

LICHTMASTEN EN OPENBARE VERLICHTING: KOSTEN IN RELATIE TOT
VERKEERSVEILIGHEID; EEN BESLISSINGSMODEL

R-77-25

Ir. F.C. Flury

Voorburg, mei 1977

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

Voorwoord

Samenvatting *Summary*

1. Inleiding

2. Botsingen met wegmeubilair en de gevolgen ervan
 - 2.1. Maatregelen gericht op mens en voertuig
 - 2.2. Maatregelen gericht op het wijzigen van obstakels

3. Besluitvormingsprocedure
 - 3.1. Het beslissingsmodel
 - 3.2. Praktische toepassing van het beslissingsmodel

4. Openbare verlichting
 - 4.1. Algemeen
 - 4.2. Lichtmasten en openbare verlichting

5. Mogelijkheden tot verbetering van de onderzoekopzet
 - 5.1. Het meten van de geïntroduceerde fout
 - 5.2. Het corrigeren voor de intensiteit
 - 5.3. Het kiezen van andersoortige vergelijkingsgroepen
 - 5.4. Het uitsplitsen van aantallen ongevallen
 - 5.5. Slotopmerkingen

Afbeeldingen 1 t/m 3

Tabellen 1 t/m 3

Literatuur

VOORWOORD

Door de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV wordt een onderzoek "Obstakels in wegbermen" uitgevoerd, waarin de mogelijkheden worden onderzocht om de zone naast de rijbaan zo veilig mogelijk te maken. Gevaarlijke objecten (zoals palen en bomen) moeten zoveel mogelijk uit de berm geweerd worden. Als ze er echter noodzakelijk zijn, moeten ze zodanig worden ingepast, dat ze zo weinig mogelijk risico opleveren voor verkeersdeelnemers die van de weg afraken. Naast een aantal artikelen en rapporten zijn over dit onderwerp tot nu toe drie SWOV-publikaties verschenen:

1. Obstakels in wegbermen: Literatuurstudie betreffende onderzoek omtrent het gedrag van obstakels bij botsingen.
2. Lichtmasten: Onderzoek naar het gedrag van lichtmasten bij zijdelingse en frontale botsproeven met personenauto's.
3. Gevaren bij het omvallen van lichtmasten: Overwegingen bij het plaatsen van voor personenauto's weinig agressieve lichtmasten.

In de toekomst zal nog een aantal rapporten worden gepubliceerd, waarvan er één zal zijn getiteld:

Obstakelvrije zone: Onderzoek naar de relatie tussen aanrijdingen tegen obstakels langs diverse typen wegen en de laterale afstand van deze obstakels tot de wegrand.

In dit rapport behandelt ir. F.C. Flury een beslissingsmodel dat gehanteerd kan worden voor het al-dan-niet aanbrengen van wegmeubilair (obstakels die een nuttige functie hebben). Het kan ook gebruikt worden bij besluitvorming over het constructief wijzigen of het afschermen van wegmeubilair. Daarbij zal steeds het effect van een maatregel op de verkeersveiligheid worden afgewogen tegen de economische consequenties ervan.

Ir. E. Asmussen

Directeur Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

SAMENVATTING

Bij het verkeersveiligheidsbeleid in Nederland worden maatregelen steeds meer gebaseerd op een kwantitatieve analyse van de effecten en de kosten van die maatregelen. Voor een rationele beslissingsprocedure is het noodzakelijk alle relevante effecten van maatregelen zo objectief mogelijk te bepalen. Het relatieve belang van deze effecten wordt echter bepaald op basis van een subjectief waarde-oordeel.

De verwachte effecten en kosten van maatregelen die betrekking hebben op wegmeubilair, zijn verwerkt in een beslissingsmodel. Dit beslissingsmodel kan gehanteerd worden voor het al-dan-niet aanbrengen van wegmeubilair (bijvoorbeeld openbare verlichting) op een bepaald weggedeelte. Het kan ook gebruikt worden bij besluitvorming over het constructief wijzigen of het afschermen (bijvoorbeeld met een geleiderailconstructie) van wegmeubilair.

Er is een uitgebreid voorbeeld opgenomen van de toepassing van het beslissingsmodel bij het aanbrengen van openbare verlichting. Met name is aandacht besteed aan een methodologische tekortkoming van het kwantitatieve onderzoek dat tot dusver verricht is naar het effect van openbare verlichting op de verkeersveiligheid. Deze methodologische fout leidde tot een systematische overschatting van het effect.

De mogelijkheden tot verbetering van de onderzoekopzet zijn aangegeven.

1. INLEIDING

Beslissingen over overheidsmaatregelen worden in Nederland, evenals in vele andere landen, steeds vaker genomen met behulp van wetenschappelijk gefundeerde besluitvormingsprocedures. Er treedt een verschuiving op van subjectieve waarde-oordelen naar objectief meetbare indicatoren die getoetst kunnen worden aan kwantitatieve criteria.

Van de onderzoekprojecten die door de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV zijn en worden uitgevoerd ten behoeve van het verkeersveiligheidsbeleid, is een belangrijk deel gericht op de beantwoording van de volgende vragen:

1. Is een bepaalde maatregel die overwogen wordt bevorderlijk voor de verkeersveiligheid?
2. Hoe groot is het effect van een maatregel op de verkeersveiligheid?
3. Welke variant van een bepaald type verkeersveiligheidsmaatregel heeft het meeste effect?

De eerste vraag is kwalitatief, de tweede vraag kwantitatief en de derde vraag tendeeft enigszins naar optimalisering. Zolang echter de voor het verkeersveiligheidsbeleid beschikbare middelen niet bij benadering toereikend zijn om de risico's van het verkeer uit te bannen, is er behoefte aan doelmatiger methoden voor de besluitvorming. Dat betekent dat men zich de vraag moet stellen wat een bepaalde maatregel bijdraagt tot de verkeersveiligheid in verhouding tot de kosten ervan. Op de beantwoording van deze vraag wordt in dit rapport ingegaan. Dat betekent echter niet dat daarmee het subjectieve waarde-oordeel geheel verdwijnt; zeker op het hoogste beleidsniveau is het onmisbaar. Het komt daar bijvoorbeeld tot uitdrukking in de beslissing dat de verkeersonveiligheid maatschappelijk gezien een zo ernstige zaak is, dat een bepaald deel van de gemeenschapsmiddelen voor de bestrijding ervan aangewend dient te worden.

Er bestaat tot dusver geen universele norm waaruit afgeleid kan worden welk deel van de gemeenschapsmiddelen aan een bepaald specifiek doel toegewezen moet worden. Indien echter een bepaald budget aan het verkeersveiligheidsbeleid is toegewezen, kan de eis gesteld worden dat dit zo wordt gebruikt, dat met elke andere wijze van besteden de verkeersveiligheid minder is gediend. Het is mogelijk een besluitvormingsprocedure te ontwikkelen waarbij, althans in theorie, aan deze eis voldaan wordt (Flury, 1972 en 1974). Daarbij wordt elke feitelijke mogelijkheid van vrije keuze uitgesloten. Immers, maatregelen die per bestede gulden meer tot de verkeersveiligheid bijdragen, worden automatisch verkozen boven andere maatregelen. Maatregelen die per bestede gulden een gelijke bijdrage tot de verkeersveiligheid geven, worden collectief verkozen of verworpen. In het onwaarschijnlijke geval dat de budgettaire limiet binnen een dergelijke groep maatregelen valt, is de keus uit veiligheidsoverwegingen niet relevant. In de praktijk zal een dergelijke optimale besluitvorming niet gerealiseerd kunnen worden, omdat op het moment van de beslissing voor veel maatregelen de kosten slechts bij benadering bekend zijn. De grootte van het effect op de verkeersveiligheid is meestal niet meer dan een ruwe schatting en soms alleen maar de overtuiging dat het effect gunstig is. Het zal dan dus pas achteraf kunnen blijken wanneer een deel van de gestelde prioriteiten niet optimaal was. Dit zal minder voorkomen naarmate betrouwbaarder en nauwkeuriger gegevens bekend zijn over kosten en effecten van maatregelen. Een ander aspect is, dat de meeste maatregelen niet uitsluitend van invloed zijn op de verkeersveiligheid maar ook andere maatschappelijke grootheden gunstig of ongunstig beïnvloeden. De verschillende effecten moeten dan tegen elkaar afgewogen worden, zodat van een specifiek verkeersveiligheidsbeleid in de praktijk zelden sprake zal zijn. Veeleer zal er sprake zijn van een algemeen vervoers- en verkeersbeleid waarin de verkeersveiligheid een belangrijk criterium vormt. Op het hoogste beleidsniveau zal zelfs vaak sprake zijn van een integraal ruimtelijke ordeningsbeleid, waarvan het vervoers- en verkeersbeleid als essentiële functie deel uitmaakt.

2. BOTSINGEN MET WEGMEUBILAIR EN DE GEVOLGEN ERVAN

Een belangrijke categorie verkeersongevallen zijn de botsingen met vaste voorwerpen, obstakels. Een speciale groep obstakels wordt gevormd door het wegmeubilair; dit wordt gewoonlijk langs de wegen geplaatst met de bedoeling de verkeersafwikkeling of de verkeersveiligheid te bevorderen. Bij beslissingen over het aanbrengen van wegmeubilair dient het nut van de primaire functie afgewogen te worden tegen het nadeel van verhoogd risico indien op die plaats een voertuig van de weg afraakt.

Bij botsingen tegen obstakels kan door maatregelen een vermindering van de kans op letsel en van de ernst van letsel bereikt worden.

In het algemeen zal het verloop van een botsing met een obstakel, de kans op het ontstaan van letsel daarbij en de aard en de ernst van het letsel van een groot aantal factoren afhangen. De lichamelijke letsels die tijdens de botsing ontstaan, worden bepaald door de grootte en de verdeling van de inwendige en uitwendige belastingen op het lichaam van de verkeersdeelnemer en door zijn incasseringsvermogen (human tolerance): de lichamelijke conditie, de bouw en structuur van het lichaam en de mechanische eigenschappen van weefsels. De belastingen waaraan het lichaam tijdens de botsing onderworpen wordt, worden bepaald door de bewegingstoestand van verkeersdeelnemer en voertuig bij het begin van de botsing, door de vorm en structuur van obstakel en voertuig en door het mechanisch gedrag van het obstakel tijdens de botsing. Een uitvoeriger beschouwing hierover is te vinden in SWOV (1976).

In de complexe gebeurtenis die een botsing is, kan op tal van manieren worden ingegrepen om het verloop en de afloop van de botsing te beïnvloeden. De maatregelen die vermindering van de kans op letsel of de ernst ervan tot doel hebben, kunnen onderscheiden worden in een aantal categorieën. Men kan bijvoorbeeld

denken aan maatregelen die gericht zijn op het voertuig, op het obstakel, of op beide.

2.1. Maatregelen gericht op mens en voertuig

Door gezondheidszorg, doelmatige voeding en lichaams oefeningen kan de lichamelijke conditie verbeterd worden. Dit leidt vermoedelijk tot een vergroting van het incasseringsvermogen. Daarover is echter weinig bekend.

De meeste maatregelen zijn gericht op het verminderen van de belasting die tijdens een botsing op het lichaam van de verkeersdeelnemer inwerken.

Door bekleding of "pantsering" van het lichaam kan een gunstiger verdeling van de belastingen op het lichaam bereikt worden. Voorbeelden daarvan zijn helmen voor motorrijders en bromfietzers en ook de leren kleding die door veel motorrijders gedragen wordt. Een gunstiger verdeling van de belasting op het lichaam wordt eveneens bevorderd door het vermijden van scherpe uitstekende delen aan en in het voertuig en door het gebruik van autogordels. Deze gordels hebben de functie om belastingen op het lichaam die onvermijdelijk zijn, te laten inwerken op de minst kwetsbare delen van het lichaam.

De grootte van de belastingen tijdens de botsing kan gereduceerd worden door het voertuig van kreukelzones te voorzien, waardoor een langere afremweg ontstaat en de optredende vertragingen kleiner worden.

2.2. Maatregelen gericht op het wijzigen van obstakels

Een verlenging van de afremweg en een vermindering van vertragingen en de daarmee samenhangende belastingen kan ook bereikt worden door obstakels te verwijderen, constructief te wijzigen of af te schermen. Verwijdering van een obstakel is in veel gevallen het meest effectief. Het uit de koers geraakte voertuig krijgt dan in het algemeen meer ruimte ter beschikking om zonder bot-

sing weer in de juiste koers of tot stilstand te komen. Vaak echter komt deze maatregel niet in aanmerking, omdat het obstakel een nuttige of onmisbare functie vervult. In een aantal gevallen kunnen obstakels zo geconstrueerd worden dat zij bij een botsing gemakkelijk vervormen en daardoor maar betrekkelijk kleine belastingen op het botsende voertuig uitoefenen. Indien constructieve wijzigingen aan het obstakel zelf onvoldoende effect sorteren, kan een botsing met het obstakel verhinderd worden door het achter een beveiligingsconstructie te plaatsen die zo is ontworpen dat een botsing daarmee het kleinst mogelijke risico oplevert. Deze maatregel wordt eveneens toegepast om andersoortige risico's te vermijden.

Langs de Nederlandse wegen komt een grote verscheidenheid van obstakels voor. Ten dele bevinden deze zich op particulier terrein maar vaak zo dicht bij de weg dat een uit de koers geraakte verkeersdeelnemer daarmee in botsing kan komen. Op de aanwezigheid en constructie van deze obstakels heeft de overheid zelden vat. Anders is het met de obstakels die zich bevinden op gebied dat tot de openbare weg behoort. De meest voorkomende soorten van deze obstakels zijn:

- bomen
- lichtmasten
- verkeersborden
- bewegwijzeringsborden
- praatpalen
- verkeersgeleiders
- kilometer- en hectometerpalen
- taluds en sloten
- geleiderailconstructies
- verkeerslichteninstallaties
- wachthuisjes bij bushaltes

De drie genoemde categoriën maatregelen die op de obstakels zelf betrekking hebben - verwijdering, constructieve aanpassing of

afscherming door beveiligingsconstructies - zijn niet op alle obstakels toepasbaar. Zijn zij wel toepasbaar, dan heeft men vaak de keus uit meerdere maatregelen. Bomen kunnen gekapt worden of afgeschermd worden door beveiligingsconstructies (constructieve wijzigingen van deze obstakels zelf zijn - voor zover bekend - nooit overwogen!). Wel wordt bij de keuze van de beplanting met het botsingsgevaar rekening gehouden. Lichtmasten, verkeersborden, bewegwijzeringsborden en verkeerslichten vervullen een nuttige en vaak noodzakelijke functie langs de weg, veelal ook uit een oogpunt van verkeersveiligheid. De essentiële component wordt bijna altijd op palen gemonteerd. Constructieve wijzigingen van het obstakel ter vermindering van het risico bij botsingen blijken over het algemeen gunstige resultaten op te leveren bij niet te zware constructies. Vaak is er dan keuze uit verschillende constructieve oplossingen. Bij zeer zware obstakels zullen wijzigingen van het obstakel zelf doorgaans niet het gewenste effect opleveren, zodat dan afscherming door middel van een geleiderail of andere beveiligingsconstructie voor de hand ligt.

3. BESLUITVORMINGSPROCEDURE

In het algemeen heeft de wegbeheerder de beschikking over één of meer categorieën maatregelen ter vermindering van het risico bij botsingen tegen obstakels. Vaak is er binnen een bepaalde categorie maatregelen nog weer keuze uit verschillende uitvoeringsvormen of constructieve oplossingen. Ook wanneer er slechts één geschikte maatregel is ter bestrijding van de botsingsrisico's, heeft de wegbeheerder nog keus. De betreffende maatregel kan geaccepteerd of afgewezen worden.

Bij de desbetreffende beslissingen spelen niet alleen het veiligheidsaspect en de kosten een rol. De invloed van de maatregel op de mate waarin het obstakel zijn primaire functie vervult, moet mede in de beoordeling betrokken worden.

Behalve het risico in geval van een botsing kan een obstakel nog andere gunstige of ongunstige neveneffecten hebben. Ook de mate waarin deze veranderen als gevolg van een maatregel dienen in het beslissingsproces verwerkt te worden. Objecten langs de weg kunnen bijvoorbeeld van invloed zijn op de informatie die de weggebruiker krijgt over het verloop van de weg, over het overige verkeer en over de geldende gedragsregels. Deze informatie kan van belang zijn voor het verkeersgedrag, met name het manoeuvregedrag en de routekeuze. Bovendien beïnvloeden de objecten het wegbeeld in esthetisch of landschappelijk opzicht.

Voor een rationele beslissingsprocedure is het noodzakelijk alle relevante effecten van maatregelen zo objectief mogelijk kwantitatief te bepalen. Het relatieve belang van deze effecten, voor zover zij ongelijksoortig zijn, wordt bepaald op basis van een subjectief waarde-oordeel.

3.1. Het beslissingsmodel

Ten aanzien van overheidsmaatregelen zijn drie typen beslissingen te onderscheiden:

1. De aanvaarding of de verwerping van een bepaalde maatregel.
2. De voorkeur voor een bepaalde maatregel boven alternatieve mogelijkheden.
3. De selectie van een deelverzameling uit een grotere verzameling mogelijke maatregelen.

Bij beslissingen over afzonderlijke maatregelen kan elke beslissingsregel op analoge wijze geformuleerd worden, namelijk:

"Tot de maatregel M_i wordt besloten, indien voldaan is aan de voorwaarde V_i ".

De voorwaarde is gewoonlijk uit te drukken in een ongelijkheid van de vorm:

$$Q_i > Q_o \quad (1)$$

waarin Q_i een kwaliteitskenmerk van de maatregel M_i voorstelt en Q_o een ondergrens voor dit kenmerk.

Bij ondernemingen met winstoogmerk worden tal van beslissingen genomen over maatregelen of projecten waarbij het enige of het doorslaggevende kwaliteitskenmerk bestaat uit het boekhoudkundig saldo. De beslissingsvoorwaarde is dan:

$$S_i = B_i - K_i > 0 \quad (2)$$

waarin S_i het saldo is van de baten B_i en de kosten K_i . De beslissingsvoorwaarde kan ook op twee andere manieren geformuleerd worden:

$$B_i > K_i \quad \text{of: } B_i/K_i > 1 \quad (3)$$

De laatste schrijfwijze is alleen equivalent met de andere formules indien $K_i > 0$ is. Voor een doelmatige besluitvorming is het noodzakelijk, dat men op het moment van de beslissing de kosten en de baten van de betreffende maatregel kent of tenminste beschikt over een zo betrouwbaar mogelijke prognose van kosten en baten.

De techniek die in de beleidsvoorbereiding wordt gehanteerd om tot een dergelijke prognose te komen, heet kosten-baten-analyse. Bij de overheid komen op alle bestuursniveaus tal van beslissingen voor waarbij het economisch belang overheerst. In zulke gevallen kan dezelfde beslissingsregel op basis van een kosten-baten-analyse worden toegepast.

De overheid draagt echter ook de verantwoordelijkheid voor het bevorderen van het algemeen welzijn (bijvoorbeeld door middel van de gezondheidszorg) en voor het bestrijden van een maatschappelijk kwaad als de verkeersonveiligheid. In dergelijke gevallen is een beleidsvoorbereiding door middel van kosten-baten-analyse ontoereikend.

Bij maatregelen ter bevordering van de verkeersveiligheid blijft een beschouwing van de financieel-economische consequenties noodzakelijk. Er moet echter meer gedaan worden. De beslissingsvoorwaarde dient gebaseerd te worden op de vraag of de waarde die wordt toegekend aan de verkregen resultaten (de verbetering van de gezondheidstoestand respectievelijk de vermindering van de verkeersrisico's), opweegt tegen de waarde die wordt toegekend aan de offers en inspanningen die nodig zijn voor de verwezenlijking van de maatregel. De beleidsvoorbereiding dient dan ook kwantitatieve informatie op te leveren over het resultaat van de maatregel ten aanzien van de doelstelling. In concreto dient bij verkeersveiligheidsmaatregelen de analyse ten minste informatie te verschaffen over het aantal verkeersslachtoffers dat gespaard kan worden als resultaat van een maatregel. Omdat velen de term baten exclusief wensen te reserveren voor de economische baten, is het nuttig in dergelijke gevallen niet te spreken van baten-kosten-analyse maar bijvoorbeeld van veiligheid-kosten-analyse of meer algemeen van effecten-kosten-analyse. In het eenvoudigste geval is er buiten de financiële consequenties van de maatregel slechts één andere consequentie. Voor het verwezenlijken van een maatregel M_i moeten bepaalde kosten K_i gemaakt worden. De maatregel heeft ten aanzien van het gestelde doel (verkeersveiligheid) een bepaald resultaat (vermindering

van slachtoffers met een aantal R_i). De besparing op het aantal slachtoffers heeft ook economisch nut in de vorm van besparing op kosten voor medische behandeling, besparing op arbeidsongeschiktheid enzovoorts.

De baten kunnen worden uitgedrukt als produkt van de gemiddelde economische schade per slachtoffer B en het aantal bespaarde slachtoffers.

$$B_i = \beta \cdot R_i \quad (4)$$

De kosten van verwezenlijking van de maatregel kunnen worden opgevat als brutokosten. De brutokosten, verminderd met de baten, kunnen worden opgevat als nettokosten N_i :

$$N_i = K_i - B_i \quad (5)$$

De beslissingsvoorwaarde voor het verkeersveiligheidsbeleid kan nu zó geformuleerd worden dat de besparing aan slachtoffers in verhouding tot de nettokosten een bepaalde waarde overtreft:

$$R_i / N_i > q \quad (6)$$

Deze uitdrukking geldt ook weer uitsluitend indien $N_i > 0$. De algemeen geldige beslissingsvoorwaarde is:

$$R_i > qN_i \quad \text{of: } R_i - qN_i > 0 \quad (7)$$

De vergelijkingen (4), (5) en (7) kunnen worden samengevoegd tot de uitdrukking:

$$R_i > q(K_i - \beta \cdot R_i) \quad (8)$$

Behalve in formules kunnen de beslissingsvoorwaarden (2) en (7) ook grafisch worden weergegeven. Beslissingsvoorwaarde (2) is grafisch weergegeven in de Afbeeldingen 1a en 1b. Beide afbeel-

dingen geven identieke informatie, maar Afbeelding 1b is geschikter om een groot aantal maatregelen in één diagram weer te geven. Beslissingsvoorwaarde (7) is grafisch weergegeven in Afbeelding 2.

Maatregelen waarover volgens de beslissingsvoorwaarden gunstig wordt beslist, worden voorgesteld door een punt dat:

- in Afbeelding 1a rechts van het nulpunt ligt;
- in Afbeelding 1b rechts boven de lijn $B = K$ ligt;
- in Afbeelding 2 rechts boven de lijn $R = qN$ ligt.

Beslissingen over de keuze van één maatregel uit een aantal alternatieven kan in principe op dezelfde beslissingsvoorwaarden gebaseerd worden. Deze dienen dan toegepast te worden op de verschillen tussen twee maatregelen wat betreft hun kosten en baten of wat betreft hun nettokosten en resultaten. Eén van de maatregelen zal in het algemeen een betere blijken dan de andere. De meest doelmatige van beide maatregelen wordt vergeleken met een andere mogelijke maatregel. Deze procedure wordt herhaald tot de optimale keus bepaald is. Bij zo'n reeks vergelijkingen dient altijd ook de mogelijkheid van niets doen overwogen te worden: de zogenaamde nulmaatregel, die niets kost en niets oplevert.

Beslissingen over de selectie van een deelverzameling maatregelen uit een grotere verzameling mogelijke maatregelen zijn in wezen gelijk aan die van het vorige geval. Er bestaat slechts dit verschil, dat verzamelingen maatregelen met elkaar vergeleken worden in plaats van afzonderlijke maatregelen.

De beschreven beslissingsvoorwaarden kunnen uitgebreid worden met een willekeurig aantal dimensies naarmate de te beoordelen maatregelen meer ongelijksoortige, maatschappelijk relevante grootheden beïnvloeden.

Indien een maatregel M_i van invloed is op een aantal welzijnsaspecten, bijvoorbeeld verkeersveiligheid, mobiliteit en landschappelijk schoon, dan kan de beslissingsregel (8) toegepast worden op het effect van de maatregel ten aanzien van het alge-

meen welzijn. Het resultaat R_i van de maatregel met betrekking tot het algemeen welzijn kan dan worden opgevat als gewogen som van de resultaten van de maatregel ten aanzien van de welzijnscomponenten verkeersveiligheid (R_{vi}), mobiliteit (R_{mi}) en landschappelijk schoon (R_{li}). De beslissingsregel voor maatregelen met een meervoudige uitwerking wordt gevonden door in (8) te substitueren:

$$R_i = \varphi \cdot R_{vi} + \mu \cdot R_{mi} + \lambda \cdot R_{li} \quad (9)$$

waarin φ , μ en λ de bijbehorende weegfactoren zijn.

3.2. Praktische toepassing van het beslissingsmodel

De in paragraaf 3.1. beschreven beslissingsregel (8) op basis van de verhouding tussen resultaten en nettokosten kan in praktijk worden gebracht, indien voldoende ervaringsgegevens en/of theoretische kennis beschikbaar zijn om een prognose te maken van de kosten, de resultaten en de baten van de te beoordelen maatregelen. Bovendien moet een beleidsoordeel bekend zijn over een ondergrens (q) voor de beslissingsvoorwaarden. Omdat de beslissingsregel een recente ontwikkeling is, is een dergelijk beleidsoordeel nog niet expliciet gemaakt. Het zich echter wel impliciet in beslissingen die over maatregelen van vergelijkbare aard genomen zijn. In principe kan op die basis de ondergrens berekend worden, indien de overige grootheden in de beslissingsvoorwaarde voor de betreffende maatregelen kwantitatief bekend zijn.

Bij de registratie van verkeersongevallen worden in Nederland voor diverse categorieën verkeersdeelnemers onder andere de aantallen ongevallen met obstakels en de daarbij opgetreden letsels vermeld. In de processen-verbaal van de politie over dergelijke ongevallen worden vaak nadere details gegeven over de aard van het obstakel. Deze gegevens werden echter tot voor kort door het CBS niet verwerkt. Uit routinematig verwerkte gegevens kon dus niet worden vastgesteld het risico van botsingen

met obstakels over de diverse typen obstakels verdeeld was en van welke factoren de grootte van dat risico afhankelijk was.

Voor zover kwantitatieve gegevens beschikbaar zijn, zijn deze gebaseerd op een vrij beperkte hoeveelheid ongevallen, waardoor de uitkomsten weinig nauwkeurig zijn en zeker niet generaliseerbaar.

De Dienst Verkeersongevallenregistratie (VOR) te Heerlen biedt wel de mogelijkheid om een verdere uitsplitsing te maken, maar de benodigde gegevens zijn op dit moment nog niet in voldoende hoeveelheden beschikbaar. Voorlopig zal gewerkt moeten worden met informatie die uit andere bronnen afkomstig is, met name met gegevens die speciaal ten behoeve van evaluatie-onderzoek verzameld zijn.

Bij de vraag of een bepaald gedeelte van het wegennet voorzien moet worden van een bepaald soort wegmeubilair, zijn de volgende gegevens van belang:

1. De kosten, zowel voor het installeren als voor onderhoud en eventueel bediening, stroomvoorziening, enzovoort.
2. De resultaten die verband houden met de beoogde functie.
3. De economische baten die verband houden met de beoogde functie.
4. De resultaten die verband houden met niet beoogde neveneffecten.
5. De economische baten of schaden die verband houden met niet beoogde neveneffecten.

De onder 1, 3 en 5 genoemde economische aspecten zijn betrekkelijk eenvoudig tegen elkaar af te wegen. Uiteraard zijn eenmalige investeringen en jaarlijks terugkerende onkosten van bedrijf en onderhoud niet zonder meer bij elkaar op te tellen. Eenmalige investeringen kunnen echter geïnterpreteerd worden als jaarlijkse kosten van renteverlies. Omgekeerd kunnen jaarlijkse kosten en baten worden gekapitaliseerd, dat wil zeggen: ze kunnen worden uitgedrukt in het kapitaal dat moet worden gereserveerd om de jaarlijkse kosten uit de rente te kunnen bestrijden of ze kunnen worden uitgedrukt in het kapitaal dat een rente oplevert die gelijk is aan de jaarlijkse baten.

Met de resultaten die onder 2 en 4 genoemd zijn, wordt de maat-

schappelijke invloed van een bepaald soort wegmeubilair bedoeld die niet economisch waardeerbaar is. Bijvoorbeeld de invloed op de verkeersveiligheid, de mobiliteit, het reiscomfort, de geluids-overlast, de luchtverontreiniging en landschappelijke aspecten. Voor de besluitvorming is de aard en de omvang van een dergelijke maatschappelijke invloed van wezenlijk belang, en niet zozeer of deze beoogd werd dan wel als onbedoeld neveneffect optreedt. De onbedoelde neveneffecten worden hier afzonderlijk vermeld omdat de praktijk leert, dat deze gemakkelijk over het hoofd gezien worden of tenminste sterk onderschat worden. In het verleden is dit met name het geval geweest ten aanzien van het risico van de obstakelwerking van vele soorten wegmeubilair. Wanneer verkeersdeelnemers van de weg afraken, kunnen zij namelijk tegen wegmeubilair botsen. Het risico hiervan dient bij de beslissing over het al-dan-niet aanbrengen van wegmeubilair afgewogen te worden tegen het functionele nut. In de volgende twee voorbeelden worden de ongunstige neveneffecten aangegeven van twee maatregelen die tot doel hebben de verkeersveiligheid te bevorderen.

De primaire functie van geleiderailconstructies in de middenberm is te verhinderen dat voertuigen die van de weg afraken, de middenberm doorkruisen en op de weghelft voor het tegemoetkomend verkeer frontaal botsen met een tegenligger. Dit zeer ernstige type ongeval overkwam slechts een klein deel van de voertuigen die van de weg raakten. Het merendeel bleef in de middenberm steken en kon zonder of met beperkte schade zijn reis voortzetten. Voor deze laatste groep verkeersdeelnemers is de kans op schade door aanrijding met de geleiderailconstructie aanmerkelijk toegenomen. Tegenover een vermindering van het aantal zeer ernstige ongevallen staat dus een veel grotere toename van het aantal minder ernstige ongevallen.

Een belangrijk - en in veel gevallen het enige - motief voor het aanbrengen van openbare verlichting is de bevordering van de verkeersveiligheid bij duisternis door verbetering van de waarneembaarheid van de weg het zich daarop bevindende verkeer. Tegelijkertijd echter ontstaat voor verkeersdeelnemers die van de weg af-

raken het risico van een botsing met een lichtmast. Ook in dit geval dienen bij de besluitvorming gunstige en ongunstige invloeden op de verkeersveiligheid tegen elkaar te worden afgewogen.

In beide voorbeelden zijn van de beschouwde maatregel gunstige en ongunstige effecten met betrekking tot de verkeersveiligheid en de financiële gevolgen te verwachten. Bij de beoordeling van de beschouwde maatregel dient het totale resultaat van deze tegengestelde effecten bepalend te zijn voor de besluitvorming. Mogelijke uitkomsten van een volledige analyse van de gevolgen van een verkeersveiligheidsmaatregel zijn grafisch weergegeven in Afbeelding 3.

De kosten van de maatregel bedragen K . Het beoogde effect D bestaat uit een toename van de verkeersveiligheid V_D en het daarmee samenhangende economische profijt B_D .

Als neveneffect N wordt een risicofactor, dus een afname van de verkeersveiligheid V_N , en de daarmee samenhangende economische schade B_N geïntroduceerd.

In Afbeelding 3 zijn de zes principieel verschillende mogelijke uitkomsten R weergegeven.

De uitkomsten R_I , R_{IIa} en R_{IVa} voldoen aan de norm $V - q_v K > 0$. De uitkomsten R_{IIb} , R_{III} en R_{IVb} voldoen niet aan de norm.

Wanneer de ongunstige neveneffecten van een maatregel zo groot kunnen worden dat ze bij de besluitvorming niet te verwaarlozen zijn, kan niet meer volstaan worden met een globale raming van effecten en kosten. In dat geval dient het beslissingsproces gebaseerd te worden op betrouwbare en nauwkeurige kwantitatieve gegevens.

4. OPENBARE VERLICHTING

4.1. Algemeen

Openbare-verlichtingsinstallaties behoren tot de meest voorkomende soorten wegmeubilair. De maatregel wordt toegepast om redenen van algemene veiligheid zowel als ter bevordering van de verkeersafwikkeling en de verkeersveiligheid.

Naar het effect van openbare verlichting op de verkeersveiligheid is veel onderzoek verricht. Uit verkeersongevallengegevens is bekend dat lichtmasten gewoonlijk in geval van een aanrijding ernstig risico veroorzaken.

De beoordelingsaspecten die in de eerste twee hoofdstukken voor wegmeubilair in het algemeen besproken werden, zijn blijkbaar ook van belang in het geval van openbare verlichting. De in het derde hoofdstuk besproken besluitvormingsprocedure kan dan ook in principe toegepast worden op de concrete beleidsvraag of en in welke vorm in een gegeven situatie openbare verlichting moet worden geïnstalleerd.

In feite werd in het kader van het onderzoek "Obstakels" primair de beleidsvraag gesteld, of maatregelen ter vermindering van het risico van een aanrijding tegen een lichtmast voldoende doelmatig zouden zijn, dat wil zeggen of er een voldoende aantal slachtoffers zou kunnen worden gespaard in verhouding tot de extra kosten voor dergelijke maatregelen.

Het is te voorzien dat het antwoord op deze vraag - onder overigens gelijke omstandigheden - voor de keuze tussen starre masten en masten met ingebouwde veiligheid bij een nieuw aan te leggen installatie anders kan luiden dan voor de beslissing om de lichtmasten van een bestaande installatie door andere te vervangen.

Dit was aanleiding om het complete systeem in de analyse te betrekken, dat wil zeggen, onderscheid te maken naar de afzonderlijke effecten op de verkeersveiligheid van

- a. het verlichtingsstelsel, ongeacht de wijze van ondersteuning;
- b. de lichtmasten voor wat betreft hun werking als obstakel;
- c. de in de lichtmasten door middel van materiaalkeus of constructieve vormgeving ingebouwde beveiliging.

Bij deze analyse werd gebruik gemaakt van resultaten van onderzoek naar het effect van openbare verlichting op de verkeersveiligheid. In de bij dit soort onderzoek algemeen gebruikelijke opzet werd een methodologische fout ontdekt, die leidt tot een systematische overschatting van het effect van openbare verlichting.

In dit hoofdstuk wordt dit methodologische aspect behandeld en worden mogelijkheden voor een verbeterde onderzoekopzet aangegeven. Op grond van beschikbare gegevens wordt een schatting gegeven van de mogelijke grootte-orde van de genoemde systematische overschatting en de consequenties daarvan voor de besluitvorming.

4.2. Lichtmasten en openbare verlichting

Het doel van wegverlichting is om de openbare weg, de onmiddellijke omgeving ervan, het zich erop bevindende verkeer en overige objecten te verlichten en daardoor de visuele waarneming onder omstandigheden van slecht zicht, met name bij schemer en duisternis, te bevorderen. Uitgangspunt hierbij is de verwachting dat een verbetering van de waarnemingsmogelijkheden resulteert in een vermindering van het aantal onjuiste beslissingen van verkeersdeelnemers. Dit heeft een gunstig effect op de verkeersveiligheid, het reiscomfort en de verkeersafwikkeling. De wegverlichting wordt technisch gerealiseerd door een patroon van lichtbronnen boven of naast de weg aan te brengen. De meest gangbare wijze van bevestiging van deze lichtbronnen is aan lichtmasten.

Als een verkeersdeelnemer van de weg afraakt, kan de aanwezigheid van lichtmasten naast de rijbaan de kans op een ernstige afloop vergroten. Door toepassing van speciale materialen (bijvoorbeeld aluminium) of door een speciale constructiewijze kan bereikt worden, dat de lichtmast bij een botsing minder weerstand geeft. Daardoor zal de botsende verkeersdeelnemer kleinere belastingen ondervinden en zal zijn risico van letsel verminderen. Bij beslissingen over de aanleg van openbare verlichting in het kader van de verkeersveiligheid dient men niet alleen rekening te houden met factoren die de kans op een botsing beïnvloeden (pre-crash-aspecten), maar ook met factoren die

van invloed zijn op de afloop van een botsing (crash-aspecten). Tot dusver werden de crash-aspecten altijd buiten beschouwing gelaten bij beslissingen over het al-dan-niet aanbrengen van openbare verlichting.

Inmiddels is gedurende enkele jaren onderzoek gedaan naar de crash-aspecten van lichtmasten en naar maatregelen ter vermindering van de risico's van een botsing met deze obstakels. Er zijn diverse oplossingen gevonden in afschermingsconstructies, materiaalkeus en constructies in de mastvoet om de lichtmast gemakkelijk te laten bezwijken (zie bijvoorbeeld SWOV, 1976).

Deze voorzieningen werken kostenverhogend en de beslissing over zulke voorzieningen wordt beheerst door de vraag of de extra kosten gerechtvaardigd worden door verminderd risico. Het actueel worden van dit beslissingsprobleem is een goede aanleiding om het gehele besluitvormingsproces over openbare verlichting aan een kritische beschouwing te onderwerpen. Deze beschouwing blijkt beperkt tot situaties waarin de aanleg van openbare verlichting uitsluitend of hoofdzakelijk om verkeersveiligheidsredenen overwogen wordt. In het beslissingsproces zijn dan drie factoren van belang:

1. De kosten van de verlichtingsinstallatie.
2. De verbetering van de verkeersveiligheid (vermindering van het aantal en/of de ernst van ongevallen).
3. De economische besparing ten gevolge van de verbeterde verkeersveiligheid.

Voor een doelmatige besluitvormingsprocedure is het noodzakelijk over redelijk nauwkeurige prognoses over deze effecten te beschikken. Ten aanzien van de kosten zal dit over het algemeen geen problemen opleveren. Het effect van openbare verlichting op de verkeersveiligheid is echter veel moeilijker te voorspellen. Ten eerste omdat het vaststellen van het effect van openbare verlichting op de verkeersveiligheid in een concrete situatie op zichzelf al verre eenvoudig is. Ten tweede omdat het onderzoek naar het effect op de verkeersveiligheid in het verleden nooit toegespitst was op de afhankelijkheid van dat effect van relevante weg- en verkeerskenmerken, maar op de bepaling van het effect in een concrete situatie. Uit de rapportage blijkt gewoonlijk wel of het om een situatie binnen of

buiten de bebouwde kom gaat en in het laatste geval of het autosnelwegen of niet-autosnelwegen betreft. De spreiding binnen elk van deze categorieën is echter beduidend groter dan de verschillen tussen de categorieën. Gegevens daarover zijn te vinden in OECD, 1971.

De berekende vermindering van de nachtelijke ongevallen voor de gerapporteerde gevallen varieert:

voor autosnelwegen van 16% tot 62%

voor landelijke wegen van 38% tot 53%

voor stedelijke wegen van 22% tot 74%

Het is op grond van dergelijke summiere gegevens niet mogelijk een redelijk betrouwbare prognose te maken van het effect van openbare verlichting op de verkeersveiligheid. De economische besparing ten gevolge van verbetering van de verkeersveiligheid is evenmin nauwkeurig te voorspellen, omdat ook over de gemiddelde economische schade per ongeval geen nauwkeurige gegevens beschikbaar zijn.

Uit het ontbreken van nauwkeurige en betrouwbare gegevens over het effect van openbare verlichting op de verkeersveiligheid behoeft niet geconcludeerd te worden, dat in het verleden beslissingen betreffende de aanleg van openbare verlichting niet op goede gronden genomen werden, maar alleen dat dergelijke beslissingen niet werden genomen op kwantitatief goede gronden.

Het heeft weinig zin een kwantitatief goede grondslag te verlangen voor beslissingen over voorzieningen ter vermindering van het risico van botsingen met lichtmasten, zolang dat niet gebeurt voor beslissingen over de aanleg van openbare verlichting als compleet systeem. De structuur van het besluitvormingsproces levert daarbij geen bijzondere problemen op, indien naast de financieel-economische (kosten-baten)aspecten slechts één welzijnsaspect (verkeersveiligheid) aan de orde is. De tweedimensionele veiligheidseconomische analyse is nog eenvoudig grafisch voor te stellen, is nauwelijks gecompliceerder dan een kosten-baten analyse, en er behoeven niet méér gegevens voor verzameld te worden.

Het wezenlijke probleem wordt gevormd door de kwaliteit van de benodigde gegevens, met name de betrouwbaarheid en de nauwkeurigheid van onderzoekresultaten betreffende de vermindering van het aantal

en/of de ernst van verkeersongevallen door het aanleggen van een installatie voor openbare verlichting. Deze gegevens zijn nodig om de beslissingsvoorwaarde, uitgedrukt in vergelijking (8) te kunnen hanteren. Naarmate deze gegevens onnauwkeuriger en onbetrouwbaar zijn, is er bij toepassing daarvan een grotere kans op onjuiste beslissingen. Om te bepalen aan welke eisen de gegevens moeten voldoen, kan vergelijking (8) goed als uitgangspunt dienen. Als eerste stap beschrijven we de beslissingsregel als volgt:

$$\Delta A_{i_{gp}} > q \left\{ K_{i_{gp}} - \beta \cdot \Delta A_{i_{gp}} \right\} \quad (10)$$

In deze uitdrukking betekent:

ΔA_i : de vermindering van het aantal en/of de ernst van ongevallen als gevolg van het installeren van openbare verlichting.

De betekenis van de overige indices is:

g : het gebied (wegvak of kruispunt) waarop de gegevens betrekking hebben;

p : de periode waarop de gegevens betrekking hebben.

Het lijkt een vanzelfsprekende zaak dat de kosten en de resultaten betrekking moeten hebben op hetzelfde gebied en dezelfde periode. De indices kunnen dienen om over een groot aantal gebieden en perioden te sommeren. Dit kan van belang zijn, indien de verandering van het aantal ongevallen per jaar per locatie onvoldoende significant is. Ook kunnen de indices gebruikt worden als ingang wanneer men wil onderzoeken hoe de uitkomst van het beslissingsproces afhangt van grootheden die met plaats of tijd variëren. De kosten zijn samengesteld uit twee wezenlijk verschillende componenten, nl. eenmalige kosten of kapitaalkosten en jaarlijkse bedrijfskosten. Deze kunnen gesommeerd worden door de bedrijfskosten te kapitaliseren, óf door de kapitaalkosten te herleiden tot jaarlijks renteverlies. Indien de installatie een beperkte levensduur heeft, kunnen de bedrijfskosten nog vermeerderd worden met de afschrijvingskosten.

Het omzetten van kapitaalkosten in jaarlijkse kosten of periodekosten heeft het voordeel dat het probleem vermeden wordt, hoe besparing aan mensenlevens en letsels te kapitaliseren is. Aan de indices kan nog een andere betekenis toegekend worden, indien het effect van de open-

bare verlichting op de verkeersveiligheid als volgt nader wordt uitgewerkt:

$$\Delta A_{igp} = A_{ogp} - A_{igp} \quad (11)$$

waarin:

A_{ogp} : het aantal ongevallen in het gebied g gedurende de periode p indien er geen openbare verlichting is geïnstalleerd.

A_{igp} : het aantal ongevallen in het gebied g gedurende de periode p indien er geen openbare verlichting is geïnstalleerd.

Met vergelijking (11) wordt in feite de "ceteris paribus"-conditie tot uitdrukking gebracht, wat inhoudt dat het effect ΔA_{igp} alleen dan aan de maatregel i mag worden toegeschreven indien alle andere relevante grootheden onveranderd gebleven zijn. In de praktijk is het echter volslagen onmogelijk gebleken aan deze voorwaarde te voldoen. Het is technisch ongetwijfeld mogelijk om één of meer geometrisch identieke wegvakken of kruispunten te construeren. Dit zal echter geen identieke verkeerssituaties opleveren. De samenstelling van het verkeer, de intensiteiten en de snelheidsverdelingen zullen op de diverse vergelijkbare locaties verschillend blijken. Voor het verkeers- en verkeersveiligheidsonderzoek heeft dit tot gevolg gehad dat allengs de "ceteris paribus"-conditie vervangen is door een "ceteris paribus"-hypothese. Het is geen al te gewaagde veronderstelling dat een soortgelijke ontwikkeling op tal van andere gebieden van de maatschappijwetenschappen heeft plaatsgehad. Zeker is dit het geval in andere sectoren van het verkeers- en verkeersveiligheidsonderzoek.

Zeer veel onderzoek wordt toegespitst op vergelijking van aantallen ongevallen in bepaalde gebieden voor en na de invoering van een maatregel. Dat wil zeggen dat gewerkt wordt op basis van de hypothese:

$$\Delta A_{igp_2} = A_{ogp_1} - A_{igp_2} \quad (12)$$

Ook wordt vaak onderzoek gericht op de vergelijking van onderzoek- en controlegebieden. Het aantal ongevallen in een bepaalde periode wordt vergeleken voor gelijksoortige gebieden met en zonder een

bepaalde voorziening. In dit geval wordt onderzoek gepleegd op basis van de hypothese:

$$\Delta A_{ig_1P} = A_{og_2P} - A_{ig_1P} \quad (13)$$

Een verfijning van de onderzoeksmethode ontstaat door combinatie van de voor- en nastudie met de onderzoek- en controlegroep, zoals uitgedrukt in de hypothese:

$$\Delta A_{ig_1P_2} = \frac{A_{og_2P_2} \cdot A_{og_1P_1}}{A_{og_2P_1}} - A_{ig_1P_2} \quad (14)$$

Deze methode wordt toegepast om tegemoet te komen aan bezwaren die tegen de hypothesen (12) en (13) aangevoerd kunnen worden.

Het bezwaar van hypothese (12) is dat in opeenvolgende perioden naast de beschouwde maatregel tal van andere verschillen optreden: veranderingen in verkeerssamenstelling, verkeersgedrag, intensiteiten, enzovoort. Het bezwaar van hypothese (13) is dat identieke gebieden niet te vinden zijn, zodat er afgezien van de onderzochte voorziening nog tal van andere verschillen tussen beide gebieden bestaan.

Hypothese (14) drukt de verwachting uit dat de aantallen ongeval- len in de beide gebieden in opeenvolgende perioden in dezelfde mate zullen veranderen, afgezien van de invloed van de maatregel i. Ook deze hypothese stemt niet met de werkelijkheid overeen, maar zij zal kleinere fouten veroorzaken dan de hypothesen (12) en (13). Bij het onderzoek naar het effect van openbare verlichting op de verkeersveilig- heid is het gebruikelijk de bezwaren van de hypothesen (12) en (13) op een andere wijze te ondervangen. Omdat de openbare verlichting veronderstelt wordt alleen de nachtelijke risico's te verminderen, wordt de voor- en nastudie gecombineerd met de vergelijking van onge- vallen overdag en 's nachts. De "ceteris paribus"-hypothese voor dit geval heeft de vorm:

$$\Delta A_{ip_2n} = \frac{A_{op_2d} \cdot A_{op_1n}}{A_{op_1d}} - A_{ip_2n} \quad (15)$$

De index g is hier weggelaten, omdat alle termen op hetzelfde gebied betrekking hebben. De indices d voor dag en n voor nacht zijn daarvoor de in plaats gekomen.

De hypothesen (14) en (15) berusten beide op de algemene hypothesen dat:

$$A_{op_2} / A_{op_1} = \text{invariant voor alle te onderscheiden categorieën (16)}$$

Anders gezegd, voor ieder kenmerk k geldt:

$$\frac{A_{op_2 k_1}}{A_{op_1 k_1}} = \frac{A_{op_2 k_2}}{A_{op_1 k_2}} \quad (17)$$

Uit de moeite die onderzoekers zich in het algemeen geven om geschikte controlegroepen te kiezen, valt af te leiden dat de meesten ervan overtuigd zijn dat het linker- en rechterlid van (17) meer gelijk zijn naarmate k_1 en k_2 minder van elkaar verschillen. Bij voorkeur vergelijkt men kruispunten met kruispunten en autosnelwegen met autosnelwegen, bij voorkeur ook met vergelijkbare intensiteiten, enzovoort. Het is dan ook verwonderlijk dat men zich zelden moeite geeft om de hypothese te toetsen of om te onderzoeken welke fout met deze hypothese wordt geïntroduceerd. Die fout kan van geval tot geval sterk variëren.

In het geval van wegverlichting kleeft er aan de hypothese nog een tweede bezwaar, namelijk dat de beschouwde maatregel in de naperiode p_2 niet alleen van invloed is op het aantal nachtelijke ongevallen, maar ook op het aantal ongevallen overdag. Ten aanzien van de verlichting wordt verondersteld dat beter zicht tot minder beoordelingsfouten en minder onjuiste beslissingen van de weggebruikers leidt bij schemer en duisternis. Ten aanzien van de lichtmasten moet echter aangenomen worden dat zij althans in een aantal situaties een verhoogde kans op ernstige botsingen veroorzaken, zowel overdag als 's nachts. Dit is het eenvoudigst in de hypothese (15) te verwerken door de maatregel in twee componenten te splitsen en met

afzonderlijke indices aan te duiden nl. de verlichting i en de lichtmasten j . Vergelijking (15) zou den als volgt geschreven moeten worden:

$$\Delta A_{ijp_2n} = \frac{A_{ojp_2d} \cdot A_{oop_1n}}{A_{oop_1d}} - A_{ijp_2n} \quad (18)$$

Bij deze schrijfwijze wordt duidelijk dat de correctieterm A_{ojp_2d} / A_{oop_1d} niet meer overeenstemt met de invariantie-hypothese (17), die uitsluitend betrekking heeft op effecten die niet met de onderzochte maatregel te maken hebben. Als correctietermen zouden wel de quotiënten A_{oop_2d} / A_{oop_1d} , respectievelijk A_{ojp_2d} / A_{ojp_1d} kunnen dienen. Volgens de invariantie-hypothese zouden beide quotiënten aan elkaar gelijk moeten zijn. Deze quotiënten zijn echter niet te bepalen, omdat in de voorperiode (p_1) de term A_{ojp_1d} niet gemeten kan worden en in de naperiode (p_2) de term A_{oop_2d} niet. Het is aannemelijk dat:

$$A_{ojp_2d} > A_{oop_2d} \quad (19)$$

Daardoor wordt de trendcorrectiefactor systematisch overschat, hetgeen door de interpretatie van vergelijking (18) leidt tot een systematische overschatting van het nut van de maatregel. Deze overschatting kan een extreme vorm aannemen als bij schemer en duister- nis de verminderde risico's door beter zicht volledig teniet gedaan zouden worden door het verhoogde risico van botsingen met obstakels. De maatregel zou dan als totaal resultaat een verhoogd risico van botsingen met obstakels overdag opleveren.

Volgens vergelijking (18) zou dit echter geïnterpreteerd worden als een gunstig effect voor de nachtelijke uren en over het gehele et- maal. Wellicht doet het probleem zich in deze extreme vorm in de praktijk niet voor. Dat zal afhangen van de grootte van de risicover- mindering door verlichting 's nachts in relatie tot de grootte van de risicovermeerdering door de lichtmasten 's nachts en overdag. Het is uit de theoretisch mogelijke omvang van het effect wel duidelijk

dat de resultaten van onderzoek waarbij dit probleem niet is onderkend, weinig houvast bieden.

In een aantal gevallen speelt het gesignaleerde probleem geen of een veel kleinere rol, namelijk:

1. Wanneer de lichtmasten worden geplaatst achter een reeds aanwezige bermbeveiligingsconstructie.
2. Wanneer de openbare verlichting wordt aangebracht aan reeds aanwezige palen, bijvoorbeeld telegraafpalen.
3. Wanneer de lichtmasten in een "mastbos" geplaatst worden en elke eventuele botsing met een lichtmast in de plaats komt van een botsing met een even riskant obstakel.

Deze gevallen zouden kunnen dienen om het effect van zichtverbetering bij nacht op de verkeersveiligheid geïsoleerd te onderzoeken.

De schrijfwijze die gekozen is voor de "ceteris paribus"-hypothese, houdt verband met het feit dat na substitutie van onderzoekresultaten het linker lid van de vergelijking berekend kan worden. Dit laatste gegeven kan rechtstreeks in beslissingsregel (10) ingevoerd worden.

In het onderzoek naar het effect van openbare verlichting wordt de vergelijking in een andere vorm gebruikt, die betrekkelijk eenvoudig uit (15) is af te leiden, namelijk:

$$\frac{A_{op_1d} \cdot A_{ip_2n}}{A_{op_2d} \cdot A_{op_1n}} = 1 - \frac{A_{op_1d}}{A_{op_2d} \cdot A_{op_1n}} \Delta A_{ip_2n} \quad (20)$$

Indien het linker lid kleiner dan 1 is, wordt de wegverlichtingsinstallatie als effectief beschouwd.

In de literatuur zijn tal van voorbeelden te vinden van onderzoeksresultaten van voor- en nastudies, die op deze wijze geïnterpreteerd en verwerkt zijn. Een aantal van deze voorbeelden is opgenomen in het State of the art report van de OECD (1971). Van geen van deze onderzoeken zijn de resultaten zonder meer te gebruiken om onderscheid te maken tussen het effect van verbeterd

zicht en het risico van lichtmasten als botsingsobject. In slechts één geval, nl. een onderzoek van het Road Research Laboratory (1963) is dit onderscheid wel te maken, en wel op basis van een aantal min of meer aannemelijke vooronderstellingen.

Voor zover de gegevens die bij dit onderzoek verzameld werden hier terzake zijn, zijn zij weergegeven in Tabel 1, evenals de conclusies die eruit getrokken werden volgens de tot dusver gebruikelijke interpretatie.

De ongevallen met doden en gewonden werden onderverdeeld naar ongevallen waarbij voetgangers gedood of gewond werden en overige ongevallen. Blijkbaar bestond er reeds vóór 1963 belangstelling voor voetgangers als bedreigde groep in het verkeer.

De in Tabel 1 weergegeven onderzoekresultaten kunnen worden geïnterpreteerd op basis van de volgende verzameling veronderstellingen:

1. Verschillen in aantallen ongevallen tussen voor- en naperiode kunnen worden toegeschreven aan:
 - a. de invloed van de beschouwde maatregel (in dit geval openbare verlichting);
 - b. trendmatige veranderingen die zich ten minste over voor- en naperiode uitstrekken (bijvoorbeeld de toenemende verkeersintensiteit);
 - c. systematische verschillen tussen voor- en naperiode (bijvoorbeeld verschil in weersomstandigheden);
 - d. toeval.
2. De invloed van lichtmasten in de berm op ongevallen die zich volledig op de rijbaan afspelen, is te verwaarlozen.
3. De invloed van verbeterd zicht bij duisternis op ongevallen die zich bij dag voordoen is te verwaarlozen.
4. De differentiatie van trendmatige en systematische verschillen (anders dan ten gevolge van de beschouwde maatregel) over de diverse soorten ongevallen is te verwaarlozen.
5. Toevallige verschillen nemen procentueel af naarmate de omvang van de steekproef toeneemt. Ze komen tot uitdrukking in het significantieniveau.
6. Het percentage van de ongevallen met voetgangers die zich niet op de rijbaan afspelen, is te verwaarlozen in vergelijking met het percentage van de overige ongevallen die zich niet op de rijbaan afspelen.

Voor zover deze hypothesen relaties leggen tussen bepaalde deelaspecten van het verlichtingsstelsel en bepaalde soorten ongevallen, zijn deze relaties afgebeeld in Tabel 2.

In Tabel 3 is een overzicht gegeven van de waarnemingen en de kwantitatieve consequenties van de gemaakte veronderstellingen. Uitgaande van de 1753 ongevallen met doden en gewonden in de voorperiode zou dit aantal volgens de hypothesen trendmatig stijgen tot 1835 indien geen openbare verlichting zou worden geïnstalleerd. De andere prognoses voor aantallen ongevallen met doden en gewonden in de naperiode zijn, rekening houdend met de trend: 1596 ongevallen bij verlichting zonder lichtmasten, 1997 ongevallen bij lichtmasten zonder verlichting en 1739 ongevallen bij lichtmasten en verlichting. Deze laatste prognose, de verwachtingswaarde, zou bevestigd moeten zijn bij de waarnemingen in de naperiode. Dat is niet gebeurd. Het waargenomen aantal ongevallen met doden en gewonden bedraagt 1828. Dit is nagenoeg gelijk aan het aantal dat op grond van de trend verwacht werd als geen openbare verlichting zou worden geïnstalleerd. Het gunstige effect van verbeterd zicht door verlichting wordt volgens de hypothesen teniet gedaan door het ongunstige effect van botsingen met lichtmasten en door een niet verklaard verschil tussen verwachting en waarneming bij de categorie overige ongevallen bij duisternis. Mogelijke verklaringen voor dit verschil zijn:

- a. de categorie overige ongevallen bij duisternis ondervindt minder nut van openbare verlichting en/of meer schade van de aanwezigheid van lichtmasten dan verwacht werd;
- b. de trends zijn niet evenredig voor alle categorieën;
- c. de toevalspreiding.

Elk van deze verklaringen betekent een verzwakking van de gemaakte veronderstellingen. Deze vormen echter niet alleen de grondslag van de hier gekozen interpretatie van de ongevallengegevens, maar ook van de tot dusver algemeen gangbare interpretatie. Beide worden er in gelijke mate door verzwakt.

Het belangrijkste verschil tussen beide interpretaties kan gemakkelijk worden uitgelegd aan de hand van Tabel 3. In de hier gekozen interpretatie worden de bij duisternis waargenomen ongevallen in de

naperiode (regel 6) vergeleken met de bij duisternis te verwachten ongevallen in de naperiode indien geen maatregelen zijn genomen (regel 2). Volgens de gangbare interpretatie echter worden de bij duisternis waargenomen ongevallen in de naperiode (regel 6) vergeleken met de ongevallen die in de naperiode bij duisternis te verwachten zouden zijn, indien wel de lichtmasten geplaatst zouden zijn, maar de verlichting niet zou zijn ontstoken (regel 4).

Laatstgenoemde interpretatie is principieel onjuist (minder juist dan de eerstgenoemde). Op grond van het thans beschikbare cijfermateriaal kan nog niet vastgesteld worden hoe ernstig de consequenties van de tot nu toe gevolgde procedure voor de besluitvorming zijn.

5. MOGELIJKHEDEN TOT VERBETERING VAN DE ONDERZOEKOPZET

Bij veldonderzoek is het in het algemeen niet mogelijk om aan de "ceteris paribus"-conditie (11) te voldoen, omdat identieke situaties niet voorkomen. Toch is het wel mogelijk tegemoet te komen aan de bezwaren die in het vorige hoofdstuk zijn aangevoerd tegen een onderzoekopzet op basis van de hypothesen (12), (13) en (15) en in mindere mate (14).

5.1. Het meten van de geïntroduceerde fout

De fout die geïntroduceerd wordt met de invariantie-hypothese (16) kan als volgt worden gemeten. Voor een groot aantal locaties op vergelijkbare wegen wordt het quotiënt A_{op_2}/A_{op_1} bepaald. De waarden voor dit quotiënt zullen in het algemeen niet aan elkaar gelijk zijn, maar een zekere spreiding om hun gemiddelde hebben. Tevens wordt voor een groot aantal locaties van de onderzoekgroep het quotiënt A_{ip_2}/A_{op_1} bepaald. Ook de waarden voor dit quotiënt zullen gespreid zijn om hun gemiddelde waarde.

De beide gemiddelden van de quotiënten voor onderzoek- en vergelijkingsgroep zullen meestal niet samenvallen. Of het verschil tussen de beide gemiddelden significant is, hangt af van de grootte van dat verschil ten opzichte van de spreidingen om de gemiddelden. Is het verschil tussen de beide gemiddelden groot ten opzichte van de spreidingen om de gemiddelden, dan is het significant; is het verschil relatief klein, dan is het niet significant.

5.2. Het corrigeren voor de intensiteit

Het aantal ongevallen dat in een bepaalde periode in een bepaald gebied gebeurt, kan worden opgevat als het produkt van de mobiliteit en een risicofactor. Met name geldt voor wegen per definitie dat het aantal ongevallen het produkt is van de voertuigkilometrage K en het ongevallenquotiënt Q :

$$A = K \times Q = L \times I \times Q$$

(21)

Hierin is L de weglengte en I de intensiteit. Hoewel er aanwijzingen zijn dat Q niet onafhankelijk is van I, is Q in veel mindere mate gevoelig voor veranderingen van I dan A. Het is daarom aannemelijk dat voor veel gevallen de volgende hypothese een betere is dan (16):

$$Q_{op_2} / Q_{op_1} = \text{invariant} \quad (22)$$

5.3. Het kiezen van andersoortige vergelijkingsgroepen

Tegen onderzoek naar het effect van openbare verlichting op basis van de hypothesen (15) en (18) kunnen bezwaren aangevoerd worden vanwege systematische overschatting. Deze bezwaren kunnen worden ondervangen door hypothese (14) afzonderlijk voor de dag- en nachtsituatie te hanteren.

Het onderscheid kan in de formule worden aangegeven door aan alle termen de index n of d toe te voegen. Het te verwachten totale effect van openbare verlichting kan dan berekend worden als som van beide deeleffecten, dus:

$$\Delta A_{ig_1p_2} = \Delta A_{ig_1p_2^n} + \Delta A_{ig_1p_2^d} \quad (23)$$

De verschillen tussen onderzoekgebieden g_1 en g_2 kunnen belangrijk gereduceerd worden door voor onderzoeks- en controlegebied stukken van dezelfde weg te kiezen (zonder belangrijke wijzigingen in de verkeersstroom). Hierdoor kunnen de verschillen die tussen beide gebieden optreden, zo klein mogelijk gehouden worden. Tegen de methode wordt wel eens het bezwaar geuit dat, als een weg openbare verlichting behoeft, men niet de helft of een groter deel van de weg onverlicht kan laten terwille van onderzoek. Dit bezwaar is gemakkelijk te weerleggen. Indien de wegen A, B en C alle drie verlicht moeten worden en de aanleg van een verlichtingsinstallatie om budgettaire redenen over drie jaren gespreid moet worden, is het wellicht het gemakkelijkst in drie opeenvolgende jaren telkens één hele weg te verlichten. Er zijn echter geen principiële bezwaren om in elk van de jaren een derde van elke weg van verlichting te voorzien.

5.5. Slotopmerkingen

In de paragrafen 5.1. t/m 5.4. zijn mogelijkheden aangegeven ter verbetering van de onderzoekopzet; deze zijn echter niet meer dan een aanzet. Ze dienen nader uitgewerkt te worden, rekening houdend met randvoorwaarden als beschikbare controlegroepen en beschikbare gegevens.

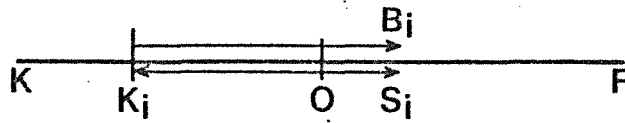
De in diverse paragrafen aangegeven mogelijkheden ter verbetering van de onderzoekopzet kunnen gecombineerd worden. De methode van de ongevallenquotiënten uit paragraaf 4.2. kan bijvoorbeeld gecombineerd worden met de uitsplitsing in deelgroepen van paragraaf 4.4. In de hoofdstukken 3 en 4 is alleen gerekend met aantallen ongevallen en niet met de ernst ervan. De besproken vergelijkingen kunnen ook toegepast worden op aantallen ongevallen met dodelijke afloop of aantallen ongevallen met slachtoffers. Het effect van maatregelen die een vermindering van het aantal ongevallen teweeg brengen maar een toename van de ernst ervan, kan door de gebrekkige registratie van minder ernstige ongevallen nogal vertekend worden. De onderscheiding naar dag en nacht stelt de situatie met betrekking tot de openbare verlichting nogal zwart-wit voor. Behalve bij nacht zal het verkeer ook bij andere omstandigheden met slecht zicht (schemer, mist, neerslag) door openbare verlichting beïnvloed worden. Bij elk onderzoek zou de daarbij gebruikte vorm van de invariantie-hypothese getoetst dienen te worden. Dat wil zeggen dat de mate waarin de werkelijkheid afwijkt van de invariantie-hypothese, gemeten dient te worden, zodat kan worden nagegaan of het berekende effect van de onderzochte maatregel significant is.

De beslissing om openbare verlichting te installeren moet genomen worden op een moment dat alleen ongevallengegevens voor de onderzoeks- en controlegroep uit de voorperiode (p_1) bekend kunnen zijn. De ongevallenreductie ten gevolge van de maatregel ΔA_{igp} , die in de beslissingsregel (10) ingevoerd moet worden, moet worden berekend op grond van verwachtingsvoorwaarden voor aantallen ongevallen in de naperiode.

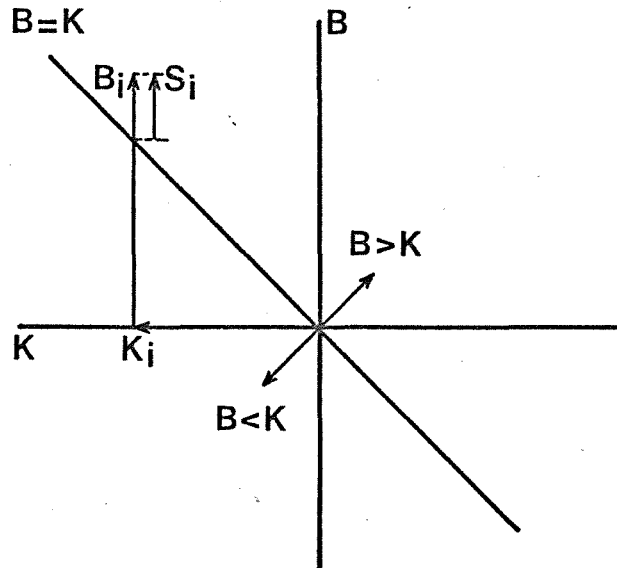
De beslissing om openbare verlichting te installeren is bovendien plaatsgebonden. Sommige delen van het wegennet of de weg worden wel, andere niet van openbare verlichting voorzien.

Voor een doelmatige besluitvorming is het noodzakelijk dat men een goede plaatsgebonden prognose kan maken van aantallen ongevallen gedurende de naperiode (p_2). Daarvoor is kennis nodig over de samenhang tussen aantallen ongevallen en plaatsgebonden variabelen zoals geometrie van de weg en samenstelling en intensiteit van het verkeer. Die kennis kan verkregen worden uit onderzoek dat gericht is op de vergelijking van onderzoeks- en controlegebieden. Met andere woorden: de hypothese (14) moet getoetst worden, bij voorkeur afzonderlijk voor de dag- en nachtsituatie (paragraaf 5.3.) en voor de diverse groepen ongevallen (paragraaf 5.4.), terwijl ook gecorrigeerd moet worden voor de intensiteit (paragraaf 5.2.).

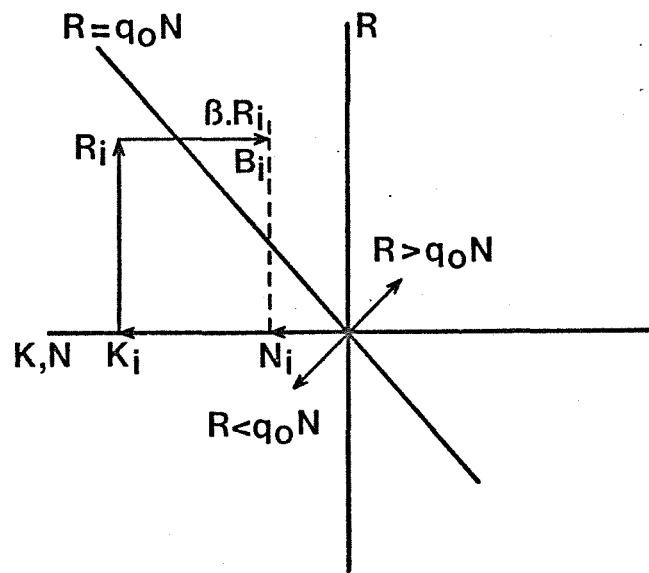
a.)



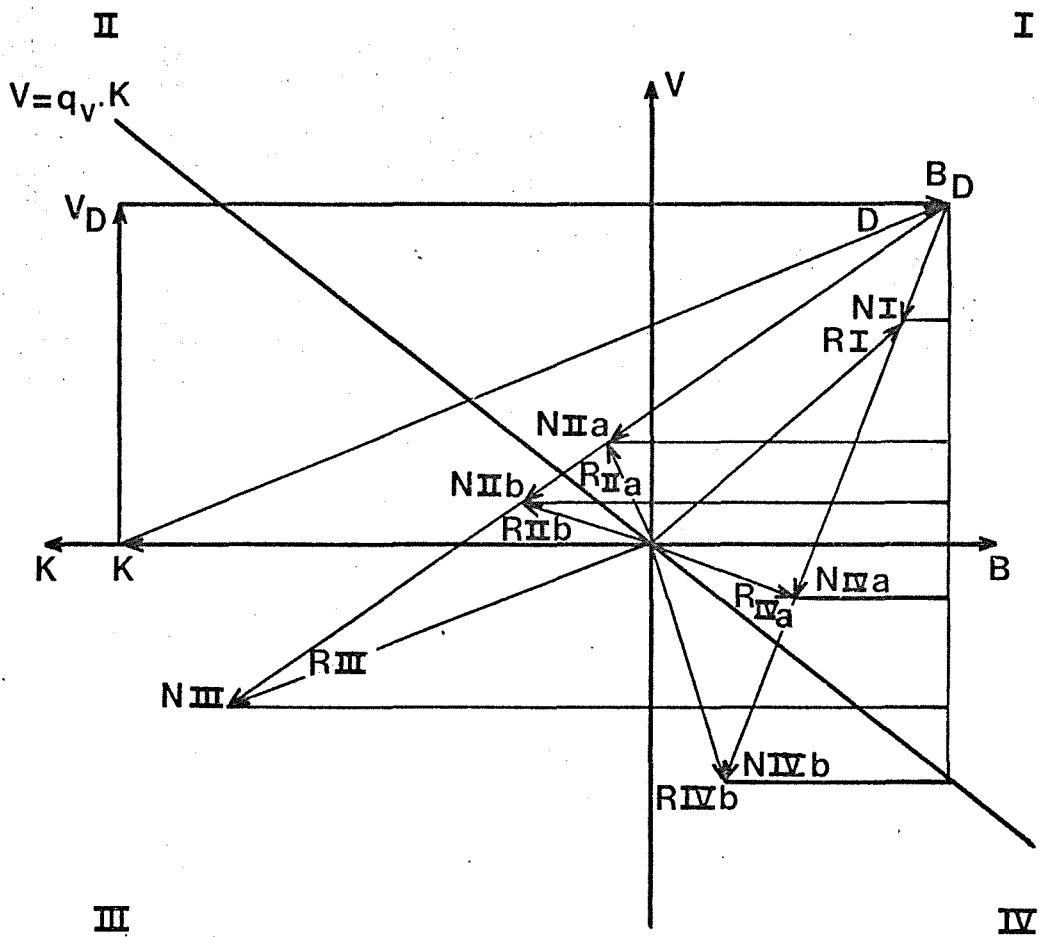
b.)



Afbeelding 1. De beslissingsvoorwaarde op basis van kosten en baten



Afbeelding 2. De beslissingsvoorwaarde op basis van effecten op de verkeersveiligheid en van kosten en baten.



Afbeelding 3. Mogelijke uitkomsten van een volledige analyse van voor- en nadelen van een verkeersveiligheidsmaatregel.

	Totaal		Voetgangers		Overige	
	bij dag-licht	bij duis-ternis	bij dag-licht	bij duis-ternis	bij dag-licht	bij duis-ternis
Voor	1248	505	319	159	929	346
Na	1425	403	334	91	1091	312
q (na/voor)	1.14	0.80	1.05	0.57	1.17	0.90
R ($q_{\text{nacht}}/q_{\text{dag}}$)	0.70		0.55		0.77	
significantie-niveau	0.1%		0.1%		1%	

Tabel 1. Het effect van openbare verlichting op verkeersongevallen.

Componenten van de maatregel waardoor de verschillende soorten ongevallen beïnvloed worden	Soorten ongevallen			
	Voetgangers		Overige	
	bij daglicht	bij duisternis	bij daglicht	bij duisternis
geen	+			
verlichting		+		
lichtmasten			+	
verlichting + lichtmasten				+

Tabel 2. Relaties van maatregelcomponenten met soorten ongevallen.

	relevante componenten van beschouwde maatregel	Totaal	Voetgangers		Overige	
			bij daglicht	bij duisternis	bij daglicht	bij duisternis
voor	waarneming	1753	319	159	929	346
na	geen	1835	334	166	973	362
	verlichting	1596	334	91	973	198
	lichtmasten	1997	334	166	1091	406
	verlichting + lichtmasten	1739	334	91	1091	223
	waarneming	1828	334	91	1091	312

Tabel 3. Het effect van openbare verlichting op verkeersongevallen, volgens waarnemingen en volgens prognosen gebaseerd op hypothesen.

LITERATUUR

Flury, F.C. (1972). The benefit-cost relationship as the basic criterion for decisions. Preprint 11th International Study Week in Traffic Engineering and Safety, Brussels, 18-23 September 1972; Theme III: Principles governing the choice of road safety measures. OTA, 1972.

Flury, F.C. (1974). Een beslissingsmodel voor beleidsmaatregelen. In: Intertraffic 1974 "Beheerst verkeer". RAI, 1974.

OECD (1971). Lighting, visibility and accidents. A report prepared by an OECD Research Group. OECD, 1971.

RRL (1963). Street lighting. In: Research on Road Safety, Ch.10, HMSO, 1963.

SWOV (C.C. Schoon) (1976). Lichtmasten; Onderzoek naar het gedrag van lichtmasten bij zijdelingse en frontale botsproeven met personenauto's. Publikatie 1976-6N. SWOV, 1976.