

EISEN TE STELLEN AAN DE VERKEERSVERLICHTING

Voordracht gehouden op de Congresdag "Verlichting en Energiegebruik",
Hilton Hotel, Rotterdam, 18 april 1978

R-78-20

Dr.ir. D.A. Schreuder

Voorburg, 1978

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

2

INHOUD

1. Inleiding	3
2. Functionele vereisten	5
3. Het rijgedrag	6
4. De lichttechnische eisen	9
5. De fotometrische en geometrische vereisten	12
6. Minimale eisen van de verlichting	14
7. Ongevallenstatistieken	19
8. Conclusies	21
 Tabellen en Afbeeldingen	 22
 Literatuur	 28
 <u>Annex I.</u> Benodigde zichtbaarheidsafstand	 30
 <u>Annex II.</u> De grootte van de benodigde steekproef	 31

1. INLEIDING

Bij het huidige gemotoriseerde wegverkeer wordt het voertuig grotendeels bestuurd op basis van de visuele informatie die "real time" uit de omgeving wordt verkregen. Verlichtingstechnische hulpmiddelen worden toegepast om deze informatieverschaffing ook bij duisternis mogelijk te maken. Deze hulpmiddelen worden samengevat onder "verkeersverlichting". Anders gezegd: onder de functie van verkeersverlichting wordt verstaan: het mogelijk maken dat het wegverkeer ook 's nachts kan plaatsvinden, waarbij speciaal wordt gelet op het verschaffen van visuele informatie. De verlichting moet dus aan bepaalde vereisten (functionele vereisten genaamd) voldoen.

De functie van verkeersvoorzieningen (waartoe ook de verlichting behoort) is: het de verkeersdeelnemers mogelijk te maken zich op een veilige, vlotte en comfortable manier en tegen minimale kosten, te verplaatsen. Het doel van de verplaatsing is vaak van sociale of economische aard.

Wat is veiligheid? Er bestaan verschillende definities van onveiligheid. De meest algemene: het aantal verkeersdoden (verkeersgewonden) eventueel per inwoner. Deze algemene definitie is nuttig bij het vergelijken van maatregelen bedoeld ter vermindering van verkeersonveiligheid (één van deze maatregelen is het aanbrengen/verbeteren van verkeersverlichting). Een meer specifieke definitie: het aantal ongevallen met doden of letsel per afgelegde voertuigkilometer. Deze tweede definitie wordt gebruikt om alternatieve maatregelen voor specifieke weggedeelten te vergelijken.

Wat is vlotheid? Twee aspecten: de individuele reistijd en de totale verkeersprestatie. De eerste wordt soms bij het comfort gerekend (niet geheel terecht overigens); de tweede is vooral een economische factor. Er bestaat een verband tussen de gemiddelde snelheid en de bij die snelheid horende bereikbare verkeersintensiteit. Er bestaat een snelheid waarbij de bereikbare verkeersintensiteit maximaal is. Deze intensiteit wordt beschouwd als de "capaciteit" van de weg.

Wat is comfort? Het is deels een soort "restterm" van momenteel onbekende veiligheids- en vlotheidsaspecten. Deels is het gerelateerd aan de individuele rijnsnelheid en deels aan de inspanning nodig voor het besturen van het voertuig. Omdat er nog geen goede definitie is, is er ook geen kwantitatieve maat.

Wat zijn de kosten? De kosten omvatten alle uitgaven ten laste van de overheid en de individuen om het verkeerssysteem operationeel te maken/te houden en bovendien de kosten van de onbedoelde neveneffecten. Bij de kosten horen dus: aanleg- en onderhoudskosten van het wegennet, kosten van ongevallen, kosten van tijdverlies door congestie en slijtagekosten, maar ook "kosten" betreffende andere schaarse goederen zoals frisse lucht, stilte, ruimte, enz., en ook de "kosten" van menselijk leed ten gevolge van ongevallen.

Het totale verkeersgebeuren kan door de afwezigheid van natuurlijk daglicht 's nachts op verschillende wijzen worden beïnvloed:

- a. direct door afwezigheid van licht;
- b. indirect door een aantal fysische en meteorologische factoren die met de afwezigheid van licht en zonnestraling samenhangen (mist, regen, ijzel, natte wegdekken, enz.);
- c. indirect door een aantal sociale en psychologische factoren die samenhangen met het feit dat het grootste deel van de bevolking overdag andere bezigheden heeft als 's avonds ('s nachts) (werken/niet werken, alcoholgebruik, verkeerssamenstelling, enz.).

Hierna zal de nadruk liggen op het punt a.: de problemen die voor het verkeer ontstaan doordat het licht ontbreekt. Verder zal het volgende vooral de bestuurders van motorvoertuigen (auto's) betreffen. Deze laatste restrictie is nauwelijks van fundamenteel belang; zij is vooral uit praktische overwegingen ingevoerd. Voorts zal, gezien het thema van de congresdag, de nadruk liggen op de openbare verlichting.

2. FUNCTIONELE VEREISTEN

Voor het "gedrag" van weggebruikers is essentieel dat - tenminste bij de huidige stand van de techniek - het besturen van een voertuig bijna uitsluitend gebeurt op basis van momentaan uit de omgeving afgeleide visuele informatie. Uiteraard moet deze omgeving "helder" genoeg zijn. Gewoonlijk wordt aangenomen dat dit overdag "vanzelf" het geval is. Bij duisternis ontbreekt dit, zodat kunstmatige verlichting noodzakelijk is.

De probleemstelling kan nu aldus worden geformuleerd:

Aan welke eisen wat betreft functie en uitvoering moet de verlichting voldoen om problemen van veiligheid en/of comfort te kunnen oplossen, zonder door ongewenste (ongunstige) neveneffecten andere problemen te verzwaren (voorbeeld: de kans op botsingen met obstakels te vergroten)?

3. HET RIJGEDRAG

Voor het opstellen van de functionele vereisten (wat moet "het systeem" kunnen doen), is het nodig om te weten (op basis van een analyse van de rijtaak) welke informatie de bestuurder/weggebruiker/verkeersdeelnemer nodig heeft (wat van "het systeem" verwacht kan worden).

Voor gevallen waarbij het "zicht" door andere oorzaken dan alleen de duisternis (alcoholgebruik, mist, enz.) wordt verminderd, dient te worden nagegaan in hoeverre de visuele vereisten moeten worden aangepast.

Het deelnemen aan het verkeer is te beschrijven in termen van een hiërarchie van beslissingsprocessen. De hiërarchie zoals gegeven in Afbeelding 1 is toegespitst op bestuurders van motorvoertuigen. Al deze individuele gedragingen leiden tot een gedrag van de verkeersstroom als geheel. Maatregelen die deze verkeersstroom beïnvloeden worden genomen door de overheid eveneens op basis van een beslissingsproces. De twee groepen beslissingsprocessen hebben aanrakingspunten, maar ook verschilpunten. Wat betreft de verlichting is de situatie globaal als volgt: de overheid neemt beslissingen die leiden tot omstandigheden die de individuele beslissingen van bestuurders zo laten verlopen dat de kans op botsingen minder wordt.

De beslissingsprocessen die voor het daadwerkelijk besturen van de auto van belang zijn, zijn ondergebracht in het manoeuvreniveau. Bij meer gedetailleerde beschrijvingen blijkt het nuttig te zijn dit niveau nog verder op te splitsen in drie sub-niveaus, genaamd het operatieniveau, het tactische niveau en het sturniveau. De gedragingen behorende bij de beslissingen op deze niveaus worden genoemd: samengestelde manoeuvres, enkelvoudige manoeuvres en manoeuvredelen (zie Afbeelding 2). Zoals de naam al zegt, kunnen alle samengestelde manoeuvres worden opgebouwd uit enkelvoudige manoeuvres. In het volgende zullen we ons dan ook concentreren op deze enkelvoudige manoeuvres en de manoeuvredelen.

Ten behoeve van het beschrijven van het manoeuvregedrag kan worden gedefinieerd:

1. De voor het manoeuvreren beschikbare bewegingsruimte; deze wordt bepaald door de aanwezigheid, positie en positieverandering van andere weggebruikers, de geometrie van de weg, gedragsregels, en signalen.
2. De voor het manoeuvreren benodigde ruimte, begrensd door stabiliteit en manoeuvreerbaarheid van het voertuig (stroefheids-) eigenschappen van de weg en de prestatiemogelijkheden van de bestuurder en eveneens uiteraard door de gewenste manoeuvre.

Maatregelen ter vergroting van de verkeersveiligheid kunnen naar aanleiding hiervan als volgt worden gegroepeerd:

- a. het vergroten van de beschikbare bewegingsruimte
- b. het verminderen van de benodigde ruimte
- c. het verbeteren van de schatting door de weggebruikers van beschikbare en benodigde ruimte
- d. het vergroten van de door de weggebruiker gehanteerde marge tussen geschatte beschikbare en geschatte benodigde ruimte.

De vraag of de onder a. en b. genoemde maatregelen effect hebben op de veiligheid of de vlotheid van het verkeer hangt ervan af of de extra marge geschapen door dergelijke voorzieningen in het normale gedrag wordt opgebruikt en dientengevolge of er al dan niet iets resteert van de extra veiligheidsmarge.

Ten aanzien van veiligheid is het effect van de onder c. genoemde groep maatregelen - informatieverschaffing - te beschrijven als een vermindering van overschatting van beschikbare ruimte en een vermindering van onderschatting van benodigde ruimte, hetgeen kan resulteren in een afname van het aantal riskante manoeuvres. Een verhoogde vlotheid kan resulteren uit een vermindering van de onderschatting van beschikbare ruimte en een vermindering van de overschatting van benodigde ruimte. Dit zal dan kunnen blijken in een afname van het aantal ten onrechte niet benutte mogelijkheden. Deze effecten treden op bij ongewijzigde subjectieve veiligheidsmarge.

De onder d. genoemde groep maatregelen betreffen de beïnvloeding op de subjectieve veiligheidsmarge, zoals voorlichting, propaganda, opvoeding.

Manoeuvres kunnen in verband met bovenstaande worden beschreven als die bezigheden die nodig zijn om de bewegingskenmerken van het voertuig zo te veranderen dat de benodigde ruimte kleiner wordt dan de beschikbare.

De functie van verkeersverlichting ligt vrijwel uitsluitend bij punt c.: informatie over de beschikbare en de benodigde ruimte.

4. DE LICHTTECHNISCHE EISEN

Het manoeuvregedrag kan in enige elementaire manoeuvres worden beschreven: "stoppen, snelheid veranderen, uitwijken, gewoon doorrijden". Van deze vier is voor "stoppen" de meeste tijd (ruimte, afstand) nodig.

Wanneer geeist wordt dat de manoeuvre "stoppen" steeds kan worden uitgevoerd, dient de waarneembaarheidsafstand zo groot te zijn dat de bedoelde manoeuvre nog kan worden uitgevoerd zonder het eigen voertuig, het betreffende object waarvoor gestopt moet worden en het achteropkomende verkeer in gevaar te brengen, dus tenminste zo groot als de minimale stopafstand. Wanneer behalve eisen omtrent de veiligheid ook eisen worden gesteld omtrent het rijcomfort, dient de waarneembaarheidsafstand van het relevante object aanzienlijk groter te zijn dan de minimale stopafstand. Ter illustratie zijn in Tabel 1 een aantal waarden voor de stopafstand opgenomen.

(N.B. Waarnemen is hier als term in de algemene betekenis gebruikt. Het object moet niet alleen ontwaard worden, maar ook als zodanig herkend.)

Wanneer op een weg waar met hoge snelheid wordt gereden aan de eis "mogelijkheid tot stoppen" moeten worden voldaan, moet de weg plus de daartoe relevante objecten tot op een paar honderd meter te overzien zijn. Dit kan als volgt worden toegelicht.

In de praktijk doen zich twee situaties voor, waarbij mogelijkerwijze gestopt zou moeten kunnen worden:

ten eerste: de weg loopt niet door (bijvoorbeeld: T-kruising)

ten tweede: de weg is geblokkeerd (bijvoorbeeld: stilstaande auto).

In het eerste geval (T-kruising) moet het verloop van de weg over een paar honderd meter te overzien zijn. De weg zelf is in het perspectivische beeld nauwelijks te zien. Wel goed zichtbaar op die afstand is het patroon van de lichtpunten die veel hoger zijn. Dit wordt visuele geleiding genoemd.

In het tweede geval (blokkering): objecten, zelfs zo groot als

auto's, zijn op een paar honderd meter niet precies te localiseren, zelfs niet als men ze kan ontwaren en herkennen. Daarom zijn voor op de rijbaan stilstaande auto's en vergelijkbare objecten (obstakels) aparte signalen onontbeerlijk. Goede openbare verlichting kan wel het vlug en goed herkennen van obstakels makkelijk maken; voor het localiseren is echter meer informatie nodig.

De elementaire manoeuvre "snelheid veranderen" lijkt op de elementaire manoeuvre "stoppen". De eisen die erop worden gebaseerd, met name betreffende de waarneembaarheidsafstand, zijn echter minder zwaar.

De "uitwijkmanoeuvre" betreft (vaak de binnen de rijstrook blijvende) koersveranderingen die nodig zijn voor het ontwijken van kleine obstakels zoals stenen, dozen, gaten in de weg, enz. Waarneembaarheid van het betreffende object betekent ook hier: tenminste zichtbaarheid en herkenbaarheid. Het gaat hier meestal om obstakels die niet met opzet zijn aangebracht, en dus meestal niet van signaallichten of retroflectoren zijn voorzien.

In een aantal van de hierboven gegeven gevallen gaat het om de waarneembaarheid van kleine objecten of kleine delen van grote objecten, die waargenomen dienen te worden op basis van het contrast dat zij vormen met hun directe achtergrond, veelal het wegdek. De visuele prestatie hangt af van de adaptatietoestand. Deze wordt in eerste instantie bepaald door de luminantie van het wegdek. Op grond hiervan kunnen eisen betreffende de wegdekluminantie worden geformuleerd.

Kleine onverlichte objecten op de weg zijn alleen zichtbaar wanneer ze met voldoende contrast afsteken tegen het wegdek. Hiertoe is het nodig dat de gelijkmatigheid van het luminantiepatroon zo goed is dat er geen grote donkere plekken zijn. Voorts is het gewenst dat de verticale verlichtingssterkte op de voorvlakken van de objecten gering is. Kleine objecten kunnen in donkere plekken "verdwijnen". Een lage verticale verlichtingssterkte op verticale voorvlakken draagt bij tot een hoog contrast tussen object en achtergrond.

Behalve deze manoeuvres dient nog te worden vermeld dat kleine correcties op koers, snelheid, enz. nodig zijn. Hierbij zijn vooral van belang: snelheid of afstand aanhouden en laterale positie aanhouden (de manoeuvredelen).

Tenslotte dienen de verlichtingsmiddelen geen onacceptabele verblinding teweeg te brengen.

De vraag of een wegverlichtingsinstallatie aan zijn functie voldoet, kan worden beantwoord wanneer bekend is in hoeverre aan lichttechnische (fotometrische en geometrische) eisen is voldaan, te weten:

- het gemiddelde luminantieniveau
- de ongelijkmatigheid van het luminantiepatroon
- de verblinding
- de visuele geleiding.

5. DE FOTOMETRISCHE EN GEOMETRISCHE VEREISTEN

Op basis van de functie van verkeersvoorzieningen (het verkeer veilig, vlot en comfortabel laten verlopen tegen minimale kosten) kunnen drie groepen van verlichtingseisen worden opgesteld.

Om praktische redenen beperkt men zich tot twee: eisen betreffende de veiligheid, en die betreffende het comfort. In beide gevallen betreffen de eisen de luminantie, het luminantiepatroon en de verblinding. De visuele geleiding wordt alleen kwalitatief beschreven. De eisen zijn niet steeds even zwaar. Allereerst blijkt dat in vrijwel alle gevallen eisen omtrent comfort zwaarder zijn dan die omtrent veiligheid; voorts neemt men aan dat voor wegen met weinig verkeer waar bovendien langzaam wordt gereden, de verlichtingseisen lager zijn dan op wegen met druk, snel verkeer. En tenslotte blijkt ook hier de verkeerssamenstelling en de aanwezigheid van verstoringen (overstekende voetgangers, geparkeerde auto's, winkelatalages) van belang te zijn voor de strengheid van de eisen.

In de praktijk worden de eisen van comfort en die van veiligheid niet steeds gescheiden, met name niet omdat de gangbare ongevallenstatistieken niet nauwkeurig genoeg zijn voor het scherp vaststellen van minimumwaarden uit oogpunt van veiligheid.

De aanbevolen waarden zijn gebaseerd deels op praktijkervaringen, deels op subjectieve beoordelingen door vakmensen-waarnemers en deels op experimenteel onderzoek (binnen en buiten het laboratorium). Deze onderzoekingen en overwegingen hebben geleid tot aanbevelingen, nationaal en internationaal. De Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde heeft in 1974 richtlijnen en aanbevelingen uitgegeven, die in 1977, mede naar aanleiding van de energieschaarste, zijn aangevuld (NSvV, 1974/75; 1977). Onlangs zijn ook Aanbevelingen verschenen van de Commission Internationale de l'Eclairage (CIE, 1977).

Over deze aanbevelingen kunnen nog een paar opmerkingen worden gemaakt. De gemiddelde luminantie is allereerst bepaald op basis van het rijcomfort, waarbij het gemakkelijk herkennen van kleine details van objecten als een belangrijk criterium is gebruikt. Voor de ver-

blinding zijn zowel overwegingen van zichtbaarheid (fysiologische verblinding, "disability glare", uitgedrukt in drempelwaardeverhoging of "threshold increment" TI), als van comfort (psychologische verblinding, "discomfort glare", uitgedrukt in het verblindingbegrenzingsgetal of "Glare Mark" G) van belang geacht; evenzo voor de gelijkmatigheid. De veiligheid wordt geacht gediend te zijn met het vermijden van lage waarden van de verhouding tussen de minimale en de gemiddelde luminantie (L_{\min} / \bar{L}), terwijl het comfort vooral afhangt van de verhouding tussen de hoogste en laagste luminantie in een langslijn recht voor de waarnemer uit.

6. MINIMALE EISEN VAN DE VERLICHTING

In het voorgaande is aangegeven op welke wijze men, uitgaande van de functionele vereisten, kan aangeven aan welke kwaliteitseisen verlichting moet voldoen. Tot nu toe is deze weg, ook al is hij principieel goed gefundeerd, meestal niet gevolgd bij het opstellen van richtlijnen en aanbevelingen van openbare verlichting. Deels is dit het gevolg van het feit dat momenteel nog niet alle vereiste wetenschappelijke gegevens ter beschikking staan; van meer belang hierbij is echter het feit dat aanbevelingen voor verlichting gewoonlijk worden gebaseerd op praktijkervaring en gezond verstand, waarbij tevens het comfort (rijcomfort, visueel comfort) een belangrijke en vaak een overheersende rol speelden.

Deze aanpak heeft twee bezwaren. Het grootste bezwaar is dat men in feite niet precies kan aangeven waarom de verlichting wordt aangebracht, wat er van wordt verwacht, en dus ook niet aan welke eisen zij precies moet voldoen. Een tweede bezwaar, in essentie eigenlijk lichter, maar iets wat meestal zeer zwaar wordt opgenomen, is het feit dat op basis van de gangbare methoden geen bevredigend antwoord kan worden gegeven op de vraag of het niet met wat minder licht kan. Een betere uitwerking van de wetenschappelijke fundering is dus gewenst, vooral met het doel meer te weten te komen omtrent de minimale eisen waaraan verlichting moet voldoen.

Zoals reeds eerder is aangegeven, dient een goede verlichting aan vier groepen van (lichttechnische) eisen te voldoen. Deze betreffen dus:

- het gemiddelde luminantieniveau
- de ongelijkmatigheid van het luminantiepatroon
- de verblinding
- de visuele geleiding.

Voor alle eisen zijn in beginsel minimale (resp. maximale) eisen te stellen. De nadruk wordt echter gelegd op de eisen betreffende het luminantieniveau. De reden hiervoor is dat zowel de kosten van de verlichting, als van het energiegebruik, bij benadering evenredig zijn met dit niveau. De ongelijkmatigheid en de verblinding zijn

aanzienlijk minder "duur"; bovendien blijkt dat deze twee criteria in de praktijk alleen kunnen variëren binnen betrekkelijk nauwe grenzen. De visuele geleiding is, zoals reeds gezegd, momenteel niet te kwantificeren. We zullen deze gewoonte volgen en verder de meeste aandacht besteden aan de gemiddelde luminantie. Hiervoor wordt als regel de wegdek-luminantie genomen; de verlichting van gebieden aangrenzend aan de weg zullen we buiten beschouwing laten.

Het gaat er dus om, het minimaal vereiste luminantieniveau te vinden. Dit niveau wordt bepaald door twee onderling vrijwel onafhankelijke factoren, te weten

- de noodzakelijke manoeuvres
- de personen die de manoeuvres moeten uitvoeren.

We zullen ons, net als in het voorgaande, allereerst beperken tot bestuurders van motorvoertuigen. De manoeuvres worden dan bepaald door het verkeersgebeuren; het hangt van het wegtype en het daarop voorkomende momentane verkeer af welke objecten relevant zijn, welke manoeuvres dienen te worden uitgevoerd om de eventuele gevaren opgeworpen door die objecten te vermijden - kortom: wat moet worden gezien en hoe goed.

Hierna wordt een poging gedaan dit alles nader te kwantificeren. Daarbij wordt uitgegaan van de ook reeds eerder aangeduide elementaire manoeuvres, te weten: stoppen, snelheid veranderen, uitwijken, gewoon doorrijden. Anders gezegd: het opdoemen van (relevante) objecten in het gezichtsveld vereist een actie van de bestuurder, die daarbij kan kiezen uit het genoemde viertal elementaire manoeuvres. Men kan nu nagaan welke groepen van objecten - wanneer ze relevant zijn - de noodzaak tot de deelmanoeuvres veroorzaken.

Stoppen moet gebeuren voor objecten op de rijbaan die zo groot zijn dat men er niet omheen kan rijden. Wanneer het gaat om objecten die met opzet voor dit doel zijn aangebracht (zoals bijvoorbeeld spoorbomen) dan wordt door andere middelen - gewoonlijk signaallichten - een voldoende graad van waarneembaarheid gewaarborgd. Wanneer we ons beperken tot de eisen te stellen aan verlichting (met name aan

openbare verlichting), behoeven we ons niet met deze objecten te bemoeien. Blijven over zaken als dozen, kisten, gaten in de weg, onverlicht geparkeerde auto's, e.d. De afmetingen van deze objecten in een richting loodrecht op de waarnemingsrichting is meestal enige decimeters tot een paar meter; zeg als richtwaarde: 0,5 m. De vereiste zichtbaarheidsafstand hangt natuurlijk sterk af van de rijsnelheid, en ook van de vereiste "reactiesnelheid" en van de maximaal toelaatbare remvertraging. Bij een totale reactietijd van 2 s (kort) en een vertraging van 3 m/s^2 (veelal het maximaal haalbare op natte wegen) is de vereiste zichtbaarheidsafstand, gelijkgesteld aan de stopafstand, bijvoorbeeld bijna 70 m bij 50 km/h tot ruim 200 m bij 100 km/h (zie Tabel 1).

De elementaire manoeuvre snelheid veranderen komt alleen in aanmerking wanneer men te maken heeft met andere weggebruikers of met het naderen van discontinuïteiten in het wegverloop. In vrijwel alle gevallen zijn deze objecten van signaallichten en/of retroreflectoren voorzien, zodat de openbare verlichting hierbij een ondergeschikte rol speelt.

De elementaire manoeuvre uitwijken heeft te maken met kleine, meestal niet opzettelijk aangebrachte, objecten. Men kan denken aan objecten van één of meer decimeters. De vereiste zichtbaarheidsafstand hangt af van de rijsnelheid, de reactietijd en de maximaal toelaatbare dwarsversnelling. Immers, er is aangenomen dat men om de objecten heen moet rijden. Voor gebruikelijke omstandigheden is deze minimale zichtbaarheidsafstand enige tientallen meters (bijna 50 m bij 50 km/h en ca. 90 m bij 100 km/h, voor de afleiding hiervan zie Annex I).

Voor de manoeuvre gewoon doorrijden is uiteraard geen minimaal vereiste zichtbaarheidsafstand op te geven, omdat er geen echte actie door de bestuurder wordt ondernomen.

Er komen dus twee "standaardobjecten" te voorschijn uit deze beschouwingen, te weten met een afmeting van 0,5 m en 0,1 m. Ze moeten zichtbaar zijn bij 50 km/h op resp. 70 m en 50 m; bij 100 km/h op

resp. 200 m en 90 m. Dit komt overeen met hoeken van resp. 25', 7', 9' en 4'. Ook bij de tamelijk lage helderheden die bij straatverlichting gebruikelijk zijn, wordt de zichtbaarheid (detecteerbaarheid) van objecten van deze afmetingen in hoofdzaak bepaald door het luminantiecontrast tussen het object en zijn directe achtergrond, en in mindere mate door de afmetingen (in hoekmaat).

Met de analytische benadering komen we niet veel verder dan dit punt. Dit heeft drie oorzaken.

Ten eerste is over het contrast dat tussen object en achtergrond bestaat niet veel meer te zeggen. Immers, het gaat om objecten die niet met opzet worden aangebracht en die dus wat betreft hun reflectie zeer uiteenlopende eigenschappen kunnen hebben. Bovendien kunnen ze op allerlei plaatsen op de weg voorkomen, zodat de (verticale) verlichtingssterkte zeer uiteenlopend kan zijn, de luminantie van de objecten dus eerst recht, zodat het contrast allerlei waarden kan aannemen. Wel zou een frequentieverdeling van mogelijke contrastwaarden kunnen worden opgegeven.

Ten tweede heeft men te maken met een onderling sterk uiteenlopende groep waarnemers. Hoe sterk automobilisten, als waarnemers beschouwd, onderling uiteen lopen, is moeilijk te zeggen.

Ten derde gaat het bij het ontwaren van objecten op de weg niet in de eerste plaats om het detecteren, maar om het herkennen. Voor het herkennen is meer (visuele) informatie nodig dan voor het detecteren; het is niet bekend en ook nauwelijks in zijn algemeenheid te bepalen hoeveel meer. Zie verder Vos (1978).

Maar één ding volgt echter zeer duidelijk uit het voorgaande: het is principieel niet mogelijk om de vereisten omtrent de zichtbaarheid van objecten af te leiden uit zichtbaarheidsmetingen. Voor zover dit bij de momenteel gangbare Aanbevelingen en Codes is gedaan, is dit alleen te rechtvaardigen op grond van het feit dat deze aanbevelingen eigenlijk vooral zijn gebaseerd op gezond verstand en praktijkervaring. Het is dan ook niet te verwonderen dat ze meestal in gebreke blijven wanneer men te maken heeft met nieuwe principes of constructies, waarover nog geen praktijkervaring bestaat. Ook kan

niet adequaat worden gereageerd op vragen waarop men preciese antwoorden verlangt. Als voorbeeld: het hier aan de orde zijnde geval waar men wil weten of er in de verkeersverlichting - wat betreft de energie - nog wat bezuinigd kan worden.

De conclusie is dus nogal negatief: hoewel een methode kan worden aangegeven waarmee in beginsel kan worden aangegeven aan welke minimale eisen de verlichting moet voldoen om functioneel te kunnen zijn, blijkt in de praktijk deze weg niet tot een bruikbare kwantificatie te leiden.

7. ONGEVALLENSTATISTIEKEN

Men kan natuurlijk ook een heel andere weg inslaan. Wanneer men stelt dat de functie is van verkeersverlichting om de veiligheid te bevorderen, is het logisch om het verband tussen de kwaliteit van de verlichting enerzijds en de ongevallen anderzijds te onderzoeken. Men zoekt dan naar de functie $N = f(Q)$ waarbij N het aantal ongevallen is en Q de kwaliteit van de verlichting.

Wanneer men - gemakshalve - de gemiddelde luminantie \bar{L} als maat voor de kwaliteit gebruikt, krijgt men dus $N = f(\bar{L})$. Het is te verwachten dat de grafiek van deze functie de volgende kenmerken vertoont: bij lage \bar{L} (zoals behoort bij dimlicht) behoort een bepaalde waarde van N . Bij toenemende \bar{L} neemt N monotoon af met afnemende helling, om bij hoge \bar{L} te naderen naar een eindwaarde. Men kan het verloop van deze functie - in beginsel tenminste - kwantitatief bepalen op de volgende wijze: men neemt een onverlicht wegvak, telt - bijvoorbeeld gedurende een jaar - de ongevallen. Men brengt vervolgens een verlichting aan met een niveau \bar{L}_1 ; weer worden gedurende een jaar de ongevallen geteld. Dit herhaalt men voor de luminantie \bar{L}_2, \bar{L}_3 enz. totdat men aan de eindwaarde komt. Onderwijl wordt, o.a. door controlegroepen te bestuderen, met een geleidelijke, algemene verandering in het ongevallenpatroon rekening gehouden. Wanneer men op hetzelfde moment verschillende wegen met $\bar{L}_1, \bar{L}_2, \bar{L}_3$ voorziet, kunnen alle proeven tegelijk worden genomen, zodat de totale tijdsduur van de proeven niet te groot hoeft te worden. De grafiek is schematisch weergegeven in Afbeelding 3.

Aan deze methode kleeft slechts één bezwaar, maar het bezwaar is dan ook volstrekt onoverkomelijk: de lengte van de weg die beschikbaar moet zijn, is veel te groot, zelfs wanneer men beschikt over betrouwbare gegevens omtrent ongevallen met gewonden - en dus niet alleen, zoals in Nederland, uitsluitend over ongevallen waarbij doden zijn gevallen. Uit de in Annex II gegeven berekeningen volgt dat (bij een overschrijdingskans van 5%) men al gauw de beschikking moet hebben over duizenden kilometers weg, zeker wanneer het gaat om kleine stappen in N - wanneer men dus de functie op een nogal nauwkeurige wijze wil beschrijven. In Tabel 2 zijn een aantal gegevens opgenomen.

Zoals gezegd, deze manier is voor de praktijk veel te duur. Voor- en nastudies kan men dan ook alleen gebruiken wanneer er grote effecten te verwachten zijn, zoals bijvoorbeeld de vergelijking tussen wegen zonder verlichting en wegen met zeer goede verlichting. Daarmee vindt men echter slechts twee punten van de kromme van Afbeelding 3. En dan nog zijn de bij de meeste voor- en nastudies gebruikte weglengten veel geringer dan de waarden gegeven uit Tabel 2, zodat - nog afgezien van soms ernstige methodologische tekortkomingen - de statistische betrouwbaarheid veel geringer is dan de hierboven aangegeven waarde van 5%. Men moet dan ook de resultaten van de afzonderlijke proefnemingen met de nodige voorzichtigheid behandelen.

Een zeer beknopt overzicht van de meest belangrijke onderzoeken in gegeven in Tabel 3; meer gedetailleerde gegevens over de onderzoeken zijn te vinden in De Boer & Schreuder (1972), Duff (1975), OECD (1971) en Hall & Fisher (1977).

8. CONCLUSIES

Voor het gefundeerd opstellen van realistische aanbevelingen voor (de kwaliteit en kwantiteit van) openbare verlichting is het noodzakelijk om te weten aan welke eisen de verlichting moet voldoen. In beginsel kunnen deze eisen rechtstreeks worden afgeleid uit de relatie tussen ongevallen en verlichtingskwaliteiten, en indirect uit de relatie tussen gewenste zichtbaarheid en verlichtingskwaliteit. De huidige situatie is echter dat noch de ene noch de andere methode resultaten oplevert die voldoende betrouwbaar, voldoende nauwkeurig en voldoende generaliseerbaar zijn om te kunnen worden gebruikt voor het opstellen van aanbevelingen. Ook al is in beginsel bekend hoe een systeem kan worden opgezet waarmee bedoelde relaties zijn te onderzoeken, er is nog veel onderzoek nodig. En daarom worden ook de nieuwere aanbevelingen voor het grootste gedeelte gebaseerd op gezond verstand, praktijkervaring en subjectieve beoordelingen.

Er zijn echter drie grote bezwaren tegen deze gang van zaken aan te voeren.

Ten eerste is het erg moeilijk om nieuwe technische ontwikkelingen (bijv. lijnverlichting) te vervolmaken, omdat immers de praktijkervaring nog ontbreekt. Dure en langdurige proeven zijn dus meestal nodig.

Ten tweede is het moeilijk om het antwoord te vinden op plotseling opkomende vragen (zoals die welke tijdens de energiecrisis naar voren kwamen) vooral wanneer die antwoorden met een kleine marge moeten worden gegeven. Een voorbeeld: welk gemiddeld luminantieniveau is voor een autoweg buiten de bebouwde kom uit oogpunt van veiligheid het absolute minimum.

Ten derde is het meestal niet mogelijk om de aspecten van visueel comfort en rijcomfort te scheiden van de andere aspecten van de verlichting, zoals bijvoorbeeld de zichtbaarheid van obstakels of verkeersdoorstroming.

Maar wel bestaat bij velen de mening dat ook binnen het kader van de gangbare aanbevelingen nog mogelijkheden bestaan om, bij behoud van de kwaliteit van de verlichting, de benodigde energie nog efficiënter te gebruiken. Er zij hiervoor verwezen naar de voordrachten van Hendriks (1978) en Tan (1978).

TABELLEN EN AFBEELDINGEN

Tabel 1. Stopafstanden (in m) in afhankelijkheid van de rijsnelheid v de reactietijd t en de remvertraging a .

Tabel 2. Noodzakelijke weglengte (km). (Zie ook Annex II).

Tabel 3. Reductie in ongevallen na aanbrengen/verbetering van openbare verlichting (% van de nachtelijke ongevallen).

Afbeelding 1. Overzicht van de beslissingsniveau's. (Bron: Asmussen, 1972).

Afbeelding 2. Gedetailleerder overzicht van de beslissingsniveau's. (Bron: Schreuder, 1974).

Afbeelding 3. Relatie tussen gemiddelde luminantie \bar{L} en het aantal ongevallen N .

$v = 10 \text{ m/s (36 km/h)}$				$v = 15 \text{ m/s (54 km/h)}$		
$t =$	1	2	3	1	2	3
$a = 1$	60	70	80	127	142	157
2	35	45	55	71	86	101
4	22,5	32,5	42,5	43	58	73
6	18	28	38	34	49	64
8	16	26	36	29	44	59

$v = 20 \text{ m/s (72 km/h)}$				$v = 30 \text{ m/s (108 km/h)}$		
$a = 1$	220	240	260	480	510	540
2	120	140	160	255	285	315
4	70	90	110	142	172	202
6	53	73	93	105	135	165
8	45	65	85	86	116	146

Tabel 1. Stopafstanden (in m) in afhankelijkheid van de rijsnelheid v , de reactietijd t en de remvertraging a .

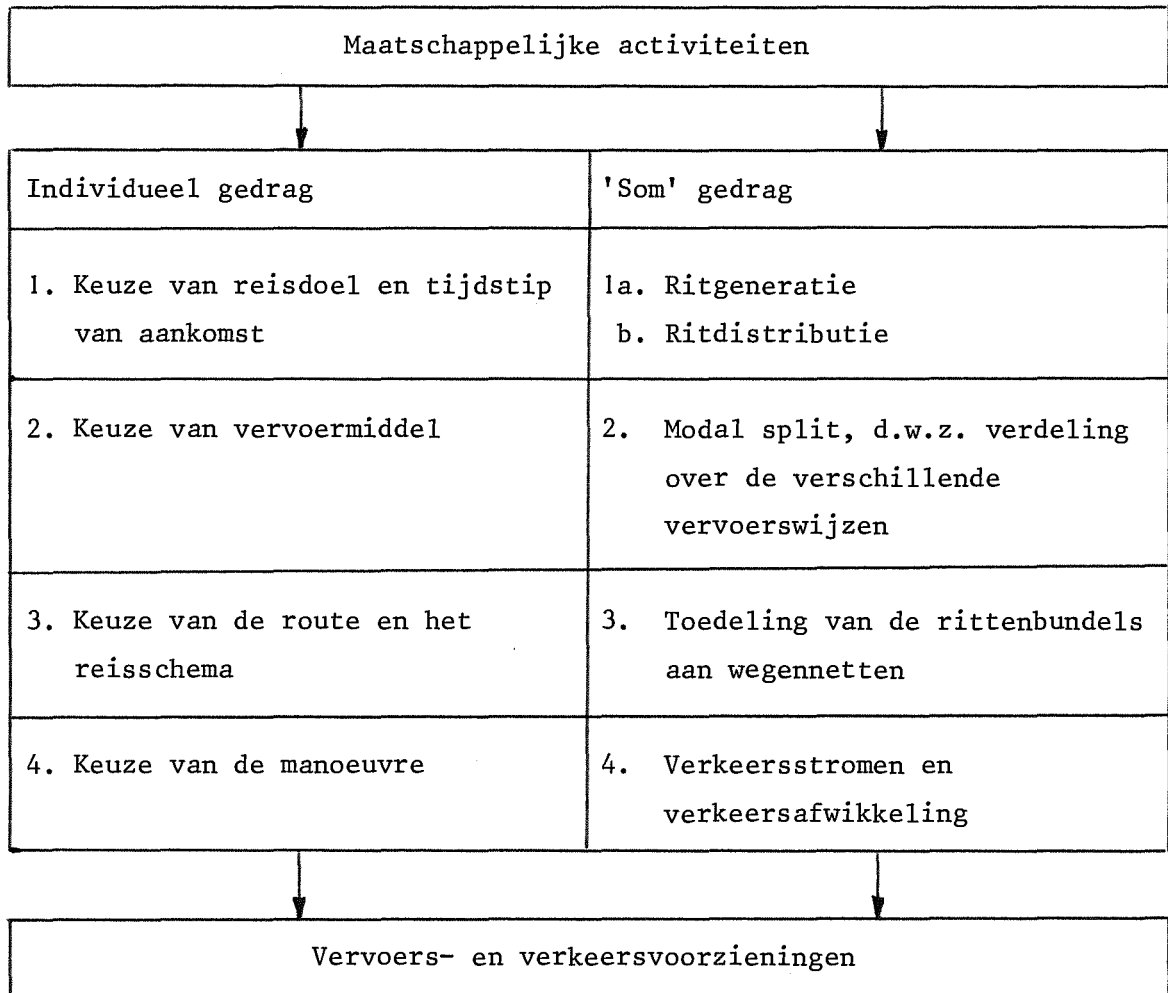
ΔN (%)	bij verkeersdoden	bij verkeersgewonden
1	280 000 km	11 000 km
2	140 000 km	5 500 km
5	56 000 km	2 200 km
10	28 000 km	1 100 km
20	14 000 km	550 km

Tabel 2. Noodzakelijke weglengte (km). (Zie ook Annex II).

	<u>Reductie</u>	<u>Betreft</u>	<u>Volgens</u> ¹⁾
<u>Autosnelwegen</u>			
Frankrijk	22%	gewonden	(1)
Los Angeles	16%	gewonden	(1)
Tennessee	39%	gewonden	(1)
USA	52%	gewonden	(1)
Nederland	18%	alle ongevallen	(1)
Japan	56%	alle ongevallen	(2)
Japan (2)	44%	alle ongevallen	(3)
Chicago (2)	62%	gewonden	(2)
<u>Rurale wegen</u>			
Engeland	48%	gewonden	(1)
Engeland	38%	gewonden	(1)
Engeland (19 sites)	53%	gewonden	(2)
Engeland (21 sites)	44%	gewonden	(2)
<u>Urbane wegen</u>			
Engeland	30%	gewonden	(1)
Zwitserland	36%	gewonden	(1)
Kansas	22%	gewonden	(1)
Hamburg	37%	alle ongevallen	(2)
Engeland	74%	gewonden	(2)
Engeland (16 sites)	33%	gewonden	(2)
N.S. Wales	27%	slachtoffers	(2)
Rhodesia	28%	alle ongevallen	(2)
<u>Alle wegen</u>			
Zweden	48%	gewonden	(1)

1) Samenvatting van de resultaten gegeven door De Boer & Schreuder, 1972 (1); Duff, 1975 (2) en Narisada, 1976 (3).

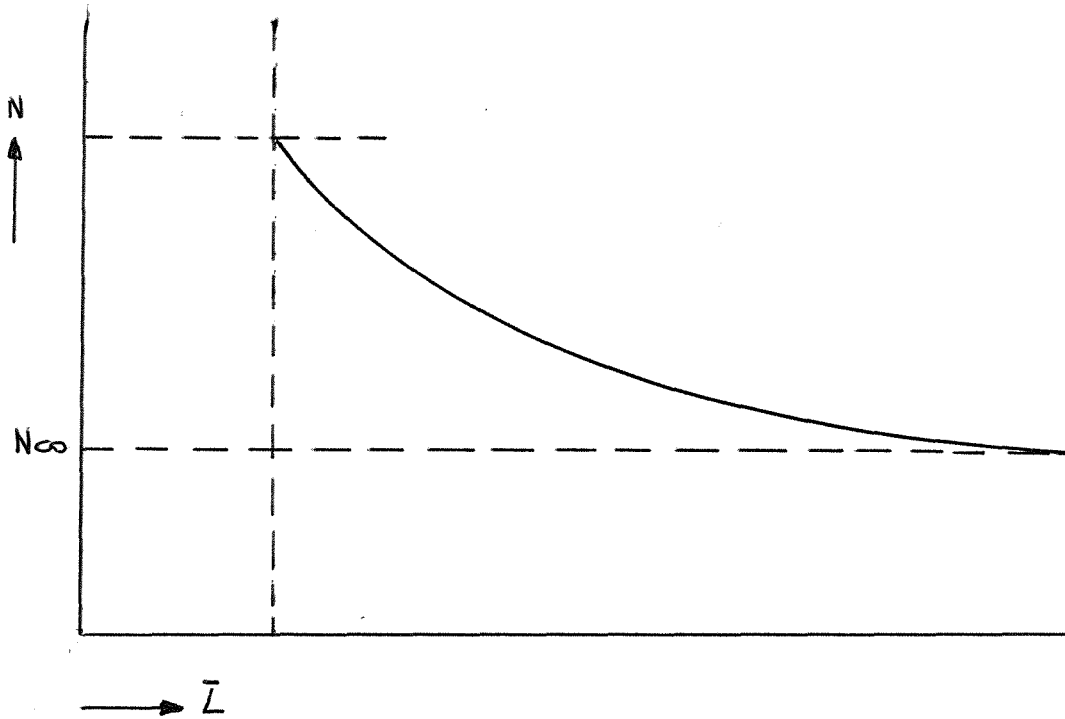
Tabel 3. Reductie in ongevallen na aanbrengen/verbetering van openbare verlichting (% van de nachtelijke ongevallen).



Afbeelding 1. Overzicht van de beslissingsniveau's. (Bron: Asmussen, 1972).

niveau	Behoeftte leidt tot		naam niveau
	individueel gedrag	somgedrag	
1a	keuze reismotief	ritgeneratie	sociologisch niveau
1b	keuze reisdoel	ritdistributie	planologisch niveau
2	keuze vervoermiddel	verdeling over vervoerswijzen	transportatieniveau
3	keuze route	verdeling van rittenbundels	strategisch niveau
4a	keuze samengestelde manoeuvre	verkeers-afwikkeling	operatieniveau
4b	keuze elementaire manoeuvre		tactisch niveau
4c	keuze manoeuvredeel		stuurniveau

Afbeelding 2. Gedetailleerder overzicht van de beslissingsniveau's.
(Bron: Schreuder, 1974).



Afbeelding 3. Relatie tussen gemiddelde luminantie \bar{L} en het aantal ongevallen N.

LITERATUUR

Asmussen, E.A. (1972). Mogelijkheden en beperkingen van de verkeersdeelnemers als uitgangspunten voor het gebruik van hulpmiddelen in het verkeer. In: Intertraffic '72, Internationaal Congres over Verkeerstechniek, Civieltechnische dag, Amsterdam (1972) RAI.

De Boer, J.B. & Schreuder, D.A. (1972). Nieuwe ontwikkelingen op het gebied van weg- en straatverlichting ten behoeve van de verkeersveiligheid. In: Intertraffic '72, Internationaal Congres over Verkeerstechniek, Elektronische dag, Amsterdam (1972) RAI.

CIE (1977). Recommendations for the lighting of roads for motorized traffic. Publication 12/2. Paris (1977) Commission Internationale de l'Eclairage.

Duff, J.T. (1975). Road lighting and accidents. Rapport uitgebracht aan CIE TC 4.6. (Niet gepubliceerd).

Grijs, J.C. de (1972). Visuele beoordeling van verlichtingscriteria in Den Haag en Amsterdam. Electrotechniek 50 (1972) 14.

Hall, R.R. & Fischer, A.J. (1977). Measures of visibility and visual performance in road lighting. Symposium "Measures of Road Lighting Effectiveness", Karlsruhe (1977).

Hendriks, J.H. (1978). Openbare verlichting binnen de bebouwde kom. Congresdag "Verlichting en Energiegebruik", Rotterdam (1978).

Narisada, K. (1976). Rapport uitgebracht aan CIE TC 4.6. (Niet gepubliceerd).

NSvV (1974/1975). Richtlijnen en aanbevelingen voor openbare verlichting. Electrotechniek 52 (1974) 15; 53 (1975) 2 en 5.

NSvV (1977). Het lichtniveau van de openbare verlichting in de bebouwde kom. *Electrotechniek* 55 (1977) 2: 90-91.

OECD (1971). *Lighting, visibility and accidents*. Parijs (1971) Organisation for Economic Co-operation and Development.

Schreuder, D.A. (1974). De rol van functionele eisen bij de wegverlichting. In: *Wegontwerp en verlichting tegen de achtergrond van de verkeersveiligheid; Pre-adviezen Congresdag, Utrecht (1974)*. 's-Gravenhage (1974) Vereniging Het Nederlandsche Wegencongres.

Tan, T.H. (1978). Openbare verlichtingskosten buiten de bebouwde kom. Congresdag "Verlichting en Energiegebruik", Rotterdam (1978).

Vos, J.J. (1978). Hebben wij onze verlichtingseisen wat ver opgeschroefd? Congresdag "Verlichting en Energiegebruik", Rotterdam (1978).

ANNEX I: BENODIGDE ZICHTBAARHEIDSAFSTAND

In eerste benadering kan men aannemen dat bij het besturen van een voertuig de dwarsverplaatsing nodig bij de uitwijkmanoeuvre onafhankelijk is van de voorwaartse beweging. Wanneer men verder aanneemt dat de dwarsverplaatsing (over de afstand b) plaatsvindt door eerst een eenparige versnelling en daarna een eenparige vertraging op het voertuig te laten werken, kan de tijd nodig voor de uitwijkmanoeuvre worden bepaald en dus - bij bekende voorwaartse snelheid v en waarnemingstijd t_0 - ook de zichtbaarheidsafstand.

Voor de halve uitwijkmanoeuvre geldt: $S = \frac{1}{2} at^2$. Daarbij is $S = \frac{1}{2}b$.

Dus $b = at^2$ of $t = \sqrt{\frac{b}{a}}$.

Met $b = 1$ m en $a = 1$ m/s² (redelijke waarden) volgt voor $t = 1$ s.

Met een "reactietijd" van 2 s is dus de totale tijd 3 s. Hieruit volgt de minimale zichtbaarheidsafstand van bijna 50 m bij 50 km/h en 90 m bij 100 km/h.

ANNEX II: DE GROOTTE VAN DE BENODIGDE STEEKPROEF

Verkeersongevallen kunnen worden beschreven in termen van een statistisch kansverschijnsel. Dit verschijnsel kan worden beschreven met een binomiale verdeling, gekenmerkt door $\mu = pn$ en $\sigma = \sqrt{pqn}$. Daarin zijn p en q de alternatieve kansen (bijv. p : een gebeurtenis, bijv. een ongeval vindt plaats, en $q = 1 - p$), n de steekproefgrootte, μ het gemiddelde en σ de standaardafwijking van de populatie waaruit de steekproef is getrokken. Bij kleine p (d.w.z. $q \approx 1$) gaat de binomiale verdeling over in een Poisson-verdeling met $\mu = pn$ en $\sigma = \sqrt{\mu}$. Voor $n \gg 10$ kan de Poisson-verdeling worden benaderd d.m.v. een normale verdeling.

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

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

Neem nu het grensgeval: $\mu_v = 1,96 \sigma_v$.

Omdat $\mu_v = \mu_1 - \mu_2$, is voor een reductie van één procent dus:

$$\mu_v = (1,00 - 0,99)\mu.$$

Verder is $\sigma_v = \sigma \sqrt{2}$; $\sigma = \sqrt{\mu}$ en $\mu = pn$ (Poisson-verdeling).

Hieruit volgt dat

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

$$pn = 76800.$$

Hieruit kan de grootte van de steekproef worden bepaald voor een reductie van 1%, mits p (het dodenquotiënt of het gewondenquotiënt) bekend is.

Wanneer men aanneemt dat op een autosnelweg het dodenquotiënt ca. $1,5 \cdot 10^{-8}$ bedraagt (doden per vtg.km) en op andere wegen ca. $4,5 \cdot 10^{-8}$; en dat op de autosnelweg 50.000 voertuigen per etmaal passeren en op een "andere" weg ca. 17.000 dan volgt voor p (wanneer de proef een jaar duurt), resp.

$$\left. \begin{aligned} p &= 365 \cdot 50.000 \cdot 1,5 \cdot 10^{-8} = 0,274 \\ p &= 365 \cdot 17.000 \cdot 4,5 \cdot 10^{-8} = 0,279 \end{aligned} \right\} \text{ dus ca. } 0,27$$

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

Hieruit volgt dat men voor een vóór- en nastudie, beide één jaar beslaande, bij een verwachte reductie van één procent een proeftraject nodig heeft van ca. 280.000 km. Wanneer men ook verkeersgewonden in de proef kan betrekken, is voor 1% reductie ca. 11.000 km weg nodig. Wanneer de reductie groter is, kan het proeftraject evenredig korter worden gekozen. De resultaten zijn gegeven in Tabel 2 van het rapport.