

DE RELATIE TUSSEN HET NIVEAU VAN DE OPENBARE VERLICHTING EN DE VERKEERS-
VEILIGHEID OP NIET-AUTOSNELWEGEN BUITEN DE BEBOUWDE KOM

Covernota bij het BGC-rapport: Verlichting op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom; Effecten en niveaus. RWC/917/09/Mn. Bureau Goudappel Coffeng bv, Deventer, 1990.

R-90 -45

Dr.ir. D.A. Schreuder

Leidschendam, 1990

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

Voorwoord

1. Inleiding
2. Opzet van het onderzoek
3. Uitvoering
4. Resultaten
 - 4.1. Bestanden
 - 4.2. Risico
 - 4.3. De resultaten van de analyse
5. Ongevallen met lichtmasten
6. Kosten/baten-overwegingen
 - 6.1. Algemeen
 - 6.2. De doelmatigheid van openbare verlichting
 - 6.3. Bepaling van het doelmatige lichtniveau
 - 6.4. Het nut van openbare verlichting voor afzonderlijke wegvakken
 - 6.5. Verbeteringen
7. Conclusies
8. Aanbevelingen

Literatuur

Afbeeldingen 1 en 2

Tabellen 1 t/m 4

Bijlagen 1 t/m 3

VOORWOORD

Enige jaren geleden heeft de Dienst Verkeerskunde (DVK) van Rijkswaterstaat het initiatief genomen een onderzoek uit te voeren naar de relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en verkeersongevallen. Dit onderzoek bestaat uit drie gedeelten. Het eerste gedeelte - waarover hier wordt gerapporteerd - betreft de niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom. Het tweede gedeelte zal gaan over autosnelwegen buiten de bebouwde kom, en het derde over de wegen binnen de bebouwde kom. Voorbereidingen voor de opzet en uitvoering van het tweede gedeelte worden momenteel getroffen.

In eerste instantie is door DVK een opdracht verleend aan Bureau Goudappel Coffeng bv (BGC) te Deventer waarbij de SWOV als adviseur (middels de Begeleidingsgroep Verlichtingsonderzoeken) was betrokken. In overeenstemming met de herziening van de relatie tussen de Rijksoverheid en de SWOV, en rekening houdende met de "architectenrol" van de SWOV, is de constructie gekozen waarbij de DVK als "opdrachtgever", de SWOV als "aannemer" en BGC als "onderaannemer" fungeerde.

Het onderhavige rapport is een "covernota" waarmee de SWOV aan de opdrachtgever verslag uitbrengt in overeenstemming met de opdracht neergelegd in de overeenkomst DVK-628; projectcode TV 4404). Het onderzoek is door de SWOV opgedragen aan het Bureau Goudappel Coffeng te Deventer. Het Bureau Goudappel Coffeng heeft aan de SWOV verslag uitgebracht van haar werkzaamheden. Een aantal niet gepubliceerde notities die betrekking hebben op de opzet en uitwerking van het onderzoek, zijn als bijlage toegevoegd.

1. INLEIDING

Openbare verlichting is in hoofdzaak functioneel. Voor verkeerswegen buiten de bebouwde kom is de belangrijkste functie van de openbare verlichting het bevorderen van de verkeersveiligheid bij duisternis. Tevens is van belang het verhogen van het gemak van de verkeersafwikkeling bij duisternis. Dit laatste aspect komt in dit rapport niet verder aan de orde; hierover is ander onderzoek uitgevoerd (Van den Brink & Buijn, 1990).

In Nederland zijn vrijwel alle wegen en straten binnen de bebouwde kom van openbare verlichting voorzien. Daarentegen zijn de meeste wegen buiten de bebouwde kom onverlicht. Voor wegen buiten de bebouwde kom is de eerste vraag die uit het oogpunt van de verkeersveiligheid dient te worden beantwoord: Welke wegen dienen van een openbare verlichting te worden voorzien? Dit aspect is gedurende vele jaren intensief onderzocht. Overzichten van de resultaten van dit onderzoek zijn gegeven in CIE (1968; 1990); OECD (1972); Schreuder (1983; 1988a). Ofschoon het merendeel van de in deze rapporten samengevatte studies de hoofdwegen binnen de bebouwde kom betreffen, zijn ook over wegen buiten de bebouwde kom (autosnelwegen alsmede niet-autosnelwegen) gegevens verschaft. Als slotconclusie van al deze studies en samenvattingen kan worden gesteld:

"Op stedelijke verkeersaders mag men bij installatie van goede openbare verlichting in plaats van afwezige of zeer slechte verlichting rekenen op een reductie van 30% in de nachtelijke letselongevallen. Voor wegen buiten de bebouwde kom (autosnelwegen en niet-autosnelwegen) is een reductie van dezelfde orde van grootte te verwachten".

Hoewel de meeste van de afzonderlijke studies, waarop deze uitspraak is gebaseerd, zekere tekortkomingen vertonen in de onderzoeksmethodiek of in de statistische verwerking van de resultaten, wordt de slotconclusie algemeen aanvaard. Verdere onderzoekingen op dit gebied worden daarom minder urgent geacht, ofschoon nadere gegevens dienaangaande vooral voor andere wegcategorieën nuttig zijn.

De hierboven gestelde vraag geeft direct aanleiding tot een vervolgvraag: Hoe goed is "goed"? Of, met andere woorden, wat is de relatie tussen de (verbetering van de) verkeersveiligheid en de (toename van de) kwaliteit en/of de kwantiteit van de verlichting?

Dat er van een verbetering van de verkeersveiligheid (een afname van het aandeel nachtongevallen bijvoorbeeld) sprake is bij een verbetering van de verlichting (een toename van de luminantie bijvoorbeeld) is in overeenstemming met de resultaten van theoretisch onderzoek, en ook met het gezonde verstand. De redenering is als volgt: bij meer licht kan men beter zien, en wanneer men beter kan zien vinden er minder ongevallen plaats. Deze redenering bestaat dus uit twee stappen.

Uit diepgaande studies is gebleken dat - bij de luminantieniveaus die voor openbare verlichting in aanmerking komen - er een duidelijke en onomstotelijk vastgestelde verbetering van de visuele prestaties bestaat bij toenemende adaptatietoestand (dus bij toenemende luminantie).

Over de tweede stap is minder bekend. De verwachting is dat een betere visuele prestatie gepaard zal gaan met een afname van de betrokkenheid bij ongevallen; de resultaten van wetenschappelijk onderzoek zijn echter schaars en niet erg overtuigend.

De bedoelde relatie kan rechtstreeks middels een ongevallenstudie worden onderzocht. Op dit gebied is tot nu toe echter weinig onderzoek gedaan. Slechts drie studies zijn bekend. In een Engelse studie is een vrij duidelijk en licht significant verband gevonden tussen de gemiddelde wegdek-luminantie op stedelijke hoofdwegen en de nacht/dagverhouding van de ongevallen (Scott, 1980). In een serie Amerikaanse studies is een analoog resultaat gevonden. Naast een relatie tussen de waarneembaarheid van objecten en het lichtniveau is ook een suggestie gevonden dat een hogere verlichtingssterkte op het wegdek samen gaat met een lager ongevallenrisico. De opzet van de studies laat echter een kwantitatieve vaststelling van deze relatie niet toe (Gallagher et al., 1975). Deze twee studies zijn samengevat in Schreuder (1983). In een Nederlandse "pilotstudie" is een dergelijke relatie niet gebleken (Schreuder, 1989). Deze drie studies geven dus ook te zamen nog geen duidelijk beeld. Er bestaan momenteel vrij ver gevorderde plannen om in Nederland, mogelijk in samenwerking met andere landen, de wegen binnen de bebouwde kom verder te onderzoeken. Omdat de bedoelde onderzoekingen betrekking hebben op wegen binnen de bebouwde kom, wordt er in het onderhavige rapport niet verder op ingegaan.

Deze feiten en omstandigheden waren voor DVK aanleiding om het initiatief te nemen tot het onderhavige onderzoek, waarbij hier wordt gerapporteerd. Het rapport betreft het eerste deel van het onderzoek (niet-autosnelwegen

buiten de bebouwde kom). Deze "covernota" behelst het rapport van de SWOV. Voor alle gegevens betreffende het onderzoek zij verwezen naar het eindrapport van Bureau Goudappel Coffeng (BGC, 1990a).

2. OPZET VAN HET ONDERZOEK

De opzet van de studie is in detail beschreven in de voorbereidende notities voor deze studie (BGC, 1987, zie Bijlage 1; Schreuder, 1988b, zie Bijlage 2), en in het eindrapport (BGC, 1990a). Hier volgt een korte samenvatting.

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

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

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

De ongevallengegevens zijn afkomstig van de Dienst Verkeersongevallenregistratie (VOR). Moeilijkheden bij het verschaffen van de voor dit onderzoek gewenste gegevens maakte het nodig om de VOR-gegevens aan te vullen met de gegevens die rechtstreeks uit de politieformulieren (de "groentjes") zijn ontleend. Deze noodzaak leidde tot een aanzienlijke vertraging in het onderzoek.

Het gebruikte bestand van de ongevallen omvat alle geregistreerde ongevallen met letsel (doden en gewonden) en alle geregistreerde u.m.s.-ongevallen (ongevallen met uitsluitend materiële schade). Deze laatste categorie is

toegevoegd om het bestand zo groot mogelijk te maken, ofschoon bekend is dat u.m.s.-ongevallen slechts voor een klein gedeelte in de VOR-registratie terecht komen. Toch zijn deze ongevallen gebruikt omdat er geen duidelijke redenen zijn aan te voeren dat de registratiegraad van u.m.s.-ongevallen op een systematische ("non random") wijze afhangt van het lichtniveau van de openbare verlichting.

De verlichtingsgegevens zijn afkomstig van de wegbeheerders. Omdat de gegevens over een vrij groot aantal jaren nodig waren, leverde de verzameling ervan moeilijkheden op, die echter vrijwel steeds konden worden opgelost. De verlichtingsgegevens afkomstig van de wegbeheerders zijn aangevuld met gegevens uit de in het kader van dit onderzoek uitgevoerde inventarisatie (BGC, 1990b). De gegevens zijn afgeleid uit berekeningen met behulp van het door de DVK opgestelde computerprogramma LICHT. Met als uitgangspunt het type van armatuur, lamp en wegdek, en de gegevens van de verlichtingsgeometrie (wegbreedte, paalafstand, ophanghoogte enz.) zijn de luminanties uitgerekend. De verlichtingsgegevens omvatten steeds tenminste de gemiddelde wegdekluminantie L en de ongelijkmatigheidsmaten U_1 en U_0 . U_1 betekent de gelijkmatigheid van het luminantiepatroon in de lengterichting van de weg (lichte en donkere dwarsstrepen); U_0 betekent de algemene ongelijkmatigheid van het luminantiepatroon (het voorkomen van donkere plekken). Zowel U_1 als U_0 worden uitgedrukt in verhoudingen van luminanties en worden gewoonlijk in percenten opgegeven. Voor de precieze betekenis van deze begrippen wordt verwezen naar de literatuur (bijv. Van Bommel & De Boer, 1980).

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

Uiteindelijk zijn alle relevante gegevens van alle wegvakken verkregen, zowel wat betreft de ongevallen als wat betreft de verlichting en het verkeer.

Uit de algemene ervaring blijkt dat alle wegkenmerken van niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom onderling in sterke mate zijn gecorreleerd, en dat de kenmerken in hoofdzaak afhangen van de verkeersintensiteit (etmaalintensiteit). Deze ervaring is in een eerder door BGC voor DVK uitgevoerd (niet gepubliceerd) onderzoek opnieuw bevestigd. Een samen-

vatting ervan is gegeven in BGC (1987) (zie Bijlage 1). Voor het onderhavige onderzoek is dit een belangrijk gegeven.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat de resultaten van het onderhavige onderzoek twijfels doen rijzen aangaande deze ervaring. Uit de vergelijking van wegen zonder en met installaties voor openbare verlichting komt de suggestie naar voren dat er naast de intensiteit nog andere kenmerken van weg en/of verkeer zijn die met de relatieve veiligheid samen hangen. Het lijkt wenselijk om de genoemde "ervaring" voor de bij dit onderzoek betrokken wegen alsnog aan een nader onderzoek te onderwerpen. Dit is in beginsel mogelijk omdat voor het gehele bestand aan gebruikte wegen alle belangrijke kenmerken bekend zijn (BGC, 1990b).

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

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

Het onderzoek betreft wegen die voorzien zijn van installaties voor openbare verlichting, onderling verschillend in de kwaliteit van de verlichting (luminantie en gelijkmatigheid). In het wegenbestand zijn ter verge-

lijking en ter beoordeling van de consistentie van het materiaal ook een aantal wegen zonder openbare verlichting opgenomen. Ofschoon de toestand "onverlicht" eigenlijk geen deel uitmaakt van het onderzoek, zijn ook de onverlichte wegen in de analyse betrokken, in de verwachting dat het toevoegen van onverlichte wegen een aanvulling zou kunnen verschaffen over het antwoord op de vraag welke wegen verlicht moeten worden. Zoals verderop zal worden toegelicht, blijkt het materiaal geen duidelijke uitspraken op dit gebied mogelijk te maken.

Aan het hierboven beschreven onderzoek zijn nog twee ermee in verband staande vragen toegevoegd:

1. Onder welke omstandigheden levert de vergelijking van kosten en baten (kosten/baten-analyse) van openbare verlichting op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom een positief resultaat op?
2. Spelen ongevallen met lichtmasten - in het bijzonder overdag - een rol van betekenis?

3 . UITVOERING

De gegevens zijn conform de voorstellen verzameld. Details zijn gegeven in de reeds eerder genoemde notities en rapporten (BGC, 1987, 1990a, 1990b; Schreuder, 1988b) .

Voor de analyse zijn verschillende methoden gebruikt. Aanvankelijk bestond er enige onduidelijkheid wat de beste wijze is om met "nullen" rekening te houden. "Nullen" betreffen hierbij die gevallen waarbij binnen de beschouwde periode op het betreffende wegvak geen ongevallen plaats gevonden hebben. Dergelijke "nullen" kunnen in de gebruikelijke analyses problemen opleveren. Na overleg is voor de analyse een variant van de zgn. log-lineaire analyse gebruikt, terwijl ook aandacht is besteed aan de zgn. Tobit-analyse. Zoals uit de berekeningen blijkt maakt het voor de praktijk nauwelijks verschil welke van deze methoden worden gebruikt (BGC, 1990a). We kunnen de fundamentele vraag, hoe met "nullen" om te gaan, dus buiten de bespreking van het onderhavige onderzoek laten. Nadere gegevens zijn in een aparte notitie van de SWOV (Polak, 1987; zie Bijlage 3), in het start-document en in het eindrapport te vinden (BGC, 1987; 1990a).

4. RESULTATEN

Het eindrapport van BGC (1990) geeft het resultaat van de door hen uitgevoerde analyse. Aangezien deze analyse een niet geheel bevredigend antwoord heeft gegeven op alle gestelde vragen, is door de SWOV een aanvulling op deze analyse gemaakt. Het hierna gegeven overzicht is gebaseerd op de gezamenlijke analyses van BGC en de SWOV. Deze analyses geven in diverse opzichten een aantal aanvullende details, maar omdat het niet duidelijk is of de gebruikte methoden steeds relevant en/of toepasbaar zijn, en omdat de significantie van de meer gespecificeerde analyseresultaten meestal onduidelijk en soms onvoldoende is, zijn de kwantitatieve opgaven waarover in het onderhavige rapport worden bericht, gebaseerd op de samenvattende analyse die door de SWOV is uitgevoerd.

4.1. Bestanden

De verwachting die was gevormd bij de opzet van het onderzoek omtrent de verdeling van de karakteristieken blijkt gerechtvaardigd te zijn. In het bestand komen wegen voor met zeer uiteenlopende luminantie, en ook met zeer uiteenlopende verkeersintensiteit.

Er blijkt een nauwe relatie te bestaan tussen de twee maten voor de ongelijkmatigheid U_1 en U_0 . Dit sluit aan bij de meer recente gedachten om in de toekomst slechts één van deze twee maten te gebruiken: wanneer er inderdaad steeds een aanzienlijke samenhang bestaat, levert het gebruik van twee grootheden in plaats van één, nauwelijks extra informatie op.

Verder blijkt er een vrij sterke samenhang te bestaan tussen de gemiddelde wegdek-luminantie en de gelijkmatigheid: wegen met een (relatief) hoge luminantie hebben over het algemeen een (relatief) goede gelijkmatigheid. Dit is bepaald niet vanzelfsprekend: het is heel goed denkbaar verlichtingsinstallaties te maken met een hoge luminantie en een slechte gelijkmatigheid, en vice versa. Er zijn in de praktijk vele voorbeelden bekend. Bedacht dient te worden dat deze voorbeelden gewoonlijk wegen binnen de bebouwde kom betreffen, alwaar de "folklore" tot veel grotere variaties in installaties leidt dan voor wegen buiten de bebouwde kom. Anders gezegd: in de praktijk zijn voor wegen buiten de bebouwde kommen de mogelijkheden voor het ontwerp van verlichtingsinstallaties beperkt, vooral ook omdat ze vrijwel uitsluitend een functie ten behoeve van het gemotoriseerde snelverkeer hebben.

De gevonden sterke samenhang tussen de luminantie en de gelijkmatigheid betekent dat het op grond van de resultaten van het onderhavige onderzoek niet mogelijk is om een uitspraak te doen over de relatieve merites van lichtniveau en gelijkmatigheid. Een "pay off" tussen deze twee grootheden kan op grond van het hier gepresenteerde materiaal niet worden gevonden, evenmin als een beslissende uitspraak over de vraag of het luminantieniveau of juist de gelijkmatigheid het "belangrijkste" ontwerpcriterium is.

4.2. Risico

De weergave van de data is op verschillende wijze mogelijk. Per wegvak zijn de volgende gegevens bekend:

- de lengte;
- het aantal ongevallen overdag en bij duisternis gedurende de looptijd van het onderzoek;
- de verkeersintensiteit (etmaalintensiteit).

De ongevallen die tijdens de schemer plaats vonden (ca. 10% van het totaal) zijn buiten beschouwing gebleven.

Onder aanname dat voor alle wegen de intensiteit van het nachtelijke verkeer een vaste fractie is van de etmaalintensiteit, kan van de etmaalintensiteit gebruik worden gemaakt om het risico (de "expositie") in rekening te brengen. Veelal gaat men er van uit dat het risico recht evenredig is met de (etmaal)intensiteit. Onder deze aanname kan met de invloed van de intensiteit rekening worden gehouden door met het aantal ongevallen per voertuigkilometer te werken. Er zijn redenen om aan te nemen dat de bedoelde afhankelijkheid ingewikkelder is dan een lineaire evenredigheid. Een nauwkeuriger aanpak houdt met de intensiteit zelf rekening. Beide wijzen van verwerking zijn gebruikt.

4.3. De resultaten van de analyse

De gezamenlijke analyse heeft de volgende resultaten opgeleverd:

- Wanneer al het beschikbare materiaal te zamen wordt genomen, blijkt op verlichte wegen het aandeel van de nachtongevallen gerekend tot het totale aantal ongevallen (n/t-ratio) aanzienlijk lager te zijn dan op onverlichte

wegen. Dit is in overeenstemming met de in de Inleiding uitgesproken verwachting. Maar aangezien verwacht mag worden dat openbare verlichting bij duisternis wel, maar bij daglicht geen invloed zal hebben op het aantal en het patroon van de ongevallen, is te verwachten dat bij een vergelijking van verlichte en onverlichte wegen het verschil in ongevallen in de nachtsituatie naar voren zal treden. Nu doet zich het merkwaardige feit voor dat bij het hier beschouwde materiaal het risico bij duisternis gelijk is, maar het risico bij dag aanzienlijk verschilt. Ofschoon de n/t-ratio op verlichte wegen duidelijk en significant lager is dan op onverlichte wegen, is het niet mogelijk om de invloed van de verlichting op een éénduidige wijze af te zonderen. Daarom lijkt het niet gerechtvaardigd om nadere uitspraken te doen over de vraag onder welke omstandigheden niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom van een openbare verlichting dienen te worden voorzien. Overigens viel deze vraag buiten de opdracht voor dit onderzoek.

• De analyse geeft de suggestie dat er sprake is van een aanzienlijk verband tussen het risico en het lichtniveau (luminantieniveau) van de openbare verlichting. Bij deze analyse zijn de wegen wat betreft de gemiddelde wegdek-luminantie L in drie klassen ingedeeld ($L < 0,4$ cd/m^2 ; L tussen $0,4$ en $0,73$ cd/m^2 en $L > 0,73$ cd/m^2). In feite is de laagste groep gedefinieerd als die groep waar de $U_0 < 0,4$ is; dit blijkt vrijwel geheel samen te vallen met de groep waar $L < 0,4$ cd/m^2 is. We zullen voor het eenvoudige overzicht de luminantiewaarden voor de groepsindeling gebruiken. Het aantal nachtongevallen per miljoen voertuigkilometer (op etmaalbasis) (zie Afbeelding 1) blijkt als volgt af te nemen:

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

Het verschil tussen de ongevallen is voor de verschillende luminantie-klassen significant op het 5%-niveau. Daarbij is van de veronderstelling uitgegaan dat de frequentie van ongevallen kan worden beschreven met een Poissonverdeling. De ervaring heeft geleerd dat deze veronderstelling in eerste instantie gerechtvaardigd is, maar dat de op deze wijze verkregen schatting van de spreidingen aan de kleine kant (aan de "optimistische" kant) is. De luminantie blijkt slechts een vrij klein gedeelte van de variantie te verklaren. Dit betekent dat het risico, behalve van de verlichting, nog van (vele) andere factoren afhangt. Op zich zelf een uitspraak die geen verbazing hoeft te wekken; verwacht was echter dat door de

opzet van het onderzoek deze invloed van "versturende factoren" geringer zou zijn geweest.

- Er bestaat een (niet significante) tendens dat ook de dagongevallen per (miljoen) voertuigkilometer (op etmaalbasis) afnemen met toenemende luminantie (zie Afbeelding 1). Dit geeft de suggestie dat er kenmerken van weg en/of verkeer zijn die de ongevallen beïnvloeden en die een relatie vertonen met het lichtniveau. Zonder nader onderzoek is het niet mogelijk om precies aan te geven welke kenmerken dat zijn, maar men zou kunnen denken aan veranderingen in het nachtaandeel van het verkeer, verschillen in de samenstelling van het verkeer, verschillen in de (kwaliteit van) de wegmarkeringen enz. Nader onderzoek is gewenst.

- Een combinatie van deze gegevens levert op dat ook het aandeel van de nachtongevallen (de n/t-ratio) in duidelijke mate afneemt bij toenemende luminantie:

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

De relatieve afname van de n/t-ratio met toenemende L is kleiner dan de afname van het risico; dit is het gevolg van het feit dat ook de dagongevallen afnemen (zie Afbeelding 2). Bovendien is, vanwege het feit dat zowel de teller als de noemer van de n/t-ratio beide een inherente statistische spreiding vertonen, de spreiding in de ratio groter dan die in het risico; de verschillen in de ratio bij verschillende luminanties zijn niet meer significant op het 5%-niveau. Ofschoon er dus een duidelijke tendens is aan te geven, die bovendien in overeenstemming is met de resultaten van theoretische studies alsmede met de verwachting, moeten conclusies met de nodige voorzichtigheid worden getrokken.

- Zoals te verwachten uit hetgeen hierboven is gezegd over de nauwe samenhang tussen luminantieniveau en gelijkmatigheid die binnen dit bestand is geconstateerd, blijkt de gelijkmatigheid geen verdere afname op te leveren van de onverklaarde restterm.

- Ofschoon het nauwelijks mogelijk is om op basis van het onderhavige onderzoek een uitspraak te doen over onverlichte wegen, kan men toch vaststellen dat er aanwijzingen zijn dat het risico bij de laagste lichtni-

veaus niet veel lager is dan het risico op een onverlichte weg. Dit zou kunnen betekenen dat het uit overweging van de verkeersveiligheid geen (of tenminste weinig) zin heeft om een "slechte" verlichting aan te brengen. Overigens zij erop gewezen dat er sterke aanwijzingen zijn dat een dergelijke "slechte" verlichting een aanzienlijke verbetering van het subjectief ervaren rijcomfort met zich kan brengen (Van den Brink & Buijn, 1990).

5. ONGEVALLLEN MET LICHTMASTEN

Bij de vergelijking van wegvakken met en zonder verlichting blijkt dat per km weglengte overdag veel meer ongevallen plaatsvinden dan op de onverlichte wegvakken (8,01 tegenover 5,36). Het is wel geopperd dat door de aanwezigheid van lichtmasten - die immers vaak gevaarlijke botsobjecten kunnen zijn - deze toename van het aantal dagongevallen per km weglengte verklaard zou kunnen worden. Wanneer dat zo zou zijn, zou men ook bij duisternis een effect moeten vinden: ook bij duisternis kunnen botsingen met lichtmasten voorkomen. 's Nachts blijkt er geen merkbaar verschil tussen verlichte en onverlichte wegvakken te bestaan (aantal ongevallen per km: 3,02 tegenover 3,49). Wel is de verhouding tussen deze waarden - de nacht/dag-ratio - bij verlichte wegen zeer veel gunstiger is dan bij onverlichte wegen (0,38 tegenover 0,65). Hiermee is bovendien in eerste benadering - onder aanname dat de nacht/dag-verhouding van het verkeersaanbod niet van de aanwezigheid of afwezigheid van openbare verlichting afhangt - gecorrigeerd voor verschillen in verkeersaanbod. Men mag dus een positieve invloed van de openbare verlichting vermoeden; echter, hieruit blijkt nog niet wat het eventuele gevaar van lichtmasten zou kunnen zijn. Uit het feit dat de nachtongevallen gelijk zijn, en de dagongevallen hoger, zou men zelfs kunnen vermoeden dat de positieve invloed van de verlichting slechts juist voldoende is om het extra gevaar van lichtmasten te kunnen goed maken.

Om dit idee verder te toetsen is gebruik gemaakt van de VOR-registratie zoals die bij de SWOV ter beschikking staat. Hierin worden de ongevallen met dodelijke afloop en de letselongevallen opgenomen (slachtofferongevallen). Er is nagegaan bij welk percentage van alle slachtofferongevallen op wegen met openbare verlichting een lichtmast is betrokken. De resultaten zijn gegeven in Tabel 1. Omdat niet-autosnelwegen in de VOR-registratie geen aparte categorie vormen, zijn de wegen met een snelheidslimiet van 80 km/uur en alle wegen buiten de bebouwde kom opgenomen. Uit Tabel 1 blijkt dat de bedoelde verhouding voor deze twee wegtypen precies gelijk is; deze verhouding kan dus ook voor de onderzoekwegen (niet-autosnelwegen) worden gebruikt. Ter vergelijking zijn ook de wegen binnen de bebouwde kom opgenomen.

Uit Tabel 1 blijkt dat het percentage ongevallen met lichtmasten niet groot is, maar toch ook niet mag worden verwaarloosd. Lichtmasten zijn een gevaarenbron langs de weg, die niet mag worden genegeerd. Ter zijde zij opgemerkt dat het gebruik van niet-starre lichtmasten, zoals door de SWOV aanbevolen, het gevaar merkbaar kan reduceren, maar niet wegnemen (zie hiervoor bijvoorbeeld SWOV, 1976).

Om de suggestie die hierboven is gegeven, dat namelijk lichtmasten een zodanig groot extra gevaar opleveren dat daardoor de hogere daglichtfrequentie van ongevallen op wegen met openbare verlichting kan worden verklaard, zijn de uitkomsten van het onderhavige onderzoek nader bekeken. Uitgangspunt is BGC-Tabel 2.2 (BGC, 1990a, blz. 7). Daar zijn de ongevallen per km weglengte bij dag en bij duisternis opgegeven, opgesplitst naar aanwezigheid of afwezigheid van openbare verlichting. Omdat er naast de verlichting zelf grote verschillen bestaan tussen de kenmerken van wegen met of zonder verlichting, en omdat bovendien van alle wegen zonder verlichting slechts een gedeelte in het bestand is opgenomen, kunnen de getallen niet zonder meer worden vergeleken. Wel kunnen verhoudingen worden bepaald, waarbij de verschillen (tenminste in eerste instantie) "eruit worden gedeeld". Deze verhoudingen zijn bepaald voor de in het BGC-rapport gegeven waarden, en ook voor de waarden die gecorrigeerd zijn voor de lichtmastongevallen. Daartoe is het aantal ongevallen per km op de wegen met verlichting verminderd met de lichtmastongevallen; op grond van Tabel 1 is het aantal ongevallen per km op de wegen met openbare verlichting met 0,9564 vermenigvuldigd. Zoals te verwachten, treedt er een verschuiving op in de verhoudingen "met" en "zonder" verlichting; deze verschuiving is echter slechts gering. Een "verklaring" voor de hoge waarde van de dagongevallen op wegen met verlichting kan hieruit niet worden afgeleid. Dit alles is af te lezen uit Tabel 2. Uit Tabel 2 blijkt dat de verschillen geheel te verwaarlozen zijn, mede gezien de in eerdere hoofdstukken van dit rapport gesignaleerde experimentele spreidingen.

Als conclusie kan dus worden gesteld dat de invloed van de lichtmasten op de verkeersveiligheid niet mag worden genegeerd, maar dat deze invloed niet zo groot is dat de gunstige uitwerking van de aanwezigheid van verlichting op de verkeersveiligheid te niet wordt gedaan of in ernstige mate gereduceerd.

6. KOSTEN/BATEN-ANALYSES

6.1. Algemeen

Kosten/baten-analyses betreffende openbare verlichting op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom kunnen in beginsel voor drie doelen worden gebruikt:

- het beoordelen van de algemene doelmatigheid van openbare verlichting als verkeersveiligheidsmaatregel;
- het bepalen van het lichtniveau (of de range van lichtniveaus) waar de openbare verlichting doelmatig is;
- het bepalen van het nut van openbare verlichting voor afzonderlijke wegvakken.

Uit het onderzoek komt duidelijk naar voren dat het aanbrengen van openbare verlichting op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom een maatregel is die gepaard gaat met een afname van de verkeersonveiligheid; het is dus een doeltreffende maatregel. Een andere vraag is of de maatregel ook doelmatig is. Onder een doelmatige maatregel wordt verstaan een maatregel waarvan de opbrengst hoger is dan de kosten. Bij de opbrengst en de kosten moet niet alleen aan de rechtstreeks in geld uit te drukken bedragen worden gedacht.

Wat betreft de openbare verlichting kan, voor een constant lichtniveau, worden gesteld dat de opbrengst (de afname van het aantal ongevallen) in eerste benadering recht evenredig is met het verkeersaanbod - en dan in het bijzonder met het verkeersaanbod bij duisternis. Uit het onderzoek komt naar voren dat er duidelijke aanwijzingen zijn dat de afname van de nachtelijke ongevallen af hangt van het toegepaste lichtniveau. De kosten zijn te verdelen in drie onderdelen: de installatiekosten, de energiekosten (stroomkosten) en de onderhoudskosten. In eerste benadering zijn de installatiekosten en de onderhoudskosten onafhankelijk van het lichtniveau, en de stroomkosten recht evenredig met het lichtniveau. Bij weinig (nachtelijk) verkeer zullen de kosten dus veelal hoger zijn dan de baten; bij veel nachtelijk verkeer kan het omgekeerde optreden. Het is van belang om het verkeersaanbod (of het aantal ongevallen per (miljoen) voertuigkilometer) te weten waarbij de verlichting doelmatig begint te worden: het "break-even point" voor de verhouding van kosten en baten.

Kosten/baten-analyses kunnen zich in een vrij grote belangstelling verheugen. Dit is te begrijpen, aangezien de relatie tussen kosten en baten een basisgegeven is voor het opstellen, uitvoeren en beoordelen van beleidsplannen. De rekenkunde die bij kosten/baten-analyses aan de orde komt is meestal zeer simpel, en levert niet de geringste moeilijkheid op. Daarom wordt de nauwkeurigheid van het resultaat van dergelijke analyses vaak overschat. Men dient zich er echter zeer duidelijk van bewust te zijn dat de resultaten van kosten/baten-analyses (net als van alle analyses die met de verkeersveiligheid van doen hebben) niet beter zijn, en nooit beter kunnen zijn, dan de kwaliteit van de gegevens toelaat: de kwaliteit van de gegevens is steeds de begrenzende factor. Daarom is het in vele gevallen zeer "doelmatig" om de kwaliteit van de gebruikte gegevens te verbeteren.

6.2. De doelmatigheid van openbare verlichting

Het eerste punt betreft het nagaan bij welke verkeersintensiteit het "break-even point" gevonden wordt. Het eindrapport van BGC geeft een methode aan waarmee kan worden bepaald of de baten van de verlichting boven de kosten uitkomen, of niet (BGC, 1990a, par. 5.4). Voor de betreffende wegvakken worden de aantallen ongevallen verzameld, opgesplitst naar uitsluitend materiële schade (U) letsel (L) en doden(D). In een eerdere studie heeft McKinsey & Company voor dergelijke ongevallen richtbedragen vastgesteld. Deze waarden zijn opgenomen in Tabel 4. Vermenigvuldiging daarvan geeft de totale schade, in geld uitgedrukt. Aangenomen wordt op basis van het onderhavige onderzoek dat openbare verlichting bij benadering leidt tot een halvering van de ongevallen. De helft van het schadebedrag is dus de "baat" van de maatregel. Op basis van enige eenvoudige vuistregels over installatiekosten, energiekosten en onderhoudskosten is een schatting gemaakt van de "kosten" van de openbare verlichting. Vergelijking van de "baten" en de "kosten" (beide uitgedrukt in gulden per km) levert het antwoord op de vraag de verlichting doelmatig is.

De kosten van ongevallen zijn zoals gezegd globaal door McKinsey gegeven (zie Tabel 4). In par. 6.4 komen we terug op de vraag in hoeverre deze waarden representatief zijn; voor de hier aan de orde zijnde globale schatting zullen we ze gebruiken. Voorts nemen we aan dat voor iedere verkeersdode ongeveer 25 slachtoffers met letsel voorkomen, en ca. 100 u.m.s.-ongevallen. Voorts stellen we het aantal slachtoffers en het aantal onge-

vallen met slachtoffers gelijk. Ook deze aannamen zijn niet meer dan een globale benadering. Met deze aannamen vinden we voor de kosten van ongevallen, toegerekend aan letselongevallen:

4 u.m.s.-ongevallen = 4 * 3900,-	= f 15 600,-
1 letselslachtoffer = 1 * 37 000,-	= f 37 000,-
1/25 dode = 0,04 * 184 000,-	= f 7 360,-
totaal per letselongeval	= f 59 960,- (afgerond op f 60 000,-)

We stellen de verkeersintensiteit bij het "break-even point" gelijk aan x , uitgedrukt in het aantal voertuigen per etmaal. Per jaar is het verkeersaanbod $365 \cdot x$. Uit eerdere studies zijn waarden bekend over het aantal slachtofferongevallen (letselongevallen en ongevallen met doden) per miljoen voertuigkilometer. Deze waarden representeren een landelijk gemiddelde (Janssen, 1988; zie ook Schreuder & Schoon, 1990). Deze waarden zijn in Tabel 3 samengevat. De niet-autosnelwegen die eventueel voor verlichting in aanmerking komen, zijn vooral in de rijen [b], [c], en [d] te vinden.

De ongevallenfrequentie voor de wegtypen die in deze rijen zijn opgenomen, varieert tussen 0,11 en 0,51. Voor het onderhavige doel zullen we de gemiddelde waarde benaderen met 0,30.

Voor de kosten van de verlichting gebruiken we de door BGC gegeven benadering van f 33 000,- per km per jaar.

Dit levert de volgende berekening op:

$$365 * x * 0,30 * 10^{-6} * f 60 000,- = f 33 000,-$$

Hieruit volgt voor $x = 5023$

Dit betekent dus dat onder de gebruikte aannamen het aanbrengen van openbare verlichting op een niet-autosnelweg buiten de bebouwde kom met ruim 5000 voertuigen per etmaal gemiddeld doelmatig ("costeffective") is. Wanneer meer accurate gegevens in de beschouwingen worden gebruikt, kan dit resultaat nog worden aangescherpt. Wegens de gebruikte aannamen en benaderingen moet voor individuele wegvakken met een grote spreiding worden gerekend (zie ook par. 6.4).

6.3. Bepaling van het doelmatige lichtniveau

In par. 6.2 is in algemene termen nagegaan wanneer openbare verlichting doelmatig is. Nu hangen zowel de "kosten" als de "baten" van de verlichting af van het lichtniveau, maar - zeker wat betreft de kosten - niet volgens een eenvoudige evenredigheid. Bij een zeer laag lichtniveau zijn de kosten relatief hoog, en is de doelmatigheid twijfelachtig. Bij een zeer hoog lichtniveau kan men wat betreft de baten komen in het gebied van de "verminderde meeropbrengst" zodat daar de doelmatigheid niet verder toe-neemt bij toenemende kosten. Ook voor dit punt zullen we hier een globale benadering geven.

We gaan uit van de door BCG gegeven kosten. We stellen $K = k_1 + k_2 + k_3$, waarin:

K de totale kosten per jaar per km

k_1 de installatiekosten per jaar per km (= f 20 000,-)

k_2 de onderhoudskosten per jaar per km (= f 3 000,-)

Totale kosten, onafhankelijk van lichtniveau, per jaar, per km: f 23 000,-;

k_3 de energiekosten (evenredig met L); onder aanname dat de waarde van BGC geldt voor het "gemiddelde" van het beschouwde gebied van luminanties (zeg $0,7 \text{ cd/m}^2$) volgt voor $k_3 = 15\,000 * L$

De totale kosten worden dan $K = f\,23\,000,- + f\,15\,000,- * L$.

De baten zijn ontleend aan par. 4.3. We nemen daarbij aan dat de n/t-verhouding (nachtongevallen ten opzichte van alle ongevallen) bedragen resp. 0,33 en 0,23 bij resp. $L = 0,3 \text{ cd/m}^2$ en $L = 0,8 \text{ cd/m}^2$. (een vrij ruwe benadering). Onder aanname van een lineaire relatie (dus bij verwaarlozing van de "verminderde meeropbrengst") volgt daaruit dat $n/t = -0,5 L + 0,39$. Uit par. 6.2 volgt dat de kosten per jaar per km ten gevolge van het totale aantal ongevallen $t = 0,30 * 10^{-6} * f\,60\,000,- * 5000 * 365 = f\,32\,850,-$ bedraagt.

De baten zijn dus $n = (-0,5 L + 0,39) * t = -16\,425 L + 12\,812$.

Gelijkheid van kosten en baten levert op: $23\,000 + 15\,000 L = -16\,425 L + 12\,812$; hieruit volgt voor $L = 1,14 \text{ cd/m}^2$.

Op basis van de hier gebruikte aannamen en benaderingen is een luminantie van meer dan $1,14 \text{ cd/m}^2$ voor niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom

doelmatig ("cost effective"). Wanneer meer accurate gegevens in de beschouwingen worden gebruikt, kan dit resultaat nog worden toegescherpt.

6.4. Het nut van openbare verlichting voor afzonderlijke wegvakken

De in par. 6.2 en 6.3 gegeven simpele rekensommen zijn goed bruikbaar om een eerste benadering van de doelmatigheid te vinden; dit is in de meeste gevallen voldoende. In een aantal gevallen is het echter nodig het "break-even point" nauwkeuriger te weten. In dat geval moet met een aantal aanvullende aspecten rekening worden gehouden.

1. Schatting van het aantal ongevallen

Het aantal ongevallen in het verleden is een vrij onnauwkeurige schatting van de te verwachten ongevallen in de toekomst. Dit gebrek aan nauwkeurigheid is het gevolg van het statistische toevalskarakter van verkeersongevallen. Deze voldoen bij goede benadering aan een Poissonverdeling; bij kleine aantallen is het geconstateerde aantal een slechte Poissonschatting. Deze verwachting is nodig als uitgangspunt om de situatie met en de situatie zonder maatregel met elkaar te kunnen vergelijken. Een alternatief is het gebruik van gemiddelde ongevallenfrequenties op wegen van dezelfde klasse. Wanneer deze frequentie wordt vermenigvuldigd met de uit de waarnemingen afgeleide te verwachten verkeersintensiteit, vindt men eveneens een schatting van het toekomstige aantal ongevallen. Deze schatting is voor "normale" wegvakken waarschijnlijk nauwkeuriger dan de extrapolatie van het getelde aantal ongevallen. Een probleem is dat niet precies kan worden aangegeven wat "normaal" hierbij betekent.

In Tabel 3 zijn waarden gegeven van het aantal slachtofferongevallen (letselongevallen en ongevallen met doden) per miljoen voertuigkilometer. Deze waarden representeren een landelijk gemiddelde (Janssen, 1988; zie ook Schreuder & Schoon, 1990). De niet-autosnelwegen die eventueel voor verlichting in aanmerking komen, zijn vooral in de rijen [b], [c], en [d] te vinden. De ongevallenfrequentie voor de wegtypen die in deze rijen zijn opgenomen, varieert tussen 0,11 en 0,51, zodat zelfs op een landelijke basis een grote spreiding te verwachten is.

Voor een dergelijke benadering is het dus nodig het wegtype te kennen. Maar dit is niet voldoende; immers, ook binnen wegtypen kunnen grote

variaties optreden in de ongevallenfrequentie, deels ten gevolge van verschillende wegkenmerken, deels ten gevolge van plaatselijke factoren. Tenslotte moet ermee worden gerekend dat de opgaven van Tabel 3 de slachtofferongevallen betreffen; dat wil zeggen ongevallen met licht gewonden, in ziekenhuis opgenomen gewonden, en doden. Nu is het bekend dat de relatieve frequentie van deze categorieën van ongevallen sterk uiteenloopt voor verschillende wegtypen. De snelheid en de verkeerssamenstelling hebben daarbij een grote invloed. Dit wordt nog sterker wanneer ongevallen met uitsluitend materiële schade worden toegevoegd. Ten slotte zijn deze relatieve ongevallenfrequenties bij dag en bij duisternis zeer verschillend.

De frequenties zijn opgegeven in ongevallen per miljoen voertuigkilometer; om deze waarden te kunnen omrekenen in ongevallen per km is het nodig de verkeersintensiteit te kennen. Deze is meestal niet bekend. Meting ervan brengt problemen met zich: de intensiteit kan van dag tot dag aanzienlijk schelen, zodat over een aanzienlijke tijd moet worden gemiddeld. Voorts is de verdeling over de tijd van de dag (daglicht en duisternis) van belang, en tenslotte is de verdeling over de wijzen van verkeersdeelname (voertuigtype) van belang. Kortom, het gebruik van schattingen van de aantallen ongevallen per km die op landelijke gegevens berusten, zijn al evenmin nauwkeurig.

2. Kosten van ongevallen

De kosten van ongevallen hangen sterk af van de bij de bepaling gebruikte aannamen. Bij de door BGC uit de studies van McKinsey & Company aangehaalde bedragen voor de kosten van ongevallen zijn bepaalde aannamen gebruikt, waartegen kritiek is geuit. De kritiek betreft onder meer de economische waardetoedeling van gederfd inkomen en gederfde consumptie. Andere aannamen kunnen een groot verschil opleveren in de uitkomsten van de schattingen, meer in het bijzonder de in geld uitgedrukte kosten van verkeersdoden. Maar ook bij ongevallen met uitsluiten materiële schade (u.m.s.-ongevallen) kunnen grote verschillen optreden. Bij u.m.s.-ongevallen maakt het veel uit welke selectie van de ongevallen is gebruikt. Naar schatting vinden er in Nederland jaarlijks ruim 1 miljoen verkeersongevallen plaats, waarvan het overgrote deel u.m.s.-ongevallen. Daarvan komen ca. 350 000 ongevallen terecht in de VOR-registratie, terwijl bij de verzekeringen een kleine 800 000 ongevallen worden gemeld. Noch de VOR noch

de verzekeringen hanteren een formele "grens" voor de registratie, maar de ervaring leert dat de grens bij de VOR-registratie aanzienlijk hoger ligt dan bij de verzekeringclaims. De totale kosten die daarmee gemoeid zijn, variëren natuurlijk navenant, evenals de per ongeval omgeslagen bedragen. Het maakt een groot verschil of de VOR of de verzekeringsopgaven als basis worden gebruikt, terwijl het natuurlijk ook van belang is over hoeveel ongevallen de gevonden bedragen worden omgeslagen. Ter illustratie zijn in Tabel 4 naast elkaar de getallen opgenomen die afkomstig zijn van resp. McKinsey (BGC, 1990a), en de SWOV (Flury, 1984). Er blijken vooral grote verschillen op te treden bij de u.m.s.-ongevallen en bij de verkeersdoden, in overeenstemming met hetgeen hierboven is gesteld. Voorts is het van belang wanneer de gegevens zijn verzameld. De opgaven van McKinsey gelden voor 1986, terwijl de SWOV-gegevens voor 1982 gelden. In Tabel 4 zijn de verschaftte gegevens opgehoogd tot de waarden voor 1989, gebruik makende van de gebruikelijke indexcijfers van het CBS (prijsindexcijfers van het gezinsinkomen; werknemersgezinnen).

3. Immateriële kosten

Het bovenstaande is beperkt tot de monetaire aspecten van de verkeersveiligheid. Naast de directe schade aan mens, dier en ding komen er vele immateriële schaden voor. Ten dele zijn die in het bovenstaande in rekening gebracht, maar zelfs de beste regeling voor smartegeld en andere immateriële schade kan slechts ten dele het leed (lichamelijk en niet-lichamelijk) vergoeden. Met deze inponderabilia wordt bij het afmeten van de schade ten gevolge van verkeersongevallen rekening gehouden; het is echter niet gemakkelijk om in een en dezelfde kosten/baten-berekening met monetaire posten en inponderabilia rekening te houden. Dientengevolge worden de inponderabilia - zeer ten onrechte overigens - bij de gebruikelijke kosten/baten-overwegingen buiten beschouwing gelaten.

4. Kosten van de verlichting

Het lijkt een eenvoudige zaak te zijn om de kosten van de verlichting te verzamelen. Een nadere analyse geeft echter aan dat er grote verschillen bestaan, ook in die gevallen waarbij men vergelijkbare waarden zou verwachten. De Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde NSvV heeft een gedetailleerde studie gemaakt van deze problematiek. Een samenvatting van deze studie is gegeven door Van Os (1989). Belangrijke spreidingen in het resultaat zijn gevonden ten gevolge van verschillen in elektriciteits-

tarieven (13,9 cent tot 26,5 cent per kWh) en in de bedrijfstijd (2408 tot 4105 uur per jaar). Samenvattend blijkt dat voor gelijke "verlichtingskwaliteit" (in het onderhavige rapport uitgedrukt in de gemiddelde wegdek-luminantie) de jaarkosten per km een spreiding hebben van plus en min 40% (zie Van Os, 1989, p. 732, Afbeelding 2).

6.5. Verbeteringen

Uit de in de vorige paragraaf genoemde punten 1 t/m 4 blijkt dat het momenteel niet mogelijk is om kosten/baten-analyses op nauwkeurige wijze uit te voeren. Een deel van de onzekerheid is inherent aan het werken met statische gegevens, zoals bijvoorbeeld het feit dat ongevallen (bij goede benadering) een Poissonverdeling volgen. In sommige andere opzichten is echter verbetering mogelijk.

In de eerste plaats is een betere, meer gedetailleerde en scherper omschreven indeling van wegen mogelijk, waarmee de schatting van het aantal ongevallen in de toekomst nauwkeuriger kan worden uitgevoerd. Juist het type wegen dat hier aan de orde is - niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom - zijn voor het grootste deel wegen voor gemengd verkeer; de gebruikelijke op juridische gronden (wegbeheerder) gebaseerde indeling is niet relevant. Het resultaat is dat de bedoelde wegen voor het grootste deel in het "grijze middengedeelte" terecht komen. Voor vragen die met de verlichting te maken hebben, is een nadere onderverdeling noodzakelijk. De Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde heeft een dergelijke onderverdeling opgesteld (NSvV, 1990) (zie ook Schreuder, 1989). De schatting van gegevens kan worden verbeterd door deze indeling te gebruiken.

In een tweede opzicht kan de schatting van ongevallen in de toekomst worden verbeterd door een tijdreeksanalyse van de ongevallen in het verleden te gebruiken, ter aanvulling van de incidentele waarden. Momenteel zijn betrekkelijk eenvoudige software-pakketten beschikbaar waarmee dergelijke analyses kunnen worden uitgevoerd. In Flury (1990) zijn een aantal voor- en nadelen van het gebruik van dergelijke tijdreeksen genoemd. Het belangrijkste voordeel is dat de invloed van incidentele fluctuaties (bijvoorbeeld van jaar tot jaar) minder invloed hebben. Bij de interpretatie van de resultaten van de tijdreeksanalyse moet echter de nodige aandacht worden besteed aan het feit dat deze fluctuaties meestal deels van "toevallige" aard zijn en deels van "systematische" aard.

Samenvattend kan worden gesteld dat kosten/baten-analyses een bruikbaar hulpmiddel kunnen zijn bij het vergelijken van niet te zeer verschillende installaties onder overigens gelijke omstandigheden; ze kunnen bijvoorbeeld worden gebruikt om verschillende maar gelijksoortige ontwerpen voor dezelfde weg onderling te vergelijken. De bruikbaarheid kan worden verhoogd door een aantal verbeteringen aan te brengen.

Als criterium voor het al dan niet verlichten van wegen, en dan meer in het bijzonder voor afzonderlijke wegvakken van niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom (een zeer heterogene klasse van wegen) zijn de kosten/baten-analyses niet nauwkeurig genoeg.

7. CONCLUSIES

Op basis van de resultaten van het onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Gebleken is dat de n/t-ratio op verlichte wegen steeds lager, en bij een middelmatig luminantieniveau steeds aanzienlijk lager is dan de ratio op onverlichte wegen. Wegens de verwachting dat er sterke versturende factoren aanwezig zijn, kunnen op basis van dit onderzoek over de vergelijking van het risico op verlichte en onverlichte wegen geen "robuuste" uitspraken worden gedaan.

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

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

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

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

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

- Er zijn aanwijzingen dat het risico bij de laagste lichtniveaus niet veel lager is dan het risico op een onverlichte weg.

- Ofschoon er duidelijke tendensen zijn aan te geven die bovendien in overeenstemming zijn met de resultaten van theoretische studies alsmede met de verwachting, moeten conclusies met de nodige voorzichtigheid worden gehanteerd.

- De invloed van de lichtmasten op de verkeersveiligheid niet mag worden genegeerd. Deze invloed is echter niet zo groot is dat de gunstige uitwer-

king van de aanwezigheid van verlichting op de verkeersveiligheid te niet wordt gedaan of in ernstige mate gereduceerd.

- Kosten/baten-analyses zijn een bruikbaar hulpmiddel bij het vergelijken van niet te zeer verschillende installaties onder overigens gelijke omstandigheden; ze kunnen bijvoorbeeld worden gebruikt om verschillende maar gelijksoortige ontwerpen voor dezelfde weg onderling te vergelijken.

- Kosten/baten-analyses zijn niet nauwkeurig genoeg om te worden gebruikt als criterium voor het al dan niet verlichten van wegen; vooral niet voor afzonderlijke wegvakken van niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom.

8. AANBEVELINGEN

● Zowel bij de beslissing of een niet-autosnelweg buiten de bebouwde kom van een installatie voor openbare verlichting moet worden voorzien, als bij de beslissing welk luminantieniveau moet worden gekozen, verdient het aanbeveling om rekening te houden met de resultaten van het onderhavige onderzoek:

- Er bestaat een tendens dat verlichting - ook met de relatief lage luminantieniveaus zoals die bij het onderhavige onderzoek aanwezig waren - kan bijdragen tot het verhogen van de verkeersveiligheid.

- Er bestaat een tendens dat een verhoging van het luminantieniveau gepaard gaat met een afname van het aantal ongevallen.

● Voor het omvormen van bovenstaande suggestie in een duidelijke richtlijn is nader onderzoek nodig. Dit onderzoek kan de volgende aspecten omvatten:

- Gebaseerd op het reeds verzamelde materiaal, een nader onderzoek naar de samenhang tussen de verschillende (geregistreerde) wegkenmerken, en naar de samenhang van deze kenmerken met het luminantieniveau en met de verkeersintensiteit.

- Uitbreiding van het onderhavige onderzoek naar de kruisingen die in het bestand zijn opgenomen.

● Een nadere ondersteuning kan worden gevonden door het onderzoek uit te breiden naar:

- autosnelwegen (voorzien in het tweede deel van het onderzoek);

- wegen binnen de bebouwde kom (voorzien in het derde deel van het onderzoek);

- (ten einde de "steekproef" te vergroten) wegen in het buitenland.

LITERATUUR

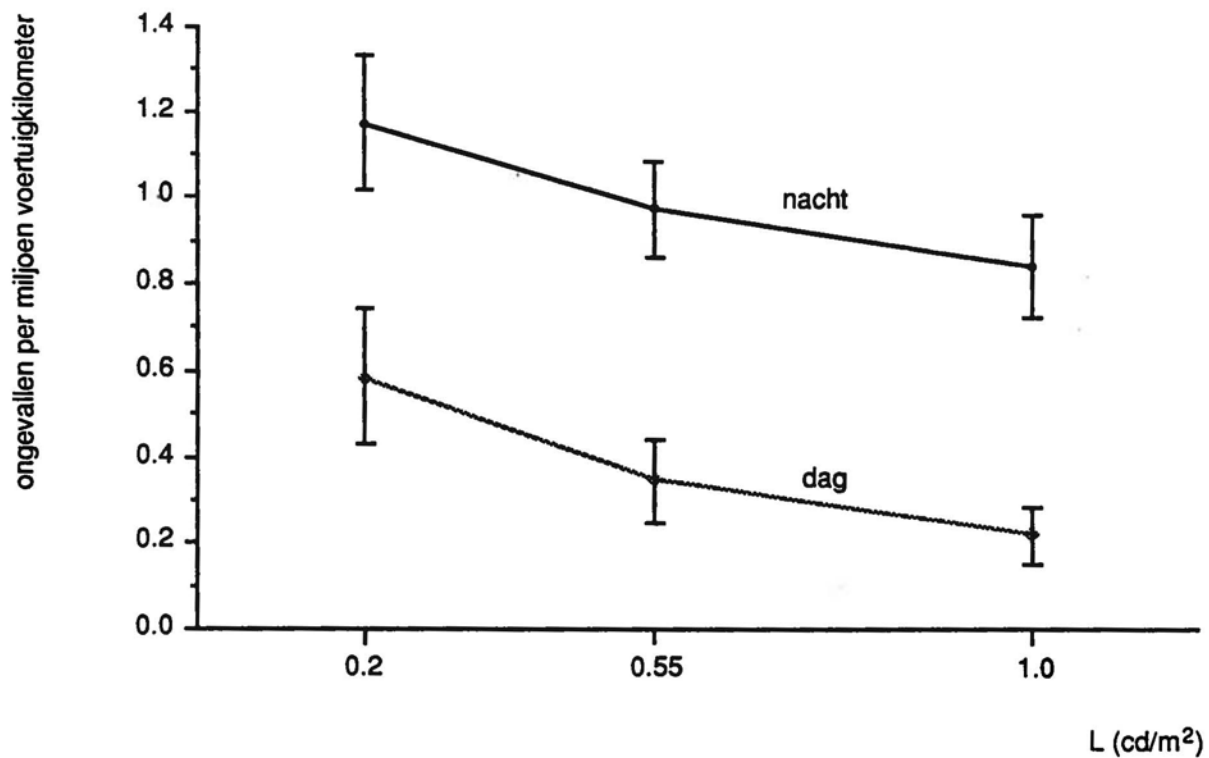
- BGC (1987). Onderzoek relatie lichtniveau-aantal ongevallen; Studie-voorstel. Bureau Goudappel Coffeng, Deventer, 1987 (zie Bijlage 1).
- BGC (1990a). Verlichting op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom; Effecten en niveaus. RWE/917/09/Mn. Bureau Goudappel Coffeng, Deventer, 1990.
- BGC (1990b). Verlichting op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom; Data. Bureau Goudappel Coffeng, Deventer, 1990 (Niet gepubliceerd).
- Van Bommel, W.J.M. & De Boer, J.B. (1980). Road lighting. Philips Technical Library. Kluwer, Deventer, 1980.
- Brink, T.D.J. van den & Buijn, H.R. (1990). Die Bewertung der öffentlichen Beleuchtung von Landstrassen. In: Tagungsbericht Licht 90, Rotterdam, 1990, pp. 327-336. NSvV, Arnhem, 1990.
- CIE (1988). Road lighting and accidents. Publication CIE No. 8. CIE, Paris, 1968.
- CIE (1990). Road lighting and accidents. Publication No. 8/2. (Draft). CIE, Vienna, 1990.
- Flury, F.C. (1984). Economische schade ten gevolge van verkeersonveiligheid. R-84-10. SWOV, Leidschendam, 1984.
- Flury, F.C. (1990). De ontwikkeling van de verkeersveiligheid tot en met 1988 en het beleid uit het Meerjarenplan Verkeersveiligheid 1987-1991. R-90-28. SWOV, Leidschendam, 1990.
- Gallagher, V.P.; Koth, B.W. & Freedman, M. (1975). The specification of street lighting needs. FHWA-RD-76-17. Franklin Institute, Philadelphia, 1975.
- Janssen, S.T.M.C. (1988). De verkeersonveiligheid van wegtypen in 1986 en 2010. R-88-3. SWOV, Leidschendam, 1988.
- NSvV (1990). Aanbevelingen voor openbare verlichting. NSvV, Arnhem, 1990.
- OECD (1972). Lighting, visibility and accidents. OECD, Paris, 1972
- Polak, P.H. (1987). De relatie tussen openbare verlichting en verkeersveiligheid; Een methodologische notitie. SWOV, Leidschendam, 1987 (zie Bijlage 3).
- Schreuder, D.A. (1983). De relatie tussen verkeersongevallen en openbare verlichting. R-83-12. SWOV, Leidschendam, 1983.
- Schreuder, D.A. (1988a). De relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en de verkeersveiligheid; Een aanvullende literatuurstudie. R-88-10. SWOV, Leidschendam, 1988.

- Schreuder, D.A. (1988b). Onderzoek naar de relatie tussen verkeersveiligheid en lichtniveau. SWOV, Leidschendam, 1988 (zie Bijlage 2).
- Schreuder, D.A. (1989). De relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en de verkeersveiligheid; Een voorstudie. R-89-45. SWOV, Leidschendam, 1989.
- Schreuder, D.A. & Schoon, C.C. (1990). Koershouden en markeringen met betrekking tot 80 km/uur-wegen. SWOV, Leidschendam, 1990 (in druk).
- Scott, P.P. (1980). The relationship between road lighting quality and accident frequency. Lab. Report LR 929. TRRL, Crowthorne, 1980.
- SWOV (1976). Stalen en aluminium lichtmasten. R-76-3. SWOV, Voorburg, 1976.

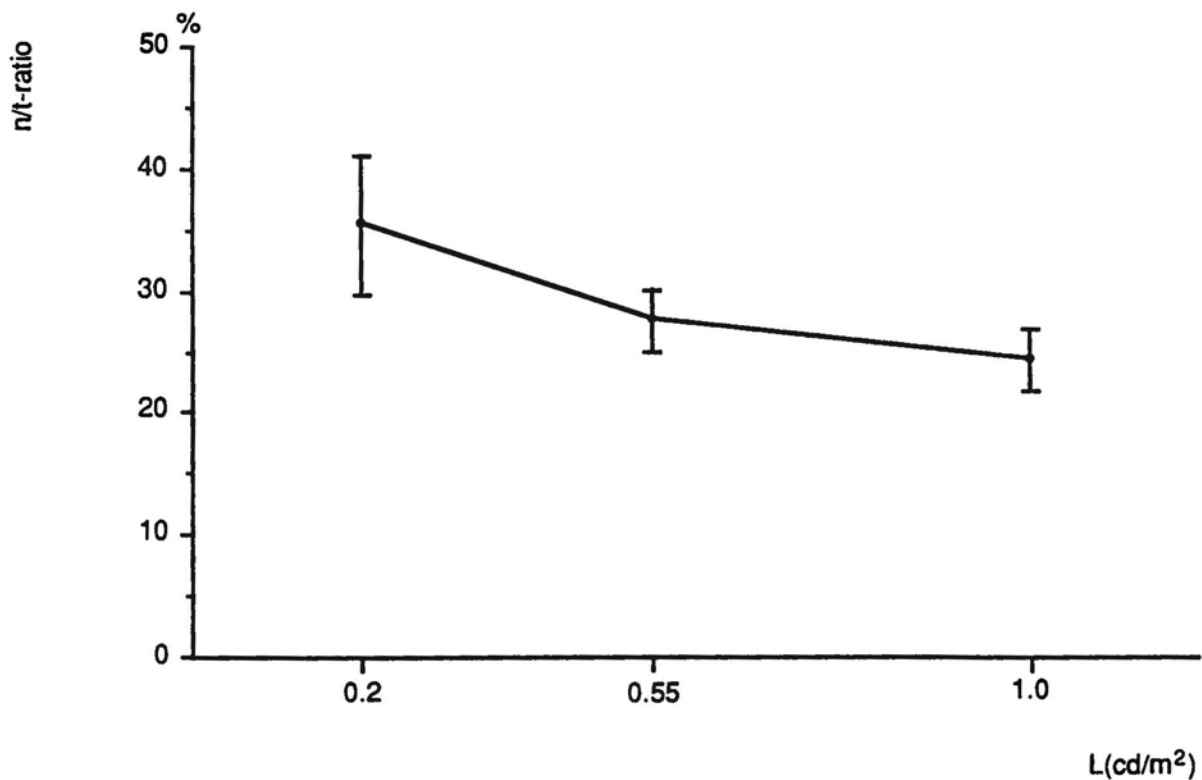
AFBEELDINGEN 1 EN 2

Afbeelding 1. De relatie tussen de aantallen dag- en nachtongevallen per miljoen voertuigkilometer en de luminantie (globaal gemiddelde van groepen van ongevallen).

Afbeelding 2. De relatie tussen de n/t-ratio en de luminantie (globaal gemiddelde van groepen van ongevallen).



Afbeelding 1. De relatie tussen de aantallen dag- en nachtongevallen per miljoen voertuigkilometer en de luminantie (globaal gemiddelde van groepen van ongevallen).



Afbeelding 2. De relatie tussen de n/t-ratio en de luminantie (globaal gemiddelde van groepen van ongevallen).

TABELLEN 1 T/M 4

Tabel 1. Slachtofferongevallen met lichtmasten 1989 (Bron: VOR).

Tabel 2. Effect van lichtmastongevallen (gegevens BGC, 1990, Tabel 2.2).

Tabel 3. Slachtofferongevallen per 10^6 voertuigkilometer voor verschillende wegtypen (gegevens BGC, 1990; Tabel 2.2).

Tabel 4. Kosten van ongevallen en slachtoffers volgens McKinsey (BGC, 1990a) en SWOV (Flury, 1984) (omrekening index CBS; bedragen in guldens).

Wegtype	Lichtmastongevallen	Aantal	%
80 km/uur buiten	nee	6073	95,64
bebouwde kom	ja	277	4,36
	totaal	6359	100
alles buiten	nee	8664	95,64
bebouwde kom	ja	395	4,36
	totaal	9059	100
alles binnen	nee	29324	97,22
bebouwde kom	ja	840	2,78
	totaal	30164	100

Tabel 1. Slachtofferongevallen met lichtmasten 1989 (Bron: VOR).

Rij	Weg met verlichting	Ongevallen per km weglengte		
		dag	nacht	n/d
[a]	ja; ongecorrigeerd	8,01	3,02	0,377
[b]	ja; gecorrigeerd	7,66	2,89	0,377
[c]	nee	5,36	3,49	0,651
Verhoudingen				
	[a]/[c]	1,429	0,828	0,5794
	[b]/[c]	1,494	0,865	0,5790

Tabel 2. Effect van lichtmastongevallen (gegevens BGC, 1990a, Tabel 2.2).

Rij	Wegtype	Slachtofferongevallen per 10 ⁶ vtg.km
[a]	autosnelweg (2 rijstroken per baan)	0,07
[b]	autoweg (1 rijbaan)	0,11
[c]	weg met geslotenverklaring (1 rijbaan)	0,30
[d]	weg voor alle verkeer (2 rijstroken)	0,51
[e]	weg voor alle verkeer (1 rijstrook)	0,85

Tabel 3. Slachtofferongevallen per 10⁶ voertuigkilometer voor verschillende wegtypen (gegevens BGC, 1990a, Tabel 2.2)

Aard ongeval of slachtoffer	Gegevens McKinsey		Gegevens SWOV	
	1986	omgerekend naar 1989	1982	omgerekend naar 1989
u.m.s.-ongeval	3 900	3 910	8 750	9 540
slachtoffer (letsel)	37 000	37 090	23 500	25 620
verkeersdode	184 000	184 500	1 000 000	1 090 000

Tabel 4. Kosten van ongevallen en slachtoffers volgens McKinsey (BGC, 1990a) en SWOV (Flury, 1984) (omrekening index CBS; bedragen in gulden).

BIJLAGEN 1 T/M 3

Bijlage 1. Onderzoek relatie lichtniveau - aantal ongevallen; Studie-
voorstel, Bureau Goudappel Coffeng, Deventer, 1987.

Bijlage 2. Onderzoek naar de relatie tussen verkeersveiligheid en licht-
niveau. Dr.ir. D.A. Schreuder. SWOV, Leidschendam, 1988.

Bijlage 3. De relatie tussen openbare verlichting en verkeersveiligheid;
Een methodologische notitie. Dr. P.H. Polak. SWOV, Leidschendam, 1987.



Kenmerk: RWE/622/09/Bn
Datum : 11 september 1987
Gew. : 12 april 1988
Gew. : 24 mei 1988
Gew. : 17 oktober 1988

bureau goudappel coffeng bv
postbus 161 7400 AD Deventer
Parkweg 4 7411 SH Deventer
telefoon 05700-18122
telex 49638 bgc nl

ONDERZOEK RELATIE VERLICHTINGSNIVEAU-AANTAL ONGEVALLLEN

STUDIEVOORSTEL

1 INLEIDING

Bij het verlichten van wegen zijn er twee essentiële vragen: is de verlichting nodig en zo ja, welke verlichting is de juiste keuze.

Bij dit studievoorstel gaat het om de tweede vraag, met de nadruk op het niveau van de luminantie. Een verlichtingsinstallatie met een zeer lage luminantie heeft geen of nauwelijks effect. Een zeer hoge luminantie is evenzeer onjuist; men neemt aan dat het positieve effect van verlichting boven een bepaalde waarde niet meer toeneemt.

Het primaire doel van verlichting is het verminderen van het aantal ongevallen bij duisternis. Dit aantal is ten opzichte van de verkeersprestatie relatief hoog. Hoewel de duisternis niet de enige oorzaak is van een ander ongevallenbeeld dan bij daglicht, is duidelijk dat verlichting een grote invloed heeft op het aantal ongevallen. Gegeven de genoemde uitersten bij het effect van de verlichting mag men stellen dat er een niveau van de luminantie bestaat, dat tenminste toegepast moet worden om een voldoende groot effect te krijgen, maar dat anderzijds een hoger niveau niet tot een duidelijke verdere verbetering leidt.

Op wegen buiten de bebouwde kom speelt ook de vraag of het verlichten op zich nodig is. Vele wegen zijn immers niet verlicht. Het inzicht hierin wordt verkregen door ook onverlichte wegen in het onderzoek mee te nemen.

Het plaatsen van lichtmasten langs deze wegen verandert het wegbeeld bij daglicht ook. Het aantal obstakels in de berm wordt in het algemeen vergroot. Dit kan op zich een invloed hebben op het aantal ongevallen bij daglicht. Uiteraard mag dit niet een toename van het aantal ongevallen geven waar de vermindering van het aantal bij duisternis niet tegen opweegt. De aantallen ongevallen bij daglicht vormen daarom een onderdeel van het onderzoek.

De kosten van wegverlichting zijn aanzienlijk; een verdubbeling van het luminantieniveau is ook kostbaar. Daarom is een onderzoek naar de optimale waarde noodzakelijk. In de discussies van de laatste jaren is immers een verdubbeling van veelal toegepaste luminantieniveaus ter sprake, vaak zelfs nog meer.

De kwestie is evenwel niet eenvoudig. Wel zijn vele onderzoeken gedaan voor een enkele weg, met uiteenlopende conclusies. Een onderzoek van meer algemene aard, gespreid over een voldoende aantal locaties, is nooit gedaan. Het enige houvast biedt de benadering vanuit de verlichtingstechniek, waarbij proeven aantonen dat bepaalde soorten verlichting de zichtbaarheid van objecten op verschillende manieren verbeteren. De relatie tussen het zien van deze objecten en de aantallen werkelijk gebeurde ongevallen is echter onbekend.

In overleg tussen diverse instanties die zich met deze materie bezighouden is voorgesteld te bezien of een onderzoek naar de relatie tussen de luminantie en het aantal ongevallen haalbaar is. De mogelijkheden van een onderzoek zijn uitvoerig bekeken door vertegenwoordigers van de Dienst Verkeerskunde, de SWOV en het BGC. Een aantal aspecten waren onderwerp van voorstudies die het BGC heeft uitgevoerd. Mede op basis hiervan is overeenstemming bereikt over de haalbaarheid van de studie en de opzet ervan. Dit is neergelegd in de SWOV-notitie "Onderzoek naar de relatie tussen verkeersveiligheid en lichtniveau - de achtergrond voor de opzet van het onderzoek" van 8 april 1987, en samengevat in het verslag van de bespreking op 31 maart 1987, BGC, kenmerk RWE/586/09/Bn, datum 6 april 1987.

De studie wordt onderverdeeld in een aantal fasen (zie afbeelding). Dit is gekozen om tijdig te kunnen onderkennen of de juiste weg wordt gevolgd. Blijkt bijvoorbeeld de spreiding in de bestaande verlichtingsniveaus zeer klein te zijn, dan is voortzetting niet nuttig.

Het principe van het onderzoek is het vergelijken van wegen met verschillende verlichtingsniveaus en het zoeken naar een relatie tussen deze niveaus en de aantallen ongevallen. Verwacht wordt een lager aantal ongevallen bij hogere luminanties. Een zeer belangrijke verklarende variabele voor het aantal ongevallen is de verkeersintensiteit. De vergelijkingen zullen dan ook worden gedaan tussen wegen met overeenkomende intensiteitsklassen. Omdat niet bekend is of er andere weg- of verkeerskenmerken een rol spelen zullen alle kenmerken, die van belang worden geacht, worden geïnventariseerd en bij de analyse worden betrokken.

Het doel van het onderzoek zal daarbij steeds in het oog worden gehouden. Als een hogere luminantie niet (meer) leidt tot een kleiner aantal ongevallen dan wel als uit een kosten-baten vergelijking blijkt dat een hogere luminantie niet zinvol is terwijl verdere analyse deze bevinding niet zal veranderen, kan worden besloten de analyse af te breken en de studie met een kosten-baten vergelijking te beëindigen.

Het gehele onderzoek bestaat uit drie delen; die elk een specifieke wegsoort omvatten:

- deel 1: wegen buiten de bebouwde kom met snelheden hoger dan circa 50 km/h: autowegen, wegen met geslotenverklaring en wegen met gemengd verkeer;
- deel 2: autosnelwegen;
- deel 3: wegen binnen de bebouwde kom, verdeeld in twee categorieën: wegen met snelheden rond de 50 km/h en wegen met hogere snelheden.

De aanpak wordt getest met deel 1. De ervaringen die hiermee worden opgedaan zullen leiden tot een gefundeerde beslissing over het aanpakken van de delen 2 en 3.

Dit studievoorstel betreft alleen deel 1.

De eerste fase van deel 1 bestaat uit het bepalen welke wegvakken in aanmerking komen. Dit zijn verlichte wegvakken buiten de bebouwde kom, niet autosnelwegen, met snelheden hoger dan 50 km/h, aangevuld met het minimaal nodige aantal wegvakken van dezelfde soort zonder verlichting. Van deze wegvakken worden de gegevens van het verkeer, de wegkenmerken en de verlichtingskenmerken geïnventariseerd. De eerste analyse betreft dan de verdeling van de intensiteiten over de verschillende wegvakken en de verde-

ling van de luminantieniveaus. Zonder voldoende verschillen in de luminantieniveaus is het onderzoek immers niet uitvoerbaar. Evenmin is een resultaat te behalen als er een hoge correlatie is tussen de luminantieniveaus en de intensiteiten. De wegvakken zonder verlichting vormen hierbij een speciale categorie. Blijkt uit deze analyse dat doorgaan resultaten kan opleveren, dan start fase 2 van deel 1. Hierover valt een beslissing door de opdrachtgever. (Beslispunt)

In fase 2 van deel 1 worden de gegevens van de ongevallen bij daglicht en bij duisternis op de wegvakken geïnventariseerd.

Met deze gegevens wordt een analyse uitgevoerd die gericht is op het vaststellen van de gezochte relatie, voor deze categorie wegen. Indien de resultaten dat toelaten zal een kosten-baten vergelijking worden gemaakt. De kosten zijn de (meer)kosten van de verlichtingsinstallatie, de baten het in geld omgerekende kleinere aantal ongevallen.

Wanneer deze inventarisaties voor wegvakken plaatsvinden zal onderscheid worden gemaakt naar wegvakken en kruispunten. Uit de methode van aanpak volgens hoofdstuk 2 blijkt dat een homogeen wegvak alleen zonder kruispunten mogelijk is. Het meenemen van de aanliggende kruispunten houdt relatief gering meerwerk in. Het grote verschil tussen wat gebeurt op wegvakken en op kruispunten komt dan bij de analyse aan de orde door op beide dezelfde analyse uit te voeren.

Als onverlichte wegvakken zullen met name die wegvakken worden meegenomen, die in het verlengde van de verlichte wegvakken liggen. Naar verwachting zal dit ongeveer de helft van het aantal benodigde onverlichte wegvakken zijn. De andere helft wordt willekeurig gekozen, doch met aandacht voor een redelijke verdeling over de intensiteitsklassen.

Het laatste onderdeel van de studie is het indien nodig aangeven wat er moet gebeuren als zou blijken dat er lacunes zijn om tot resultaten te komen. Dit onderdeel volgt altijd, ook en vooral als na een eerdere fase besloten wordt de gevolgde weg niet verder te nemen. Er zijn al verschillende methoden geopperd om bijvoorbeeld de hoeveelheid gegevens te vergroten als zou blijken dat het daaraan schort. Mocht het zover komen, dan kan op basis hiervan een studie met gewijzigde aanpak worden voorgesteld. De verwachting is echter, gebaseerd op de resultaten van de voorstudies, dat de hier voorgestelde drie fasen resultaten zullen opleveren.

In hoofdstuk 2 is de methode van aanpak beschreven, waaruit volgt welke onderzoekseenheid zal worden gebruikt en welke aantallen nodig zijn.

Hoofdstuk 3 geeft aan hoe de inventarisatie van alle gegevens zal worden gedaan.

Hoofdstuk 4 tenslotte geeft de bijbehorende kostenraming.

2 METHODE VAN AANPAK

2.1 Variabelen

De centrale variabelen zijn:

- verlichtingsniveau L;
- onveiligheid, gemeten naar het gestandaardiseerde aantal ongevallen V;
- intensiteiten I;
- wegkenmerken W.

Verlichtingsniveau

Op voorhand is niet aan te geven hoe de verdeling van deze variabele er uit ziet. Het is waarschijnlijk dat door een zekere uniformiteit bij het wegbeheer een beperkt aantal waarden voorkomt. De steekproeftrekking zal gebaseerd moeten zijn op het voorkomen van een beperkt aantal categorieën. Naarmate de spreiding van deze variabele toeneemt, stijgt de betrouwbaarheid van de resultaten.

Onveiligheid

Deze maat is gebaseerd op het aantal letsel- + dodelijke ongevallen per eenheid voertuigprestatie. Het lijkt vooralsnog niet gewenst apart onderscheid te maken tussen letsel- en dodelijke ongevallen. UMS-ongevallen worden buiten beschouwing gelaten.

Intensiteiten

Aangenomen wordt dat de verkeersintensiteit met een voldoende mate van nauwkeurigheid bekend is voor beide rijrichtingen samen. De intensiteit, vermenigvuldigd met de lengte van het wegvak geeft de expositiemaat voor de ongevalsgebeurtenis.

Wegkenmerken

Opname van overige variabelen is alleen zinvol indien er sprake is van een grote correlatie tussen deze variabele(n) en het verlichtingsniveau. Om het effect van de verlichting zo zuiver mogelijk te schatten, zullen mogelijk één of meer overige variabelen opgenomen moeten worden.

De variabelen die hierbij betrokken worden zijn gegeven in hoofdstuk 3.

2.2 De steekproefopzet

De steekproefopzet weerspiegelt de centrale rol van de intensiteit en het verlichtingsniveau. Om de invloed van deze twee variabelen te meten is een gestratificeerde steekproef noodzakelijk waarbij een stratum bepaald wordt door een combinatie van intensiteitsniveau en verlichtingsniveau (zie diagram 1). Verlichtingsniveau 0 wordt ook in het onderzoek betrokken.

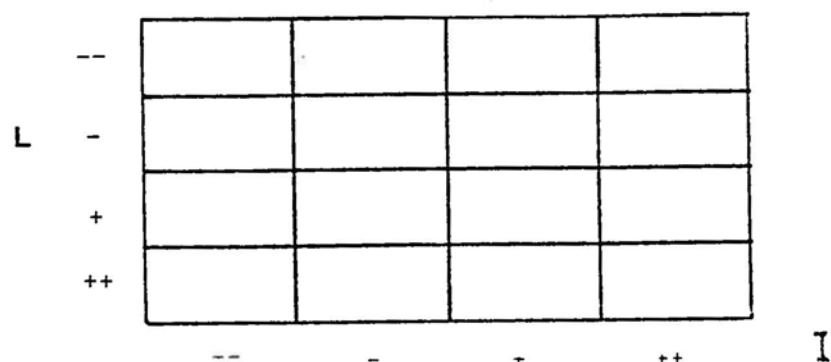


Diagram 1: Stratificatieschema voor steekproef per wegtype

De meeste wegen buiten de bebouwde kom zijn onverlicht (de eerste rij). Van de verlichte wegvakken zullen de meeste te vinden zijn in de cellen (--, --)(-, -), (+,+) en (++,++), dat wil zeggen er bestaat een sterk verband tussen verlichting en intensiteit. Zeer weinig observaties zullen voorkomen in de linker benedenhoek: hoog verlichtingsniveau gekoppeld aan een zeer lage intensiteit.

Het steekproefontwerp kan daarom niet orthogonaal zijn (gelijke spreiding over de gehele tabel), en er zal rekening gehouden moeten worden met de interactie tussen beide variabelen.

De tabel bevat 20 cellen. Rekening houdend met de interactie tussen L en I is een minimum aantal van 10 observaties per cel gewenst. Introductie van één of meer aanvullende variabelen betekent een toename van de steekproefgrootte, al valt niet direkt te zeggen met welke factor. Voorgesteld wordt om met een minimum aantal van 15 wegvakken per cel te werken, wat in principe tot een totaal van 300 wegvakken per wegtype leidt. Dit aantal moet voldoende zijn om een betrouwbare schatting te maken van de relatie tussen verlichtingsniveau en verkeersonveiligheid, waarbij eventueel ook enkele overige variabelen opgenomen kunnen worden.

2.3 De bepaling van verlichtings- en intensiteitscategorieën voor stratificatie

Op voorhand is waarschijnlijk niet aan te geven waar de categoriegrenzen gelegd moeten worden. Dit hangt af van de verdeling van de intensiteiten en de verlichtingsniveaus. Voor de intensiteiten kan een equidistante verdeling worden aangehouden, met twee categorieën beneden het gemiddelde, en twee categorieën boven het gemiddelde. Een schatting van het gemiddelde kan gemakkelijk verkregen worden uit bestaande gegevens.

De verdeling van de verlichtingsvariabele is niet bekend. Verwacht wordt dat de verlichte wegen een luminantie hebben van 0,2 tot 1,3 cd/m². Een mogelijke verdeling van de verlichtingsniveaus is: (0-0,3), (0,3-0,6), (0,6-0,9), (0,9 en hoger). Indien de spreiding kleiner is, dan is een driedeling te overwegen van de verlichte wegen: kleiner dan 1, ongeveer gelijk aan 1, en groter dan 1. De grenzen kunnen nog aangepast worden tijdens het veldwerk indien noodzakelijk. De onverlichte wegen worden als geheel aparte categorie gezien.

De verdeling van de steekproef ziet er als volgt uit, uitgaande van de bovengenoemde suggesties:

L	0	15	15	15	15
	0	15	15	15	15
	0,7	15	15	15	15
	1	15	15	15	15
	1,3	15	15	15	15
∞	∞	∞	∞	∞	
	0	$\frac{1}{2}\bar{l}$	\bar{l}	$1\frac{1}{2}\bar{l}$	∞

Diagram 2: Steekproefstratificatie bij hypothetisch orthogonaal ontwerp

Zoals gezegd, dit is een hypothetisch orthogonaal ontwerp. Enkele cellen zullen niet tot nauwelijks gevuld worden. Overigens zullen sommige combinaties zeer veel voorkomen: wegen met min of meer gemiddelde intensiteiten en diverse verlichtingsniveaus (kolom 2 en 3). Aanvulling van deze cellen tot 20 observaties is waarschijnlijk zonder problemen mogelijk. In deze gevallen is 15 de benedengrens.

Bij de onverlichte wegen is door de selectieve inventarisatie een redelijke spreiding over de intensiteiten aanwezig.

2.4 Analyse-eenheden

Eenheid van analyse is een homogeen wegvak van zekere minimum lengte. Hoe groter de lengte, hoe kleiner de mogelijkheid om een homogeen wegvak te vinden.

De bepaling van de minimum lengte is een arbitraire zaak. In het algemeen lijkt een minimum lengte van 400 m wel geboden om te kunnen spreken van een directe beïnvloeding van de verlichting op de veiligheid (bij een snelheid van 80 km/h doet een auto er 18 seconden over om 400 m af te leggen).

Hoe zwaar het homogeniteitscriterium gehanteerd moet worden is op voorhand bijzonder moeilijk uit te maken. Bij een rigide opstelling blijft er geen wegvak over, terwijl bij een te soepele houding er een grote meetfout optreedt in ongevalsintensiteit. In ieder geval moeten kruispunten buiten de wegvakken gehouden worden, inclusief hun invloedsgebied, aangezien de ongevalskans hier door vele factoren bepaald wordt. De analyse van de wegvakken kan zo zuiver gebeuren, maar de vraagstelling betreft het verlichten van wegen met de daarin bestaande kruispunten. Dit is op te lossen door precies dezelfde analyses uit te voeren op een bestand waarin de kruispunten voorkomen. Het uitgangspunt hierbij is dat het kruispunten zijn in de betreffende weg, zodat de wegkenmerken opnieuw worden gehanteerd. De enige toevoeging is de intensiteit op de kruisende weg. Andere kenmerken, zoals uitritten, bochten, incidentele verlichting, voorwerpen in de berm, etc. kunnen op verschillende manieren de homogeniteit beïnvloeden, en hiervoor zijn geen richtlijnen vooraf te geven. Bij de inventarisatie zullen alle mogelijk versturende invloeden worden meegenomen.

2.5 Onderzoeksmethode

Het doel van het onderzoek is een model te specificeren waarbij de ongevalsgebeurtenis gerelateerd wordt aan het verlichtingsniveau. Met andere woorden, de relatie tussen (on)veiligheid en verlichtingsniveau wordt gekwantificeerd.

Van groot belang is een goede modelspecificatie. Niet alleen het verlichtingsniveau speelt een rol, maar ook - en waarschijnlijk in grote mate - de voertuigintensiteit. Dit grote belang van deze variabele komt dan ook tot uitdrukking in de steekproefopzet, zoals hiervoor aangegeven. Naast intensiteit spelen een aantal andere factoren een rol.

De eerste stap in de analyse is daarom het vinden van de relevante variabelen die van invloed zijn op de ongevalsgebeurtenis op een wegvak. Dit zal geschieden door het berekenen van correlatiematen tussen de mogelijke predictoren en de ongevalsgebeurtenis. Hieruit kan een (kleine) set variabelen geselecteerd worden die opgenomen moeten worden in een ongevalsmodel.

Benadrukt moet evenwel worden dat niet voorop staat het verklaren van de ongevalsgebeurtenis als zodanig, maar het vinden van een zuivere schatter voor de relatie tussen verlichtingsniveau en ongevallen.

In de tweede stap wordt een exploratieve methode gekozen om de variabelen in hun onderlinge samenhang en in hun relatie met ongevallen te beschouwen. De meest geëigende methode hiervoor is het loglineaire model. Deze heeft in het algemeen de volgende vorm:

$$\log V = X\beta$$

waarbij V een vektor van ongevallen is, X de zogenaamde "design"-matrix van exogenen, en β de vector van coëfficiënten. De afhankelijke variabele hier is het aantal ongevallen, gewogen met de voertuigprestatie:

$$V = O/(I*W)$$

O is het aantal ongevallen, I is de voertuigintensiteit en W de wegvaklengte.

De loglineaire methode is een bijzondere vorm van kruistabellen-analyse, van meer-dimensionale kruistabellen. Allereerst worden de ongevallen gerangschikt in een kruistabel. Stel, er worden twee variabelen gespecificeerd: verlichtingsniveau L en wegvakkenmerk K . L wordt onderverdeeld in een aantal categorieën: L_i , $i=1, \dots, M$, met $L_1 = 0$ (het geval van geen verlichting). We veronderstellen dat het wegvakkenmerk K in twee categorieën wordt ingedeeld: $K=1,2$. De volgende kruistabel kan nu geconstrueerd worden (diagram 3):

	K ₁	K ₂
L ₁	O ₁₁	O ₁₂
L ₂	O ₂₁	
L ₃		
..	..	
..	..	
L _M	O _{M1}	O _{M2}

Diagram 3: Hypothetische kruistabel van ongevallen naar verlichtingsniveau L en wegkenmerk K

In elke cel bevinden zich O_{ij} ongevallen. Daarnaast moeten we weten wat de expositie-maat is per (i,j) situatie. De expositiemaat is gelijk aan de totale wegvaklengte W maal de voertuigintensiteit I, oftewel het totaal aantal verreden kilometers per (i,j) situatie. Deze grootte wordt als volgt gevonden.

Definiëren we in het bestand van alle wegvakken n, n=1, ..., N de deelverzameling A_{ij} van wegvakken met verlichtingscategorie L_i en wegvaktype K_j . Nu geldt:

$$O_{ij} = \sum_{n \in A_{ij}} O_n \quad (\text{aantal ongevallen})$$

$$C_n = I_n * W_n \quad (\text{totale voertuigprestatie op wegvak n})$$

$$C_{ij} = \sum_{n \in A_{ij}} C_n \quad (\text{totale voertuigprestatie in (i,j) situaties})$$

C_{ij} is het totaal aantal verreden kilometers op wegvakken die L_i -verlichting en K_j -type zijn. Ongevalsintensiteit V_{ij} is dan gelijk aan:

$$V_{ij} = O_{ij} / C_{ij}$$

en dit is de afhankelijke variabele in het loglineaire model.

Het loglineaire model dat het verband tussen ongevalsintensiteit, verlichting en wegkenmerk specificceert is:

$$\log V_{ij} = \alpha + \beta^L(i) + \gamma^K(j) + \delta^{KL}(ij)$$

Hier is:

- α een algemene constante (schaalfactor);
- $\beta^L(i)$ een coëfficiënt die het effect van niveau i van de verlichting op het aantal ongevallen weergeeft;
- $\gamma^K(j)$ een coëfficiënt die het specifieke effect van niveau j van wegkenmerk K weergeeft;
- $\delta^{KL}(ij)$ het interactie-effect tussen wegkenmerk en verlichting, dat belangrijk is indien het verlichtingseffect verschillend is naar gelang de wegsituatie.

Dit model met twee variabelen kan uitgebreid worden met meer variabelen, meer categorieën etc. Eventuele niet-lineaire effecten tussen intensiteit en ongevallen kunnen ook meegenomen worden.

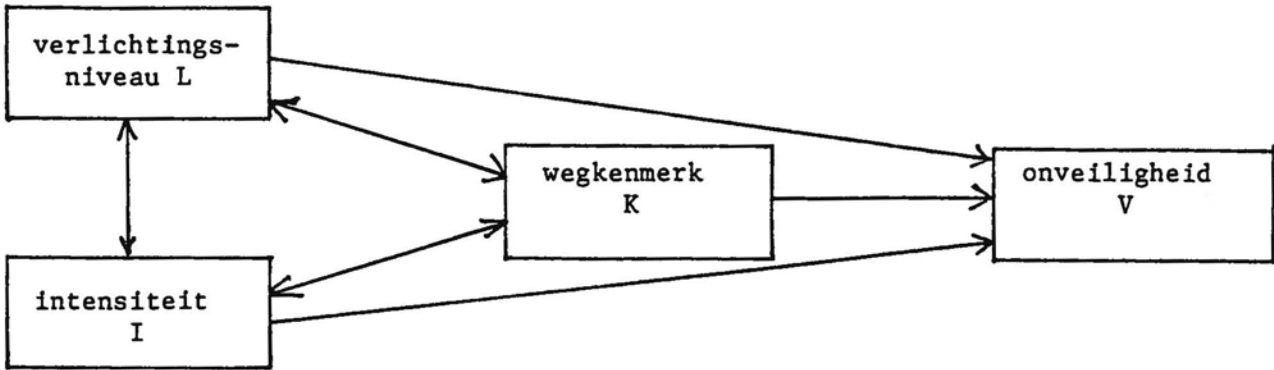
Het loglineaire model gaat van de volgende veronderstellingen uit:

- de ongevalsgebeurtenis is een Poissonproces;
- een log-lineaire relatie tussen ongevalsintensiteit en exogenen.

Voorts kan aangenomen worden dat de betrouwbaarheid van de waarneming recht evenredig is met de expositiemaat C_{ij} .

Het loglineaire model is een aggregaat model voor de analyse van gecategoriseerde gegevens. Indien we alle waarnemingen groeperen op grond van verlichtingsniveau L_i , voertuigintensiteitsklasse I_j en wegtype K_j , zoals boven aangegeven, dan is de invloed van de verklarende variabelen op categoriaal niveau vast te stellen.

Het doel van de loglineaire analyse is een model te vinden dat de geobserveerde tabel zo goed mogelijk benadert, door specificatie van zogenaamde hoofd-effecten (verlichtingsniveau, intensiteit en wegkenmerk), en interactie-effecten tussen de verklarende variabelen. Een loglineair model "verklaart" de verdeling van de wegvakken over de verschillende samengestelde categorieën door het specificeren van de juiste associaties tussen variabelen. Dit kan eenvoudig grafisch worden weergegeven.



Figuur 1: Voorbeeld van associaties tussen variabelen in de analyse

Dit weergegeven model is een voorbeeld van een bepaalde structuur in de data. Uit deze figuur blijkt dat er sprake is van een significante invloed van alle drie de variabelen L, I en K op de onveiligheid. Daarnaast is er sprake van paarsgewijze interactie tussen de verklarende variabelen onderling.

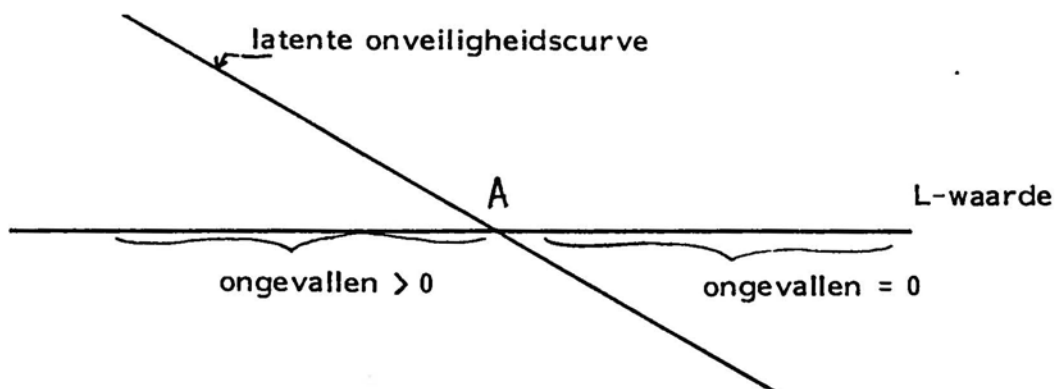
Aparte aandacht verdient het verlichtingsniveau L. De verdeling van de wegvakken over de verlichtingsniveaus wordt gekenmerkt door een groot aantal 0-waarnemingen, aangezien geen verlichting eveneens wordt meegenomen. Wegvakken met verlichting zijn - ruwweg - gecentreerd rond een waarde van $L \cong 1$, met zeer weinig of geen waarnemingen tussen 0 en 0,5. Indien - zoals in het loglineaire model - het verlichtingsniveau categoriaal is, levert zo'n verdeling geen probleem op. Indien L continu wordt opgevat dan zijn er wel problemen. Zeer waarschijnlijk geeft het verloop van de onveiligheid bij toenemende verlichting vanaf $L = 0$ geen mooi verloop te zien. Het $L = 0$ -niveau moet daarom als een afzonderlijke categorie beschouwd worden. Dit stemt overeen met de gedachte dat er meer verschillen zijn tussen verlichte en onverlichte wegen dan alleen de luminantie.

Voordeel van de toepassing van dit model is dat de associaties, ook de hogere orde, op eenvoudige wijze onderzocht kunnen worden.

Nadeel van de methode is dat de gegevens op geaggregeerd niveau geanalyseerd worden. Voor categoriale gegevens is dat geen probleem aangezien alle informatie beschikbaar blijft. Voor het onderhavige probleem is dit evenwel niet optimaal. Het aantal ongevallen, de verkeersintensiteiten en het verlichtingsniveau kunnen in principe op cardinaal niveau gemeten worden. Aggregatie betekent een zeker informatieverlies.

Het resultaat van de tweede stap is een inzicht in de voornaamste relaties tussen onveiligheid en verklarende factoren, en eveneens inzicht in de onderlinge samenhang van de verklarende factoren. Dit kan gebruikt worden voor het opstellen van een model, dat technisch meer verfijnd is, en gebruik maakt van alle waarnemingen met verlichtingsvoorzieningen, in de derde stap.

De derde stap in de methode is het opstellen van een model gebruik makend van alle waarnemingen met verlichting, en gebaseerd op de resultaten uit de loglineaire analyse. Centraal kenmerk van deze stap is het opvatten van het onveiligheidsniveau op wegvakken als een continue (niet geobserveerde) grootte. Het aantal ongevallen is weliswaar een indicator voor de onveiligheid, maar niet volledig. Beneden een zekere drempelwaarde van het onveiligheidsniveau vinden geen ongevallen meer plaats. Dit zijn dan de vele waarnemingen in het bestand met geen ongevallen. Boven een zekere drempelwaarde vinden wel ongevallen plaats, en deze ongevallen kunnen opgevat worden als indicator voor de onveiligheid boven de drempelwaarde. Dit kan grafisch worden weergegeven.



Figuur 2: Onveiligheidscurve en verlichtingsniveau

Links van het verlichtingsniveau A ligt de onveiligheid boven de drempelwaarde. Er komen ongevallen voor. Rechts van deze curve is de onveiligheid zodanig dat er geen ongevallen meer voorkomen. Er zijn dus twee aspecten te onderscheiden: het onderscheid tussen wegvakken met wel en geen ongevallen, en - voor de wegvakken waar ongevallen plaatsvinden - de ongevalsintensiteit (1, 2 etc. ongevallen).

Dit kan gemodelleerd worden als een tobit model, dat wil zeggen een model voor processen met afhankelijke variabelen die niet over de gehele range geobserveerd worden (de onveiligheid). De algemene vorm van het model bestaat uit twee vergelijkingen:

$$V_n = \begin{cases} 0, & \text{als } d_n = X\beta + e_n \leq 0 \\ y_n, & \text{als } d_n > 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$y_n = Z_\gamma + u_n \quad (2)$$

Hier is de d_n de - latente - variabele veiligheid. Indien de veiligheid kleiner is dan nul, dan is O_n , het aantal ongevallen op wegvak n, gelijk aan nul. Als de veiligheid groter is dan nul, dan neemt V_n de waarde aan van y_n , het geobserveerde aantal ongevallen, die een functie zijn van een set onafhankelijke variabelen Z met gewichten γ . Veelal wordt verondersteld dat de verklaring van het al dan niet voorkomen van ongevallen (1) in dezelfde set variabelen ligt die het aantal ongevallen verklaart: $X = Z$. Dit heeft ook consequenties voor de covariantie van e en u. Hiervoor zijn modellen beschikbaar.

Indien we ervan uitgaan dat $X = Z$, dan geldt dat de belangrijkste variabele in de set onafhankelijke variabelen het verlichtingsniveau is. De specifieke vorm (lineair dan wel logaritmisch etc.) moet middels empirische analyse verkregen worden.

Vatten we de methode samen dan kunnen we de volgende stappen onderscheiden:

1. Exploratieve analyse van correlaties tussen ongevallen en relevante variabelen. Hieruit resulteert een kleine set variabelen die naast de basisvariabelen verkeersintensiteit en verlichting - in de verdere analyse gebruikt zullen worden.
2. Loglineaire analyse van ongevallen, verlichtingsniveau en andere belangrijke variabelen. Vaststellen van belangrijkste relaties in hun onderlinge samenhang. Vaststellen implicaties voor het opstellen van een verlichtingsongevallen model.
3. Opstellen en schatten van een - op individuele waarnemingen gebaseerde - model voor bepaling van de kwantitatieve relatie tussen verlichtingsniveau en de onveiligheid (ongevallen) met behulp van een tobit-model.

Over de analysemethode, met name de toetsing aan het aantal ongevallen bij daglicht, zal in het verloop van de studie, maar in ieder geval vóór de aanvang van de analyse nader overleg worden gevoerd.

2.6 Resultaat van de analyse

Bovengenoemde modellen geven de volgende informatie:

- het al dan niet aanwezig zijn van een verband tussen verlichtingsniveau en ongevalsintensiteit. Dit is in feite de toets of $\beta = 0$;
- indien de hypothese dat β gelijk aan nul is verworpen moet worden, kan de richting en vorm van het verband bepaald worden en kan een - globale - indicatie verkregen worden van de ongevelselasticiteit.

3 VERZAMELEN VAN DE GEGEVENS

3.1 Algemeen

Zoals al eerder vermeld zijn de te verzamelen gegevens onder te verdelen in:

- a. wegkenmerken;
- b. verlichtingskenmerken;
- c. verkeerskenmerken;
- d. ongevalskenmerken.

In de fasering van het onderzoek zullen in de eerste fase de gegevens a, b en c worden verzameld voor de wegcategorie autoweg/geslotenverklaring met hoge snelheid. Bij het doorgaan van de studie zullen dan in de tweede fase de gegevens d verzameld worden. In de derde fase zal in principe dezelfde volgorde van verzamelen van gegevens geschieden, maar dan voor de wegcategorieën en/of autoweg/geslotenverklaring met lage snelheid.

Voordat tot het werkelijk verzamelen van de gegevens kan worden overgegaan, zal een selectie van mogelijke wegvakken moeten worden uitgevoerd. Deze selectie heeft niet alleen betrekking op het al of niet geschikt zijn voor het onderzoek, maar ook op de eventueel al voldoende vulling van een bepaalde cel, zoals aangegeven in de methode van aanpak. Dit betekent een constante interactie tussen de gegevens over weg-, verlichtings- en verkeerskenmerken. In de volgende paragrafen is per gegeven de wijze van gegevensverzameling weergegeven, met altijd in het achterhoofd deze interactie voor de uiteindelijke selectie.

Uit de voorstudie is gebleken dat de gegevens van de wegkenmerken, verlichtingskenmerken en verkeerskenmerken goed te verzamelen zijn. Momenteel worden deze gegevens voor een aantal provincies in het kader van een andere opdracht van DVK aan BGC al verzameld. In dit kader gaat het dus om de noodzakelijke aanvulling met de overige provincies. De ongevalsgegevens zijn moeilijker te verzamelen. Uit een aantal gesprekken met de DVK en de VOR is gebleken dat de mogelijkheid in ieder geval bestaat. Op het moment dat begonnen wordt met deze inventarisatie zal in overleg worden besloten hoe de aanpak precies zal zijn.

3.2 Wegkenmerken

Voor het verzamelen van de wegkenmerken zal in de eerste plaats op grond van bestaande bestanden en specifieke lokale kennis een voorselectie worden gemaakt van wegvakken die in aanmerking komen in het bestand te worden opgenomen. Het selectiecriteria hiervoor zal zich in eerste instantie beperken tot de wegcategorie autoweg of geslotenverklaring. Na deze voorselectie zullen de betreffende wegbeheerders worden bezocht en de wegvakken worden beschouwd. Dit levert dan de volgende gegevens op:

- is het wegvak verlicht of niet;
- vanaf welk jaar is de verlichting aanwezig;
- hebben er andere reconstructies plaatsgevonden;
- waar zijn de eventuele verlichtingskenmerken te verkrijgen;
- geeft het wegvak een visueel homogeen beeld.

Op grond van deze informatie kan dan een tweede selectie plaatsvinden van de wegvakken die mogelijk in het bestand kunnen worden opgenomen. Als bij de confrontatie met de verlichtings- en verkeerskenmerken het wegvak geschikt geacht wordt voor het bestand, zullen de volgende gegevens vastgelegd moeten worden:

- aantal rijstroken;
- aanwezigheid en breedte middenberm;
- rijkstrookbreedte;
- soort wegdek;
- aanwezigheid bermplankjes;
- aanwezigheid obstakels (bomen e.d.);
- bogen.

Daarnaast zullen van ieder geschikt wegvak ook de begrenzendende kruispunten bekeken worden of deze geschikt zijn voor het kruispuntenbestand. Een detailinventarisatie van deze kruispunten zal in het kader van deze studie niet worden uitgevoerd; alleen de wegkenmerken van het "aansluitende" wegvak worden aan het kruispunt gekoppeld.

3.3 Verlichtingskenmerken

Uit vooronderzoek is gebleken dat de gegevens over de verlichting zeer verspreid zijn opgeslagen. Soms bij de wegbeheerder, soms bij het provinciaal energiebedrijf of deels bij derden. Wel is bij de wegbeheerder over het algemeen bekend waar de gegevens zijn opgeslagen. Op grond van deze informatie kunnen dan ook de juiste bronnen, centraal of decentraal worden opgezocht. Met behulp van de daar verzamelde gegevens kan dan het verlichtingsniveau worden berekend. Hiervoor zal gebruik worden gemaakt van een door DVK te leveren computerprogramma waarvoor de volgende gegevens nodig zijn:

- opstelling masten;
- lumeninhoud lamp;
- soort (type) armatuur;
- lichtpunthoogte;
- armatuurafstand;
- plaats armatuur ten opzichte van linker kantstreep;
- of bij twee rijen masten de opstelling zig-zag is of portaalopstelling.

3.4 Verkeerskenmerken

Op het type wegen dat in deze fase in het onderzoek wordt betrokken, wordt over het algemeen in ieder geval incidenteel en soms permanent geteld. Bij de wegbeheerder zijn dan ook meestal intensiteitsgegevens beschikbaar. Het betreft hier dan wel dag- of etmaalintensiteiten. Nadere gegevens over het verloop over de dag ontbreken veelal. Het is de vraag of in voldoende mate betrouwbare gegevens verzameld kunnen worden over dit verloop over de dag, zodat de belangrijke expositiemaat intensiteit wat meer genuanceerd kan worden naar intensiteit bij donker. Vooralsnog wordt hier niet van uitgaan.

Naast de intensiteit op de hoofdrijbaan die noodzakelijk is voor het wegvakkenbestand, worden ook de intensiteiten van het kruisende verkeer vastgelegd, dit ten behoeve van het kruispuntenbestand.

3.5 Ongevalskenmerken

Na de uiteindelijke selectie van de analyse-eenheden en de constatering dat de cellen voldoende gevuld zijn, moeten de ongevalsgegevens worden verzameld. De wijze waarop de gegevens verzameld moeten worden is afhankelijk van:

- a. het te verwachten aantal ongevallen;
- b. de benodigde betrouwbaarheid van de locatie van de ongevallen.

Ad a:

Om tot een schatting van het aantal te verwachten ongevallen te komen is met behulp van CBS gegevens over aantallen en soort ongevallen en CBS gegevens over lengte en soort wegen een grove berekening gemaakt. Bij deze berekening is uitgegaan van de volgende cijfers:

Totale lengte primaire planwegen bubeko	2.400 km
Totale lengte secundaire planwegen bubeko	3.500 km
Totale lengte overige belangrijke rijkswegen bubeko	<u>2.200 km</u>
Totale lengte hogere orde wegen	8.100 km
Totaal aantal ongevallen bubeko	12.000
Totaal aantal ongevallen wegvakken bubeko	8.500
Totaal aantal ongevallen schemer en duister bubeko	4.000

Gaan we ervan uit dat de geselecteerde analyse-eenheden op hogere orde wegen liggen, dan kan de totale weglengte van de wegen die als analyse-eenheid in aanmerking komen op 8.100 km worden gesteld. Als we nu ook aannemen dat de meeste ongevallen bubeko op de hogere orde wegen plaatsvinden en we nemen van het rekenvoorbeeld 90 % van de 12.000 ongevallen, dus 10.800 ongevallen, dan is het gemiddeld aantal ongevallen per kilometer weg 1,3, waarvan 0,9 bij daglicht en 0,4 bij schemer en duisternis. Een onderverdeling naar wegvak en kruispunt ongevallen wordt dan eveneens 0,9 respectievelijk 0,4 ongeval per kilometer.

Uitgaande van analyse-eenheden van gemiddeld 800 meter lengte en in totaal 150 wegvakken (100 verlicht, 50 niet verlicht) en 30 kruispunten (verlicht), wordt het totaal aantal wegvakken ongevallen geschat op 110 per jaar (75 daglicht en 35 duisternis). Het aantal kruispuntongevallen wordt geschat op 12 per jaar.

Met een maximale onderzoeksperiode van 10 jaar, kan het totaal aantal te inventariseren ongevallen worden geschat op 1.100 wegvakongevallen en 120 kruispuntongevallen.

Ad b:

Om een betrouwbare analyse te kunnen uitvoeren, is het van groot belang dat het databestand op al zijn onderdelen betrouwbaar is. Voor wat betreft de ongevalskenmerken kan daarom niet worden volstaan met de geaggregeerde gegevens van de VOR. Een test met geselecteerde gegevens van een aantal kilometers weglengte autosnelweg, heeft aangetoond dat bij bestudering van de "groentjes" (copieën ongevalsregistratieformulieren) circa 20 % ten onrechte geselecteerd bleek te zijn. Ondanks de verklaringen, die hiervoor zijn aan te voeren is een dergelijke afwijking voor dit onderzoek niet te tolereren, vandaar dat inventarisatie van de ongevalsgegevens uit het oogpunt van betrouwbaarheid zal moeten gebeuren vanaf de "groentjes".

Gezien het relatief geringe aantal ongevallen dat verwacht wordt en de wenselijkheid om met de ongevalsformulieren te werken, stellen wij ons de volgende werkwijze voor bij het verzamelen van de ongevalsgegevens.

Alle wegbeheerders van de wegvakken die in het bestand zijn opgenomen, worden bezocht en ter plaatse zullen de ongevalsformulieren of de VOR nummers van de ongevalsformulieren worden verzameld. Zijn het VOR nummers, dan zullen copieën van de ongevalsformulieren via het VOR nummer en de DVK worden opgevraagd.

De ongevalsformulieren worden gescreend op de juiste locatie etcetera en vervolgens gecodeerd. Met deze gecodeerde gegevens zullen dan de analyses worden uitgevoerd.

3.6 Opbouw databestand

Het databestand kan onderscheiden worden in een wegvakkenbestand en een kruispuntenbestand. Deze beide bestanden zullen per "case" bevatten:

- wegkenmerken;
- verlichtingsniveau;
- intensiteit;
- aantal letsel- en dodelijke ongevallen per tijdseenheid/lichtomstandigheid.

Hiermee kan dan de beschreven analyse worden uitgevoerd.

4 KOSTEN-BATEN OVERWEGING

Een kosten-baten overweging zal worden gemaakt als het onderzoek gegevens oplevert over een vermindering van het aantal ongevallen bij een bepaalde verlichting. Dit zal een eerste aanzet betreffen, waarbij gebruik zal worden gemaakt van de bekende gegevens over de kosten van de verlichting en de kosten van de ongevallen. Als dit een niet voldoende betrouwbaar beeld geeft zal worden aangegeven wat extra nodig is om tot een goede vergelijking van de kosten en de baten te komen.

5 RAPPORTAGE

Alle resultaten zullen in één rapport worden weergelegd, zodanig gepresenteerd dat het bruikbaar is in bredere kring. Daarnaast zal het rapport een beschrijving geven van de toepassingsmogelijkheden van de opgedane ervaring voor de delen 2 en 3 van de gehele studie. Op basis hiervan is een beslissing te nemen over de verdere voortgang.

BIJLAGE A.

DEEL 1: wegen bubeko, 70-100 km/h, geen ASW

Fase 1: inventarisatie verkeerskenmerken
inventarisatie wegkenmerken
inventarisatie verlichtingskenmerken

Beslispunt 1: voldoende spreiding in intensiteiten en luminanties?

Fase 2: inventarisatie gegevens ongevallen bij daglicht en bij duisternis
uitvoeren analyses
kosten-baten overweging
rapportage

beslispunt 2: onderzoek uitvoerbaar voor:

- autosnelwegen?
- wegen bibeko \pm 50 km/h en 70 km/h?

DEEL 2: autosnelwegen

fase 1: beslispunt 1 en fase 2 als deel 1

DEEL 3: wegen bibeko, \pm 50 km/h en 70 km/h

fase 1, beslispunt 1 en fase 2 als deel 1

ONDERZOEK NAAR DE RELATIE TUSSEN VERKEERSVEILIGHEID EN LICHTNIVEAU

De achtergrond voor de opzet van het onderzoek

Dr. ir. D.A. Schreuder

Leidschendam, juni 1988

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

1. INLEIDING

In het huidige maatschappelijke bestel speelt het wegverkeer een belangrijke rol wegens het uiteen liggen van plaatsen van "productie" en "consumptie", waarbij deze begrippen een bredere dan alleen economische betekenis worden toebedacht. Evenzeer bepaald door de maatschappelijke behoeften is er de noodzaak dat dit wegverkeer ook bij duisternis kan plaatsvinden; men eist dat de afwikkeling en de veiligheid van het verkeer direct vergelijkbaar zijn met die van overdag. Daartoe zijn - naast vele andere voorzieningen - ook verlichtingsmiddelen nodig. Deze kunnen door de voertuigen worden meegevoerd (voertuigverlichting) of ook vast aan de weg zijn aangebracht (weg- of straatverlichting; openbare verlichting; OV).

Naast het handhaven van de verkeersafwikkeling en het handhaven van een redelijke mate van verkeersveiligheid heeft het OV nog meer functies; de belangrijkste zijn:

- het (bijdragen tot) het handhaven van de openbare veiligheid (misdaadpreventie);
- het bijdragen tot de subjectieve veiligheid en de leefbaarheid.

Uiteraard zijn deze functies niet voor alle wegen en wegtypen even zwaar.

2. BELEIDSVRAGEN

Betreffende de toepassing van OV kunnen drie beleidsvragen worden gesteld. Ze zijn niet in alle gevallen alle drie relevant:

- onder welke omstandigheden (o.a. weg- en verkeerstype) moet een weg van OV worden voorzien;
- welk lichtniveau correspondeert met de grenswaarde waarboven geen (meetbare) toename van de verkeersveiligheid is te verwachten;
- welk lichtniveau correspondeert met de maximale doelmatigheid van de verlichting (afhankelijk van de omstandigheden zoals weg- en verkeerstype).

Het is gebruikelijk om de verkeersveiligheid als belangrijkste criterium te beschouwen, vooral bij wegen met een (overwegende of uitsluitende) verkeersfunctie - zowel buiten als binnen bebouwde kommen. Echter, voor woonstraten wordt de misdaadpreventie vaak zwaarder gewogen dan de verkeersveiligheid.

3. DE ONDERZOEKSVRAAG

Uit de drie beleidsvragen kan de volgende onderzoeksvraag worden afgeleid:

- hoe hangt de verkeersveiligheid af van het niveau van de openbare verlichting?

Deze vraag dient voor verschillende wegen (verschillende wegtypen en verschillende typen verkeer) te worden beantwoord. De onderzoeksvraag omvat ook de eerste beleidsvraag wanneer onder "geen openbare verlichting" wordt verstaan "verlichting door middel van voertuigverlichting".

Wanneer de bedoelde relatie bekend is, kunnen de beleidsvragen worden beantwoord. Er kunnen beleidsvoornemens worden opgesteld die kunnen worden uitgedrukt in aanbevelingen of richtlijnen ten behoeve van het ontwerp, de installatie, de uitvoering, het onderhoud en de exploitatie van openbare verlichting.

Deze onderzoeksvraag kan in beginsel op twee manieren worden onderzocht. De eerste gaat ervan uit dat de verlichting ten doel heeft de waarneembaarheid van de voor het verkeer relevante objecten (de visueel kritische elementen) te verhogen. Er kan een "vraag-en-aanbod" model worden gehanteerd. Voor het waarborgen van de verkeersveiligheid is een zekere waarneembaarheid nodig, terwijl de verlichtingsinstallatie een zekere waarneembaarheid aanbiedt. (Hieruit moet niet worden geconcludeerd dat bij voldoende waarneembaarheid geen ongevallen meer zouden plaatsvinden). Het aanbod moet tenminste even groot zijn als de vraag. Het onderzoek gaat om het vinden van de relaties tussen de waarneembaarheid van de visueel kritische elementen en het lichtniveau (Analytisch onderzoek). Om de relatie met de verkeersveiligheid te kunnen leggen is een "kalibratie" in termen van ongevallen nodig.

Daartoe kan onderzoek van de tweede soort worden gebruikt.

De tweede methode van onderzoek betreft het rechtstreeks onderzoeken van de relatie tussen lichtniveau en ongevallen (een zogenaamde ongevallen-onderzoek of een relatie-onderzoek).

Om de bedoelde relatie te kunnen vinden en te kunnen interpreteren in termen van verkeersveiligheidsmaatregelen zijn beide methoden nodig. De eerste methode geeft de causale relaties aan maar geen kwantificering in termen van de vermindering van het aantal (of de ernst) van de ongevallen; de tweede methode, die echter geen causale relaties geeft is daartoe nodig.

Beide methoden van onderzoek zullen worden gebruikt. De onderhavige notitie betreft verder alleen de tweede methode: het relatie-onderzoek.

4. DE OPZET VAN HET ONDERZOEK

Bij een relatie-onderzoek gaat het om de relatie tussen de afhankelijke variabele (de ongevallen) en de onafhankelijke variabele (het verlichtingsniveau). Andere variabelen kunnen als parameters in de vergelijking worden opgenomen. Het is essentieel om een verstandige keuze van deze "andere" variabelen aan te wijzen die wellicht enige invloed zouden kunnen hebben op de te onderzoeken relatie. Zouden al deze "andere" variabelen in het onderzoek worden betrokken, dan wordt de omvang ervan te groot om nog met redelijke middelen te kunnen worden uitgevoerd. Een probleem is het begrip "verstandig". Daarbij kan men vaak met vrucht gebruik maken van de ervaring uit eerder onderzoek; soms moet men zich verlaten op "gezond verstand". In het laatste geval is theoretisch niet op voorhand uit te sluiten dat een of andere variabele over het hoofd is gezien.

Uit eerder onderzoek uitgevoerd door het Bureau Goudappel & Coffeng is naar voren gekomen dat voor bepaalde klassen van wegen de onderlinge relatie tussen de "andere" variabelen sterk is. In eerste instantie kan het grootste deel van de spreiding verklaard worden door alleen met de verkeersintensiteit rekening te houden; alle andere variabelen komen dan in de "rest" terecht, die daarmee uiteraard vrij groot blijft. Het apart rekening houden met andere variabelen maakt echter deze "rest" niet noemenswaardig kleiner. Het blijkt dat, behalve de autosnelwegen, de hoofdwegen in klassen kunnen worden onderverdeeld langs twee variabelen en wel ieder op twee niveaus: "buiten/binnen de bebouwde kom" en "hoge/lage snelheid". Het lichtniveau en de intensiteit kunnen als continue variabelen worden beschouwd.

De intensiteit zou eigenlijk het verkeersaanbod bij duisternis dienen te beschrijven. In de praktijk is dat laatste slechts bij uitzondering bekend; meestal zijn etmaalgemiddelden gemeten of geschat (bijv. het jaargemiddelde van de etmaalgemiddelden van werkdagen). Deze laatste maat kan alleen worden gebruikt wanneer mag worden genomen dat de verdeling over dag en duisternis wat betreft het verkeersaanbod over alle wegen van een bepaald wegtype gelijk is; dat er dus geen relatie bestaat tussen deze verdeling en het lichtniveau. Het is echter niet op voorhand uit te slui-

ten dat een dergelijke relatie bestaat; men mag immers verwachten dat juist wegen met een hoog aandeel van verkeer bij duisternis goed zullen worden verlicht. Deze constatering is van belang bij e vraag of voor het onderzoek gebruik gemaakt kan worden van ongevallen die bij daglicht hebben plaatsgehad.

Voor de snelheid kan de wettelijke maximum snelheid worden gekozen. Het lijkt echter beter de gereden snelheid te nemen; deze is immers meer direct gerelateerd aan de onveiligheid. Men houdt op die wijze rekening met het feit dat in vele gevallen de gereden snelheid hoger (soms aanzienlijk hoger) is dan de wettelijk toegelaten snelheid. Een nadeel is dat de snelheid per wegvak moet worden bepaald. Aangezien er meer gegevens per wegvakken moeten worden bepaald, lijkt dit bezwaar niet groot te zijn. Op basis van de in de praktijk voorkomende snelheden kan men de volgende snelheidsklassen onderscheiden: binnen bebouwde kommen 20-30 km/u, 50-60 km/u, 60-80 km/u; buiten bebouwde kommen 70-90 km/u en 90-110 km/u en op autosnelwegen 110 km/u en hoger. Voor het onderhavige onderzoek komen allereerst de wegen buiten bebouwde kommen in aanmerking; wanneer op deze wijze niet voldoende materiaal te verkrijgen is, kunnen de wegen bibeko die een zekere analogie vertonen met wegen bubeko mede in het onderzoek worden betrokken. In eerste instantie komen dus drie klassen voor onderzoek in aanmerking, eventueel uit te breiden met een vierde klasse. De meer gangbare wegen bibeko blijven dus voor het grootste gedeelte buiten dit onderzoek.

BGC heeft een voorstel gedaan om het onderzoek aan de hand van deze overwegingen uit te voeren. Daarvoor zij verwezen naar de nota RWE/559/09/Bn van 9 januari 1987 die hierop betrekking heeft. Kort samengevat komt het hierop neer: onder aanname dat de verkeersintensiteit en het lichtniveau ieder in vier klassen kunnen worden onderverdeeld, dat de verdeling van de wegen in de praktijk redelijk gelijkmatig en redelijk symmetrisch over deze klassen verdeeld zijn, en dat er per "cel" 5 "waarnemingen" nodig zijn (zie voor de betekenis van "cel" en "waarneming" de bedoelde nota. Een wegvak of "waarneming" betreft hier een lengte van 2,5 km en een periode van 5 jaar) dan zijn er per geval naar schatting ca. 125 à 200 wegvakken nodig. Er zijn drie "gevallen" te onderscheiden: buiten de bebouwde kom met hoge resp. lage snelheid en autosnelwegen. Dit kan zonodig met een vierde "geval" worden uitgebreid: wegen bibeko met hoge snelheid. Tenslotte is uit een vooronderzoek gebleken dat de benodigde gegevens over het algemeen betrekkelijk gemakkelijk te verkrijgen zijn.

Wat betreft de ongevalgegevens dient nog het volgende te worden opgemerkt. Men dient zich te beperken tot gegevens door de VOR verwerkt (of tenminste gegevens aan de VOR aangeleverd). Andere gegevens zijn meestal niet nauwkeurig genoeg. Uit SWOV-onderzoek is voorts gebleken dat UMS-ongevallen in de meeste gevallen niet kunnen worden gebruikt: meestal blijkt de invloed van variaties in de registratie de te onderzoeken invloeden ruim te overtreffen. De registratie van letselongevallen die tot ziekenhuisopname leiden, is echter redelijk betrouwbaar. De registratie van dodelijke ongevallen is het meest betrouwbaar; deze zijn echter niet frequent genoeg om ten behoeve van het onderhavige onderzoek een statistisch verantwoorde verwerking mogelijk te maken. Een andere vraag is of de ongevalgegevens bij de VOR of bij de wegbeheerder moeten worden betrokken. Volledigheid van de gegevens, met name wat betreft de locatie, en kosten spelen bij die keuze een rol.

5. DISCUSSIE

De beleidsvragen van de Rijkswaterstaat zijn in eerste instantie toegespitst op de wegen buiten de bebouwde kommen, en daarbij in hoofdzaak op de autosnelwegen en de interlocale hoofdwegen (Rijkswegen).

Deze constatering leidt tot de volgende opmerkingen:

- het "geval" wegen binnen de bebouwde kom krijgt een lagere prioriteit: het gaat in de eerste plaats om de twee "gevallen" van wegen buiten de bebouwde kommen.
- In Nederland zijn enige honderden km weg buiten de bebouwde kommen van openbare verlichting voorzien. Bij een dergelijk relatie-onderzoek zal een aanzienlijk deel van het verlichte wegennet buiten de bebouwde kommen betrokken moeten worden.
- De wijze van verlichten op Nederlandse wegen buiten bebouwde kommen vertoont een grote mate van eenvormigheid. De redenen daarvoor zijn dat wegen van verschillende klassen buiten de bebouwde kommen toch een grote overeenkomst hebben wat betreft de vereisten die aan de visuele waarneming worden gesteld, en dat het aantal betrokken wegbeheerders slechts gering is.

Hieruit volgen de volgende consequenties voor het onderzoek:

- Het is mogelijk dat het Nederlandse wegennet buiten de bebouwde kommen onvoldoende variatie biedt in verlichtingsniveau om de verlangde celvul-

ling te kunnen krijgen. Aangezien het praktische problemen kan opleveren om wegen buiten Nederland in het onderzoek te betrekken zal het nodig kunnen zijn om een aantal wegen binnen de bebouwde kom in het onderzoek te betrekken. Deze wegen dienen zodanig te worden gekozen dat ze qua wegtype en verkeerssamenstelling zoveel mogelijk lijken op de te onderzoeken wegen buiten de bebouwde kom.

- Bij de bepaling van de steekproefgrootte is ervan uitgegaan dat de verkeersintensiteit redelijk over de verschillende klassen van lichtniveau is verdeeld. Aangezien te verwachten is dat er een zekere samenhang tussen verkeersintensiteit en lichtniveau zal bestaan, moet men erop rekenen dat de steekproef groter zal moeten zijn dan het minimum.

- Deze overwegingen leiden tot een voorstel waarbij het onderzoek in drie onderdelen wordt opgesplitst, te weten

o deel 1; wegen buiten de bebouwde kom

o deel 2; autosnelwegen

o deel 3; wegen binnen de bebouwde kom, eventueel wegen in het buitenland.

Het eerste deel van deze drie krijgt de eerste prioriteit, deels omdat daarmee de aanpak kan worden getest, deels omdat deze wegtypen het meest in de belangstelling staan.

6. DE FASERING VAN HET ONDERZOEK

Het onderzoek zal in fasen worden uitgevoerd. Deze fasen zijn vooralsnog alleen voor het eerste onderdeel van het onderzoek uitgewerkt. Na iedere fase wordt een beslispunt "ingebouwd".

In de eerste fase wordt van de gekozen weggedeelten (wegen buiten de bebouwde kom, niet-autosnelwegen) de gegevens van het verkeer, de wegkenmerken en de verlichtingskenmerken geïnventariseerd. Uit deze inventarisatie wordt afgeleid of, op grond van rotondes variatie in de gegevens, doorgaan met fase 2 zinvol lijkt (eerste beslispunt).

In de tweede fase worden de ongevalgegevens van deze wegen verzameld, en wel in eerste instantie de gegevens van de ongevallen bij duisternis. De tweede fase omvat een eerste analyse van de gegevens (tegelijk met die uit de eerste fase).

Aan de hand van deze analyse wordt beslist of dat materiaal een complete rapportage wettigt (tweede beslispunt). Wanneer de resultaten ertoe aan-

leiding geven, wordt de tweede fase afgesloten met een rapportage van BGC aan de SWOV.

De derde fase omvat de rapportage van de SWOV aan de Rijkswaterstaat (DVK), waarbij speciale aandacht wordt gegeven aan de wijze waarop de resultaten van het onderzoek passen in het verkeersveiligheidsbeleid.

Deze fasering wordt in het door BGC op te stellen studievoorstel verder uitgewerkt.

DE RELATIE TUSSEN OPENBARE VERLICHTING EN VERKEERSVEILIGHEID

Een methodologische notitie

Dr. P.H. Polak,
SWOV, Leidschendam, 1987

INLEIDING

Iedereen is er van overtuigd dat de verkeersveiligheid in veel gevallen gediend is met het 's nachts verlichten van openbare wegen. Maar iedereen weet ook dat het duur is en dat lichtmasten gevaarlijke obstakels kunnen zijn. Er moet dus een kosten/baten-afweging gemaakt worden. De kosten van openbare verlichting zijn goed bekend, het probleem ligt bij de baten. Men zou zóveel van de relatie tussen openbare verlichting en verkeersveiligheid willen weten dat aangegeven kan worden welke wegvakken of kruispunten van openbare verlichting voorzien zouden moeten worden en wat dan de benodigde kwaliteit (lees verlichtingssterkte) moet zijn, gegeven een bepaalde maximale kosten/baten-verhouding. Het gaat hier immers niet alleen om een ja/nee-probleem, ook het niveau van openbare verlichting is zeer belangrijk. Dit laatste is met name voor de kosten belangrijk: betere openbare verlichting is duurder, zowel in aanleg als in de bedrijfskosten.

DE RELATIE: IN THEORIE

Zoals altijd in dit vak is er geen sprake van een directe eenvoudige relatie: de invloed van het niveau en de aard van openbare verlichting op de verkeersveiligheid loopt via tussenschakels. De belangrijkste tussenschakel is ook in dit geval de mens. Openbare verlichting beïnvloedt het waarnemingsvermogen, hierdoor wordt het gedrag beïnvloed en dat leidt tot een andere mate van verkeersveiligheid. Onderzoek naar deze causale keten is uiterst moeilijk. Een punt hierbij waarover nog geen consensus bestaat is in hoeverre de mens op verbeterde omstandigheden reageert door (een deel van) het verminderde risico weer te compenseren door gedrag met een groter risico. Vanwege de genoemde problemen zullen we ook hier onze toevlucht moeten nemen tot de black-boxbenadering: we onderzoeken de relatie tussen openbare verlichting en verkeersveiligheid direct, zonder te kijken naar de tussenschakels. Het voordeel is de eenvoudiger onderzoekbaarheid,

een nadeel is de beperktere causale interpreteerbaarheid van de resultaten. Stel, we vinden dat het aanbrengen van openbare verlichting op bepaalde typen wegen leidt tot een lager ongevallenquotiënt op die wegen, dan kan deze maatregel nog nadelig zijn voor de totale verkeersveiligheid: als door verschuivingen in de verkeersstromen als gevolg van de maatregel het risico op de niet-verlichte wegen toeneemt.

Het is nuttig te onderzoeken wat bedoeld kan worden met 'de relatie tussen openbare verlichting en verkeersveiligheid'. Conceptueel het eenvoudigst is die relatie voor een bepaald wegtype waarop zich een bepaalde verkeersstroom voordoet. We vergelijken dan het risico 's nachts zonder openbare verlichting met het risico 's nachts met verschillende uitvoeringsvormen van openbare verlichting. Ook is het zinvol de situatie overdag in de beschouwing te betrekken, omdat immers met openbare verlichting gepoogd wordt de kwaliteit van de verlichting overdag voldoende te benaderen. Het resultaat van de vergelijking is de relatie tussen openbare verlichting en verkeersveiligheid voor dat type weg voor die verkeersstroom. Het is onbekend of (de vorm van) die relatie sterk afhankelijk is van het type weg of kruispunt, of van de aard en omvang van de verkeersstromen, maar dit zou heel goed zo kunnen zijn. Ook zijn er aanwijzingen uit onderzoek dat de uitvoeringsvorm van openbare verlichting een meerdimensionele grootheid is: naast de gemiddelde verlichtingssterkte heeft ook de ongelijkmatigheid van de verlichting invloed. Helaas is zo'n "eenvoudige" relatie in de praktijk niet te bepalen: we hebben nu éénmaal niet de beschikking over zes à tien gelijke wegvakken waarover dezelfde verkeersstromen gaan en die we kunnen voorzien van evenzoveel vormen van openbare verlichting. Maar ook al kon dit wel, dan was het voor ons doel onvoldoende, we zouden het onderzoek moeten herhalen voor vele combinaties van verschillende verkeersstromen (met variërende intensiteiten en verkeerssamenstellingen) over verschillende wegtypen. Het resultaat zou zijn de relatie tussen openbare verlichting en verkeersveiligheid, als functie van verschillende weg- en verkeerskenmerken. Dit zou dan gelden voor bijvoorbeeld droog weer. Voor nat weer zouden de relaties er heel anders uit kunnen zien. Er zijn nog meer variabelen die waarschijnlijk of vermoedelijk een rol spelen. We noemen slechts de leeftijdverdeling van de bestuurders. Een ander probleem is dat van de homogeniteit van de openbare verlichting. Een relatie die geldt voor een "oneindig" lang wegvak geldt waarschijnlijk niet voor een korter stuk tussen twee niet of anders verlichte wegvakken.

Als we nu concluderen dat deze relatie tussen openbare verlichting en verkeersveiligheid niet te bepalen is, rijst de vraag wat dan wel kan.

DE RELATIE: DE PRAKTIJK

In Nederland is een deel van het wegennet buiten de bebouwde kom niet verlicht, de rest heeft openbare verlichting van verschillende kwaliteit. Is het mogelijk uit metingen op dit wegennet een soort gemiddelde relatie af te leiden die voldoende is om als basis te kunnen dienen voor de beantwoording van de vraagstelling uit de inleiding? BGC heeft een onderzoeksvorstel in die richting geformuleerd (BGC, 1986). Naar aanleiding daarvan zijn de volgende opmerkingen te maken. De verlichte wegvakken zijn niet aselekt over alle wegvakken verdeeld, in tegendeel, men heeft verlichting geplaatst waar daar goede redenen voor waren, zoals veel verkeer, veel ongevallen, onoverzichtelijke situaties enz. Het gevolg hiervan is dat er een zekere, maar onbekende mate van correlatie zal zijn tussen de verschillende relevante variabelen. Hierdoor wordt de mogelijkheid van het doen van onderzoek afhankelijk van die correlatie. Een verder probleem is de bepaling van de belangrijkste bijkomende variabele, de verkeersprestatie. Waar het hier om gaat is de verkeersprestatie bij nacht, om precies te zijn, 's nachts als de openbare verlichting brandt. Deze is voor de meeste wegvakken niet bekend. Het is onjuist om, zoals gesuggereerd, deze nachtelijke verkeersprestatie af te leiden uit de dag/nacht-ratio van de ongevallen, omdat eenvoudige algebra laat zien dat dan de relatie tussen de gemiddelde onveiligheid over een etmaal en openbare verlichting gemeten wordt. Het is dus zonder meer nodig de nachtelijke verkeersprestatie van de onderzochte wegvakken onafhankelijk te bepalen van de outputgrootte ongevallen. Deze bepaling zou overigens kunnen gebeuren bij een steekproef uit de relevante wegvakken. Willen wij voor het genoemde wegennet een beeld krijgen van de relatie dan moet aan minstens één van twee voorwaarden voldaan zijn.

De eerste mogelijkheid doet zich voor als een set wegvakken gevonden kan worden die (praktisch) dezelfde nachtelijke verkeersprestatie hebben, maar verschillende niveaus van openbare verlichting. Nog mooier zou het zijn als we zo'n set konden vinden voor verschillende verkeersprestaties. Helaas is onbekend hoe de bivariate verdeling van wegvakken over de variabelen lichtniveau en (nachtelijke) verkeersprestatie er uit ziet. Anders

dan BGC gaan wij er van uit dat die wel eens een hoge mate van correlatie zou kunnen vertonen. De berekening van BGC gaat uit van onafhankelijkheid; afhankelijk van de gevonden mate van afhankelijkheid in de tabel zullen problemen ontstaan met de celvulling.

De tweede mogelijkheid is aanwezig als het lukt een combinatie van wegvakken (die voorzien zijn van een bepaald niveau van openbare verlichting) en perioden te vinden waarvoor geldt dat de verkeersprestatie bij duisternis en brandende openbare verlichting gelijk is aan die bij daglicht. Onze geografische ligging schept die mogelijkheid in principe, omdat een aan kloktijd gebonden verplaatsingspatroon als de avondspits soms (in het winterseizoen) bij duisternis plaats vindt en in de rest van het jaar bij daglicht. De seizoenverschillen in verkeersprestatie moeten dan niet te groot zijn. Het resultaat is dan de nacht/dag-verhouding van het risico voor de onderzochte verlichtingsniveaus en verkeersprestaties. Die kunnen dan weer onderling vergeleken worden.

Om zekerheid te verkrijgen of aan één van de twee voorwaarden voldaan is, is het nodig om de relevante wegvakken te inventariseren naar niveau van openbare verlichting en naar (nachtelijke) verkeersprestatie. Het verdient aanbeveling ook de situatie overdag en wegvakken zonder openbare verlichting in de beschouwing te betrekken, omdat dan over een veel grotere range van lichtniveaus informatie verkregen wordt. Dan is ook de verkeersprestatie overdag nodig. Er zal rekening moeten worden gehouden met seizoen-effecten. Dit betekent dat de prestaties gemeten moeten worden in de verschillende seizoenen. Na een eerste fase van deze aard kan besloten worden of, en zo ja welk type, onderzoek gedaan kan worden. Het verdient aanbeveling aansluiting te zoeken bij de resultaten van de inventarisatie van het eerste en tweede wegennet zoals die door de SWOV zijn verricht. Bij het door de SWOV uitgevoerde relatie-onderzoek tussen weg-, verkeers- en onveiligheids-grootheden in het project Noord-Brabant is uitgegaan van een volledige inventarisatie van het Brabantse wegennet, waaronder ook gegevens over openbare verlichting. Deze gegevens en de gehanteerde programmatuur kunnen vermoedelijk tot dit onderzoek bijdragen.