting. Er is niets bekend over de voetgangersintensiteiten, dus al te veel waarde mag men er niet aan hechten. Overigens zou dit resultaat de gedachte kunnen ondersteunen dat voetgangersongevallen wellicht iets te maken hebben met alcoholgebruik door die voetgangers.

- Bij de ongevallen zonder voetgangers kwam niet alleen de duidelijke relatie met de luminantie, zoals die ook was gevonden voor alle ongevallen, weer terug, maar tevens bleek er een nauwe relatie te bestaan tussen de ongevallen en de ongelijkmatigheid, maar dan in een geheel onverwachte zin: de situatie werd "gevaarlijker" (grotere nacht/dagverhouding R) wanneer de gelijkmatigheid "beter" werd (hogere langsgelijkmatigheid V_0). De volgende betrekking is gevonden (zie ook Afbeelding 9):

$$R = 0,5 \text{ EXP } (1,49 U_0 - 0,75 \bar{L})$$

De onderzoekers weten kennelijk geen raad met dit resultaat. In het rapport (Scott, 1980) dat grotendeels gaat over de relatie tussen ongevallen en de gemiddelde luminantie \bar{L} staat vermeld (blz. 12): "The positive slope with increasing overall uniformity U_0 is unexpected. The negative slope with increasing \bar{L} is consistent with most other analyses in this study." Het is verder niet te zeggen wat hier nu precies aan de hand is. Het feit dat er niets is opgegeven over het verkeer, noch over de criteria van de wegbeheerders om verlichting met een bepaalde kwaliteit aan te brengen, maakt een nader begrip vrijwel onmogelijk. Deze onduidelijkheid heeft mede een rol gespeeld bij de overwegingen om een onderzoek van een geheel ander type op zijn mogelijkheden te onderzoeken, zoals hieronder wordt toegelicht.

Ook in andere opzichten is er wel kritiek uit te oefenen op dit onderzoek, ofschoon het, in het algemeen gesproken, technisch en methodologisch heel zorgvuldig is opgezet en uitgevoerd.

Zo is het onderzoek beperkt tot een kleine groep straten (middelmatig belangrijke stadsstraten, met één rijbaan en een snelheidslimiet van 30 mph). Voorts waren er zoals gezegd geen gegevens beschikbaar over de intensiteit en de samenstelling van het verkeer. Dit betekent dat alle eventuele interacties tussen verkeerskenmerken, wegkenmerken, verlichting en ongevallen hetzij in de restspreiding terecht komen, hetgeen

leidt tot een geringer scheidend vermogen van het onderzoek, of leiden tot systematische afwijkingen. Dit laatste is uiteraard ernstiger, omdat deze afwijkingen de eindconclusies op een niet te isoleren manier kunnen beïnvloeden. Aan de andere kant zijn de fotometrische gegevens met grote nauwkeurigheid bepaald; dit heeft er echter weer toe geleid dat - wegens de grote kosten - de wegvakken waarover voldoende gegevens beschikbaar waren, gering in aantal waren, hetgeen resulteert in een tamelijk grote spreiding. Het lijkt erop dat in dit opzicht niet de optimale design is gekozen.

Het is te overwegen een analoge proef te doen, maar dan de steekproef wat betreft de lengte van de wegvakken en dus van de ongevallen veel groter te maken. Om de omvang van de proefneming binnen zekere grenzen te houden, moet dan de bepaling van de fotometrische karakteristieken veel minder omvangrijk (en dus vanwege de kosten noodgedwongen ook veel minder nauwkeurig) plaatsvinden. Het is een nader onderzoek waard of niet een optimum te vinden is wat betreft de nauwkeurigheid van de resultaten door aan de ene kant winst te boeken door een grotere steekproef en aan de andere kant verlies te accepteren door minder nauwkeurig te meten. Het ligt vervolgens voor de hand, dat, wanneer men een eenvoudige meting (of zelfs een schatting) van het lichtniveau accepteert, men ook kan accepteren dat er via schattingen bepaalde verkeerskenmerken worden gebruikt, waarmee een principiële bezwaar tegen dit Engelse onderzoek wordt ondervangen.

3.2.3. De energiecrisis van 1973/1974

De zogenaamde energiecrisis van 1973/1974 heeft vele pennen in beweging gebracht. De gebeurtenissen waren nogal onverwacht, zodat er meestal geen mogelijkheden bestonden om deze gebeurtenissen op de voet te volgen of, beter nog, erop te anticiperen met gedegen wetenschappelijke studies, iets dat bij voor- en nastudies zeer essentieel is.

- In Nederland bijvoorbeeld zijn geen bruikbare verkeersgegevens beschikbaar gekomen die nodig zijn om een preciese evaluatie te kunnen maken. In SWOV (1974) is dit dan ook medegedeeld; ten onrechte wordt echter vaak gemeend dat er dus geen invloed bestaat van lichtniveau op ongevallen. Dit is uiteraard een geheel verkeerde conclusie. Iets dergelijks zou ook kunnen worden afgeleid uit de direct hiermee vergelijk-

bare Engelse studie (Scott & Barton, 1976). De samenvatting ervan besluit als volgt:

"It has not been possible to make an entirely satisfactory analysis of the effects of the street-lighting cuts in Winter 1973-74, since the roads on which the lighting condition changed cannot be isolated for separate study. Analysis of accident rates on all urban roads in darkness does not demonstrate overall an adverse effect of the cuts, though variations in effect between different types and locations of accident may be masked."

Het rapport zelf geeft echter een aantal aspecten aan waarbij wel degelijk van een duidelijke samenhang sprake is. Het probleem bij de interpretatie blijkt te zijn dat ten eerste de vermindering van de verlichting niet overal gelijktijdig is uitgevoerd, dat er in dezelfde periode een stringente snelheidslimiet werd ingevoerd, en dat het verkeer werd beïnvloed. Overigens is de objectiviteit van het rapport niet boven iedere twijfel verheven: op twee plaatsen komen afwijkingen voor van de "verwachting" (dat wil zeggen de schatting van de resultaten onder aanname dat de lichtreductie geen invloed zou hebben) en die zouden kunnen wijzen op een nadelige invloed ervan op de veiligheid. Daar worden dan termen gebruikt als "... not too much attention should be paid to the odd isolated change ..." en "this remains rather puzzling". Het eigenlijke onderzoek lijkt echter zorgvuldig te zijn uitgevoerd. Daarbij wordt in een aantal gevallen wel degelijk een "highly significant" resultaat gevonden.

- In de winter van 1973/74 is in Engeland de straatverlichting globaal gehalveerd. Dit was een maatregel die nodig werd geacht op grond van de kolentekorten ten gevolge van een mijnwerkersstaking. De problemen van levering van aardolie ("onze" energiecrisis) speelde wel een rol, maar niet de hoofdrol. Dit resulteerde in een toename van 12% van de ongevallen met doden en met gewonden, vergeleken met de winter van 1972/73. In 1973/74 was echter het verkeer met 10% afgenomen (Austin, 1976, Anon, 1974g). Over deze maatregelen en hun gevolgen voor de verkeersveiligheid is het nodige gepubliceerd: zie bijv. Anon (1974h); Talbot (1975); Schreuder (1974a). De invloeden van deze reductie in de verlichting voor Greater London is in detail beschreven door Talbot (1975). Hij geeft aan dat alleen al voor Greater London een dergelijke

reductie (van meestal 30 à 50% van de verlichting - er wordt overigens niet in detail aangegeven hoe die reductie precies is bereikt) op jaarbasis naar verwachting tot een groot aantal extra ongevallen zal leiden, en wel 900 letselongevallen met voetgangers, 65 ongevallen met doden (waarvan 52 met voetgangers) en een totale schade van £ 3,2 miljoen. De studie van Talbot is zeer goed gedocumenteerd, en zij vormt een van de meest overtuigende bewijsstukken over de zeer ernstige gevolgen voor de verkeersveiligheid - en dan speciaal betreffende de voetgangers - van een aanzienlijke reductie van de openbare verlichting. Deze uitspraak is ondermeer ingegeven door het feit dat in dit rapport een volledige verantwoording is gegeven van de statistische bewerkingen.

- Ook in Zweden is in 1973/74 de openbare verlichting verminderd. Er werd een significante (op 10%) toename geconstateerd van het percentage nachtelijke ongevallen direct na het verminderen van de openbare verlichting. In vergelijking met dezelfde periode in 1972/73 nam dit percentage toe van 60 naar 71. Korte tijd na de vermindering van de verlichting werden er vele andere maatregelen genomen (o.a. benzinedistributie) zodat er van een redelijke vergelijking rond de voorafgaande jaren geen sprake meer kan zijn (zie Anon, 1975f).

- Verder nog een studie over bijna alle grote steden in Denemarken. Daar werd geconcludeerd dat "een theoretische berekening aangaf dat de geconstateerde toename van ongevallen bij duisternis voor het hele land zou neerkomen op 700 ongevallen met letsel. Het is zeer waarschijnlijk te achten dat het extra gevaar dat in 1974 is geconstateerd, veroorzaakt is door de vermindering van de straatverlichting, maar ook andere oorzaken zoals weersomstandigheden konden wellicht een hoofdoorzaak zijn. Eventuele beslissingen hangen af van de vergelijking tussen de relatieve belangen van een aanzienlijke maar niet precies bekende toename van de nachtongevallen enerzijds en de energiekosten voor openbare verlichting anderzijds" (naar een niet te achterhalen, foutief geciteerde bron, aangehaald door OECD, 1980).

- Na de vermindering van de verlichting in 1973/1974 waarvan de negatieve gevolgen o.a. beschreven zijn door Austin (1976) is in Greater London de verlichting van veel straten weer verbeterd. Lalani (1978) heeft een

studie van 27 locaties gerapporteerd. De nachtongevallen, die gemiddeld 32,5% van het totaal bedroegen, namen af met 14,7%. Voor de 14 locaties die een hoger dan gemiddeld aandeel hadden in de nachtongevallen - die dus 's nachts relatief "gevaarlijk" zijn, werd een reductie van de nachtongevallen van 23,6% geconstateerd. Dit alles is significant op het 5%-niveau. Met de trend, die per locatie door plaatselijke omstandigheden kon variëren, is op adequate wijze rekening gehouden.

Ook de economische aspecten zijn behandeld. Vóór de verbetering waren er gemiddeld 7,88 nachtongevallen per km per jaar, ná 6,87. Op basis van een geschatte totale schade van £ 4210 per ongeval blijkt dat de verbeterde verlichting (die £ 9400 per km kost) in drie jaar terug is verdiend. Merkwaardig genoeg noemt Lalani dit "... only marginally sufficient to justify the work on road safety grounds alone."

- Een andere interessante studie is gerapporteerd door Austin (1975a). Uit een enquête onder ongeveer één kwart van de plaatselijke autoriteiten in Engeland bleek dat door middel van behoorlijke verlichting 30 à 50% van de nachtelijke ongevallen kunnen worden beperkt. Voorts werd geconstateerd dat het verminderen van de verlichting later in de nacht de criminaliteit bevorderde en dat met SOX-lampen aanzienlijke economische winst is te boeken.

- Scott (1979) vermeldt een Zweedse studie van geringe omvang. In een voor- en nastudie is gebleken dat zowel voor stedelijke hoofdwegen als voor straten in het stadscentrum een verbetering van de verlichting samenging met een verlaging van de nacht/dag-verhouding van letselongevallen: van 66 naar 33%, en van 34 naar 19% respectievelijk. Gezien de geringe aantallen zijn deze vermindering niet of nauwelijks statistisch significant (Anon, 1965).

Interessant is op te merken dat ook hier weer de suggestie naar voren komt dat stadscentra 's nachts relatief veiliger zijn dan wegen buiten het stadscentrum.

Ook een Deense studie door Scott (1979) vermeld, levert hetzelfde bezwaar op: ook hier zijn behoorlijke conclusies niet mogelijk aangezien de studie van te kleine omvang is (Gudum & Schiøtz, 1978). Er is een zeker risico verbonden aan het vermelden van dergelijke studies, omdat niet zelden door personen die een afkeer hebben van openbare verlichting

de resultaten, die aangeven dat de ongevallenreductie die geconstateerd is niet als statistisch significant worden beschouwd, worden uitgelegd als aantonende dat er geen effect is, of zelfs dat het vermoeden gerechtvaardigd is dat de verlichting "eigenlijk" schade oplevert.

- In november 1974 is in Florida op een belangrijke weg de verlichting verminderd. Uit een voor- en nastudie bleek dat de ongevallen met ca. 10% toenamen (Box, 1976). Na een reductie van ca. 15 lux naar ca. 10 lux nam het aantal dagongevallen toe met 4% en het aantal nachtongevallen met 40%. Dit ging gepaard met een toename van 36% in de nachtelijke ongevallenratio. Al deze relaties bleken (op 5%-niveau) statistisch significant te zijn. Het verkeer was in deze tijd - op etmaalbasis - met ca. 2,5% toegenomen.

De energiebesparing was gering in relatie tot de kostentoeename ten gevolge van deze extra ongevallen. "On a cost-benefit basis, the ratio produced by turning the lights back on is favorable by about 4:1".

- In Austin, Texas, is in 1973 de verlichting van een 7,2 mijl lang gedeelte van een stedelijke hoofdverkeersweg gereduceerd. Richards (1981) brengt verslag uit over een vier jaren bestrijkende studie. De reductie bestond eruit dat de verlichting van één van de rijbanen werd uitgeschakeld. Gezien de breedte van de middenberm (ca. 10 m) mag worden aangenomen dat de verlichting op de ene rijbaan onveranderd bleef en dat de andere rijbaan als onverlicht kan worden beschouwd. Dit geldt uiteraard niet ten aanzien van het aspect "geleiding".

Het ongevallenquotiënt bleek na het doven van de verlichting van 1,51 tot 1,91 (ongevallen per 100 miljoen voertuigmijl) dus met 27% te zijn toegenomen. Vooral waren dit kop/staartbotsingen en botsingen met voetgangers. Ook de ongevallenernst nam toe. Door verandering in het verkeerspatroon (o.a. snelheidslimieten) namen de ongevallen in de andere gevallen in dezelfde periode af (zie Tabel 6).

Deze studie wordt besloten met een kostenanalyse. De toename op het onverlichte gedeelte kwam overeen met een stijging van \$ 33,880. De daling op de andere gedeelten bedroeg \$ 71,640. De kosten zijn bepaald op basis van Anon (1973). De stroomkosten werden verminderd met \$ 24,200. Op basis van de negatieve resultaten is na vier jaar de verlichting weer op het oorspronkelijke niveau teruggebracht. Ook deze studie is statis-

tisch goed onderbouwd (Michaels, 1966; Molina, 1942; Morin, 1967; Steel & Torre, 1960).

3.3. Wegverlichting buiten de bebouwde kom

Ook hier zijn een aantal studies van belang. Een overzicht is gegeven door Fisher (1973); zie ook OECD (1980).

- In Zweden bleek dat op onverlichte kruispunten 40-50% van de ongevallen 's nachts plaatsvinden, op verlichte kruispunten daarentegen slechts 30% (Brüde & Larsson, 1977, 1977a).

- Een Finse studie betreft 261 locaties met een totale lengte van 335 km (Salminen, 1978). Op basis van voor- en nastudies en met de dagongevallen als controle is geconstateerd dat na verlichting het aantal ongevallen 's nachts met 22,6% is afgenomen. Dit komt overeen met ca. 10% van het totale aantal ongevallen.

In tegenstelling tot andere studies is hier gevonden dat de reductie van letselongevallen minder dan het gemiddelde bedrag (namelijk 18,9%), terwijl ongevallen met uitsluitend materiële schade met 25,8% afnamen. Ook wordt gesuggereerd dat verlichting op aparte kruisingen iets minder effectief is dan op wegvakken. En tenslotte is geconstateerd dat voor Finse omstandigheden de verlichting van de bedoelde objecten niet cost-effective was: de bedrijfskosten bedroegen 6,1 miljoen FM per jaar, terwijl de besparingen 4,2 miljoen FM bedroegen. Ook hier ging het vermoedelijk om wegen buiten de bebouwde kom.

- Uit een grote studie in de VS betreffende een groot aantal rurale kruispunten (Walker & Roberts, 1976) bleek dat na het aanbrengen van openbare verlichting het aantal nachtongevallen terugging van 1,89 tot 0,91 (uitgedrukt in ongevallen per miljoen voertuigen die de kruising bereden). De nacht/dag-verhouding voor de verlichte kruisingen is 0,659; voor onverlichte kruisingen 1,196. Dit levert een verhouding op van 0,45 op 1 voor de nacht/dag-verhoudingen op verlichte tegenover onverlichte kruisingen. Er is geconcludeerd dat bij meer dan 3.500 voertuigen per dag (ADT) verlichting leidt tot een significante reductie in de ongevallen.

- Voor de kruisingen op de Amerikaanse Interstate Highways is gebleken dat het verkeersvolume en het percentage nachtverkeer meer van invloed zijn op de nachtongevallen dan de verlichting (Cirillo, 1968).

- Een andere studie is gegeven door Hilton (1978). "The lighting was found to be particularly effective in reducing the night-time accident rate". Dit was vooral in de winter het geval, wegens het feit dat dan de avondspits bij duisternis valt.

- Andere studies betreffende verlichting op kruispunten zijn beschreven door Marks (1977), Newby & Johnson (1963) en Sirola (1978).

- Een grote studie in Engeland heeft geleid tot het resultaat dat gemiddeld een ongevallenreductie van 38% werd geconstateerd. Deze proefnemingen zijn daarom interessant omdat een grote statistische betrouwbaarheid te constateren is (0,1% significantieniveau; OECD, 1980).

- In Frankrijk zijn vrijwel identieke resultaten gevonden. Het betrof 82 verlichte en 85 onverlichte rurale kruispunten. Op de verlichte kruispunten vonden 's nachts ca. 30% van de ongevallen plaats; op de onverlichte kruisingen was dat 45% (Anon, 1973h).

Een andere Franse studie betrof de verlichting van autosnelwegen (Anon, 1974j). Er werd na verlichting een reductie van de ongevallen geconstateerd die tussen de 25 en 40% liggen. Uit de opgave van OECD (1980) is het niet duidelijk of het hier over het totaal van ongevallen gaat, of alleen over nachtongevallen.

- Een vrij oude, Franse studie behandelt de verandering in ongevallenquotiënt na het aanbrengen van verlichting op voordien onverlichte wegen (Lefèvre, 1962). Het gaat om 1300 km weg, vermoedelijk buiten de bebouwde kom. De studie strekte zich uit over de jaren 1955-1959. Het eindresultaat was dat met "goede" verlichting (waarbij goed niet precies is omschreven, maar vermoedelijk uit SOX-verlichting bestaat) een reductie in het nachtelijk ongevallenquotiënt te bereiken is van 20%.

- Zeer analoge resultaten zijn uit de USA gerapporteerd (Lipinski & Wortman, 1976; zie ook Wortman & Lipinski, 1974).

- Zuman (1980) vermeldt twee gevallen van verlichting buiten bebouwde kommen; in beide gevallen is een reductie van de ongevallen (nachtongevallen?) van 38% geconstateerd.

- Een Nederlandse studie over autosnelwegen (Beukers, 1971) wees uit dat een rechtstreekse vergelijking van de ongevallenquotiënten op verlichte (120 km) en onverlichte (ca. 900 km) autosnelwegen geen invloed van de verlichting deed blijken. Maar bij een vergelijking van de nacht/dag-verhoudingen bleek dat de verlichte autosnelwegen 's nachts 18% minder ongevallen hadden dan de onverlichte wegen. Dit correspondeert met een reductie van 7,5% in het totale aantal ongevallen (voor het gehele etmaal). Deze vergelijking moet echter met voorzichtigheid worden gehanteerd, omdat de verlichte wegen een ander karakter hebben als de onverlichte wegen.

In 1970 werden de volgende "warrants" voor het aanbrengen van verlichting gehanteerd:

- binnen de bebouwde kom;
- discontinuïteiten, verkeersknooppunten enz.;
- meer dan 2x2 rijstroken en meer dan 60.000 voertuigen per etmaal;
- veel opstoppingen.

Intussen zijn de criteria weer verzwaard.

Beukers (1971) merkt tenslotte op dat "Also when authorities are assured of the benefits of road lighting, the high costs are too often prohibitive". Opgegeven wordt dat voor verlichting (voor autosnelwegen zal wel bedoeld zijn) 4 tot 6% van de initiële kosten nodig is, en 15 tot 20% van de jaarlijkse bedrijfskosten zijn. Maar over een onderlinge afweging van kosten en baten wordt door Beukers niet gerept.

- Tan (1974, 1974a) vermeldt de resultaten van een studie op RW16, die tweemaal 21 maanden besloeg. Het gaat om een voor- en nastudie (geenwel verlichting) op een autosnelweg waar ca. 60.000 voertuigen per dag passeren (Tabel 7).

- Vermeld worden nog studies die in Duitsland hebben plaatsgevonden. Daar ging het niet in de eerste plaats om een ongevallenstudie, maar

meer om het maken van een schatting van de baten van verlichting voor autosnelwegen (zie hiervoor Pfundt, 1970; Pfundt & Fehr, 1969; Pfundt et al, 1969; Schubert et al, 1969).

- Analooq hieraan is een studie van Witherford (1969, geciteerd in CIE, 1982) waaruit is geconcludeerd dat bij 50.000 à 60.000 voertuigen per dag de verlichting van autosnelwegen zichzelf betaalt door de daling van de ongevallen. Het is niet te zeggen of deze getallen anno 1982 nog veel waarde hebben.

- Misschien wel de meest gedetailleerde studie op dit gebied is het project 5-2 van de National Cooperative Highway Research Programme. Op een 8 km lang stuk weg van de Connecticut Turnpike bij Bridgeport is de verlichting gedurende een testperiode van 10 maanden teruggebracht van 0,62 fc naar 0,22 fc (ongeveer 6 en 2 lux). De verlaging werd bereikt door speciale lampen aan te brengen. De installatie is dus verder in geen enkel opzicht veranderd. De luminantie is niet gemeten, noch is de verblinding beoordeeld. Het is daarom moeilijk te zeggen hoe de kwaliteit van de verlichting is veranderd. In Anon (1968a) is in detail gerapporteerd over deze studie, waarbij een aantal verschillende aspecten aan de orde kwamen.

+ Huber & Tracy (1968) beschrijven verkeerskundige aspecten. Bij 6 lux was de gemiddelde snelheid ca. 2 km/h hoger dan bij 2 lux. In alle andere onderzochte aspecten is geen of nauwelijks invloed van de verlichting geconstateerd (verkeer, verkeersverdeling, dwarspositie, snelheidsverdeling). Ook de ongevallen blijken geen significante verandering te vertonen. De reden is gelegen in het kleine aantal gerapporteerde nachtongevallen gedurende de testperiode.

+ Rockwell & Lindsay (1968) onderzochten d.m.v. geïstrumenteerde auto's de rijprestatie. Deze bleek nauwelijks te worden beïnvloed door de verlichting, maar wel in belangrijke mate door de geometrie en de verkeersbelasting.

+ Birkhoff & Blackwell (1968) onderzochten de zichtbaarheid. Zoals te verwachten, bleek dat bij 6 lux de "relative visibility factor" hoger (en wel 32,4%) te zijn dan bij 2 lux. Gezien de afwezigheid van andere effecten mag het worden betwijfeld of deze RVF een bruikbaar criterium is voor de kwaliteit van wegverlichting.

+ Tenslotte onderzochten Perchonok & Hurst (1968) het oordeel over de verlichting. Daarbij werden vragenlijsten gegeven aan de bestuurders bij de tol op de weg; 615 geretourneerde formulieren zijn geanalyseerd. Geen enkele bestuurder gaf aan dat hij iets van de verandering van de verlichting had gemerkt. Bij meer licht (dag, maan, wegverlichting) waren er meer klachten, maar het effect was statistisch niet significant. De auteurs concluderen "reduced illumination was not detrimental".

+ Deze studie mag als een voorbeeld gelden wat betreft de toegepaste methoden en de details van de beschrijving van de resultaten; de resultaten zelf zijn echter onbevredigend omdat kennelijk de verkeerde locatie is gekozen.

Bovendien is het verschil in verlichting te gering om duidelijke effecten te veroorzaken. Tenslotte is de verlichting van zeer matig (6 lux voor een autosnelweg) veranderd in zeer slecht (2 lux), zodat de eventuele resultaten weinig zeggen. Het gevaar van dergelijke studies is, dat gemakkelijk de indruk kan ontstaan dat men zonder bezwaar het lichtniveau tot 2 lux kan verminderen. Dit mag echter niet uit bovenstaande studie worden geconcludeerd.

- In dit verband is het interessant te vermelden dat in een aantal landen de verlichting op wegen buiten de bebouwde kom (vooral autosnelwegen) is aangepast aan al-dan-niet vermeende energiecrises. Omdat er noch wat betreft de preciese verlichting noch omtrent de daarbij behorende ongevallen behoorlijke observaties zijn gedaan, moet worden geconstateerd dat een belangrijke mogelijkheid tot onderzoek is verspild. Dit geldt speciaal voor België waar gedurende de laatste jaren een aantal keren de politiek omtrent het verlichten van autosnelwegen drastisch is gewijzigd. Maar dit geldt ook voor Nederland. Het betreft hier een aantal levensgrote gemiste kansen.

3.4. Algemene overzichten

Hierboven zijn een aantal aparte onderzoeken beschreven, waarbij de samenhang tussen verlichting en ongevallen is onderzocht. Behalve de hier beschreven onderzoeken zijn er nog een groot aantal anderen uitgevoerd, die meestal niet apart beschreven zijn. In een aantal gevallen heeft men de behoefte gevoeld om overzichten van de gerappor-

teerde en de niet-gerapporteerde onderzoeken te maken. We zullen hier in het kort een paar van die overzichten behandelen; het probleem doet zich daarbij voor dat niet steeds precies is aangegeven waar de in die overzichten gebruikte gegevens vandaan komen. Dit betekent ook dat het niet zeker is of gegevens niet dubbel voorkomen. Aan de andere kant zijn de overzichten nuttig om een algemene indruk te krijgen.

Het oudste van de grotere overzichten is niet zozeer een verzameling van literatuurgegevens, maar meer een compilatie uit eigen studies. Het gaat hier om de grote studie uit Engeland die hierboven reeds kort is beschreven. De gegevens zijn gepubliceerd in Anon (1963b) en Tanner & Harris (1955). Deze onderzoeken hebben geleid tot de algemene uitspraak dat bij goede openbare verlichting het aantal letselgevallen 's nachts ca. 30% lager is dan bij afwezige of zeer geringe openbare verlichting. Dit geldt dan met name voor urbane uitvalswegen e.d. Deze studie is de basis geweest voor twee andere belangrijke overzichten: CIE (1960) en OECD (1971). In beide rapporten zijn de Engelse gegevens aangevuld met wat er intussen beschikbaar was; het meeste daarvan is hierboven apart besproken; zie ook Austin (1976) en Christie (1968). Deze Engelse studie en de afgeleiden ervan opgesteld door CIE en OECD hebben geleid tot een aantal overzichten van vergelijkbare aard. Aangezien deze overzichten meestal teruggaan op steeds dezelfde basisgegevens, zullen we ze niet in detail bespreken. Een aantal ervan zijn hierboven reeds aan de orde geweest. Te noemen zijn de studies van Box (1971); Cornwell (1971, 1972a); Cornwell & Mackay (1972); Farouki (1977); Janoff et al (1977); De Boer & Schreuder (1972); Schreuder (1973, 1974a, 1982); Stark (1973); Williams (1970). Ter illustratie zijn een paar tabellen uit deze studies aangenomen (zie Tabel 8, 9 en 10). Er is reeds lang sprake van een herziening van de oude CIE-publicatie. Een eerste aanzet daartoe is gegeven in een paar rapporten uitgebracht aan de CIE Technische Commissie TC 4.6. (Duff, 1975, zie ook Duff, 1974c; Scott, 1979, 1980). Fisher heeft een aantal voorbereidende studies voor de nieuwe CIE-publicatie gepubliceerd (Fisher, 1973a, 1973b, 1977a, 1977b; zie ook Hall & Fisher, 1979; Hall (ed), 1980). De studie zelf is nog niet gereed (zie CIE, 1982). De CIE-publicatie zal waarschijnlijk het grootste overzicht op dit gebied worden. De meest betrouwbare daarentegen is waarschijnlijk die van

de OECD (1980). Daarbij zijn alleen die studies opgenomen waarover voldoende gegevens beschikbaar waren om de conclusies zoals ze gepubliceerd waren, ook precies te kunnen toetsen. Overigens is de OECD-studie in nauwe samenwerking met de CIE opgesteld, zodat er toch wel een zekere overeenstemming tussen de twee studies bestaat. De OECD-studie is gebaseerd op de volgende publikaties (die voor het grootste deel hierboven reeds zijn gesproken): Amundsen, 1977; Anon, 1973a, 1974h, 1975a; Austin, 1976; Box, 1976; Bruede & Larsson, 1977; Cornwell & Mackay, 1972; Fisher, 1972, 1977a; Friis et al, 1976; Gaymard, 1972; Möckel, 1977; OECD, 1975; Pfundt et al, 1969; Scholz, 1977a; Skene, 1976; Stark, 1973; Walker & Roberts, 1976.

Behalve over wegen binnen en buiten bebouwde gebieden is in dit OECD-rapport speciaal ingegaan op de veiligheidsaspecten van de verlichting van voetgangersoversteekplaatsen.

Uittreksels uit het OECD-rapport zijn gepubliceerd door Brühning, 1981; Brühning & Weissbrot, 1978, 1981; zie ook Brühning et al, 1978.

4. CONCLUSIES

Het is niet eenvoudig om uit de hierboven gegeven verzameling een duidelijke conclusie te trekken. In algemene termen kan men wel concluderen dat goede openbare verlichting voor belangrijke stadsstraten een afname van ongeveer 30% in de nachtelijke letselongevallen kan bewerkstelligen. Voorts heeft het er de schijn van dat de reductie voor wegen binnen bebouwde gebieden groter is dan die voor rurale (auto)(snel)-wegen (zie bijv. OECD, 1980; Anon, 1980; Fisher, 1977b).

Men dient te bedenken dat uit de statistische onderzoeken van de soort die in dit rapport zijn beschreven, in feite alleen correlaties kunnen worden afgeleid, en geen causale verbanden. De term, "bewerkstelligd" die hierboven is gebruikt, is (impliciet) mede ingegeven door hetgeen op basis van andersoortig onderzoek bekend is over de oorzaken van nachtelijke verkeersongevallen.

Evenmin kunnen uit dergelijke algemene statistische studies gegevens worden afgeleid over typen ongevallen (obstakelongevallen e.d.) noch over wegsituaties (bijv. kruispunten) waarbij het aanbrengen van openbare verlichting het meeste effect zou hebben.

Minder duidelijke gegevens zijn beschikbaar aangaande de relatie tussen de kwaliteit (of kwantiteit) van de verlichting en de ongevallen. Er zijn duidelijke aanwijzingen dat voor belangrijke stadsstraten een hoger kwaliteitsniveau gerelateerd is aan minder ongevallen (of relatief minder nachtongevallen) maar aan de andere kant lijkt het erop dat andere factoren (daarbij kan men dan allereerst aan verkeersfactoren denken) een veel grotere invloed hebben, waarmee niet compleet rekening is gehouden kunnen worden, waardoor de verlichtingskwaliteit niet los staat van die factoren. Dit houdt in dat die andere factoren (mede) verantwoordelijk kunnen zijn voor de geconstateerde verbanden tussen ongevals aantallen en verlichtingskwaliteit.

Het eindresultaat is dat er niet voldoende zekerheid is te vinden om een antwoord op de vraag: "Wat is het minimale verantwoorde lichtniveau?" te geven. Een geheel andere aanpak zal blijken nodig te zijn. Een paar suggesties, zijn gegeven in hoofdstuk 5 (zie ook Schreuder, 1982a).

5. AANBEVELINGEN

Uitgewerkte aanbevelingen zijn in een consult met een beperkte doelstelling niet op zijn plaats. Op basis van het voorafgaande kunnen echter wel enige suggesties worden gedaan.

* Het lijkt niet zinvol om met de traditionele voor- en nastudies verder te gaan in de verwachting daarmee het te bereiken percentage reductie in de nachtelijke ongevallen, nader te preciseren.

* Het is gewenst om nader te onderzoeken wat het minimale lichtniveau is waarbij het bedoelde verkeersveiligheidseffect wordt bereikt. Hiertoe zijn in beginsel twee mogelijkheden aanwezig die een nader overwogen waard zijn:

- aansluiting zoeken bij het lopende onderzoek omtrent de analyse van de rijtaak, en wel in die vorm dat de situatie "duisternis" en het hulpmiddel "verlichting" wordt ingebracht als omgevingsfactor;

- opzetten van een grootschalig ongevallenonderzoek waarbij van globale licht- en verkeersgegevens (waaronder ook geometrische wegkenmerken) gebruik wordt gemaakt.

* Voor zover het wegen buiten de bebouwde kom betreft verdient het aanbeveling om nader te bestuderen welke wegen (wegvakken, kruisingen e.d.) van een openbare verlichting dienen te worden voorzien ("warrants" voor openbare verlichting). Hierbij kan de analyse van de rijtaak, zoals hierboven bedoeld, een belangrijke rol spelen.

TABELLEN EN AFBEELDINGEN

Tabel 1. De relatie tussen lichtniveau en ongevallen (aantallen). Bron: Turner, 1962.

Tabel 2. De relatie tussen lichtniveau en ongevallen (nacht/dag-verhouding). Bron: Thorpe, 1963.

Tabel 3. De relatie tussen ongevallen en lichtniveau. In de naperiode voldeed de verlichting aan de Australische richtlijnen. Bron: Turner, 1972.

Tabel 4. Dag- en nachtongevallen voor twee straten in de USA. Bron: Sielski, 1967.

Tabel 5. Relatie tussen de verandering in het percentage nachtongevallen en het lichtniveau. Bron: Box, 1966a.

Tabel 6. Verandering in ongevallen na doven van de verlichting. Bron: Richards, 1981.

Tabel 7. Relatie tussen ongevallen en verlichting voor een autosnelweg. Bron: Tan, 1974.

Tabel 8. Vermindering van de verkeersdoden na verbetering in de verlichting. Bron: Williams, 1970.

Tabel 9. Een overzicht van ongevallenstudies in relatie tot de verlichting. Bron: De Boer & Schreuder, 1972.

Tabel 10. Een overzicht van ongevallenstudies in relatie tot de verlichting. Bron: OECD, 1980.

Afbeelding 1. De relatie tussen aantal ongevallen N en lichtniveau L, schematisch weergegeven.

Afbeelding 2. De relatie tussen ongevallen (nacht/dag-verhouding) en lichtniveau (horizontal footcandles HFC). Bron: Box, 1972.

Afbeelding 3. De relatie tussen ongevallen (nacht/dag-verhouding) en lichtniveau (lumen per 100 ft). Bron: Turner, 1962.

Afbeelding 4. De relatie tussen ongevallen (nacht/dag-verhouding) en lichtniveau. Bron: Skene, 1976.

Afbeelding 5. Het verloop van het percentage nachtongevallen en het percentage wegen met verbeterde verlichting tussen 1945 en 1956. Bron: Box, 1956.

Afbeelding 6. De relatie tussen het percentage nachtongevallen en het lichtniveau (cd/m^2). Bron: Walthert & Hehlen, 1980.

Afbeelding 7. Reductie van het percentage nachtongevallen naar leeftijd. Bron: Anon, 1969a).

Afbeelding 8. De relatie tussen ongevallen (nacht/dag-verhouding) en lichtniveau (cd/m^2). Bron: Scott, 1980.

Afbeelding 9. De relatie tussen ongevallen (nacht/dag-verhouding) en lichtniveau met de ongelijkmatigheid als parameter. Bron: Scott, 1980.

Route No.	Length (miles)	Lighting (average L/100 ft)	Accidents 1956-1958 Night	Day
1	3.7	1700	296	364
2	5.5	1740	274	315
3	8.3	1850	386	549
4	5.2	2000	354	510
5	4.5	4430	299	446
6	2.9	4470	276	392
7	2.1	4500	252	474
8	2.2	6310	236	308
9	5.3	8500	764	1433
10	2.3	12500	71 (1957-8 only)	121

Tabel 1. De relatie tussen lichtniveau en ongevallen (aantallen). Bron: Turner, 1962.

Groep	Verlichting	Lengte wegvak	N/D-verhouding
I	meer dan 6000 lumen/100 ft	11,9 mijl	0,32
II	meer dan 6000 lumen/100 ft	55,2 mijl	0,57
III	4000-6000 lumen/100 ft	31,5 mijl	0,69
IV	minder dan 4000 lumen/100 ft	85,2 mijl	0,65

Tabel 2. De relatie tussen lichtniveau en ongevallen (nacht/dag-verhouding). Bron: Thorpe, 1963.

Accident class	Night Day	Before	After	r	% Reduction	X ²
All	N	2849	2599	.79	21	52.8
	D	4819	5606			
All casualty	N	941	759	.71	29	27.1
	D	965	1096			
Non-pedestrian casualty	N	779	762	.79	21	11.0
	D	746	820			
Pedestrian casualty	N	162	87	.43	57	28.7
	D	219	276			

"All" means all reported accidents.

"All casualty" means all accidents in which one or more people were injured or killed.

"Non-pedestrian casualty" means all accidents in which one or more road users, other than pedestrians, were injured or killed.

"Pedestrian casualty" means accidents in which one or more pedestrians were injured or killed.

Tabel 3. De relatie tussen ongevallen en lichtniveau. In de naperiode voldeed de verlichting aan de Australische richtlijnen. Bron: Turner, 1972.

	Voorperiode		Naperiode	
	dag	nacht	dag	nacht
<u>Straat I</u> ongevallen behalve voetgangers				
dodelijk	0	0	0	0
letsel	9	6	6	3
U.M.S.	30	27	19	15
<u>Straat II</u> ongevallen behalve voetgangers				
dodelijk	0	0	0	0
letsel	38	34	24	40
U.M.S.	100	94	124	60
<u>Straat II</u> voetgangersongevallen				
dodelijk	0	0	1	0
letsel	6	6	5	6

Tabel 4. Dag- en nachtongevallen voor twee straten in de USA. Bron: Sielski, 1967.

Verlichting (lux)	Lengte (mijl)	Totaal aantal ongevallen	Verandering in	
			nachtelijke ongevallen	letsel- ongevallen
2-4	39	2334	- 2%	0
4-6	41	3679	-10%	
6-8	7	1038	-14%	-53%
8-9	6	1071	-16%	

Tabel 5. Relatie tussen de verandering in het percentage nachtongevallen en het lichtniveau. Bron: Box, 1966a.

		aantal ongevallen vóórperiode	percentage verandering naperiode
verlicht	dag	140	-24,2%
gedeelte	nacht	35	-25,7%
onverlicht	dag	87	-17,2%
gedeelte	nacht	34	+47,1%

Tabel 6. Verandering in ongevallen na doven van de verlichting. Bron: Richards, 1981.

aantal ongevallen	voor	na	verandering	gecorrigeerd voor gelijk aantal dagongevallen
daglicht	159	156	- 2%	
duisternis	120	78	-35%	-42%
totaal	279	234	-16%	

Tabel 7. Relatie tussen ongevallen en verlichting voor een autosnelweg. Bron: Tan, 1974.

Where Lighting was Installed		Night Traffic Deaths		
		Year Before Lighting	Year After Lighting	Reduction in Deaths
UNITED STATES				
Calif.	state highway entering Hayward	6	0	6
Calif.	30 intersections in Los Angeles	11	1	10
Calif.	9.5 miles of thoroughfare in Oakland	7	3	4
Conn.	31 miles of thoroughfare in Hartford	58	13	45
Conn.	main thoroughfare in West Haven	17	1	16
Conn.	7.25 miles of Berlin Turnpike	9	0	9
Fla.	Bayshore Boulevard, Tampa	3	0	3
Ill.	thoroughfares in Peoria	10	8	2
Ind.	intersections of state and federal highways	13	1	12
Ind.	main thoroughfares in Gary	43	20	23
Ind.	3 mile stretch of U.S. 40	1	0	1
Ind.	main thoroughfares in Indianapolis	46	32	14
Md.	major intersection in Baltimore	16	6	10
Mich.	4 miles of highway entering Grand Rapids	14	3	11
Mich.	thoroughfares in Detroit	32	2	30
Mo.	3 main thoroughfares in Kansas City	9	4	5
N. Y.	thoroughfares of Buffalo	66	27	39
N. Y.	1.6 mile of main thoroughfare in Utica	3	0	3
Ohio	main thoroughfares in Cleveland	59	42	17
Ohio	main thoroughfares in Dayton	22	13	9
Ohio	main thoroughfares in Rocky River	8	3	5
Penna.	6 intersections of main highway in Darby	6	0	6
Tenn.	main thoroughfares in Nashville	19	6	13
Tex.	bridge approaches in Dallas	2	0	2
Tex.	4.3 miles of thoroughfare in Houston	5	1	4
Tex.	main thoroughfares in San Antonio	21	0	21
Utah	3 mile stretch of highway entering Salt Lake City	12	1	11
Virginia	West Broad Street in Richmond	3	0	3
Wash.	main thoroughfare in Seattle	2	0	2
Wash.	main thoroughfare in Spokane	5	0	5
GREAT BRITAIN				
	64 lengths of road, or groups of lengths	28	15	13
TOTALS		556	202	354
REDUCTION IN NIGHT DEATHS = 64%				

*Source: Street & Highway Safety Lighting Bureau, 55 Public Square, Cleveland, Ohio

Tabel 8. Vermindering van de verkeersdoden na verbetering in de verlichting. Bron: Williams, 1970.

A	B	C	D	E	F	G
Frankrijk	motorways	nieuw	injury		22%	before/ after
Engeland	urban single carriageways	verbeterd	injury: pedestrian other all injury	3581	45% 23% 30%	before/ after
	urban single carriageways	verbeterd	injury: fatal serious alight	3581	50% * 33% 27%	before/ after
Engeland	rural single carriageways	nieuw	injury	138	48%	before/ after
Engeland	3-lane road section I section II dual carriage- ways	nieuw verbeterd + nieuw	all accidents all accidents injury	391	40% * 76% 38%	before/ after before/ after
Zwitserland	urban roads	verbeterd	injury	525	36%	before/ after
Zweden	urban roads through roads all roads urban roads through roads all roads	verbeterd	all accidents all accidents all accidents injury injury injury	428 333 761 137 115 252	12% * 34% * 21% 45% * 46% * 48%	before/ after before/ after
U.S.A.						
Los Angeles	freeways		injury all accidents		16% 15%	night/ day ratio
U.S.A.	urban roads	verbeterd	fatal		65%	
Chicago	arterial roads	nieuw	fatal		48%	
Kansas City	urban roads	verbeterd	fatal injury damage		44% 22% 16%	
Trenton U.S.A.		verbeterd verbeterd	pedestrian all injury		37% 10%	
U.S.A. Tennessee	highways	nieuw	all accidents fatal injury damage	2528	22% + 41% 39% 22%	before/ after
U.S.A.	freeways	vergelijking verlicht/ onverlicht	all accidents fatal/injury rear end other vehicular fixed object/ off road	21.439	40% 52% 69% 20% 21% to me	night/ day
Nederland	motorways	verlicht/ onverlicht	all accidents		18%	

A = land resp. plaats E = aantal ongevallen waarop onderzoek betrekking had
 B = soort weg F = gemiddelde daling of verschil tussen verlicht en onverlicht
 C = verlichting nieuw/verbeterd G = meetmethode
 D = soort ongeval * = niet significant

Tabel 9. Een overzicht van ongevallenstudies in relatie tot de verlichting. Bron: De Boer & Schreuder, 1972.

ALL-PURPOSE ROADS: EFFECT OF LIGHTING ON NIGHT ACCIDENTS (55)

Country	Reduction (%)	Significance (see below)	Type of Accident	Comments
United Kingdom	48	ns	All injury	One site, single 2-lane; lighting to 1952 Code
United Kingdom	76	s	All injury	One site, single 3-lane; stretched spacing
United Kingdom	38	s	All injury	Six sites, dual carriageways poor lighting at two sites, none at others; lighting to 1952 Code
United Kingdom	48	ns	All injury	Seven sites on 50 mile/h roads
	increase			
	65	ns	Fatal and serious	lighting to 1963 Code
	increase			
United Kingdom	53	s	All injury	17 sites On 70 mile/h roads; mainly single
	61	s	Fatal and serious	19 sites carriageways; lighting to 1963 Code
Sweden	46	s	All injury	13 sites, through roads

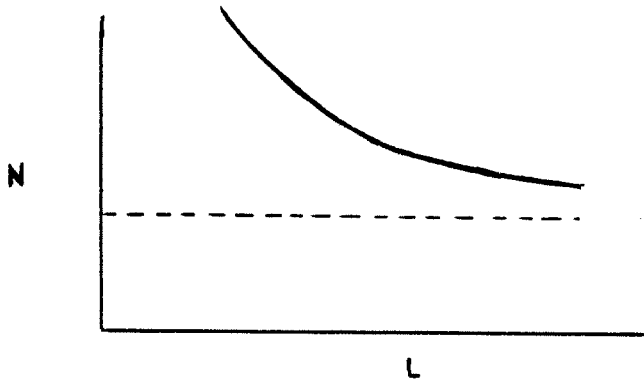
s = statistically significant ns = statistically not significant

MOTORWAYS: EFFECT OF LIGHTING ON NIGHT ACCIDENTS (55)

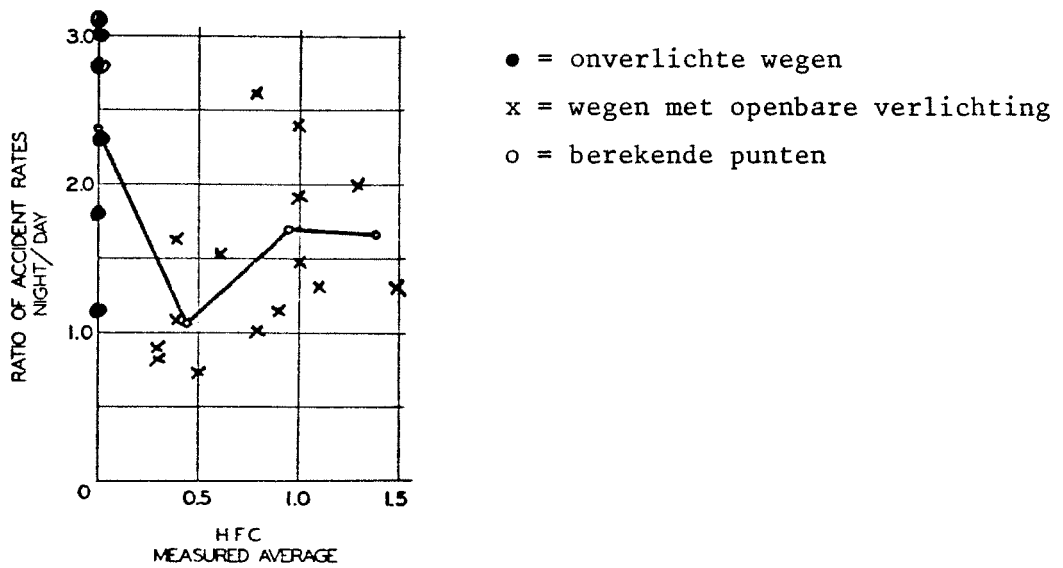
Country	Reduction (%)	Significance (see below)	Type of Accident	Comments
United Kingdom	27	ns	All injury	M4 London Airport spur to elevated section dual 3-lane, 9 km
	56	ns	Fatal and serious	
United Kingdom	55	ns	All injury	M1 Watford Gap, 5 km
	48	ns	Fatal and serious	
Japan	38	s	All accidents dry roads	Meishin Motorway Osaka: 13 km; dual 2-lane with 3 m central reserve; lighting installed December 1971
	54	s	All accidents wet roads	
	44	s	All accidents wet and dry roads	
United States	52	s	All injury	154 km lit motorways in various States compared with 200 km of unlit motorways; dual-2, dual-3 and some greater widths, mainly urban and suburban
United States (Chicago)	62	ns	All injury	Section 1 8.5 km of interstate 94; dual 3
	62	s	All injury	Section 2 lane urban section 1 has narrow
	62	s	All injury	Combined median (3.7 m) and section 2 has wider median (10 m)

s = statistically significant ns = statistically not significant

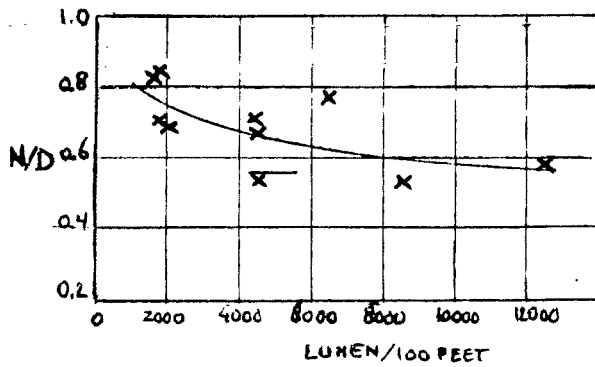
Tabel 10. Een overzicht van ongevallestudies in relatie tot de verlichting. Bron: OECD, 1980.



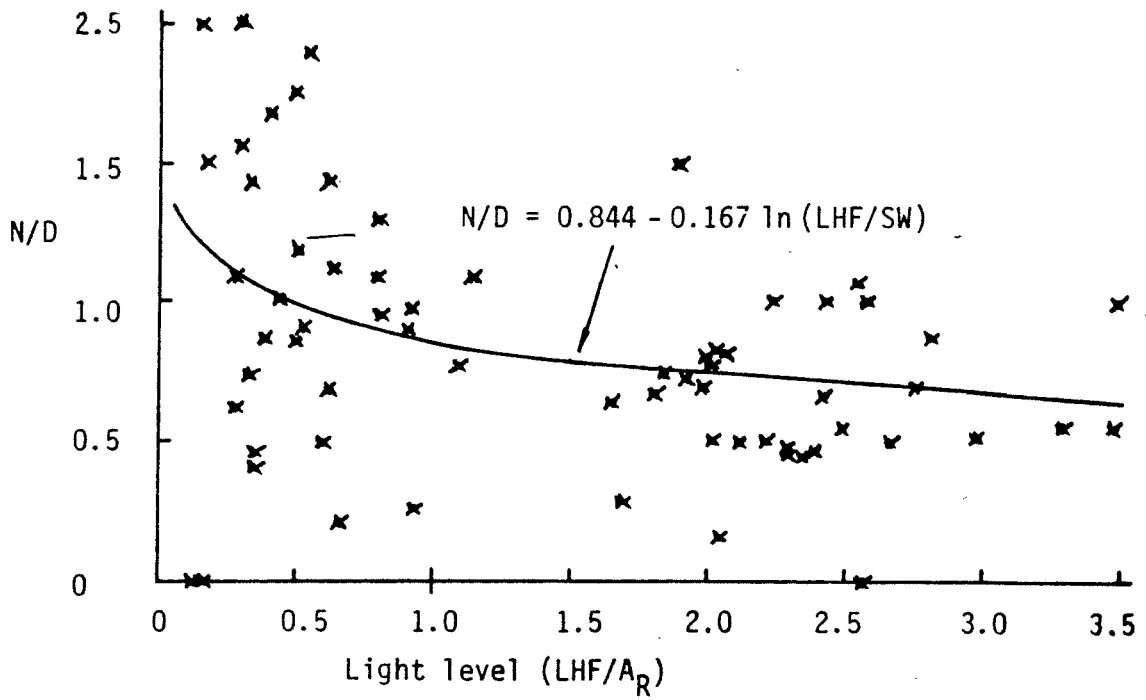
Afbeelding 1. De relatie tussen aantal ongevallen N en lichtniveau L, schematisch weergegeven.



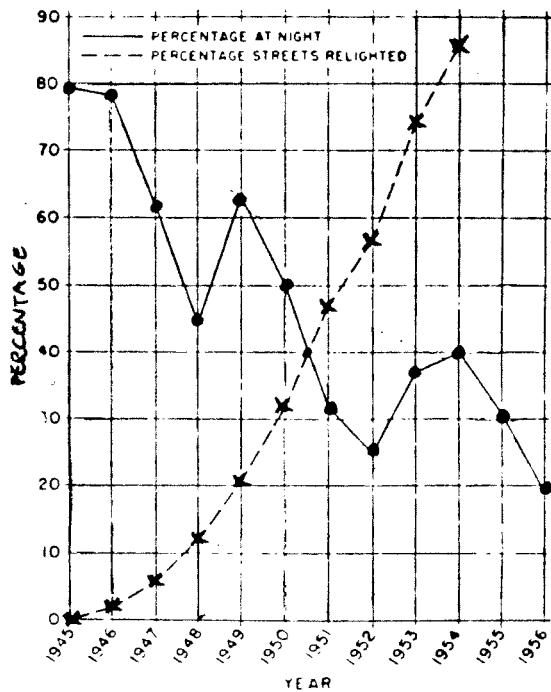
Afbeelding 2. De relatie tussen ongevallen (nacht/dag-verhouding) en lichtniveau (horizontal footcandles HFC). Bron: Box, 1972.



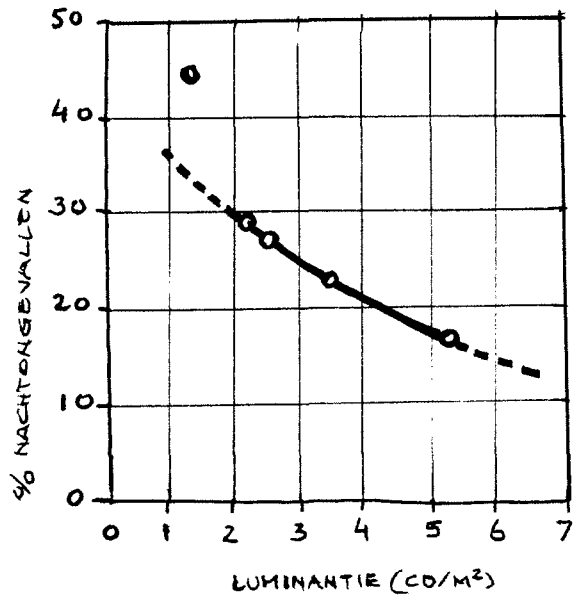
Afbeelding 3. De relatie tussen ongevallen (nacht/dag-verhouding) en lichtniveau (lumen per 100 ft). Bron: Turner, 1962.



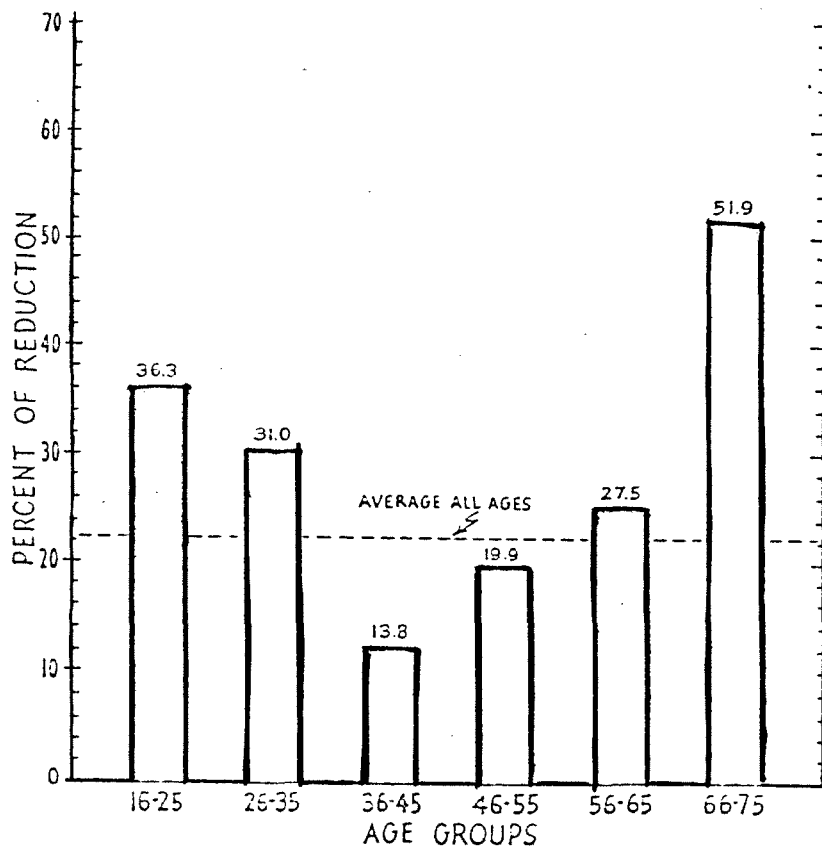
Afbeelding 4. De relatie tussen ongevallen (nacht/dag-verhouding) en lichtniveau. Bron: Skene, 1976.



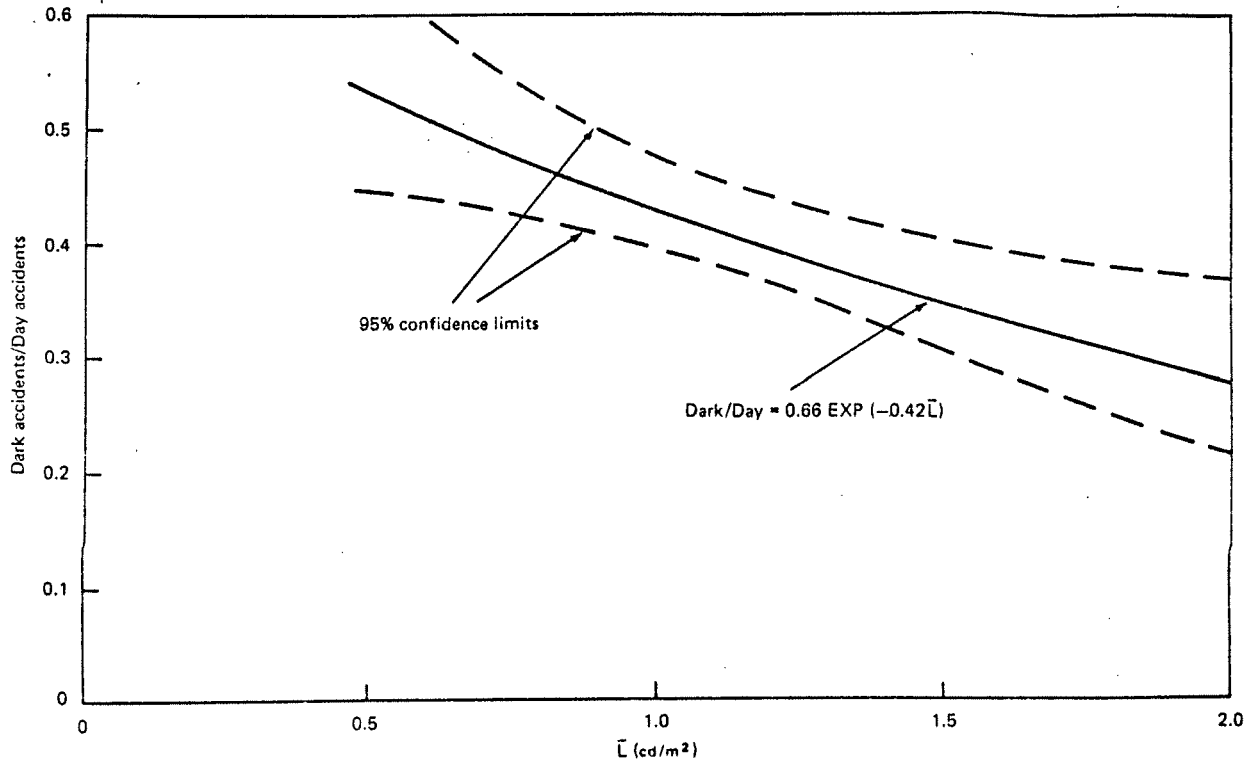
Afbeelding 5. Het verloop van het percentage nachtongevallen en het percentage wegen met verbeterde verlichting tussen 1945 en 1956. Bron: Box, 1956.



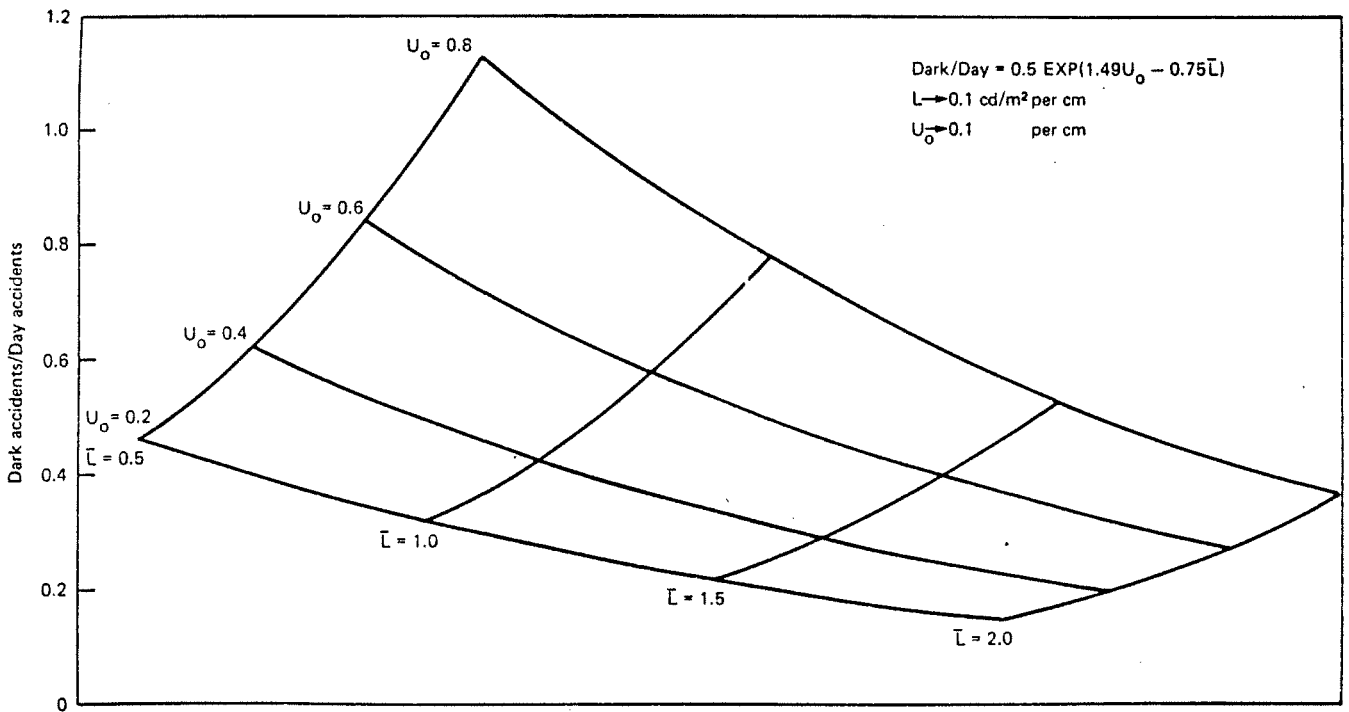
Afbeelding 6. De relatie tussen het percentage nachtongevallen en het lichtniveau (cd/m²). Bron: Walthert & Hehlen, 1980.



Afbeelding 7. Reductie van het percentage nachtongevallen naar leeftijd. Bron: Anon, 1969a).



Afbeelding 8. De relatie tussen ongevallen (nacht/dag-verhouding) en lichtniveau (cd/m²). Bron: Scott, 1980.



Afbeelding 9. De relatie tussen ongevallen (nacht/dag-verhouding) en lichtniveau met de ongelijkmatigheid als parameter. Bron: Scott, 1980.

GERAADPLEEGDE LITERATUUR

Amundsen, F.H. (1977). Effectiveness of lighting for safety measures in Bergen 1977. Institute of Transport Economics, Oslo, 1977. (Cit. OECD, 1980).

Amundsen, F.H. (1977a). Belysning og trafikksikkerhet (Street lighting and traffic safety). Transportøkonomisk Institutt, Oslo, 1977.

Anon (z.j.). Reductions in traffic deaths following improved lighting. Street & Highway Safety Lighting Bureau, Cleveland, Ohio. (Cit. Box, 1966a).

Anon (1959). Chicago Traffic Safety Review (1959) September. (Cit. Box, 1966a).

Anon (1963). Research on road safety. HMSO, London, 1963.

Anon (1965). Väg- och gatubelysningens onverkan på trafiksäkerheten (The influence of street lighting on traffic safety). Meddelande No. 60. Transportforskningskommissionen, Stockholm, 1965.

Anon (1968). Proceedings of the First annual symposium on Visibility in the driving task, May, 13-15, 1968. Texas A & M University, 1968.

Anon (1968a). Effects of illumination on operation characteristics of freeways. Report 60. NCHRP, Washington, D.C., 1968.

Anon (1969). Autobahnbeleuchtung Nr. 14. Kirschbaumverlag, Bad Godesberg, 1969.

Anon (1969a). A study of the benefits of suburban highway lighting. Illum. Engng. 64 (1969) 359-363.

Anon (1970). Determination of priorities for upgrading street lighting in Syracuse, N.Y. De Leuw, Cather and ass., 1970.

- Anon (1970a). La conduite de nuit; 14e journée de conférences. Stämpfli, Bern, 1970.
- Anon (1971). Sodium lighting cuts accidents. Civic Administration 23 (1971) 25.
- Anon (1972). Papers/lezingen Intertraffic '72; Internationaal congres over verkeerstechniek, 25 en 26 mei 1972. RAI, Amsterdam, 1972.
- Anon (1972a). Licht im Lebensraum. Jubiläumstagung 1972. LiTG, Karlsruhe, 1972.
- Anon (1973). Estimating the cost of accidents. Traffic Safety Memorandum 113. Nat. Safety Council, Chicago, Ill., 1973.
- Anon (1973a). Efficacité de l'éclairage des intersections. ONSER, Arcueil, 1973.
- Anon (1974). Wegontwerp en wegverlichting tegen de achtergrond van de verkeersveiligheid. Pre-adviezen congresdag 6 december 1974. Het Nederlandsche Wegencongres, Den Haag, 1974.
- Anon (1974a). Definitief programma, Teksten lezingen Intertraffic '74; Internationaal congres over verkeerstechniek "Beheerst verkeer". RAI, Amsterdam, 1974.
- Anon (1974b). Analysis of casualty accidents on the open road and in town. (In Spanish). Bol. Inf. (Jef. Cent. Trafico) Spain, Madrid, 1974.
- Anon (1974c). Analysis of the causes of personal injury accidents in 1972. (In Spanish). Bol. Inf. (Jef. Cent. Trafico) Spain, Madrid, 1974.
- Anon (1974d). L'eclairage routier: Un facteur de sécurité. CETE, Metz, 1974.
- Anon (1974e). Symposium Blendung in der Strassenbeleuchtung, Zürich, 9-10 September 1974. SLG, Zürich, 1974.

Anon (1974f). Energiebesparing en openbare verlichting. Verkeerstech-
niek 25 (1974) 122-125.

Anon (1974g). SWOV waarschuwt: Reductie wegverlichting kan veiligheid
beïnvloeden. Autokampioen (1974) 3: 120-121.

Anon (1974h). Street lighting and road safety. Public Lighting 39 (1974)
101.

Anon (1974j). Efficacité de l'éclairage des autoroutes de dégagement
en section courante. ONSER, Arcueil, 1974.

Anon (1975). Trafikutvecklingen i Stockholm under bensinransoneringen
och under första kvartalet år 1974. Rapport Nr. 41. Gatukontor,
Stockholm, 1975 (jaartal geschat).

Anon (1975a). Driver visual needs in night driving. Special report 156.
TRB, Washington, D.C., 1975.

Anon (1976). Die Sicherung des Fussgängerverkehrs, No. 29. AFO, Köln,
1976.

Anon (1977). Kongressbericht Jahrestagung 1977 der Deutschen Gesellschaft
für Verkehrsmedizin e.V., Heidelberg, 20-22 Mai 1977. Unfall- und
Sicherheitsforschung Strassenverkehr, Köln, 1977.

Anon (1977b). Glare seminar. ARRB, Vermont South, 1977.

Anon (1979). Handleiding aanpak verkeersongevallenconcentraties. Minis-
terie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag, 1979.

Anon (1979a). Weniger Unfälle durch besseres Licht. Licht 31 (1979) 284.

Anon (1979b). APLE at Ayr. CIBS Journal 1 (1979) 15: 46-47.

Anon (1980). Congresverslag Nationaal Verkeersveiligheidscongres 1980,
Amsterdam, 21-24 april 1980. ANWB, Den Haag, 1980.

- Anon (1980a). Road safety studies for the Greater London road safety unit. GLC Southbank Brookshop, London, 1980.
- ANWB (1974). Verkeerstechnische Leergang, Verslag van de voordrachten. ANWB, Den Haag, 1974.
- Asmussen, E. (1981). Een analyse van het verschijnsel verkeersveiligheid. R-81-27. SWOV, Voorburg, 1981.
- Asmussen, E. & Schreuder, D.A. (1977). Forschungsgesellschaft für Verkehrssicherheit SWOV: Ein Portät. R-77-30. SWOV, Voorburg, 1977. Zie ook: Zeitschrift für Verkehrssicherheit 24 (1978) 3-19.
- Austin, B.R. (1975). What cost lighting? Surveyor Publ. Auth. Technol. 146 (1975) 4351: 12-15.
- Austin, B.R. (1976). Public lighting; The deadly reckoning. Traffic Engng. Control 17 (1976) 262-263.
- Beukers, B. (1971). The environment and road traffic. CIE, Barcelona, 1971.
- Billion, B.E. & Parson, N.C. (1962). Median accident study - Lond Island, N.Y. HRB. Bull (1962) 308: 64-79.
- Birkhoff, A.J. & Blackwell, H.R. Visual evaluation. In: Anon (1968a), p. 73-89.
- Borel, P. (1973). Day and night accidents at pedestrian crossings. (In German). Schweiz. Konferenz f. Sicherheit im Strassenverkehr, Bern, 1973.
- Box, P.C. (1956). Relighting Kansas City, Missouri. The American City, 1956, March, April, May, June (Cit. Stark, 1973).
- Box, P.C. (1966). Public lighting needs. Illum. Engng. 61 (1966) 585-602.

Box, P.C. (1966a). Public lighting needs. Joint Committee ITE-IES. February, 1966.

Box, P.C. (1968). Driver age as related to freeway accidents. In: Anon (1968), p. 44-45.

Box, P.C. (1970). Findings in freeway accidents and illumination. Proceedings Conference paper 9-5. IES, Vancouver, B.C., 1970.

Box, P.C. (1970a). Roadway lighting. Proceedings Highway Safety Conference. Virginia Polytechnic Inst., Blacksburg, Virg., 1970, p. 87-96.

Box, P.C. (1971). Relationship between illumination and freeway accidents. Illum. Engng. 66 (1971) 365-393.

Box, P.C. (1972). Freeway accidents and illumination. Highway Res. Rec. 416, p. 10-20.

Box, P.C. (1972a). Comparison of accidents and illumination. Highway Res. Rec. 416, p. 1-9.

Box, P.C. (1976). Effect of lighting reduction on an urban major route. Traffic Engng. 46 (1976) 10: 26-27.

Brownfield, D.J. (1980). The use of statistical tests on the analysis of accidents and other associated data. In: Anon (1980a).

Bruede, U. & Larsson, J. (1977). Studies of the level junctions in the main road network of the county of Soedermanland, Part 1. (In Swedish). Meddelande No. 35. VTI, Linköping, 1977.

Bruede, U. & Larsson, J. (1977a). Studies of the level junctions in the main road network of the county of Soedermanland, Part 2. (In Swedish). Meddelande No. 36. VTI, Linköping, 1977.

Brühning, E. (1981). Verkehrssicherheit bei Nacht; Zum Bericht "Improving road safety at night" der OECD. Z.f. Verkehrssicherheit 27 (1981) 71-75.

Brühning, E.; Hippchen, H. & Weissbrodt, G. (1978). Nachtunfälle; Eine Analyse auf der Grundlage der Daten der Amtlichen Strassenverkehrsunfallstatistik. Bundesanstalt für Strassenwesen, Köln, 1978.

Brühning, E. & Weissbrodt, G. (1978). Review of specific statistical studies. Contribution to OECD group TS3 "Road safety of Night". Bundesanstalt für Strassenwesen, Köln (Niet gepubliceerd).

Brühning, E. & Weissbrodt, G. (1981). Wirksamkeit von Massnahmen gegen Nachtunfälle. Strassenverkehrstechnik 25 (1981) 1-7.

BSI (1952). Street lighting lanterns. British Standards Institution, London, 1952.

Bull, J.P. (1970). International comparisons of road accidents statistics. In: OECD (1970), p. 95-102.

Carlquist, J.C.A. (1974). Een integraal verkeersongevallenregistratiesysteem (INVORS). In: ANWB (1974), p. 52-62.

Carroll, P.S.; Carlson, W.L. & Mc Dole, T.L. (1971). Identifying unique driving-exposure classifications. HIT Lab. Reports, 1971.

Christie, A.W. (1968). The night accident problem and the effect of public lighting. Public Lighting 33 (1968) 98-101.

Christie, A.W. & Moore, R.L. (1958). Streetlighting from the point of view of traffic and safety. Public Lighting 23 (1958) 242.

Christie, A.W. & Walker, A.E. (1969). Need for more research on lighting and accident link. Municipal Engineering 146 (1969) No. 47.

Cibie, P. (1980). Fahrzeugsicherheit und -beleuchtung. VDI Berichte 368, p. 359-364. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1980.

- CIE (1960). Street lighting and accidents. Publication No. 8. CIE, Paris, 1960.
- CIE (1980). Proceedings 19th Session, Kyoto 1979. Publication No. 50. CIE, Paris, 1980.
- CIE (1982). Road lighting and accidents (4th draft). Publication No. 8/2. CIE, Paris (In voorbereiding).
- Cirillo, J.A. (1968). Results of Interstate system accidents research - Study II - as they pertain to highway lighting. In: Anon (1968), p. 56-68.
- Cobb, J.; Hargroves, R.A.; Marsden, A.M. & Scott, P.P. (1979). Road lighting and accidents. In: CIE (1980).
- Cornwell, P.R. (1971). A study of lighting and road traffic. (Thesis). University of Birmingham, 1971.
- Cornwell, P.R. (1972). Lighting and road traffic; 2. Highway capacity, vehicle speeds and public lighting. Traffic Engng. Control 14 (1972) 297-299.
- Cornwell, P.R. (1972a). A study of lighting and road traffic. (Thesis). University of Birmingham, 1972.
- Cornwell, P.R. & Berry, G. (1972). Lighting and road traffic; 3. Requirements for traffic route lighting. Traffic Engng. Control 14 (1972) 344-345.
- Cornwell, P.R. & Mackay, G.M. (1972). Lighting and road traffic; 1. Public lighting and road accidents. Traffic Engng. Control 14 (1972) 142-144.
- Dalglish, E.M. (1974). Lighting as an aid against crime and accidents. Public lighting 39 (1974) 248-254.

- De Boer, J.B. & Schreuder, D.A. (1972). New developments in road and street lighting with a view to road safety. In: Anon (1972).
- De Brabander, L. (1971). Effets sur les accidents de l'utilisation des projecteurs en présence d'éclairage public. Asp. Techn. Sec. Rout. (1971) 47: 5.1-5.19.
- Dreyfus, G. (1971). Exploitation de la route: Circulation sécurité. Ann. ITBTP (1971) 283/284: 21-35.
- Duff, J.T. (1974). Road lighting and the role of central government. Lighting Research Technol 6 (1974) 183-196.
- Duff, J.T. (1974a). Contribution to the discussion. In: Anon (1974e), p. 81-84.
- Duff, J.T. (1974b). Progress in motorway lighting. Traffic Engng. Control 15 (1974) 502.
- Duff, J.T. (1975). Road lighting and accidents. Report to Technical Committee TC 4.6. CIE (Not published).
- Farouki, O.T. (1977). The effect of improved road lighting on accidents at night. Public Lighting 42 (1977) 74-77.
- Fisher, A.J. (1972). A systematic look at road transport lighting. Light & Lighting 65 (1972) 2: 44-45.
- Fisher, A.J. (1973). A review of street lighting in relation to road safety NR/18. Australian Government Publishing Service, Canberra, 1972.
- Fisher, A.J. (1973a). A review of street lighting in relation to road safety. Report No. 18. Dept. of Transport, Canberra, 1973.
- Fisher, A.J. (1977). Glare and roadway lighting. In: Anon (1977b).

Fisher, A.J. (1977a). Road lighting as an accident countermeasure. Austr. Road Res. 7 (1977) 4: 3-16.

Fisher, A.J. (1977b). Road lighting as an accident countermeasure. In: LiTG (1977), p. 85-108.

Forbes, A.M. (1964). The new S.A.A. streetlighting code. Building-Lighting-Engineering (1964) Aug./Sept.

Friis, A.; Joergensen, N.O. & Schioets, I. (1976). Traffic accidents and road lighting during the oil crisis. Note No. 129. (In Danish). Danish Council of Road Safety Research, Lyngby, 1976.

Gallagher, V.P.; Koth, B. & Freedman, M. (1975). The specification of street lighting needs. Report No. FHWA-RD-76-17. Franklin Institute, Philadelphia, 1975.

Gallagher, V.P.; Koth, B. & Freedman, M. (1975a). The specification of street lighting needs. Executive Summary. Report No. FIRL-C3660. Franklin Institute, Philadelphia, 1975.

Gallagher, V.P. & Meguire, P.G. (1974). Contrast requirements of urban drivers. Interim report. Report No. FHWA-RD-74-76. Franklin Institute, Philadelphia, 1974.

Gallagher, V.P. & Meguire, P.G. (1975). Contrast requirements of urban driving. Special Report 156. Transportation Research Board, Washington, D.C., 1975.

Garwood (1970). Discussiebijdrage bij Jørgensen (1970). In: OECD (1970), p. 65.

Gaymard, L. (1972). Eclairage, sécurité, environnement. Rev. Gen. Rout. Aérodr. (1972) 480: 59-71.

Goudappel, H.M. (1965). De motorisering van Nederland. Samson, Alphen a/d Rijn, 1965.

Green, J. & Hargroves, R.A. (1979). A mobile laboratory for dynamic road lighting measurement. *Lighting Research Technol.* 11 (1979) 197-203.

Gudum, J. & Schioetz, I. (1978). *Vejbelysning og trafikssikkerhed (Street lighting and traffic safety)*. Rapport Nr. 18. Lysteknisk Laboratorium, Lyngby, 1978.

Guenther, R.M. (1978). Verkehrsbeleuchtung erhöht Sicherheit; Unzureichende Helligkeit verringert die Leistung und vergrößert die Fehlerquote. *VDI-Nachrichten* 32 (1978) 24: 5.

Hall, R.R. (ed) (1980). *The design and implementation of fixed lighting for arterial roads and freeways; Proceedings of a workshop held at ARRB, December 11-12, 1979*. Research Report ARR No. 106. ARRB, Vermont South, 1980.

Hall, R.R. & Fisher, A.J. (1979). *Freeway lighting: Analysis of installation performance and costs*. Special Report No. 18. ARRB, Vermont South, 1979.

Hargroves, R.A.; Scott, P.P. (1979). *Measurements of road lighting and accidents; The results*. *Public Lighting* 44 (1979) 213-221.

Hargroves, R.A. & Scott, P.P. (1979a). *Road lighting and accidents*. Lecture (Not published).

Heck, J.P. (1966). *New figures show lighting does reduce accidents costs*. *Street and Highway Lighting* (1966) 4-9 (jaartal geschat).

Hilton, M.H. (1978). *Continious freeway illumination and accidents on a section of RTE I-95*. *Virginia Highway & Transportation Research Control*, Charlottesville (Virg.), 1978.

Huber, M.J. & Tracy, J.L. (1968). *Operating characteristics of freeways*. In: Anon (1968a), p. 1-48.

Janoff, M.S.; Koth, B.; McCunney, W.; Freedman, M.; Duerk, C. & Berkovitz, M. (1977). Effectiveness of highway arterial lighting. Final report No. 7737. Franklin Institute, Philadelphia, 1977.

Johnson, R.T. & Tamburri, T.N. (1965). Continuous freeway illumination. California Division of Highways, 1965.

Jørgensen, N.O. (1970). A model for forecasting traffic accidents. In: OECD (1970), p. 64-66.

Koornstra, M.J. (1970). A methodology of multidimensional analysis. In: OECD (1970), p. 79-80.

Koornstra, M.J. (1970a). Multivariate analysis of categorical data with application to road safety research. In: OECD (1970), p. 80.

Koornstra, M.J. (1978). Pechvogels en brokkemakers. In: Wagenaar et al, eds. (1978), hoofdstuk 14.

Lalani, N. (1978). Street lighting improvements and accidents; A GLC study. Public Lighting 43 (1978) 86-87.

Lalani, N. (1980). Street lighting improvements on major sections of principal roads in Greater London; Before and after accident study. In: Anon (1980a).

Lefevre, P. (1962). Influence de l'éclairage sur la circulation routière. Automobilismo e Automobilismo Industriale (1962) May.

Lehmann, K. (1966). Unterschiede der Erscheinungsformen von Verkehrsunfällen bei Tag und bei Nacht. In: LITG (1966).

Lipinski, M.E. & Wortman, R.M. (1976). Effect of illumination on rural at-grade intersection accidents. Transp. Res. Rec. (1976) 611: 25-27.

LITG (1966). Auge-Licht-Verkehrsgeschehen-Arbeitstagung 23-24 März 1966. LITG, Mainz, 1966.

LITG (1977). Measures of road lighting effectiveness. Transaction 3rd International Symposium, Karlsruhe, 5-6 July 1977. LITG, Berlin, 1977.

Lukaschek, H. (1979). Problemkreis Nachtunfall - Strassenbeleuchtung. Verkehrstechnische Informationsdienst 1 (1979) 1-11.

Marks, V.J. (1977). Effects of reduced intersection lighting on night time accident frequency. Report No. 1003. Iowa Dept. of Transportation, Ames, 1977.

Marsden, A.M. (1976). Road lighting; Visibility and accident reduction. Public Lighting 41 (1976) 106-111.

Michaels, R.M. (1959). Simple techniques for determining the significance of accident-reducing measures. Public Roads (1959) Oct. (Cit. Stark, 1973).

Michaels, R.M. (1966). Two simple techniques for determining the significance of accidents reducing measures. Traff. Engng. 36 (1966) No. 12.

Millington, F. & Miles, E.E. (1979). Cost-effective public lighting. Public Lighting 44 (1979) 23-24; 27-44.

Möckel, W. (1977). Unfallhäufigkeit bei Nacht; 1975. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden (Niet gepubliceerd).

Molina, E.C. (1942). Poisson's exponential binomial limit. Van Nostrand Cie, Inc. Princeton, 1942.

Morin, D.A. (1967). Application of statistical concepts to accidents data. Highway Res. Rec. (1967) 188.

Moroney, M.J. (1951). Facts from figures. Penguin Books, Harmondsworth, 1951.

Newby, R.F. & Johnson, H.P. (1963). London - Birmingham, motorway accidents. *Traffic Engng. Control* 4 (1963) 550.

NSVV (1982). Congresdag "Openbare verlichting - Economie en veiligheid", Amsterdam, 23 april 1982. NSVV, Amsterdam, 1982.

Zie ook: *Electrotechniek* 60 (1982) 9: 422-481.

OECD (1970). Proceedings of the Symposium on the use of Statistical methods in the analysis of road accidents, Crowthorne, UK, 14-16 April 1969. OECD, Paris, 1970.

OECD (1971). Lighting, visibility and accidents. OECD, Paris, 1971.

OECD (1975). Roadside obstacles: Their effect on the frequency and severity of accidents. OECD, Paris, 1975.

OECD (1976). Hazardous road locations: Identification and counter-measures. OECD, Paris, 1976.

OECD (1980). Improving road safety at night. OECD, Paris, 1980.

OECD (1981). Methods for evaluating road safety measures. OECD, Paris, 1981.

Padmos, P. & Walraven, J. (1982). Wegverlichting buiten de bebouwde kom; Welke visuele informatie heeft de automobilist nodig? In: NSVV (1982); Ook: *Electrotechniek* 60 (1982) 9: 449-451.

Perchonok, K. (1972). Accident cause analysis. NHTSA, Washington, D.C., 1972.

Perchonok, K. & Hurst, P.M. (1968). Driver apprehension. In: Anon (1968a), p. 91-105.

Pfundt, K. (1970). Three difficulties in the comparison of accident rates. In: OECD (1970), p. 155-161.

Pfundt, K. & Fehr, W. (1969). Autobahnbeleuchtung und Verkehrssicherheit. In: Anon (1969), p. 7-58; 113-117.

Pfundt, K. et al (1969). Autobahnbeleuchtung. Heft 14. Strassenbau, Verkehrstechnik und Verkehrssicherheit, 1969.

Rasch, G. (1960). Probabilistic models for some intelligence and attainment tests. Copenhagen, 1960.

Rasch, G. (1970). Models for description of the time-space distribution of traffic accidents with application of the analysis of Danish and Swedish experimental data on the effect of speed limits. In: OECD (1970), p. 61-63.

Regnault, P. (1974). L'éclairage routier, un facteur de sécurité. Transport Environment Circulation (1974) 7: 22-23.

Richards, S.H. (1981). The effects of reducing continuous roadway lighting to conserve energy. TRB Annual Meeting, Washington, D.C., 1981.

Richards, M.G. & Ben-Akiva, M.E. (1975). A disaggregate travel demand model. Saxon House Studies, London, 1975.

Rockwell, T.H. & Lindsay, G.F. (1968). Driving performance. In: Anon (1968a), p. 49-71.

Sabey, B.E. (1973). Road accidents in darkness. Report LR 536. TRRL, Crowthorne, 1973.

Sabey, B.E. & Johnson, H.D. (1973). Roadlighting and accidents: Before and after studies on trunk road sites. Report LR 586. TRRL, Crowthorne, 1973.

Salminen, J. (1978). Traffic safety effects of road lights. National Board of Public Roads and Waterways, Helsinki, 1978.

Schreuder, D.A. (1972). Ein systemtheoretisches Modell des Verkehrsaublaufs. In: Anon (1972a).

Schreuder, D.A. (1973). Openbare verlichting als middel om de kwaliteit van het wegverkeer te verbeteren. Extern 2 (1973) 546-559.

Schreuder, D.A. (1974). De rol van functionele eisen bij de wegverlichting. In: Anon (1974).

Schreuder, D.A. (1974a). De energiecrisis: de invloed van beperking van verlichting op de verkeersveiligheid. Verkeerstechniek 25 (1974) 10-13 en De Ingenieur 86 (1974) 50-53.

Schreuder, D.A. (1977). The relation between lighting parameters and transportation performance. R-78-6. SWOV, Voorburg, 1978.
Ook: LITG (1977).

Schreuder, D.A. (1978). Verlichting en energiegebruik: Eisen te stellen aan de verkeersverlichting. R-78-20. SWOV, Voorburg, 1978.
Ook: Electrotechniek 56 (1978) 897-903.

Schreuder, D.A. (1979). Bijdrage bij de discussie: zie Hargroves & Scott (1979a).

Schreuder, D.A. (1982). De theorie van de verkeersverlichting gezien vanuit de verkeerskunde. Cursus Weg- en straatverlichting 1982, Stichting Postakademiale Vorming Verkeerskunde, B.1. t/m B.4. R-82-17.
SWOV, Leidschendam, 1982.

Schreuder, D.A. (1982a). Openbare verlichting en ongevalenkans. R-82-26.
SWOV, Leidschendam, 1982.
Ook: NSVV (1982), en Electrotechniek 60 (1982)): 443-448.

Schreuder, D.A. (1983). Assessment of road lighting quality on the basis of driver task analysis. SWOV, Leidschendam (In voorbereiding).

Scholz, I. (1977). Zusammenhänge zwischen Verkehrsunfällen und ortsfester Strassenbeleuchtung. In: Anon (1977), p. 346-351.

Scholz, I. (1977a). Zusammenhänge zwischen Verkehrsunfällen und ortsfester Strassenbeleuchtung. Unfall- und Sicherheitsforschung Strassenverkehr (1977) no. 10.

Scholz, I. (1978). Mögliche Folgen von Sparmassnahmen in der Verkehrsbeleuchtung. Fachtagung: Die Beleuchtung im Rahmen von Sparmassnahmen, Hamburg, 8 Mai, 1978.

Scholz, I. & Von Stosch, H.J. (1978). Wechselwirkungen zwischen dem Unfallgeschehen, der ortsfesten Strassenbeleuchtung und den Reflexionseigenschaften der bituminösen Deckschicht. Bitumen (1978) 148-151.

Schubert, J.F.; Selle, H.; Stolzenberg, K.; Trapp, K.H. & Zuell, P. (1969). Lichttechnische, verkehrstechnische und strassenbauliche Aspekte der Beleuchtung von Schnellverkehrsstrassen. In: Anon (1969), p. 59-115; 117-119.

Scott, P.P. (1979). A short review of additional studies. Report to CIE TC 4.6. TRRL, Crowthorne (Not published).

Scott, P.P. (1980). The relationship between road lighting quality and accident frequency. Lab. Report LR 929. TRRL, Crowthorne, 1980.

Scott, P.P. (1980a). The relationship between road lighting quality and accident frequency. Digest LR 929. TRRL, Crowthorne, 1980.

Scott, P.P. & Barton, A.J. (1976). The effect on road accidents rates of the fuel shortage of november 1973 and consequent legislation. LR 236. TRRL, Crowthorne, 1976.

Seburn, T.J. (1948). Kansas City's new lighting begins saving lives. The American City, 1948, July.

Sheppard, D. (1970). Obtaining data from drivers about their accident records. In: OECD (1970), p. 129-132.

Shuldiner, P. (1974). Extension of present methodology. Special Report No. 149. Transp. Res. Board, Washington, D.C., 1974.

Sielsky, M.C. (1967). Relationship of roadway lighting and traffic accidents. HRB Spec. Rep. (1967) 93: 172-177.

Sirola, E. (1978). Innovation in recommendations for public lighting (In Kroatian). Ceste I Mostovi 24 (1978) 1-11.

Skene, P. (1976). The cost effectiveness of upgrading urban street lighting. Project for M.Eng.Sc. Degree School of Transportation and Traffic. University of NSW, 1976.

SLG (1978). Sicherheit im Strassenverkehr. Dok. No. 400/78. Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft SLG, Zürich, 1978.

Smeed, R.J. & Jeffcoate, G.O. (1970). The effects of changes in motorisation in various countries on the number of road fatalities. In: OECD (1970), p. 103-111.

Srour, D. (1970). The statistical estimation of accident proneness. In: OECD (1970), p. 67-76.

Stark, R.E. (1973). Studies of traffic safety benefits of roadway lighting. Highway Res. Rec. (1973) 440: 20-28.

Steel, R.G.D. & Torre, J.H. (1960). Principles and procedures of statistics. Mc. Graw-Hill, New York, 1960.

SWOV (1974). De energiecrisis en de verkeersveiligheid in november en december 1973; Onderzoek naar het effect van de eind oktober 1973 genomen maatregelen en gegeven adviezen. R-74-8. SWOV, Voorburg, 1974.

SWOV (1976). Tien jaar verkeersonveiligheid in Nederland. Publikatie 1976-3N. SWOV, Voorburg, 1976.

SWOV (1976a). De verkeersonveiligheid in de Provincie Noord-Brabant I en II; Vergelijking Noord-Brabant met rest van Nederland. R-76-5. SWOV, Voorburg, 1976.

SWOV (1979). De verkeersveiligheid in de Provincie Noord-Brabant V; Onderzoek met betrekking tot enkelvoudige ongevallen in Noord-Brabant. R-79-36. SWOV, Voorburg, 1979.

Talbot, M. (1975). Street lighting reduces night time accidents. *Minic. Eng. Lond.* 152 (1975) 37: 1737-1739.

Talbot, M.F. (1975a). The effect of street lighting reductions on accidents. RM 459. Greater London Council, London, 1975.

Tan, T.H. (1974). Wegverlichting in de praktijk. In: Anon (1974).

Tan, T.H. (1974a). Discussiebijdrage bij Tan (1974) (Niet gepubliceerd).

Tanner, J.C. (z.j.). A problem in the combination of accident frequencies. *Biometika* 44 (z.j.) pt. 3; 4; p. 221-340 (Cit. Lalani, 1978).

Tanner, J.C. (1958). Reduction of accidents by improved street lighting. *Light and Lighting* 51 (1958) 353-355.

Tanner, J.C. & Christie, A.W. (1955). Street lighting and accidents; A study of some new installation in the London area. *Light and Lighting* 48 (1955) 395-397.

Tanner, J.C. & Harris, A.J. (1955). Street lighting and accidents. CIE, Zürich, 1955.

Thorpe, J.P. (1963). Traffic accident measurements. *Journ. Inst. Engngs. (Aust)* 35 (1963) 3: 31.

Toomath, J.B. (1972). A study of accidents at traffic signals (Part 1). (Cit. Welleman, 1981).

Turner, H.J. (1962). The influence of road lighting on traffic safety and service. Proc. ARRB 1 (1962) 1: 596-618.

Turner, H.J. (1972). The effectiveness of the N.S.W. street lighting subsidy scheme. National Road Safety Symposium, Canberra, 1972.

Turner, H.J. (1973). Effectiveness of the New South Wales traffic route lighting subsidy scheme. Light and Lighting 66 (1973) 132-135.

Van den Burgt, A.T.; Dévény, A.M. (1981). Kritische beschouwing en analyse van een beoordeling van wegverlichting. QDL management; Stat. & DPS/3/81. Philips, Eindhoven (Niet gepubliceerd).

Veling, I.H. (1982). Analyse rijtaak; Beschrijving van een onderzoekprogramma. Rapport IZF 1982-C.1. IZF, Soesterberg, 1982.

Vos, J.J. (1976). Argumenten in de discussie over het wenselijke niveau van openbare verlichting voor wegen buiten de bebouwde kom. Rapport 1976-C.8. IZF, Soesterberg, 1976.

Wagenaar, W.A.; Vroon, P.A. & Janssen, W.H. (1981). Proeven op de som. Van Loghum Slaterus, Deventer, 1978.

Walker, F.W. & Roberts, S.E. (1976). Influence of lighting on accident frequency at highway intersections. Transp. Res. Rec. No. 562. Transportation Research Board, Washington, D.C., 1976.

Walraven, J. (1980). Visueel-kritische elementen bij het nachtrijden: een verkennend onderzoek. Rapport IZF 1980-C.2. IZF, Soesterberg, 1980.

Walthert, R. (1974). Die Qualität den öffentlichen Beleuchtung als Faktor der Verkehrssicherheit. In: Anon (1974e), p. 94-98.

Walthert, R. (1976). Beleuchtungsverhältnisse am Fussgängerstreifen. In: Anon (1976), p. 118-128.

Walthert, R. (1978). Erhöhung der Verkehrssicherheit durch öffentliche Beleuchtung aus der Sicht der Energiesparmassnahmen. In: SLG (1978), p. 49-54.

Walthert, R. (1980). Erhöhung der nächtlichen Verkehrssicherheit durch öffentliche Beleuchtung unter Berücksichtigung von Energiesparmassnahmen. Z.f. Verkehrssicherheit 26 (1980) 178-179.

Walthert, R. & Hehlen, P. (1980). Strassenbeleuchtung; Mehr Sicherheit, ein Handbuch für Gemeindebehörden. BFU-Schriftenreihe Band 13. BFU, Bern, 1980.

Walthert, R.; Mäder, F. & Hehlen, P. (1970). Données statistiques sur la proportion des accidents de jour et de nuit, leur causes et conséquences. In: Anon (1970a), p. 7-27.

Welleman, A.G. (1981). Veiligheidsoverwegingen bij het plaatsen van verkeerslichten. R-81-35. SWOV, Leidschendam, 1981. Ook: Verkeerskunde 32 (1981) 11: 537-544.

Widen, S. (1974). Night traffic accidents; A review of the literature. Report No. 56 (In Swedish). VTI, Stockholm, 1974.

Williams, W.L. (1970). Roadway lighting. Traffic Engng. 40 (1970) 6: 30-34.

Wister, W. (1979). Kritische Bemerkungen zum Risiko bei Dunkelheit. Verkehrstechnische Informationsdienst 1 (1979) 12-19.

Whiterford, D.K. (1967). The economic analysis of freeway lighting. Traffic Quarterly 21 (1967) 289-303 (Cit. CIE, 1982).

Wortman, R.H. & Lipinski, M.E. (1974). Rural at-grade intersection illumination. Civ. Engng. Transp. Engng. Series No. 12. Univ. of Illinois, Urbana, 1974.

Wyatt, F.D. & Lozano, E. (1957). Effect of street lighting on night traffic accident rate. HRB Bull (1957) 146: 51-55.

Wyvekate, M.L. (1967). Verklarende statistiek. 9e druk. Aula no. 39. Spectrum, Utrecht, 1967.

Yates, J.G. & Beatty, R.L. (1970). Relationship between lighting and accident experience between interchanges. Highway Res. Rec. (1970) 312: 85-92.

Zuman, N. (1980). The case for improved street lighting. The Highway Engineer (1980) Feb.: 8-11.

ANNEX I: DE INVLOED VAN DE OBSTAKELWERKING VAN LICHTMASTEN OP DE NACHT/-
DAG-VERHOUDING VAN ONGEVALLLEN

Ten gevolge van botsingen met lichtmasten kan een vertekend beeld ontstaan omtrent het totale effect van het aanbrengen van openbare verlichting. De mate van die vertekening kan als volgt worden bepaald. Stel:

- de ongevallenkans zonder openbare verlichting is overdag p , 's nachts e (dus gewoonlijk is $e > 1$);
- het verkeer is overdag f , 's nachts d (dus meestal $d > 1$);
- de reductie door openbare verlichting 's nachts c (dus $c < 1$);
- de relatieve toename door botsingen g (dus $g > 1$).

Dan zijn de aantallen ongevallen

A: $fpecg$

B: fep

a: $dfpg$

b: dfp

De "statistic" k wordt

$$k = \frac{Ab}{Ba} = \frac{fpecg}{fep} \cdot \frac{dfp}{dfpg} = c$$

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

$$K = A + a - B - b = fpecg + dfpg - fep - dfp = fp(ecg + dg - e - d)$$

De vraag is nu: wanneer is $K < 0$ (dus een afname van ongevallen). De grens is $K = 0$. Dus f en p hebben geen invloed: de absolute waarden van dagintensiteit en ongevallenkans. Men kan slechts één van de factoren bepalen wanneer de andere vier bekend zijn. Als voorbeeld: Stel $e = 3$; $c = 0,7$; $g = 1,04$ (redelijke waarden) en $K = 0$.

Men vindt dan $d = 20$. Dus wanneer de verkeersintensiteit overdag minder dan 20 x zo groot is als die 's nachts, vindt men een positieve bijdrage van de verlichting.

Het is natuurlijk beter om ook dit te doen met gebruik van een controle-
groep. Daarvoor kan de volgende beschouwing worden gebruikt. Stel voor
het te onderzoeken gebied de aantallen ongevallen

A nacht naperiode

B nacht voorperiode

a dag naperiode

b dag voorperiode

Voor de controlegroep (waar dus de verlichting niet verandert)

C nacht naperiode

D nacht voorperiode

c dag naperiode

d dag voorperiode

Noem nu het verkeer voor die twee wegen (index 1 en 2 resp.)

dag voorperiode D_1 D_2

dag naperiode d_1 d_2

nacht voorperiode N_1 N_2

nacht naperiode n_1 n_2

Noem de kans op ongevallen overdag P_d , 's nachts P_n . Het extra risico
door lichtmasten P . De extra veiligheid door verlichting L .

Stel verder dat er een trend is in het verkeer die voor beide wegen
dezelfde is

$$d_1 = \alpha D_1 \quad d_2 = \alpha D_2$$

$$n_1 = \beta N_1 \quad n_2 = \beta N_2$$

Voor de verschillende ongevallen kunnen we dan schrijven:

$$A = n_1 P_n P L \quad C = n_2 P_n$$

$$B = N_1 P_n \quad D = N_2 P_n$$

$$a = d_1 P_d P \quad c = d_2 P_d$$

$$b = D_1 P_d \quad d = D_2 P_d$$

Hierbij is gedacht aan een weg zonder verlichting als controlegroep.

Rekening houdend met de trends α en β (die voor beide wegen gelijk ge-
acht worden te zijn) wordt dit

$$A = \beta N_1 P_n P L \quad C = \beta N_2 P_n$$

$$B = N_1 P_n \quad D = N_2 P_n$$

$$a = \alpha D_1 P_d P \quad c = \alpha D_2 P_d$$

$$b = D_1 P_d \quad d = D_2 P_d$$

Uit de gegevens van de controlegroep zijn α en β te bepalen; immers:

$$\frac{C}{D} = \frac{\beta N_2 P_n}{N_2 P_n} \quad \text{dus } \beta = \frac{C}{D} \quad \text{en } \frac{c}{d} = \frac{\alpha D_2 P_d}{D_2 P_d} \quad \text{dus } \alpha = \frac{c}{d}$$

Toegepast op de onderzoekweg levert dit:

$$\frac{A}{B} = \frac{\beta N_1 P_n P L}{N_1 P_n} \quad \text{dus } P L = \frac{1}{\beta} \cdot \frac{A}{B} = \frac{D}{C} \cdot \frac{A}{B} \quad \text{dus } L = \frac{D}{C} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{1}{P} \quad \text{en}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{\alpha D_1 P_d P}{D_1 P_d} \quad \text{dus } P = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{a}{b} = \frac{d}{c} \cdot \frac{a}{b} \quad \text{dus } \frac{1}{P} = \frac{c}{d} \cdot \frac{b}{a}$$

Tenslotte volgt hieruit:

$$L = \frac{D}{C} \cdot \frac{A}{B} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{b}{a}$$

Deze L is de relatieve reductie in ongevallen ten gevolge van het aanbrengen van de verlichting. Dit is dus de grootte waar het ons om begonnen was.

De betrekking is tamelijk gecompliceerd, maar daar staat tegenover dat op deze wijze rekening kan worden gehouden met een aantal factoren die het eindresultaat kunnen beïnvloeden, zoals verschillen in trend in dag- en nachtverkeer, de negatieve invloed van lichtmasten op de veiligheid. Opgemerkt kan nog worden dat voor de controlegroep ook wegen met openbare verlichting kunnen worden gebruikt: de termen P en L worden weggedeeld uit de betrekking voor α en β .

De aanname hierboven was dat p, d en f niet veranderen gedurende de proef, d.w.z. gelijk zijn gedurende de gehele voor- en de gehele na-periode. Hiermee is in het verleden niet steeds rekening gehouden; in de opgegeven publikaties is hierover vrijwel nooit iets vermeld. Ze moeten dus met enige voorzichtigheid worden gehanteerd.

ANNEX II: DE BEREKENING VAN DE VOOR PROEFNEMING EN BENODIGDE WEGLENGTE

Verkeersongevallen kunnen worden beschreven in termen van een statistisch kansverschijnsel. Dit verschijnsel kan worden beschreven met een binomiale verdeling, gekenmerkt door $\mu = pn$ en $\sigma = \sqrt{pqn}$.

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

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

We voeren nu de volgende hypothese in: μ_v is ongelijk nul (en wel $\mu_v > 0$). Bij een eenzijdige overschrijdingskans van 2,5% wordt de hypothese verworpen wanneer $\mu_v < 1,96\sigma_v$ is. Verder wordt uitgegaan van de gelijkheid $\mu_v = 1,96\sigma_v$.

Nu is $\mu_v = \mu_1 - \mu_2$. Voor een reductie in ongevallen van één procent is dus: $\mu_v = (1,00 - 0,99)\mu$.

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

Hieruit volgt dat:

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

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

Wanneer men aanneemt dat op een autosnelweg het dodenquotiënt ca. $1,5 \times 10^{-8}$ bedraagt (doden per vtg. km) en op andere wegen ca.

$4,5 \times 10^{-8}$; en dat op de autosnelweg 50.000 voertuigen per etmaal passeren en op een "andere" weg ca. 17.000 dan volgt voor p (wanneer de proef een jaar duurt):

$$p = 365 \times 50.000 \times 1,5 \times 10^{-8} = 0,274$$

resp.

dus ca. 0,27

$$p = 365 \times 17.000 \times 4,5 \times 10^{-8} = 0,279$$

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

Hieruit volgt dat men, voor een vóór- en nastudie, beide één jaar beslaande, bij een verwachte reductie van één procent een proeftraject nodig heeft van ca. 280.000 km. Wanneer men ook verkeersgewonden in de proef kan betrekken, is voor 1% reductie ca. 11.000 km weg nodig. Wanneer de reductie groter is, kan het proeftraject evenredig korter worden gekozen. Zie onderstaande tabel.

Reductie	Benodigde weglengte (km)	
	doden	gewonden
1%	280.000	11.000
2%	140.000	5.500
5%	56.000	2.200
10%	28.000	1.100
20%	14.000	550

Bij bovenstaande berekening is uitgegaan van etmaalgemiddelden. Voor studies omtrent openbare verlichting moeten de nachtwaarden voor verkeer en ongevallenquotienten worden gebruikt.