

# Verlichting voor het verkeer, deel 1

*Zicht en licht voor openbare ruimten*

R-95-35A

Dr. ir. D.A. Schreuder

Leidschendam, 1995

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

# Documentbeschrijving

Rapportnummer: R-95-35A  
Titel: Verlichting voor het verkeer, deel 1  
Ondertitel: Zicht en licht voor openbare ruimten  
Auteur(s): Dr. ir. D.A. Schreuder  
Onderzoeksmanager: Mr. P. Wesemann  
Projectnummer SWOV: 74.114  
Opdrachtgever: Het onderzoek waarvan dit rapport verslag doet werd uitgevoerd in het kader van de jaarlijkse doelsubsidie van het ministerie van Verkeer en Waterstaat aan de SWOV.

Trefwoorden: Lighting (street), luminance, light intensity, efficiency, safety, traffic, perception, eye movement, vision, attention, road user, visibility, behaviour.

Projectinhoud: Bundeling van verzamelde geschriften, verspreid over een aantal jaren over de achtergronden van waarneming in het verkeer op het gebied van openbare verlichting.

Aantal pagina's: 130  
Prijs: f 40,-  
Uitgave: SWOV, Leidschendam, 1995

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV



Stichting  
Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid  
SWOV  
Postbus 1090  
2260 BB Leidschendam  
Duindoorn 32  
telefoon 070-3209323  
telefax 070-3201261

## Voorwoord

De auteur van de in deze bundels verzamelde geschriften heeft, verspreid over een aanzienlijk aantal jaren, een vrij groot aantal publikaties het licht doen zien op het gebied van de openbare verlichting. Het merendeel van deze publikaties is door de SWOV als ‘rapport’ uitgegeven; een aanzienlijk deel als tijdschriftartikel of als congreslezing (vaak in ‘proceedings’), terwijl sommige stukken nooit formeel zijn gepubliceerd. Tezamen vormen deze publikaties een tamelijk volledig beeld van het vakgebied van de openbare verlichting.

Omdat veel van de publikaties moeilijk, of zelfs in het geheel niet meer, verkrijgbaar zijn, en omdat het materiaal over een aantal los van elkaar staande publikaties is verdeeld, heeft de SWOV besloten een verzamelband samen te stellen. Deze verzamelband heeft het karakter van een ‘reader’; dat wil zeggen, de geselecteerde publikaties (of soms delen ervan) zijn ongewijzigd gebruikt en vervolgens bijeen gevoegd. In sommige gevallen is de oorspronkelijke taal van de betreffende publikatie aangehouden; ook zijn veelal de paragraafnummers en de literatuurverwijzingen gehandhaafd. Om deze heterogene verzameling toch tot een samenhangend geheel te maken, zijn op de daartoe geëigende plaatsen korte voorwoorden tussengevoegd.

De bundeling bestaat uit twee delen. In het eerste deel *Zicht en licht voor openbare ruimten* worden de achtergronden van waarneming in het verkeer behandeld; in het tweede deel, *Openbare verlichting* wordt meer op de praktische kanten van de openbare verlichting ingegaan.

Leidschendam, 1995



# Inhoud

<i>Voorwoord</i>	3
<i>A.I. Visuele waarneming fotometrie, colorimetrie</i>	6
<i>A.II. Verkeersaspecten (PAO)</i>	29
<i>A.III. Waarneming in het verkeer (R-92-64)</i>	39
<i>A.IV. De preview (R-91-71)</i>	60
<i>A.V. Objecten (R-93-36)</i>	82
<i>A.VI. Methoden van onderzoek (R-92-39; CROW; CIE-bijlagen)</i>	101
<i>Literatuur</i>	117

## A.1. Visuele waarneming, fotometrie, colorimetrie

Aangezien het wegverkeer gebaseerd is op het verkrijgen van visuele informatie in situaties die on-line verwerkt moeten worden, is de visuele informatie een essentieel onderwerp bij alle overwegingen van verkeersveiligheid. Bij verkeer bij duisternis, en de verlichting die als hulpmiddel bedoeld is, eens te meer. Visuele waarneming wordt wel als een onderdeel van de toegepaste psychologie beschouwd. In dat vakgebied is - en wordt nog steeds - zeer veel onderzoek uitgevoerd. Voor de praktische toepassing in de verlichtingskunde is slechts een overzicht van de meest centraal liggende verschijnselen nodig. Bij de verlichting van tunnels (die in de onderhavige bundeling nauwelijks aan de orde komt) is een diepergaande kennis nodig.

Licht moet gekwantificeerd en gemeten kunnen worden. Dit is het terrein van de fotometrie; een essentieel onderdeel van de verlichtingskunde. Voor de colorimetrie geldt dit ook, zij het in mindere mate.

Het onderdeel A I is aan een cursus ontleend die in 1994 is gegeven, en kan dus als redelijk 'up-to-date' worden beschouwd.

## A. ZICHT EN LICHT VOOR OPENBARE RUIMTEN

### A.I. VISUELE WAARNEMING FOTOMETRIE, COLORIMETRIE (PAO)

#### 1. Inleiding

Een analyse van het deelnemen aan het verkeer - een analyse waar in deze cursus in detail op wordt ingegaan - levert drie belangrijke zaken op:

- (a) het deelnemen aan het verkeer (als autobestuurder, maar ook als fietser of voetganger) is in laatste instantie een beslistaak;
- (b) beslissingen worden voor een belangrijk (vaak het belangrijkste) deel genomen aan de hand van de in situ en real time verzamelde informatie uit de buitenwereld;
- (c) deze informatie is voor het allergrootste deel van visuele aard.

Het visuele systeem speelt dus een beslissende rol in alle beschouwingen over het verkeer en de verkeersveiligheid; dit is des te sterker wanneer we ons - zoals in deze cursus - speciaal richten op maatregelen die deze visuele informatie ondersteunen - namelijk de openbare verlichting.

We zullen dit hoofdstuk beginnen met een korte omschrijving van het visuele systeem vanuit anatomisch en fysiologisch gezichtspunt; daarna zullen we in het kort de functie van het gezichtsorgaan (het visuele systeem) toelichten. Uiteraard gaan deze beschouwingen over het menselijke visuele systeem; dit behoeft niet steeds herhaald te worden. Vooraf worden nog enige opmerkingen gemaakt over het licht.

#### 2. Licht

Licht is een electro-magnetisch verschijnsel. Het kan worden beschreven in termen van een set van (partiële) differentiaalvergelijkingen die ook bij de beschrijving van trillingsverschijnselen aan de orde kunnen komen; daarom noemt men het licht wel een "golfverschijnsel" (of een trillingsverschijnsel). Deze aanduiding geldt op zijn best als een gedeeltelijke beschrijving. Twee grote problemen kleven aan deze beschrijving:

- \* ten eerste is er "niets" dat kan trillen (een "veld" is "niets");
- \* ten tweede zijn er vele verschijnselen die alleen in termen van snel voortvliegende deeltjes (projectielen; lichtdeeltjes of fotonen) kunnen worden beschreven.

Het beeld moge dan onjuist of op zijn minst onvolledig zijn; het is wel handig. Het licht kan als golfverschijnsel worden beschreven; het is daarmee een onderdeel van het bredere gebied van elektromagnetische trillingen (het elektromagnetische spectrum). Deze verschijnselen kunnen als trillingen of als golven worden beschreven; deze twee termen zijn uitwisselbaar, omdat licht steeds met dezelfde snelheid voortgaat, de lichtsnelheid, die in vacuüm de bekende waarde heeft van 300 000 km/sec. De elektromagnetische verschijnselen kunnen worden gekwantificeerd door hun golflengte of door hun trillingsgetal (of frequentie). Ook deze twee begrippen zijn bij gelijke voortplantingssnelheid uitwisselbaar.

Langere golven (lagere frequenties) horen bij infra-rood licht (warmtestraling), golven van TV, RADAR en radio enz. Kortere golflengten (hogere frequenties) horen bij ultra-violet licht, bij Röntgenstraling, gammastraling, kosmische straling enz.

Het zichtbare licht beslaat slecht een klein gedeelte van dit elektromagnetische spectrum: de golflengten van ca 400 tot iets minder dan 800 nm (nanometer, dat is  $10 \text{ exp}(-6)$  meter). In muziektermen komt dit overeen met ca een octaaf. Op een wijze die verderop in eenvoudige termen wordt toegelicht, vertegenwoordigt iedere golflengte een enkele kleur. Zo is licht met een golflengte van 600 a 700 nm rood; licht van 550 nm is geel, licht van 500 nm is groen, en licht van 400 a 450 nm is blauw. Dit zijn de kleuren van de regenboog. Geen wonder, want de regenboog is een verschijnsel waar het licht wordt ontleed in de opeenvolging van de golflengten. We komen verderop nog terug op kleuren, kleurenzien, en de beschrijving ervan; we merken hier alleen op dat alle kleuren "door elkaar" kennelijk wit licht opleveren.

### 3. De anatomie van het visuele systeem

#### 3.1. Onderdelen

Het menselijke visuele systeem bestaat uit vijf hoofdonderdelen:

- (a) de optische gedeelten van het oog;
- (b) het netvlies met de fotoreceptoren;
- (c) de zenuwcellen (neuronen) in het oog;
- (d) de (visuele) zenuwbanen;
- (e) de hersenschors (cortex).

De eerste drie bevinden zich in het oog (de oogbol); de laatste twee bevinden zich in het hersengedeelte van de schedel. Het oog is een vrijwel bolvormig orgaan, dat naast de genoemde "actieve" delen ook een veelheid van delen bevat die niet rechtstreeks bij de waarneming betrokken zijn. Het gaat om "steunconstructies" (de oogrok, het oogvocht enz), om "bewegingselementen" (spieren enz) en om "beschermingsconstructies" (oogleden, traanklieren enz). Tenslotte is er het voor de aanpassing (adaptatie) belangrijke regenboogvlies (iris) met in het midden een opening (de pupil). Op de pupil komen we verderop terug. Deze vijf onderdelen hebben ieder een andere functie bij de visuele waarneming. We zullen ze hierna in het kort bespreken.

#### 3.2. Optische gedeelten

De optische gedeelten van het oog vormen een optische afbeelding van de buitenwereld op het netvlies. De optische gedeelten zijn:

- \* de cornea (het hoornvlies)
- \* de lens.

Men kan de werking vergelijken met die van een fototoestel. De cornea (en met name het aan de buitenwereld grenzende voorvlak ervan) levert de grootste bijdrage tot deze afbeelding; de lens draagt ook tot de beeldvorming bij, maar de bijdrage is vooral het scherp stellen van het beeld (accommoderen; vergelijkbaar met de afstandsinstelling bij een camera).



### 3.3 Het netvlies

De afbeelding wordt op de achterwand van het oog gevormd. Deze achterwand is bedekt met het netvlies (de retina). Dit netvlies bestaat uit fotoreceptoren, zenuwen en bloedvaten. Er zijn twee soorten fotoreceptoren: de staafjes en de kegeltjes (zo genoemd naar hun vorm). De overeenkomst is dat beide soorten het invallende licht omzetten in zenuwpulsen, die door de zenuwen in het netvlies verder worden geleid.

De staafjes en de kegeltjes vertonen echter ook belangrijke verschillen. De staafjes zijn allen gelijk; kegeltjes zijn er in drie soorten. Omdat de drie soorten kegeltjes ieder voor een andere lichtkleur gevoelig zijn, kunnen met de kegeltjes in onderlinge samenwerking kleuren worden onderscheiden. Ook de staafjes zijn in verschillende mate gevoelig voor licht van verschillende kleur (golflengte); omdat er echter maar één soort staafjes is, kunnen met de staafjes geen kleuren worden waargenomen.

Verder hebben de staafjes een veel grotere gevoeligheid dan de kegeltjes. Bij geringe lichtintensiteiten (minder van 0,01 cd/m<sup>2</sup> - deze maat wordt verderop toegelicht) werken alleen de staafjes; bij waarden boven ca 10 cd/m<sup>2</sup> werken alleen de kegeltjes, en in het tussengebied werken ze allebei, zij het in verschillende mate. Gezien deze gevoeligheidsgebieden noemt men de visuele waarneming met de staafjes wel het nachtzien (scotopisch zien), en het waarnemen met de kegeltjes het dagzien (fotopisch zien). Het overgangsg gebied wordt wel het menggebied (mesopisch zien) genoemd. De gevoeligheid voor de intensiteit van het invallend licht is niet eens en voor al constant; in tegendeel, de gevoeligheid van zowel de staafjes als die van de kegeltjes kan in sterke mate worden "aangepast" aan de hand van de lichtintensiteit. Op dit belangrijke verschijnsel, dat adaptatie wordt genoemd, en waarbij, zoals hierboven reeds is vermeld, ook de oogpupil een rol speelt, komen we verderop nog in detail terug.

Bij openbare verlichting hebben we met het fotopisch zien te maken, alsmede met het direct aan het fotopische gebied grenzende gebied van het mesopische zien (het "hoog-mesopisch zien"). De praktijk leert dat het hoog-mesopisch zien nauwelijks van het fotopisch zien afwijkt, zodat voor de praktijk van de openbare verlichting, zoals die in deze cursus wordt behandeld, kan worden aangenomen dat alle waarneming met het fotopisch zien (het dagzien) geschiedt.

Ten slotte dient te worden vermeld dat de staafjes over het gehele netvlies verspreid zijn, met uitzondering van het middengedeelte (de gele vlek of fovea centralis). In de fovea komen geen staafjes voor; daarentegen zijn de kegeltjes in de fovea zeer dicht opeeng gepakt, zodat met dit gebied scherpe waarneming mogelijk is. In de buitengebieden (de periferie van het netvlies) komen ook wel kegeltjes voor, maar minder dicht zodat de perifere waarneming minder scherp is dan de foveale waarneming.

In het menselijk oog bevinden zich een zeer groot aantal fotoreceptoren (enige honderden miljoenen per oog!). Het door de cornea en de lens gevormde optische beeld wordt door al deze receptoren "ontleed" in elementen, die verder worden geleid naar de oogzenuw. Men kan deze elementen vergelijken met de pixels in een CCD-video-opnamechip, of met de zilverkorrels in een fotografische plaat.

### 3.4. Het visuele zenuwstelsel

#### (a) Zenuwcellen

In het oog (in het netvlies) bevinden zich vele zenuwcellen. Deze cellen brengen de elektrische pulsen over naar de oogzenuw, maar in dit overdrachtsproces vindt reeds een eerste bewerking van de signalen plaats. De zenuwcellen koppelen groepen van fotoreceptoren in bepaalde "schakelingen" aaneen; naast een eerste bewerking van het visuele signaal betekent dit dat er veel minder zenuwbanen dan fotoreceptoren nodig zijn.

#### (b) De visuele zenuwbanen

De visuele zenuwbanen (de oogzenuw of nervus opticus) geleiden de elektrische pulsen, die het visuele signaal - in een gecodeerde vorm - representeren naar de hersenen. Ook in deze oogzenuw vindt enige verdere bewerking van het signaal plaats.

#### (c) De hersenschors

De oogzenuw eindigt in de hersenschors. De hersenschors (of cortex) is het buitenste gedeelte van de grote hersenen. In de cortex vinden alle processen plaats die met het bewustzijn (in de meest uitgebreide zin van het woord) te maken hebben. Er is een zekere organisatie van de cortex: er zijn gedeeltes waar in hoofdzaak de visuele informatie wordt verwerkt (de visuele cortex), maar er zijn ook gedeeltes die met de spraak, met de reuk, met de beweging enz. te maken hebben. Deze organisatie is echter niet strikt, noch compleet: er is een aanzienlijke overlap in de gebieden, maar ook in de functies.

De visuele cortex ligt in het achterhoofd tegen de schedel. Dit gedeelte van de cortex is tamelijk specifiek georganiseerd, maar ook hier is overlap aanwezig.

Van grote delen van de cortex is onbekend wat hun functie is; bijvoorbeeld de frontale lobben (de gedeeltes direct achter de voorhoofdsschedel). Beschadigingen van de frontale lobben door ziekten of verwondingen hebben nauwelijks invloed op het functioneren van de betreffende persoon, maar wel treedt er vaak een subtiele verandering op in het "karakter".

In feite is er nog maar weinig bekend over de anatomie van de cortex. Van veel meer belang is echter de constatering dat over de bewustvormingsprocessen, die ook in de cortex kunnen worden gelokaliseerd, in het geheel niets bekend is. Het enige dat we weten is, dat de elektrische signalen die via de oogzenuw de cortex bereiken, "op een of andere manier" aanleiding geven tot een bewust "beeld" van de buitenwereld. Het is zelfs niet zeker of het gehele bewustvormingsproces zich in de cortex afspeelt.

### 3.5. Waarneming

Voor ons onderwerp kunnen we de grote, nog steeds onopgeloste problemen van de visuele waarneming voor het grootste deel onbesproken laten. Voor het grootste deel, maar zeker niet in zijn geheel. Het blijkt dat er sprake is van verschillende vormen van waarneembaarheid, waarbij naast de detecteerbaarheid ook de opvallendheid en de herkenning van belang zijn. Herkenning is zeer moeilijk in termen van uitsluitend zenuwpulsen te verklaren.

Voor het verklaren van de onderlinge relatie van deze drie soorten waarneembaarheid wordt vaak een eenvoudig "filtermodel" gebruikt. Dit filtermodel houdt in dat er na de detectie en opnieuw na de opvallendheid een "passief" filter is "ingebouwd" dat een deel van de signalen tegen houdt. Zo wordt, volgens dit model, "alles" gedetecteerd; het deel daarvan dat onvoldoende opvallend is, wordt weggefilterd, en daarna worden de dingen die niet herkenbaar zijn, opnieuw weggefilterd. Dit model heeft het voordeel van de eenvoud; bovendien is het elektrisch op eenvoudige wijze te duiden in termen van inhibitie van zenuwkanalen. Het blijkt echter niet steeds te voldoen. Het blijkt te simpel te zijn: er lijken "feed-back-loops" te bestaan. Zo blijkt de detectie van vele objecten af te hangen van het feit of ze herkend (kunnen) worden. Dit betekent dat de detectie zelf door de herkenning kan worden beïnvloed. Ook blijken de detectie en de herkenning af te hangen van de gemoedstoestand ("set"). Het is dus noodzakelijk om het bewustzijn in de beschouwingen te betrekken.

#### 4. De fysiologie van het visuele systeem

##### 4.1. Psychofysiologische functies

Het visuele systeem is fysiologisch gezien voor een gedeelte een onderdeel van het zenuwstelsel, en voor een deel een onderdeel van de hersenen. Dit is van belang voor aspecten van de stofwisseling. Zoals bekend zijn de hersenen en het (centrale) zenuwstelsel de lichaamsdelen die het best "beschermd" zijn; dat wil zeggen dat gebrek aan voedsel en verkeerd voedsel (vergift) minder invloed hebben op de werking van de hersenen dan op de werking van andere lichaamsdelen; dit geldt ook voor het visuele systeem. Voor de zuurstofvoorziening is het echter anders: de hersenen kunnen slechts korte tijd zonder zuurstof, dit in tegenstelling tot de meeste andere lichaamsdelen.

We zullen niet verder ingaan op de stofwisseling, maar ons richten op de werking van het visuele systeem. Naast anatomische en in sommige gevallen klinische studies, zijn de meeste studies van de functies van het visuele systeem van psychofysiologische aard. Hieronder wordt verstaan dat het functioneren van het visuele systeem ten gevolge van fysiologische werkingen wordt bepaald met psychologische meetmethoden: men meet de waarneming aan de hand van de opgaven (de reacties) die door de (proef)persoon worden gegeven over het waargenomen. Soms spreekt men wel van psychofysische methoden; deze term is eigenlijk onjuist omdat het niet over fysische maar over fysiologische verschijnselen gaat.

De psychofysiologische onderzoeken betreffen de werking van het visuele systeem, en dan meer speciaal de werking in relatie tot de omstandigheden die aan de waarnemer tijdens de waarneming worden gepresenteerd. Men kan dus spreken van de functie en van de functionele aspecten van het visuele systeem. De drie belangrijkste functies zijn:

- \* de contrastgevoeligheid;
- \* de gezichtsscherpte;
- \* het kleuronderscheidingsvermogen.

Het functioneren is niet steeds hetzelfde; we zullen hieraan toevoegen:

- \* de adaptatie
- die te maken heeft met de veranderingen in de tijd van de drie genoemde functies ten

gevolge van veranderingen in de omstandigheden. Deze hoofdfuncties worden hierna in detail besproken. Ook wordt enige aandacht besteed aan een aantal afgeleide functies:

- \* de verblindings;
- \* de vormherkenning.

De opzet van de psychofysiologische waarnemingsmethode is steeds als volgt. Er worden een aantal stimuli geboden, waarbij de waarnemer bij iedere aanbieding aangeeft of hij/zij "iets" heeft gezien (het "iets" hangt natuurlijk af van de aard van de waarneming). Aangezien het gaat om een reactie van een levend systeem, dat aan "ruis" is onderworpen, vindt men niet steeds dezelfde reactie. Bij de metingen wordt de drempelwaarde bepaald; daaronder wordt verstaan die waarde van de stimulus waarbij in een vast percentage van de gevallen een waarneming volgt. Het percentage wordt meestal op 50% gesteld. Het "ruiskarakter" leidt ertoe dat soms bij een stimulus die zwakker is dan de drempelwaarde een waarneming volgt, terwijl ook voor kan komen dat bij een stimulus die sterker is dan de drempelwaarde, geen waarneming volgt. De spreiding heeft meestal een toevalskarakter; dat wil zeggen dat het met een Gausse verdeling kan worden beschreven. De "breedte" van de spreiding (de standaard-deviatie) hangt af van de aard van de stimulus, van de persoonskenmerken van de waarnemer, van de omstandigheden, en in het bijzonder van de motivatie en de attitude (de set) van de waarnemer.

#### 4.2. De contrastgevoeligheid

De mogelijkheid om geringe helderheidsverschillen te kunnen waarnemen, wordt gewoonlijk beschouwd als de meest fundamentele functie van het visuele systeem. Het vermogen daartoe wordt gewoonlijk aangeduid met de contrastgevoeligheid. Onder contrast wordt daarbij verstaan

$$C = \frac{L_o - L_b}{L_b}$$

waarin  $L_o$  de luminantie is van het object en  $L_b$  de luminantie van de achtergrond (het begrip "luminantie" wordt verderop toegelicht; het gaat om de objectieve maat voor de "helderheid").

Deze definitie van contrast is weliswaar ingeburgerd, maar er zijn toch enige bezwaren. Zo kan het contrast zowel positieve als negatieve waarden aannemen, terwijl het contrast oneindig groot kan worden (wanneer  $L_b$  nul is).

De contrastgevoeligheid is de maat voor het kleinste luminantieverschil dat nog kan worden waargenomen. Het is dus een drempelwaarde. De drempelwaarde voor het nog juist waarneembare contrast hangt af van een aantal factoren; de belangrijkste is de algemene helderheid (het adaptatieniveau). Bij een zeer laag adaptatieniveau is het drempelcontrast vrij hoog. Het neemt geleidelijk af bij toenemende adaptatiehelderheid. De drempelwaarde vertoont een minimum bij de helderheden die met vol daglicht corresponderen, om bij nog hogere helderheden (zon op sneeuw, of zomerzon op een lichtgekleurde betonweg) weer af toe te nemen. De gebruikelijke openbare verlichting ligt in het gebied waar de drempelwaarde van het contrast nog duidelijk kan afnemen met toenemende helderheid. Dit is de grond ervoor dat bij wegen waar de waarneming kritisch is, een hoog helderheidsniveau (luminantieniveau) wordt aanbevolen.

Voor de meeste mensen ligt het drempelcontrast, zoals dat in laboratorium-metingen wordt bepaald, in de buurt van 0,5 a 1%. In de praktijk van het wegverkeer is een dergelijk klein contrast niet te ontwaren, zeker niet wanneer de waarnemer tegelijk de bestuurder van een auto (of van een fiets) is. Men moet aan de laboratoriumwaarde een veldfactor toevoegen om tot een drempelwaarde "in het veld" te komen. De grootte van deze veldfactor hangt in sterke mate af van de rijtaak, van de waakzaamheid en van de motivatie van de waarnemer. Waarden van 5 tot 15 zijn niet ongebruikelijk.

#### 4.3. De gezichtsscherpte

Een tweede belangrijke grondfunctie van het visuele systeem is de gezichtsscherpte. Daaronder wordt verstaan (de reciproke waarde van) het kleinste voorwerp, of het kleinste detail, dat nog kan worden waargenomen. De gezichtsscherpte wordt meestal aangeduid als de hoekmaat waaronder dit kleinste detail zich voordoet. Bij gezonde volwassenen met goed ogen (of een goede bril) ligt het kleinste detail in de buurt van enige tienden van een boogminuut. Dit wordt ook wel met 100/100 of met 100% gezichtsscherpte (visus) aangeduid. Ook de gezichtsscherpte hangt in sterke mate af van de adaptatiehelderheid. Dit is eenvoudig te constateren: wanneer we kleine lettertjes willen kunnen lezen, dan moeten we onder de lamp gaan staan. Ook treden er in de gezichtsscherpte flinke variaties op in het gebied van helderheden dat bij openbare verlichting gebruikelijk is.

De hoogste gezichtsscherpte kan worden bereikt wanneer de optische afbeelding die door de cornea en de lens op het netvlies wordt gevormd, zo scherp mogelijk is. In vele gevallen vertonen de optische elementen in het oog een zekere afwijking, waardoor deze scherpe afbeelding niet (of niet steeds) mogelijk is. In zeer vele gevallen kunnen deze optische tekortkomingen op zeer eenvoudige wijze worden verholpen door een extra optisch hulpmiddel toe te voegen: de bril (of de contactlens). In het overgrote deel van de gevallen kan de bedoelde tekortkoming daarmee afdoende worden verholpen.

Van belang is het daarbij op te merken dat in het wegverkeer het waarnemen van zeer kleine voorwerpen (of van zeer kleine details van grotere voorwerpen) vrijwel nooit aan de orde komt; de gezichtsscherpte is dan ook zelden een kritische grootheid. Het is dan ook onjuist dat de gezichtsscherpte (nog steeds) wordt beschouwd als een belangrijk gegeven voor het bepalen van de rijvaardigheid. We zullen hier op deze materie wat dieper ingaan.

We hebben reeds enige malen de nadruk erop gelegd, dat deelname aan het verkeer, meer in het bijzonder als bestuurder van een motorvoertuig, het nemen van een groot aantal, vaak ingewikkelde, beslissingen vereist. Deze beslissingen kunnen alleen op adequate wijze worden genomen wanneer de verkeersdeelnemer over de juiste informatie beschikt. "Juist" wil zeggen van de juiste inhoud en van de juiste hoeveelheid. De informatie is in het normale verkeer vrijwel uitsluitend van visuele aard.

Een consequentie van deze constatering is dat, wanneer de visuele informatie ontbreekt of zeer slecht is, normale verkeersdeelname niet mogelijk is; dit geldt evenzeer wanneer de informatieverwerking slecht is - wanneer er ernstige visuele handicaps bestaan. Een andere consequentie is dat onder meer "normale" omstandigheden eerder het beslissingsproces dan het waarnemingsproces de beperkende (rand-)voorwaarde is voor een veilige verkeersafwikkeling. De schijnbare paradox die tussen deze twee consequenties lijkt te bestaan, is de

oorzaak van misverstand.

Wetenschappelijk onderzoek ondersteunt beide consequenties: er is grootschalig onderzoek uitgevoerd waarbij nauwelijks enige relatie is gevonden tussen de visuele prestaties en het betrokken raken bij ongevallen, terwijl er even grootschalig onderzoek bekend is dat wel naar een dergelijke relatie lijkt te wijzen. Een mogelijke verklaring is dat mensen in verregaande mate kunnen compenseren voor lichamelijke gebreken, en meer in het bijzonder voor visuele gebreken.

#### 4.4. Het kleuronderscheidingsvermogen

We hebben hierboven vermeld dat licht van een enkele golflengte (monochromatisch licht) een bepaalde kleur heeft, en dat deze kleuren die van de regenboog (of van het door een prisma veroorzaakte spectrum) volgen wanneer men de golflengte laat toe- of afnemen. Men noemt daarom de kleuren van de regenboog wel de spectrale kleuren.

Het blijkt nu dat men iedere kleur die in de "wereld" te vinden is (met uitzondering van de bruine kleuren) kan maken door drie willekeurig gekozen spectrale kleuren te mengen. Iedere menging geeft een andere kleur. Overigens is het niet nodig dat de basiskleuren zuivere spectrale kleuren zijn. Wanneer men van de helderheid afziet, zijn zelfs twee basiskleuren voldoende. Dit experimentele feit verschaft ons de mogelijkheid de kleuren op een zeer eenvoudige wijze in een plat vlak af te beelden. Wanneer men geschikte basiskleuren kiest ontstaat de zogenaamde kleurendriehoek: een ruwweg driehoekige gedaante, waarvan de "zijden" gevormd worden door de spectrale kleuren, de "basis" door de varianten op het begrip "purper" en alle andere kleuren (behalve bruin) binnen de driehoek liggen. Men duidt de opeenvolging van de spectrale kleuren langs de "zijden" van de driehoek wel aan met de spectrale locus.

Iedere kleur correspondeert met één punt in de kleurendriehoek (het zgn. kleurpunt). In het midden van de driehoek (in de gebruikelijke maatstaf niet ver van het zwaartepunt) ligt het "witpunt"; het punt dat met wit licht correspondeert. Voegt men de helderheid als de derde dimensie toe dan kan men, in overeenstemming met de experimenten, iedere lichtsoort (iedere combinatie van kleur en helderheid) maken. Bruin komt echter, zoals gezegd, in de kleurendriehoek niet voor. Het blijkt dan ook dat bruin licht niet bestaat; bij lichtschijnsels is de indruk "bruin" altijd het gevolg van een zekere contrastwerking, waarbij de indruk van een kleur beïnvloed wordt door de kleur van de omgeving.

Binnen de kleurendriehoek is een speciale kromme aan te wijzen (de locus van de zwarte straler) waarop de punten liggen die de kleuren van een "zwarte straler" vertegenwoordigen bij verschillende temperaturen. Deze locus begint in het uiterste rood-gebied; ze gaat bij toenemende temperatuur dicht langs de gele spectrale kleuren, en vervolgens dicht langs het witpunt, om daarna naar het blauw te neigen. Wanneer men berekent hoe de kleur zou zijn bij zeer hoge temperaturen ("oneindig hoog") komt men uit bij het eind van deze locus, en wel bij de kleur die correspondeert met het blauw van de hemel. Omdat de schaal langs de locus de temperatuur is, wordt deze temperatuur de kleurtemperatuur genoemd (en gewoonlijk in Kelvin uitgedrukt). De locus geldt voor de theoretische "zwarte straler"; de praktijk leert echter dat ook praktische voorwerpen - zoals de uit wolfram vervaardigde gloeispiraals van een gloeilamp - deze locus vrij nauw volgen. De

kleurtemperatuur van een gloeilamp wijkt niet sterk af van de "echte" temperatuur van de gloeidraad.

Er zijn vele verschillende systemen in omloop om de kleuren weer te geven (vele kleurenmetrieken). De hierboven in het kort beschreven metriek is door de CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) vastgesteld, en is vooral handig bij het weergeven van de kleuren van lichten. Het zogenaamde Munsell-systeem is vooral handig voor het weergeven van oppervlaktekleuren (verf enz). Hierbij wordt uitgegaan van drie andere assen: de kleur zelf (chroma), de verzadiging (saturation) en de lichtheid (lightness). Deze termen betekenen het volgende: de kleur is wat men er in de spreektaal onder verstaat (rood, geel, groen enz). De verzadiging is de hardheid ervan: rood kan "bleek" en "verzadigd" zijn, en zo ook alle andere kleuren. De lichtheid tenslotte is in de praktijk (maar niet in de theorie!) hetzelfde als de helderheid. Omdat het Munsell-systeem uit menging van pigmenten bestaat, kan bruin wel voorkomen. Dit klopt ook: bruine verf bestaat wel degelijk.

Een derde, minder exacte, maar in de praktijk veel gebruikte indelingssystematiek is de volgende. Voor het lichtschijnsel waarvan de kleur dient te worden vastgesteld, wordt het kleurpunt in de kleurendriehoek opgezocht. Vervolgens wordt nagegaan welke spectrale kleur het "dichtste" bij het kleurpunt ligt. Deze kleur spectrale kleur wordt de dominante kleur genoemd; de afstand tot de spectrale locus bepaalt de verzadiging van de kleur. Deze methode is gebruikelijk om de lichtkleur van lichtbronnen aan te geven: men geeft alleen de golflengte van de dominante kleur aan. Soms neemt men als dominante kleur niet de kleuren die op de spectrale locus liggen, maar de kleuren op de locus van de zwarte straler; in dat geval kan men de dominante kleur simpelweg door de kleurtemperatuur aanduiden.

Alle kleuren kunnen worden samengesteld door drie willekeurige basiskleuren te mengen. Er zijn twee soorten menging: de additieve menging en de subtractieve menging. In het eerste geval wordt het licht van de basiskleuren (in de gewenste mengverhouding) bij elkaar opgeteld: de som is wit. Dit is dus het geval bij het mengen van lichtschijnsels. In het tweede geval worden de kleuren van elkaar afgetrokken: de som is zwart. Dit treedt op bij het mengen van pigmenten.

We hebben hierboven vermeld dat er drie "soorten" kegeltjes zijn, die ieder een andere gevoeligheid voor licht van verschillende golflengten vertonen. Dit geeft de mogelijkheid om kleuren te kunnen waarnemen, of beter gezegd, kleurverschillen te kunnen waarnemen. Immers, iedere kleur in de kleurendriehoek correspondeert met een andere combinatie van de basiskleuren; men kan nu voor de basiskleuren even goed de kleuren nemen die corresponderen met de spectrale gevoeligheden van de drie "soorten" kegeltjes. Dit betekent dat iedere kleur in de kleurendriehoek op eenduidige wijze correspondeert met een enkele combinatie van de intensiteit van het aanspreken van de drie soorten kegeltjes. Ter toelichting: wanneer men aan een video-opname CCD-chip denkt, betekent dit dat iedere kleur correspondeert met een enkele combinatie van de fotostromen van de drie soorten pixels in de CCD. Het oog blijkt globaal op dezelfde wijze te werken. Bij het oog zijn echter de drie "soorten" kegeltjes op een zodanige wijze "geschakeld" dat er geen intensiteiten maar verschillen in intensiteiten worden geconstateerd. Over deze processen bestaat nog enige onzekerheid; er zijn vele theorieën in omloop die echter gewoonlijk

gemeen hebben dat er drie verschillen een rol spelen:

- . rood - groen;
- . geel - blauw;
- . licht - donker.

Deze theorieën zijn van belang bij de beschrijving van de kleurenblindheid.

De weergave van de kleur kan op analoge wijze gebeuren: men neemt drie soorten LED's met ieder hun eigen spectrale emissie (die niet gelijk hoeft te zijn aan de spectrale responsie van de opname-elementen). Door iedere LED op de juiste wijze aan te sturen kunnen alle kleuren worden gemaakt. Zo werken TV weergavebuizen, maar ook solid-state TV schermen, kleurenfilms en kleurendrukprocede's. En zo kan men zich voorstellen - ofschoon er geen enkele zekerheid is dat het ook zo gebeurt! - dat een "bewust" gekleurd beeld ontstaat.

In een meetkundige figuur zoals de kleurendriehoek zijn oneindig veel punten aan te wijzen. Voor een fysisch systeem (een fysiologisch systeem) zoals het oog zijn er drempelwaarden aan te wijzen voor de waarneming van verschillen in kleuren. Dit betekent dat op fysisch-fysiologische gronden er een maximum aantal te onderscheiden kleuren bestaat. In de kleurendriehoek zou men dat kunnen aangeven door deze driehoek te bedekken met plekjes (rond, of vierkant, of ellipsvormig) waarbinnen de kleuren, ofschoon mathematisch verschillend, niet van elkaar kunnen worden onderscheiden. Deze plekjes zijn de zgn. Mac Adam-gebiedjes; en een elliptische vorm blijkt het beste met de experimenten overeen te komen. Deze "verruwing" (of zo men wil kwantificering) van de kleurendriehoek kan belangrijke consequenties hebben voor de praktijk, met name voor de praktijk van de signaallichten. Zo blijkt het onmogelijk om een systeem voor lichtsignalen te bedenken waarin tegelijk rood en oranje en geel licht voorkomen; als men het verschil tussen rood en oranje kan zien, is het verschil tussen oranje en geel onzichtbaar, en omgekeerd.

We hebben hierboven gesproken over de kleurtemperatuur van lichtbronnen. Het blijkt dat de kleurtemperatuur op zeer goede wijze de kleurindruk van een lichtbron weergeeft. Lichtbronnen met dezelfde kleurtemperatuur geven licht dat dezelfde kleurindruk opwekt. Een bekend voorbeeld zijn de lage-druk-natriumlampen (SOX) en de gele lampen van verkeerslichten: ofschoon de spectrale samenstelling van het licht geheel verschillend is, is de kleurindruk gelijk. In het verkeer kan deze gelijkheid van de kleurindruk tot verwarring en misverstand aanleiding geven. Omdat er een aantal simpele oplossingen bestaan, hoeft men er zich uit het oogpunt van de verkeersveiligheid geen zorgen over te maken; iets dat ten onrechte wel gebeurt.

Oppervlakken reflecteren licht. Gekleurde oppervlakken reflecteren licht van verschillende golflengten niet op dezelfde wijze. Zo reflecteert een groen blad wel groen licht, maar geen rood licht; wel geel, maar weinig blauw. Wordt een dergelijk blad met groen licht bestraald, dan wordt veel weerkaatst, zodat het blad een helder groene kleur heeft. Wordt het met een (uitsluitend) rode lamp bestraald, dan wordt er nauwelijks licht gereflecteerd. Het blad blijft zeer donker, en zeker niet donker groen. Er is immers geen groen licht aanwezig om de indruk "groen" - hoe zwak ook - te veroorzaken. De uiteindelijke kleurindruk van een oppervlak dat zelf geen licht uitstraalt, hangt dus van twee dingen af: van de spectrale verdeling van het opvallende licht, en van de spectrale verdeling van de



reflectie. Nu neemt men aan dat de mens in zijn lange voorgeschiedenis geheel "gewend" is aan het daglicht; bij afspraak geldt de kleurindruk van een oppervlak onder het daglicht als "normaal". Op deze afspraak is de bepaling van de kleurweergave van lichtbronnen gebaseerd. Men beoordeelt de kleurindruk van een groot aantal standaard-oppervlakken met zeer uiteenlopende kleuren onder het licht van de te onderzoeken lichtbron, en vergelijkt deze kleurindruk met die welke dezelfde standaard-oppervlakken hebben onder daglicht. Wanneer men deze vergelijking met de daartoe geëigende meetapparaten uitvoert, is een kwantitatieve bepaling mogelijk. Men noemt nu de kleurweergave van de lamp zeer goed (100) wanneer er bij geen van de standaard-oppervlakken enig verschil kan worden geconstateerd. Dit getal wordt de kleurweergave-index genoemd. Deze loopt van 100 (identiek aan de referentie-lichtbron) tot een zeer laag getal, dat niet precies is gedefinieerd. Gloeilampen hebben een kleurweergave die ook ca 100 is. Moderne fluorescentielampen (TL, SL enz) kunnen een kleurweergave-index van meer dan 95 hebben; traditionele fluorescentielampen hebben een kleurweergave-index van 70 tot 85, terwijl de hogedruk kwiklampen (HPL) en de hogedruk natriumlampen (SON) die in de openbare verlichting gangbaar zijn, een kleurweergave-index hebben van ongeveer 50, resp. ongeveer 25. Lagedruk natriumlampen (SOX) zijn monochromatisch; de kleurweergave-index is "dus" nul. Opgemerkt dient te worden dat deze getallen slechts een benadering zijn: het systeem van de bepaling van de kleurweergave-index kan eigenlijk helemaal niet worden gebruikt voor deze typen van lampen. In een ander deel van deze cursus wordt gewezen op de "wet van behoud van ellende": bijna zonder uitzondering hebben lampen naar mate de kleurweergave-index hoger (beter) is, een lagere specifieke lichtstroom - zijn ze minder zuinig. En zo dit niet opgaat, zijn de lampen duurder! Daarom worden in de openbare verlichting vrijwel zonder uitzondering lampen gebruikt met een matige tot slechte, soms zeer slechte kleurweergave.

Tot slot over de aspecten van kleuren en kleurwaarneming nog enige opmerkingen over kleurenzwakken en kleurenblinden. Ongeveer 4% van de mannen, en ongeveer 0,1% van de vrouwen is kleurenblind. Nog eens een zelfde aantal heeft zwakten in de kleurwaarneming, en worden kleurenzwakken genoemd. Het gaat om erfelijk bepaalde, aangeboren afwijkingen. Genezing is niet mogelijk. De oorzaken voor deze handicaps zijn gelegen in het feit dat sommige paren van "soorten" van de kegeltjes niet goed, of soms zelfs in het geheel niet functioneren, waardoor soms de discriminaties (de waarneming van verschillen in intensiteiten) die hierboven zijn genoemd, niet mogelijk zijn. De meest voorkomende is de afwijking waarbij het rood-groen systeem niet of niet goed functioneert: er kan geen verschil worden geconstateerd tussen een rood en een groen licht (deutanopie). Bij een variant worden diep-rode lichten in het geheel niet waar genomen (protanopie). Minder vaak komt voor dat het blauw-geel systeem niet of niet goed functioneert. Ook daarbinnen komen twee soorten voor (tritanopie en tetranopie). Tenslotte zijn er - zeer zelden - volledig kleurenblinden, die geen enkel kleurverschil kunnen onderscheiden. Deze mensen hebben meestal nog andere oogafwijkingen, zodat ze feitelijk bijna blind zijn. Voor het wegverkeer zijn vooral de deutanopen en de protanopen van belang; met het oog op deze toch nog vrij frequent voorkomende oogafwijkingen zijn de kleuren van signaallichten (verkeerslichten) zo gekozen dat ook de kleurenzwakken nog enig verschil kunnen zien: rood is zeer helder, geel is dicht tegen oranje, en groen is blauw-groen.

#### 4.5. De adaptatie

Op een bepaald moment in de tijd is de gevoeligheid van het visuele systeem begrensd door twee uitersten: aan de "onderkant" door duisternis, en aan de "bovenkant" door de verblinding. Stimuli die beneden de ondergrens resp. boven de bovengrens liggen, worden niet waargenomen. Deze instelling (de adaptatietoestand) hangt af van de helderheid en de verdeling van de helderheid in het gezichtsveld. De gemiddelde helderheid wordt gekwantificeerd door de adaptatie-luminantie.

Wanneer de adaptatie-luminantie verandert, past zich het visuele systeem aan: de adaptatie. Bij langzame veranderingen in de adaptatie-luminantie kan de gevoeligheidsinstelling deze verandering "bijhouden"; wanneer de veranderingen snel gaan, ontstaat er een adaptatiedefect. Dit is vooral van belang bij de verlichting overdag van tunnels, en bij de overgang van verlichte naar onverlichte wegvakken. In het algemeen gaat de adaptatie van laag naar hoog veel sneller dan de adaptatie van hoog naar laag.

De adaptatie betreft drie processen:

- \* de pupil;
- \* de aanpassing van de receptoren;
- \* het in- en uitschakelen van receptoren.

De pupil die voor de ooglenzen ligt, kan openen en sluiten; daarmee wordt - net als door een diafragma van een fotolens - de totale hoeveelheid licht die het netvlies kan treffen, begrensd. De invloed van het diafragma is daarbij echter niet erg groot. Net als bij een foto toestel is de belangrijkste functie van het diafragma het bijdragen tot scherpere beelden. De aanpassing van de fotoreceptoren is veel belangrijker, en in ons geval - de openbare verlichting in het hoog-mesopische en in het fotopische gebied - van overheersend belang. De aanpassing vindt waarschijnlijk plaats door de frequentie van de elektrische pulsen te wijzigen; zeker is dit echter niet. Het in- en uitschakelen van fotoreceptoren is vooral van belang bij zeer grote overgangen in de adaptatie-luminantie: van dag naar "stik-donkere" nacht. Hierbij houden de kegeltjes op te functioneren, en beginnen de staafjes.

Wanneer zowel de beginwaarde als de eindwaarde van adaptatie-luminantie in het fotopisch gebied liggen, gaat de adaptatie vrij snel: als vuistregel kan gelden een factor tien in 2 a 3 seconden. Dit betekent dat in de meeste gevallen bij de gewone openbare verlichting de adaptatie nauwelijks een probleem is. Anders wordt het wanneer het eindniveau in het scotopisch gebied ligt: voor de adaptatie is het nodig dat de staafjes "in actie komen", en dat kan gemakkelijk enige tot vele minuten duren. Voor het wegverkeer - ook bij uitsluitend autolantaarns - komt dit niet vaak voor.

#### 4.6. De verblinding

Verblinding betreft, zoals het woord al aangeeft, verschijnselen waarbij de visuele waarneming bemoeilijkt of zelfs onmogelijk wordt. Er zijn drie verschijnselen te noemen:

- . de absolute verblinding;
- . de fysiologische verblinding;
- . de psychologische verblinding.

Absolute verblinding treedt op wanneer de stimulus boven de bovengrens van het gevoeligheidsgebied van het visuele systeem ligt: de betreffende stimulus draagt niet bij tot de waarneming, maar verhindert wel dat relevante waarnemingen kunnen geschieden. In extreme gevallen kan schade aan het oog optreden. In het verkeer kan absolute verblinding vrij vaak optreden:

- . bij het bij duisternis tegenkomen van een auto die niet op dimlicht over schakelt;
- . bij het overdag verlaten van een tunnel;
- . bij het berijden van glad, nat asfalt tegen de (laag staande) zon in;
- . bij het rijden op sneeuw bij volle zon.

Er is niet veel te doen tegen absolute verblinding: het gebruik van een zonnebril kan de verblinding zelf soms verminderen, maar de relevante stimuli worden (nog verder) verzwakt.

Fysiologische verblinding (fysiologisch omdat het effect van fysiologische aard is; vaak met de engelstalige term "disability glare" aangeduid) treedt op wanneer er in het gezichtsveld een sterke lichtbron voorkomt, en wel in een andere richting als het waar te nemen object. De verblindingslichtbron veroorzaakt een lichtsluier die zich over het gehele gezichtsveld lijkt uit te strekken. Deze sluier ontstaat door licht dat in de oogmedia wordt verstrooid; deze sluier moet worden opgeteld bij de sluier die vaak optreedt door de lichtverstrooiing in de autoruiten en in de atmosfeer. Het effect van de sluier kan worden uitgedrukt in de equivalente sluierluminantie  $L_{seq}$ . Daaronder wordt verstaan de luminantie van de sluier in de buitenwereld, die met de bedoelde verblinding equivalent is. Een dergelijke sluier vermindert de waarneembaarheid van objecten.

In laatste instantie kan een object alleen worden waargenomen wanneer het contrast tussen het object en zijn directe achtergrond groter is dan de bij die waarnemingscondities behorende drempelwaarde van de contrastgevoeligheid, en mits het object groot genoeg is. Dit contrast bestaat uit twee componenten: een luminantiecontrast en een kleurcontrast. De praktijk leert dat de waarneming in voor het wegverkeer belangrijke omstandigheden in hoofdzaak wordt bepaald door het luminantiecontrast. Ook objecten die in kleur afwijken van de achtergrond blijken alleen voldoende duidelijk waarneembaar (meestal: herkenbaar) te zijn wanneer er naast dit kleurcontrast ook een niet te gering luminantiecontrast bestaat. We zullen ons verder beperken tot het luminantiecontrast.

Gewoonlijk wordt het luminantiecontrast als volgt gedefinieerd:

$$C = \frac{L_1 - L_2}{L_2} \quad [1]$$

met  $L_1$  de luminantie van het object, en  $L_2$  de luminantie van de achtergrond (beiden in  $\text{cd/m}^2$ ). Een object kan alleen ontwaard worden wanneer  $C$  groter is dan de drempelwaarde die met  $C$  wordt aangeduid.

Fysiologische verblinding kan, zoals hierboven is aangegeven, worden beschreven door de equivalente sluierluminantie in te voeren. De grootte van de sluier kan worden bepaald met behulp van de zgn. "Vos-formule": een formule waarin de equivalente luminantie van deze sluier wordt uitgedrukt in de verlichtingssterkte die het oog treft, en de hoek tussen de kijkrichting en de verblindende lichtbron(nen). Ten gevolge van deze equivalente sluier (met luminantie  $L_v$ , ook in  $\text{cd/m}^2$ ) worden alle contrasten kleiner, zoals uit de volgende

formule blijkt. Het "zichtbare" contrast C' wordt:

$$C' = \frac{(L1 + Lv) - (L2 + Lv)}{(L2 + Lv)} = \frac{L1 - L2}{(L2 + Lv)} \quad [2]$$

Uit [1] en [2] volgt, dat C' steeds kleiner is dan C. Immers, de teller blijft gelijk terwijl de noemer groter is geworden.

De derde soort verblinding is de psychologische verblinding (psychologisch omdat dit verschijnsel met psychologische methoden wordt onderzocht; ook vaak aangeduid met "discomfort glare"). Men spreekt van psychologische verblinding wanneer er wel een zeker ongemak bij de waarneming optreedt zonder dat de waarneming op direct meetbare wijze wordt gehinderd. Er zijn vermoedens dat langdurige psychologische verblinding tot excessieve vermoeidheid en daarmee tot ongevallen kan leiden; het is echter een onbewezen zaak of dit ook bij het wegverkeer kan optreden. Psychologische verblinding is vooral een zaak bij de verlichting van kantoren. In het verleden werd ook bij de openbare verlichting veel aandacht aan de psychologische verblinding besteed. Meer recent ziet men daar echter meestal van af. Zo wordt in de nieuwe Aanbevelingen voor Openbare Verlichting, uitgegeven door de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde over psychologische verblinding niet meer gerept. De redenen voor deze veranderde instelling zijn:

(a) door het verplichte gebruik van de meestal zeer verblindende autolantaarns is het een vergeefse moeite om te proberen de verblinding (psychologische en fysiologische) van de openbare verlichting te beperken;

(b) wanneer de fysiologische verblinding binnen de perken blijft, is de psychologische verblinding meestal gering;

(c) bestrijden van psychologische verblinding is duur, en wordt vaak als een (nodeloze) luxe beschouwd.

#### 4.7. De vormherkenning

Ten slotte enige opmerkingen over de vormherkenning. Onder de vormherkenning wordt verstaan de mogelijkheid om de vorm - de gedaante - van het waargenomen te bepalen. Deze functie wordt meestal niet als een "aparte" functie beschouwd. Het betreft een samengaan van de contrastgevoeligheid en de gezichtsscherpte. Van belang voor het wegverkeer is vooral de ermee samenhangende leesbaarheid van verkeerstekens.

### 5. Fotometrie

#### 5.1. Inleiding

Licht is een elektro-magnetisch verschijnsel, dat voor vele doeleinden op een geschikte wijze als een golfverschijnsel kan worden beschreven, maar ook vaak heel goed als een verzameling van zeer snel bewegende deeltjes (fotonen). Het is voor een goede behandeling van het onderwerp "openbare verlichting" essentieel om de werking van het licht te kunnen kwantificeren en te kunnen meten. De tak van wetenschap die zich daarmee bezig houdt, heet de fotometrie. De fotometrische eenheden en grootheden zijn voor de praktijk zeer omslachtig en (om het zacht te zeggen) "onhandig" gedefinieerd. We zullen bij de

behandeling van de fotometrische eenheden en grootheden een minder gebruikelijke, maar hopelijk duidelijke, aanpak gebruiken.

## 5.2. De ooggevoeligheidskromme

In een eerder deel van deze cursus is vermeld, dat het visuele systeem niet voor alle golflengten (niet voor alle kleuren dus) even gevoelig is, en dat de gevoeligheid bovendien afhangt of de kegeltjes, de staafjes of mogelijk beide tegelijk in werking zijn. Ook is aangegeven dat er drie "soorten" kegeltjes zijn, die ieder hun eigen spectrale gevoeligheid hebben, en dat bovendien deze kegeltjes op een - vrij ingewikkelde - wijze door zenuwcellen aan elkaar zijn gekoppeld.

Ondanks deze complicerende factoren blijkt het heel goed mogelijk te zijn om de spectrale responsie van het visuele systeem als een geheel te bepalen. Daartoe worden elementen in het gezichtsveld van verschillende kleur gepresenteerd; voor ieder van die elementen wordt de responsie bepaald, en de combinatie van deze gegevens levert de totale spectrale responsie op. Het is gebruikelijk om deze totale spectrale responsie af te beelden in een grafische vorm (de beroemde V-lambda-kromme). In deze kromme is de gevoeligheid in een relatieve schaal uitgezet tegen de golflengte van het gebruikte licht. Deze gevoeligheid wordt aangegeven met  $V$ , de afhankelijkheid van de golflengte met  $\lambda$ .

In feite blijken er een aantal families van V-lambda-krommen te bestaan. De eerste onderverdeling is naar de kromme voor het ftopisch zien (het dagzien) en voor het scotopisch zien (het nachtzien). Dit zijn twee krommen die per afspraak zijn vastgesteld. Verder is er een schaar van krommen voor de verschillende mesopische gebieden.

Een tweede onderverdeling kan worden gemaakt naar de grootte van het bij de metingen gebruikte element in het gezichtsveld. Alle traditionele krommen zijn bepaald met een veld met een diameter van 2 graden. Meer modern onderzoek heeft uitgewezen dat de waarden voor een veld met een diameter van 10 graden op essentiële punten afwijken. Men mag verwachten dat deze discrepantie samen hangt met de verdeling van de staafjes en de kegeltjes over het netvlies; immers, de fovea centralis heeft een diameter van ca 2 graden.

Een derde onderverdeling kan worden gemaakt in relatie tot de wijze van meten. We zullen hier niet te diep op ingaan, maar het blijkt dat bij gebruik van een "flikkerfotometer" waarbij steeds twee veldjes met sterk verschillende kleur zeer snel na elkaar worden gepresenteerd, tot essentieel andere waarden leidt als het gebruik van een stap-voor-stap-methode, waarbij steeds veldjes die slechts een gering kleurverschil vertonen, naast elkaar worden gepresenteerd. Ten slotte leiden fysiologische en chemische metingen tot nog weer andere waarden.

Het is de verdienste van de CIE geweest om uit deze veelheid van mogelijke V-lambda-krommen er twee te kiezen en te standariseren, en wel een voor het ftopische gebied en een voor het scotopische gebied. We zullen ons hier bij de gevestigde traditie aansluiten en verder alleen over de ftopische V-lambda-kromme spreken; een gerechtvaardigde traditie, omdat immers de lichtniveaus die bij de openbare verlichting aan de orde komen, steeds in het ftopische gebied, of ten hoogste in het hoog-mesopische gebied liggen. Ook voor het hoog-mesopische gebied mag zonder bezwaar de ftopische V-lambda-kromme

worden gebruikt.

### 5.3. De lichtstroom

De V-lambda-kromme is een relatieve kromme, waarmee het vermogen dat in golflengtegebiedjes wordt waargenomen, moet worden vermenigvuldigd om uit dit vermogen (uitgedrukt in Watt) de visuele impressie te kunnen afleiden. In essentie is de V-lambda een verhoudingsgetal, en dus dimensieloos. De dimensie van de visuele impressie is dus eveneens de Watt; soms spreekt men wel van de licht-Watt.

Wanneer het gaat om een "vermogensstroom" die zich middels het elektromagnetische veld voortplant, dient deze stroom in Watt te worden uitgedrukt. De visuele waarneming van deze stroom wordt aangeduid als de lichtstroom. De lichtstroom wordt uitgedrukt in lumen (afgekort tot lm). Een lumen is dus een volgens de V-lambda-kromme "gewogen" Watt. Ofschoon de door de ISO genormeerde eenheden en grootheden anders zij gegroepeerd, wordt de lumen door ons als de basiseenheid van de fotometrie beschouwd. Alle andere eenheden en grootheden worden door ons van de lumen afgeleid. Men dient er zich terdege rekenschap van te geven dat in alle fotometrische eenheden en grootheden de V-lambda-kromme verwerkt zit; wil men om een of andere reden een andere V-lambda-kromme gebruiken, dan moeten alle fotometrische eenheden en grootheden worden aangepast, alsmede alle gegevens die in deze eenheden zijn uitgedrukt! Dit punt kan aan de orde komen wanneer men bij openbare verlichting met zeer lage lichtniveaus te maken heeft, waarvoor de aanname dat ze in het hoog-mesopische gebied liggen niet meer opgaat. De lichtstroom van verschillende lamptypen kan een andere waarde krijgen; zo wordt soms aangenomen dat in het mesopische gebied kwiklampen met een relatief hoge blauw-component relatief een toename in de lichtstroom kunnen vertonen ten opzichte van natriumlampen met een relatief hoge rood-component. Het zal duidelijk zijn dat een dergelijke verschuiving van aanzienlijk belang kan zijn - zowel visueel als commercieel!

### 5.4. De verlichtingssterkte

Licht plant zich, zoals bekend, in homogene media rechtlijnig voort. Maar het licht heeft pas enig effect wanneer het een oppervlak treft. Dit effect wordt gekwantificeerd in de verlichtingssterkte. De maat voor deze verlichtingssterkte is de Lux (soms afgekort tot Lx). In formules wordt de verlichtingssterkte meestal aangeduid met de hoofdletter E. De dimensie is uiteraard de lumen per vierkante meter. Uiteraard is het mogelijk om het aantal lumen per vierkante meter ook (zij het theoretisch) te bepalen voor een mathematisch vlak, dat door het licht wordt doorstraald. Er is dan geen enkel fysisch verschijnsel te constateren, en de term verlichtingssterkte is dan tamelijk misleidend. Voor theoretische overwegingen wordt deze grootheid wel eens gebruikt; men noemt het wel de "lichtstroomdichte" en drukt het gewoon uit in  $\text{lm}/\text{m}^2$ .

De verlichtingssterkte is eenvoudig te berekenen en eenvoudig te meten; bovendien vertegenwoordigt het een eenvoudig voor te stellen grootheid. Dit is de reden dat de verlichtingssterkte in de meeste toepassingen van de verlichtingskunde als belangrijkste grootheid wordt gebruikt - ook in de openbare verlichting. Op zichzelf is dit een merkwaardige zaak, omdat de verlichtingssterkte "niet te zien" is. We komen hierop terug bij de behandeling van het begrip luminantie.

De verlichtingssterkte is eenvoudig te berekenen omdat men niet meer gegevens hoeft te hebben dan de lichtstroom en de vorm en de grootte van het betreffende oppervlak. Op de berekening van de verlichtingssterkte wordt in een ander deel van deze cursus nader ingegaan. Ook de meting is eenvoudig: er zijn vele soorten "fotocellen" in gebruik, waarbij de opvallende lichtenergie wordt omgezet in elektrische energie. En deze elektrische energie kan eenvoudig worden gemeten (als spanning, als stroom of als vermogen, afhankelijk van het type fotocel en het type meter).

We zullen niet ingaan op de techniek van het meten van de verlichtingssterkte; we volstaan ermee om erop te wijzen dat de fotocel aangepast moet zijn aan de V-lambda-kromme om de elektrische meting meteen te kunnen aflezen in fotometrische eenheden.

### 5.5. De luminantie

Licht geeft alleen een waarneembaar effect wanneer op een of andere wijze het visuele systeem wordt geactiveerd. Minder ingewikkeld gezegd: licht is alleen te "zien" wanneer het in het oog terecht komt. Het wordt dan "gezien" als de helderheid van het waargenomen voorwerp. Het begrip helderheid wordt in de verlichtingskunde op twee wijzen gebruikt:

- . ten eerste in de gewone "spreektaalbetekenis": wat een waarnemer kan zien;
- . ten tweede als de subjectieve ervaring van de lichtindruk. Dit wordt ook wel de "lichtheid" genoemd.

Voor de onderhavige cursus is vooral de eerste betekenis van belang. Om tot een beter te definiëren en beter te meten begrip te komen is de luminantie (aangeduid met de hoofdletter L) ingevoerd. De luminantie kan worden aangeduid als de objectieve, meetbare maat van de helderheid. In de praktijk worden de begrippen "luminantie" en "helderheid" nogal eens door elkaar gebruikt; een slordige gewoonte waarvan wij ons in deze cursus zullen distantieëren. "Helderheid" is een subjectieve ervaring, "luminantie" is een fotometrisch begrip.

In de ISO-norm is de luminantie op een merkwaardige wijze gedefinieerd. Wij zullen het op een meer praktische wijze doen. Daarbij gaan we uit van een oppervlak dat zelf geen licht uitstraalt - dat geen actieve lichtbron is. Dit oppervlak is onzichtbaar wanneer er geen licht opvalt, wanneer de verlichtingssterkte nul is. Het is echter eveneens onzichtbaar wanneer al het opvallend licht wordt geabsorbeerd, wanneer er dus geen licht wordt gereflecteerd of teruggekaatst. En alleen wanneer (een deel van) dit gereflecteerde licht in het oog van een waarnemer terecht komt, kan het oppervlak worden waargenomen. Het is dus zonder meer duidelijk dat de helderheid van het oppervlak recht evenredig is met de verlichtingssterkte op het oppervlak en met de reflectie van het oppervlak. Hieruit volgt de eenvoudige betrekking

$$L = R * E$$

Wanneer de gebruikelijke maat voor de reflectie, het dimensieloze getal @ (de rho, of te wel de griekse letter voor "r"), de verhouding tussen de opvallende en gereflecteerde lichtstroom, wordt gebruikt (de reflectiefactor; zie verderop), moet deze formule worden geschreven als

$$L = (@ / \pi) * E$$

of, in woorden:

L is gelijk aan  $(\rho / \pi)$ ; rho gedeeld door pi) maal E.

De factor "pi" die optreedt heeft te maken met de merkwaardige definities die worden gebruikt bij de door de ISO ingevoerde standaardisatie. Om dezelfde merkwaardige reden wordt de luminantie uitgedrukt in de eenheid candela per vierkante meter, te schrijven als (cd/m<sup>2</sup>). Op het begrip candela komen we verderop terug. Alle pogingen om tot een betere definitie en een betere terminologie te komen, zijn tot nu toe mislukt. Gezien het gezag van de ISO (de International Standards Association) is het niet te verwachten dat er ooit een beter systeem zal worden ingevoerd.

Op deze wijze is de luminantie van een oppervlak dat zelf geen licht uitstraalt, gemakkelijk te definiëren. De meting en de berekening zijn niet zo eenvoudig. Op de berekening wordt in andere delen van deze cursus in detail ingegaan. Om uit te leggen hoe de meting van de luminantie in zijn werk gaat, moeten we eerst bekijken wat de luminantie is van een lichaam dat zelf licht uitstraalt, van een lichtbron dus. Wanneer er geen opvallend licht is, kan de luminantie uiteraard niet worden bepaald door het produkt van verlichtingssterkte en reflectie. De eerste stap is het definiëren van de lichtsterkte van de lichtbron.

## 5.6. De lichtsterkte

Praktische lichtbronnen zenden niet naar alle richtingen even veel licht uit. Om de werking van de lichtbron te beschrijven moet dus met de richtingseffecten rekening worden gehouden. Dit gebeurt door de lichtsterkte van de lichtbron als een vector te beschouwen (een vector is een grootte die zowel grootte als richting heeft; er zij op gewezen dat de lichtsterkte niet in alle opzichten aan de mathematische definitie van een "echte" vector voldoet).

De lichtsterkte kan worden beschreven als de lichtstroom die binnen een ruimtetegebied wordt uitgestraald. Dit ruimtetegebied wordt aangeduid met de ruimtetehoek, die op haar beurt wordt gedefinieerd als het oppervlak (uitgedrukt in vierkante meter) dat door de begrenzingen van het ruimtetegebied wordt uitgesneden uit het oppervlak van de eenheidsbol die rondom de lichtbron kan worden geslagen. De ruimtetehoek wordt uitgedrukt in steradialen (afgekort tot sr). In formules wordt meestal de hoofdletter omega ( $\Omega$ ) gebruikt. Het bedoelde uitgesneden oppervlak is evenredig met het kwadraat van de straal van de eenheidsbol. Wanneer de straal van de eenheidsbol 1 m. bedraagt, dan is de dimensie van de ruimtetehoek (uitgedrukt in steradialen, sr) [vierkante meter] per [meter kwadraat]. In de praktijk betekent dit dat de ruimtetehoek een dimensieloos getal is.

Volgens de ISO-definitie is de lichtsterkte van een lichtbron alleen gedefinieerd voor een puntvormige lichtbron. Voor een puntvormige lichtbron is de ruimtetehoek een "kegelvormig" lichaam met de top in het punt waar ook de lichtbron zich bevindt. Wanneer binnen deze ruimtetehoek de lichtuitstraling homogeen is, kan de lichtsterkte worden gedefinieerd als de lichtstroom die binnen de ruimtetehoek wordt uitgestraald, gedeeld door het oppervlak dat door de ruimtetehoek uit de eenheidsbol wordt gesneden. Dus de lichtsterkte is:

$$I = \frac{\delta \phi}{\delta A}$$

een limietovergang naar een "oneindig kleine" ruimtetehoeken geeft de formele definitie van de lichtsterkte I



$$I = \frac{d\phi}{dA}$$

De lichtsterkte wordt uitgedrukt in de candela (afgekort tot cd). Het probleem van deze definitie is dat er geen mogelijkheid bestaat om een strenge afspraak te maken over de lichtsterkte van niet-puntvormige lichtbronnen - dat zijn uiteraard alle in de praktijk voorkomende lichtbronnen. Uit praktische metingen is gebleken dat, wanneer de afstand tussen de lichtbron en de meetplaats meer is dan 10 a 15 keer de (grootste) afmeting van de lichtbron, de afwijking van de "puntvormigheid" verwaarloosd mag worden. Men noemt deze afstand wel de fotometrische grensafstand, waarmee bedoeld wordt dat boven deze afstand de (verderop te behandelen) kwadratenwet geldt. In de praktijk van de openbare straatverlichting is dit veelal het geval, zodat we in de meeste gevallen rustig met de candela als eenheid van de lichtsterkte kunnen werken. Maar bij lijnverlichting in tunnels, en bij de meeste toepassingen van licht in binnenruimten (vooral in kantoorruimten) is aan deze voorwaarde in het geheel niet voldaan; het is daar dan ook niet mogelijk om rechtstreeks met de definitie van de lichtsterkte te werken. Men lost dit probleem meestal op door de (grote) lichtbronnen opgedeeld te denken in vele (kleine) lichtbronnen die ieder voor zich wel aan de fotometrische grensafstand voldoen. Met computers is dit geen onoverkomelijk probleem, maar berekeningen worden wel veel ingewikkelder. Ook hier is een oplossing niet te verwachten.

We wijzen in dit verband met nadruk op de terminologie. De woorden lichtsterkte en verlichtingssterkte lijken in het Nederlands veel op elkaar, zodat ze vaak - zoals uit het bovenstaande blijkt, geheel ten onrechte! - door elkaar worden gebruikt.

We hebben hierboven aangegeven dat de eenheid van de luminantie is de candela per vierkante meter (cd/m<sup>2</sup>). Deze eenheid wordt door de ISO als de grondeenheid gehanteerd. De gronddefinitie van de ISO luidt: "de candela is op een zodanige wijze gedefinieerd dat een oppervlak van een zwarte staler van 1 cm<sup>2</sup> met een temperatuur overeen komend met die van smeltend platina, een luminantie heeft van 60 cd/cm<sup>2</sup>". Het is duidelijk dat deze eenheid niet te verenigen is met de definities zelf: immers, per vierkante meter heeft men "oneindig veel" lichtbronnen; als de lichtsterkte niet nul is, is de luminantie steeds oneindig groot; is de lichtsterkte van iedere oneindig kleine lichtbron wel nul, dan is het produkt (mathematisch gesproken) onbepaald. Dit alles neemt niet weg dat met de eenheid "cd/m<sup>2</sup>" ondanks de wankelende definitie en de ongelukkige terminologie wel gewerkt kan worden. Overigens dient opgemerkt te worden dat het overleg, dat plaats vindt om een nieuwe (betere) definitie van de lichttechnische (fotometrische) grootheden vast te stellen, ver is gevorderd.

## 5.7. Reflectie

Onder reflectie verstaat men, als verzamelterm, alle verschijnselen waarbij licht door een oppervlak wordt weerkaatst. De luminantie van een (zelf niet-lichtgevend, verlicht) voorwerp is zoals hierboven reeds is aangeduid, evenredig met de verlichtingssterkte die door het opvallende licht teweeg wordt gebracht, en met de reflectiefactor. Deze reflectiefactor hangt af van de oppervlaktegesteldheid van het voorwerp, en van de wijze van verlichten.

Er kunnen drie soorten reflectie worden gedefinieerd (en mengvormen ervan):

. diffuse reflectie. Het licht wordt ongeacht de wijze van instraling, naar alle richtingen even streek weerkaatst (verstrooid). Dit is het geval bij alle oppervlakken die een korrelstructuur hebben, en waarvan de korrels "random" zijn georiënteerd. Voorbeelden zijn :talkpoeder, sneeuw, enz.;

. spiegelende (of reguliere) reflectie. Het licht volgt de zgn. spiegelwetten van Snellius: de hoek tussen de invallende lichtstralen en de verticaal (normaal) op het oppervlak is gelijk aan de hoek tussen de weerkaatste lichtstralen en deze normaal. Voorbeelden: metalen oppervlakken zoals spiegels, niet-kristallijne stoffen zoals glas en water, enz.;

. retroreflectie. Men spreekt van retroreflectie wanneer het licht wordt teruggekaatst in de richting waar het vandaan kwam. Deze vorm van reflectie komt in de natuur alleen bij grote uitzondering voor (het zogenaamde "Spook van de Brocken", waarbij deze vorm van reflectie in bepaalde vormen van nevel kan optreden). In de praktijk, en meer speciaal in de praktijk van de verkeersverlichting en van de verkeersveiligheid, is retroreflectie zeer belangrijk geworden. Daartoe zijn speciale materialen of speciale voorwerpen ontwikkeld, die voorzien zijn van optische systemen (retroreflectoren) die de omkeer van de stralengang door reflectie bewerken.

Alleen in geval van diffuse reflectie is er sprake van een enkele reflectiefactor, die dan ook een scalaire grootheid is. We hebben hierboven reeds aangeduid dat daarvoor de griekse letter rho ( $\rho$ ) wordt gebruikt. In alle andere gevallen hangt de intensiteit van het weerkaatst licht (en dus de "reflectiefactor") af zowel van de richting van het invallende licht als van de richting van het weerkaatste licht. Zowel voor het invallende licht als voor het weerkaatste licht zijn twee onafhankelijke variabelen nodig om de richting vast te leggen; het zijn dus allebei ("een soort van") vector. De grootheden voldoen echter niet precies aan de mathematische definities van een vector. Met name de vectoroptelling geldt niet voor de hier beschreven lichtstralen. In totaal zijn dus vier variabelen nodig. Dit betekent dat de reflectie alleen kan worden beschreven door een uitdrukking die veel met een tensor gemeen heeft (zonder overigens, evenmin als de vectoren, precies aan de mathematische definities te voldoen). Uiteraard is de intensiteit van het teruggekaatste licht recht evenredig met de intensiteit van het invallende licht. Elders in deze cursus wordt aandacht besteed aan de reflectie-eigenschappen van wegdekken.

## 5.9. Onderlinge relaties tussen de fotometrische grootheden

### a. De kwadratenwet.

De verlichtingssterkte is hierboven gedefinieerd als de lichtstroom per eenheid van oppervlak. Verder is de lichtsterkte gedefinieerd als de lichtstroom per eenheid van ruimtehoek. Combinatie van deze twee definities leidt tot de bekende kwadratenwet uit de verlichtingskunde, die stelt dat de verlichtingssterkte op een plat vlak ten gevolge van lichtstraling afkomstig van een puntvormige lichtbron omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de afstand tussen de lichtbron en het vlak. Deze afhankelijkheid kan voor een vierkant vlak worden ingezien wanneer men zich een piramide voorstelt die ontstaat door de lichtbron te verbinden met de hoekpunten van het vierkant. Wanneer men op een andere afstand tot de lichtbron een tweede vlak, evenwijdig aan het eerste, aanbrengt, volgt uit de gelijkvormigheid van de driehoeken die de zijden van de piramide vormen, dat het oppervlak dat door de piramide uit het tweede vlak wordt gesneden, omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de afstand tussen de vlakken enerzijds en de lichtbron anderzijds.

En aangezien binnen de piramide steeds dezelfde lichtstroom aanwezig blijft, is de kwadratenwet hiermee aangetoond.

b. Cosinuswet.

Een tweede belangrijke wet uit de fotometrie is de cosinuswet. Hieronder wordt verstaan de regel dat de verlichtingssterkte op een punt in een plat vlak evenredig is met de cosinus van de hoek tussen de normaal op het vlak in het betreffende punt, en de verbindingslijn tussen het betreffende punt en de lichtbron. Deze wet volgt direct uit de definitie van de cosinus; immers de grootte van het verlichte gedeelte neemt toe naar mate de hoek groter is. Bij gelijke lichtstroom neemt de verlichtingssterkte dus af.

c. de cosinus-tot-de-derde-wet.

Combinatie van de kwadratenwet en de cosinuswet levert de derde belangrijke wet uit de fotometrie op: de cosinus-tot-de-derde-wet. Deze wet geeft aan dat de verlichtingssterkte op een plat vlak op verschillende afstanden van een lichtbron (beter: van de projectie van de lichtbron op het vlak) evenredig is met de derde macht van de cosinus van de hoek tussen de normaal op het vlak in het betreffende punt en de verbindingslijn tussen het betreffende punt en de lichtbron. Dit kan als volgt worden toegelicht: een cosinus "is afkomstig van" de cosinuswet, en de andere twee zijn "afkomstig" van de kwadratenwet. Deze wet is van belang voor de straatverlichting. Wanneer men een verlichting uitgevoerd denkt met lichtpunten die naar alle richtingen dezelfde lichtsterkte hebben (naar alle richtingen even veel licht uitstralen; niet ongebruikelijk bij opale bolarmaturen) dan is per lichtpunt gerekend de verlichtingssterkte op het wegdek omgekeerd evenredig met de cosinus tot de derde van de hoek tussen de normaal en de verbindingslijn armatuur-wegdekpunt.

d. Absorptie, transmissie en reflectie.

Wanneer licht een materieel lichaam treft, zal als regel een gedeelte van het licht worden gereflecteerd, terwijl vaak een ander gedeelte van het licht wordt doorgelaten. De wet van behoud van energie stelt dat geen energie kan "verdwijnen". De energie die niet wordt gereflecteerd en niet wordt doorgelaten, moet derhalve door het lichaam worden geabsorbeerd. De bedoelde wet geeft dit als volgt aan:

$$I = R + T + A$$

(Het invallend licht is gelijk aan de som van het gereflecteerde, het doorgelaten en het geabsorbeerde licht).

## 6. Colorimetrie

Hierboven zijn we tamelijk diep ingegaan op het kleuronderscheidingsvermogen, en de daarvan afgeleide grootheden en verschijnselen. Deze vormen de basis voor de colorimetrie, de kwantificering van de kleurwaarneming.

We hebben daar vermeld dat men iedere kleur kan maken door drie willekeurig gekozen kleuren te mengen. Hierop is de kleurenmetriek gebaseerd. Het gangbare systeem is het CIE-trichromatische systeem. Hierbij wordt uitgegaan van drie standaardkleuren, die corresponderen met drie spectrale energieverdelingen. Deze spectrale energieverdelingen zijn in beginsel afgeleid van de drie spectrale gevoeligheidsverdelingen van de drie "soorten" kegeltjes; ze wijken er echter in aanzienlijke mate van af. Deze drie kleuren

vormen de drie assen van een ruimtelijke figuur (de kleurenruimte) X Y en Z.

Ook hebben we aangegeven dat wanneer men van de helderheid afziet, men met twee basiskleuren kan volstaan. Dit wordt in het CIE-systeem als volgt ingevoerd: er zijn drie nieuwe coördinaten ingevoerd, te weten x, y en z. Deze zijn als volgt gedefinieerd:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}; \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}; \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z} .$$

Wanneer men stelt dat  $x + y + z = 1$ , kan men in een plat vlak iedere kleur (zonder de helderheid in beschouwing te nemen - de helderheid die nu door de luminantie vervangen moet worden) door een combinatie van x en y vastleggen. Dit levert de reeds genoemde kleurendriehoek op.

We hebben ook vermeld dat naast de CIE kleurmetriek het Munsell-systeem en het systeem van de dominantie keur bestaan.

Voor de praktijk is naast de kleurtemperatuur en de ermee samenhangende kleurindruk van een lichtbron ook de kleurweergave van belang. Deze wordt gekwantificeerd door de kleurweergave-index.

\*\*\*\*\*

## A.II Verkeersaspecten

Voor de verkeersverlichting zijn een aantal verkeersaspecten van belang; het gaat daarbij vooral om de functie die bepaalde wegen en weggedeelten hebben, en dientengevolge is de classificering van wegen van belang. Nu zijn er vele klasse-indelingen van wegen in omloop; gebleken is dat ze geen van allen geheel bevredigen voor de overwegingen van de wegverlichting. De voornaamste reden is dat er klassen van wegen zijn die uit het oogpunt van de verkeerskunde niet verder behoeven te worden onderverdeeld, terwijl de praktijk van de wegverlichting (en ook de bijbehorende theoretische overwegingen) een nadere onderverdeling vereist. Daarom wordt in de verlichtingskunde een 'eigen' wegclassificatie gebruikt, die echter op de algemene verkeerskundige gedachten is gebaseerd.

Het onderdeel A II is aan een cursus ontleend, die in 1994 is gegeven, en kan dus als redelijk 'up-to-date' worden beschouwd.

## A.II. VERKEERSASPECTEN (PAO)

Het huidige maatschappelijke bestel is zeer gecompliceerd. Vooral door het in ruimtelijke zin vaak ver uiteen liggen van plaatsen waar de produktie en de consumptie plaats vinden, is er een grote stroom van vervoer van goederen ontstaan, een stroom die door het verder uitbreiden van de zgn. "just-in-time"-produktie nog wordt vergroot. Voorts is er een grote stroom van diensten; onze maatschappij is er meer een van dienstverlening dan van produktie, een kenmerk van de post-industriële maatschappij. Verder is er sprake van een decentralisatie van het wonen; dit tegenover een concentratie van het werken. Dit levert een grote stroom op van "woon-werkverkeer". Opgemerkt dient te worden dat ook deze decentralisatie een specifiek kenmerk is van de post-industriële maatschappij; in de pre-industriële maatschappij (ontwikkelingslanden) en in de industriële maatschappij (vele landen in het Verre Oosten) is de tendens omgekeerd: daar groeien de metropolen, terwijl ze in West-Europa in inwoner-aantal afnemen. En tenslotte is er het recreatieverkeer: de hoge produktiviteit van de post-industriële maatschappij heeft tot veel vrije tijd geleid, terwijl de grote welvaart de mogelijkheden heeft geschapen om "erop uit te trekken".

Dit gehele stelsel van invloedsfactoren heeft tot gevolg dat er een gigantische toename heeft plaats gevonden van het verkeer en vervoer, en dat de druk om deze toename te continueren nog volop aanwezig is. De desastreuze effecten van deze ongebreidelde toename van verkeer en vervoer op leefbaarheid en milieu zijn zonneklaar aangetoond en worden nauwelijks bestreden, maar ondanks dat blijft het verkeer en vervoer stormachtig toenemen. De mensheid oordeelt het directe belang van verdiensten en luxe blijkbaar hoger dan het langere-termijn-belang voor de handhaving van een leefbaar milieu.

Verreweg het grootste deel van dit verkeer speelt zich op de (openbare) weg af. Zowel wat betreft het aantal verkeersbewegingen, de hoeveelheid vervoerde artikelen, de massa ervan, en vooral wat betreft het aantal vervoerde personen, vertegenwoordigen andere verkeerswijzen (rail, water en lucht) slechts een geringe, en in vele opzichten verwaarloosbare, bijdrage tot het geheel. Het wegverkeer bestaat wat betreft het aantal voertuigen, de voertuig-kilometers en de reiziger-kilometers voor het grootste deel uit de particuliere personenauto's; wat betreft de massa (het tonnage) van de vervoerde goederen zijn uiteraard de vrachtauto's van belang. En deze constatering geldt voor alle hierboven gegeven soorten verkeer: voor goederen, voor woon-werkverkeer, alsmede voor het recreatieverkeer. Wanneer er verder over "het verkeer" wordt gesproken, wordt meestal het uit (particuliere) personenauto's bestaande gemotoriseerde wegverkeer bedoeld. Indien ander verkeer wordt bedoeld, wordt dit apart vermeld.

Deze overweging zijn van belang wanneer wordt nagegaan op welke wijze de openbare

verlichting, een onderdeel uit het verkeers- en vervoersbestel, kan worden geoptimaliseerd.

## 2. De functionele aanpak voor verkeersvoorzieningen

Het (gemotoriseerde snel-)verkeer heeft verkeersvoorzieningen nodig. Deze voorzieningen zijn van verschillende aard:

- . ten eerste zijn er de wegen met alle erbij behorende hulpmiddelen - waartoe onder meer de openbare verlichting behoort;
- . ten tweede zijn er de vervoermiddelen (voertuigen; in ons geval dus de auto's), met de daarbij behorende hulpmiddelen;
- . ten derde zijn er de verkeershulpmiddelen, die een bijdrage kunnen leveren tot het naar behoren afwickelen van het verkeer.

In de moderne aanpak van vragen betreffende de verkeersafwikkeling en de verkeersveiligheid staat de volgende vraag centraal: "wat is er nodig?". Op een meer nauwkeurige wijze uitgedrukt: "wat is de functie van de genoemde voorzieningen?". Men noemt dit meestal de functionele aanpak. Op basis van deze functionele aanpak kan op een objectieve wijze worden vastgesteld aan welke eisen de bedoelde voorzieningen moeten voldoen om de genoemde functies te kunnen vervullen.

Deze functionele aanpak staat tegenover de verschillende wijzen waarop in het verleden (en soms ook nu nog) beslissingen worden genomen, en eisenpakketten worden geformuleerd. Zo werd in het verleden een economische aanpak of een juridische aanpak gebruikt, waarbij de aandacht werd geconcentreerd op de kosten-aspecten van het verkeer en de verkeersveiligheid, respectievelijk op de juridische aspecten van het wegbeheer. Deze beperkte gezichtspunten kunnen in een aantal gevallen bevredigende oplossingen van beperkte problemen opleveren, maar voor een breder opgezette kosten/baten-analyse is deze benadering te beperkt.

Ook kan men nogal eens een aanpak tegenkomen waarbij esthetische argumenten de boventoon voeren. Esthetische overwegingen kunnen een zekere rol spelen, ook bij de beschouwingen over verkeersvoorzieningen; ze dienen echter ondergeschikt te blijven aan de functionele vereisten. Bij de openbare verlichting komt dit punt nogal eens aan de orde. Zo zijn er architecten die verlangens hebben wat betreft de verlichting van woon- en verblijfsgebieden, meer in het bijzonder van winkelgebieden en winkelcentra. Het is natuurlijk zonder meer duidelijk dat de functionele vereisten die men aan de verlichting van deze gebieden dient te stellen, in aanzienlijke mate kunnen afwijken van de eisen welke in "echte" verkeersgebieden, of in industrie-gebieden gelden. De verlichting dient echter ook in verblijfsgebieden en winkelcentra wel degelijk functioneel te zijn; men dient echter rekening te houden met andere functies van de verlichting, zoals het commerciële aspect en de aantrekking op (toekomstige) klanten. Dit zijn ook functionele aspecten, net zoals de waarneembaarheid van kleine objecten op de rijbaan, zoals die bij verkeerswegen van belang is.

Tenslotte komt men nogal eens politieke invloeden tegen bij het ontwerp en het beheer van openbare verlichting. Het staat buiten kijf dat het beleid rondom de verlichting een politieke zaak is. Er wordt - terecht - gewezen op het belang van een goede, zo objectief

mogelijke, kosten/baten-analyse voor het voorbereiden van de beleidsbeslissingen, die in essentie politieke beslissingen zijn. In een ander deel van deze cursus wordt dieper op deze materie in gegaan. Een andere zaak is het proberen bepaalde "politieke" ideologieën door te drukken aan de hand van het ontwerp of het bedrijven van openbare verlichting. Beperken van het autogebruik is een zeer valide oogmerk van politieke aard, gestoeld op juiste - en toetsbare - ecologische beginselen. Het gebruik van het middel "beperken van het gebruik van particuliere auto's" als middel om een bepaalde partij-politieke winst te behalen, is echter in een democratie onacceptabel. Zeker wanneer dit gebeurt - zoals in het verleden op vele plaatsen is gebeurd - door de verlichting te reduceren of geheel te doven. Immers, daarbij wordt niet alleen het welzijn, maar vaak direct het leven van de medeburgers in gevaar gebracht.

### 3. Beslissingsprocessen

Men verwacht van de openbare verlichting een bijdrage tot de verkeersafwikkeling en de verkeersveiligheid, maar ook tot de leefbaarheid en tot de openbare veiligheid. Beslissingen dienaangaande worden genomen door het "beleid", maar evenzeer door de ontwerpers en beheerders van de verlichting, en ook door de weggebruikers - automobilisten of voetgangers. Op de rol die beslissingen spelen in het verkeer komen we terug in een ander deel van deze cursus, maar in dit hoofdstuk is het nuttig te wijzen op een bepaald aspect van beslissingsprocessen, en wel de - steeds terugkerende - relatie tussen "doel" en "middel".

Beslissingen worden genomen op basis van informatie, en leiden tot een actie. In de meeste gevallen betreft de actie een keuze tussen alternatieven. Ter zijde zij opgemerkt dat het steeds mogelijk is een keuze tussen drie of meer alternatieven te beschouwen als een opeenvolging van keuzen tussen steeds twee alternatieven. Men kan het juiste (of tenminste het gekozen) van de twee alternatieven beschouwen als het "doel" van de beslissing. Een doel is echter nooit een "echt einddoel": het doel is steeds te beschouwen als een middel om een verder weg liggend doel te bereiken. Een voorbeeld: het gaan van A naar B is een verplaatsing; B is daarbij de bestemming van de verplaatsing. B is als zodanig gekozen aan de hand van een beslissingsproces - B is dus het doel. Maar het bereiken van B is op zich weer een middel om een ander doel te bereiken: bijvoorbeeld het afleveren van goederen. Het afleveren van de goederen heeft tot doel om bedrijfswinst te maken enz. Zo kan men doorgaan.

Beslissingen kunnen steeds in een hiërarchische opklimming worden gerangschikt, waarbij het doel op niveau  $n$  steeds het middel is op niveau  $n+1$ ; het doel op niveau  $n+1$  is het middel op niveau  $n+2$ , enz. Omgekeerd is het middel op niveau  $n$  het doel op niveau  $n-1$ , enz. Het is een vraag van filosofisch belang of de reeks naar "boven" of naar "beneden" een eind heeft; voor de praktijk is deze vraag niet van belang, en kan de reeks naar beide kanten als onbegrensd worden beschouwd. Nog een slotopmerking: de termen "hoger" en "lager" hebben bij de hiërarchische indeling alleen betrekking op de complexiteit van de beslissing; ze houden geen waarde-oordeel in.



## 4. Classificatie van wegen

### 4.1. Beginselen van classificatie

De openbare verlichting heeft een aantal functies. We zullen deze functies in par. 5.2. in detail bespreken. Alvorens we de functionele aspecten van de openbare verlichting behandelen, is het nodig nog wat verder in te gaan op de functie van wegen en straten.

Er zijn een aantal redenen aan te geven om wegen in klassen in te delen. Deze redeneren zijn in drie groepen in te delen:

- . beheer;
- . ontwerp;
- . gebruik.

Tot zekere hoogte hangen deze drie onderling samen. Onder "beheer" wordt hier verstaan de wegbeheerder: gaat het om rijkswegen, gemeentelijke wegen enz. Bij "ontwerp" dient men te bedenken dat verschillende wegtypen wellicht op verschillende wijzen dienen te worden ontworpen en uitgevoerd. Het meeste belang is echter het "gebruik": van de weggebruiker wordt op wegen van verschillend type een verschillend gedrag gevraagd. Voor een goede classificatie van wegen dient aan het laatste punt de meeste aandacht te worden besteed: het zijn immers de weggebruikers die de weg gebruiken! Van uit het gezichtspunt van de weggebruikers zijn drie aspecten van groot belang:

- . de klasse van wegen, alsmede de uitmonstering ervan, moet in relatie staan tot het gewenste (of vereiste) gedrag;
- . de weggebruikers moeten de klasse duidelijk kunnen waarnemen; er mag geen verwarring optreden tussen klassen waarbij verschillend gedrag gewenst (vereist) is, terwijl wegen waarbij het gedrag gelijk is, er ook gelijk (gelijksoortig) dienen uit te zien;
- . de aanduiding van de klasse moet zodanig duidelijk zijn dat de weggebruiker mag verwachten dat ook andere weggebruikers de klasse kunnen waarnemen en interpreteren, en hun gedrag dienovereenkomstig kunnen aanpassen; het verwachtingspatroon omtrent het gedrag van anderen dient ondubbelzinnig te zijn.

Deze principes zijn duidelijk; aan de hand van deze uitgangspunten is een effectieve klasse-indeling van wegen te creëren. Een groot probleem is, dat het wegennet al lang - vaak reeds eeuwen - bestaat, en dat het vrijwel onmogelijk is deze beginselen toe te passen op een bestaand netwerk van wegen. Ten behoeve van de openbare verlichting is er dan ook door de Nederlandse Stichting van Verlichtingskunde Nsvv, ten behoeve van de nieuwe Aanbevelingen voor Openbare Verlichting, op basis van een aantal aanvullende en sommige nieuwe beginselen een klasse-indeling opgesteld, die ook voor bestaande wegen en straten kan worden gebruikt.

Gewoonlijk beperkt men zich tot twee "ingangen", namelijk de locatie en de verkeersbestemming. Wat betreft de locatie kunnen de wegen in twee groepen worden ingedeeld:

- . wegen buiten de bebouwde kom,
- . wegen binnen de bebouwde kom.

Wat betreft de verkeersbestemming volstaat men meestal de wegen ook weer in twee groepen in te delen:

- . wegen met een verkeersfunctie,
- . wegen met een bestemmingsfunctie.

De door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat uitgegeven (nog steeds onvoltooide) Richtlijnen voor Autosnelwegen ROA, en de Richtlijnen voor Niet-Autosnelwegen RONA zijn gebaseerd op deze eenvoudige indeling, en een vrij willekeurige onderverdeling. Ofschoon de ROA en RONA eigenlijk het gehele wegennet (ook binnen de bebouwde kom) zouden dienen te beschrijven, omvatten ze in de praktijk slechts een klein deel: de hoofdwegen buiten de bebouwde kom met een belangrijke verkeersfunctie. Bovendien voldoen de meeste wegen nauwelijks of geheel niet aan de richtlijnen.

Hier zij opgemerkt dat in het kader van het beginsel van de "duurzame veiligheid", wat betreft de verkeersbestemming een indeling in drie groepen beter lijkt te voldoen:

- . wegen met een stroomfunctie;
- . wegen met een ontsluitingsfunctie;
- . wegen met een verblijfsfunctie.

Ofschoon deze indeling in drieën, zowel theoretisch alsook praktisch, zekere voordelen heeft boven de "traditionele" indeling in tweeën, zal de oudere indeling worden gebruikt, omdat de huidige Aanbevelingen voor Openbare Verlichting erop zijn gebaseerd.

#### 4.2. Wegen buiten de bebouwde kom

De wegen buiten de bebouwde kom kunnen aan de hand van deze indelingsprincipes eigenlijk nauwelijks worden ingedeeld, omdat wegen met een zuivere bestemmingsfunctie buiten de bebouwde kom eigenlijk alleen bij de "landbouwwegen" voorkomen. Een indeling van de andere wegen buiten de bebouwde kom is echter nodig voor het beheer en voor het ontwerp. Sommige wegen zijn in beheer zijn bij het Rijk, andere bij de Provincies, weer andere bij de Waterschappen, en vele wegen (ook buiten de bebouwde kom) bij de Gemeenten. Ook voor het opstellen van pakketten van ontwerpvoorschriften is een onderverdeling nodig. Omdat er een zekere relatie bestaat tussen de verkeersveiligheid en de gereden snelheid, worden de op de wegen geldende snelheidslimieten als criterium bij de indeling gebruikt. Dit is in zekere zin een cirkelredenering: de in te voeren limietsnelheid voor een bepaald wegtype dient uit de functionele vereisten te volgen, en er niet als basis voor te worden gebruikt. Verderop in deze cursus komen we terug op het aspect snelheid en de denkfouten die daarbij soms worden gemaakt.

Het wegennet in Nederland buiten bebouwde kommen bestaat uit drie hoofdgroepen van wegen: autosnelwegen, autowegen en de overige wegen. Deze "overige wegen" vormen een zeer heterogene groep; de enige gemeenschappelijke factor is, dat er een snelheidslimiet van 80 km/h bestaat. Daarom worden ze algemeen aangeduid met "80 km/h-wegen".

De Nederlandse wegen kunnen ook op een andere wijze worden ingedeeld, en wel volgens de toegelaten voertuigen: autosnelwegen, autowegen, wegen met geslotenverklaringen, en wegen voor gemengd verkeer. De twee indelingen overlappen elkaar. Autosnelwegen zijn een aparte groep. Als vuistregel geldt dat autowegen een snelheidslimiet hebben van 100 km/h. De 80 km/h-wegen betreffen dus alle wegen voor gemengd verkeer en het overgrote deel van de wegen met geslotenverklaringen. Deze geslotenverklaringen kunnen allerlei voertuigtypen omvatten: gebruikelijk zijn landbouwverkeer (tractoren; vee) en fietsen/bromfietsen. We zullen met de categorie van de "80 km/h-wegen" beginnen. De autosnelwegen komen verderop aan de orde.

a. 80 km/h-wegen. De "80 km/h-wegen" vormen geen formele categorie, maar ze omvatten een belangrijk deel van het (verharde) Nederlandse wegennet. In 1986 kwamen volgens een inventarisatie van de SWOV de volgende wegen voor:

- .AS: autosnelwegen, 2003 km;
- .AW: autowegen, 2305 km;
- .WG 2B: wegen met geslotenverklaring met twee rijbanen, 252 km;
- .WG 1B: wegen met geslotenverklaring met een rijbaan, 6537 km;
- .WA 2S: wegen voor gemengd verkeer met twee rijstroken, 11719;
- .WA 1S: wegen voor gemengd verkeer met een rijstrook, 31702. km

In dit overzicht vallen onder WA 1S ook heel wat wegen die zo breed zijn dat tegenliggers elkaar met geringe hinder kunnen passeren. WA 1S betekent: smaller dan ca 7 meter. Voor het globale overzicht kan worden gesteld dat de 80 km/h-wegen gezocht moeten worden in de categorieën WG 1B, WA 2S en WA 1S. Totaal is dit ("de rest"): 49 958 km.

In de praktijk bestaan een aantal overeenkomsten tussen de 80 km/h-wegen, ofschoon er geen zekerheid bestaat, en er vele uitzonderingen op deze regels bestaan:

- . Het grootste deel van deze wegen zijn in beheer bij gemeenten; provinciale wegen komen voor maar zijn in de meeste provincies een uitzondering;
- . het overgrote merendeel van deze wegen is open gesteld voor gemengd verkeer;
- . langzaam verkeer (landbouwverkeer) komt veel voor;
- . vrijliggende fietspaden komen voor, maar zijn uitzondering;
- . het overgrote deel van deze wegen bestaat uit een enkele rijbaan met twee rijstroken (ze zijn dus ingericht voor twee-richtingverkeer);
- . vele, maar lang niet alle, zijn voorrangswegen;
- . in geval de wegen geen voorrangsweg zijn, zijn de onderlinge kruisingen slechts zelden als voorrangskruising uitgerust;
- . beplanting langs de wegen komt veel voor;
- . een aanzienlijk deel van deze wegen heeft een asfalt wegdek; betonstenen ("klinkers") komen echter ook veel voor;
- . het overgrote deel van deze wegen is (bij duisternis) onverlicht;
- . in vrijwel alle gevallen sluiten deze wegen direct aan op de naast de weg liggende bebouwing (ze hebben dus naast een verkeersfunctie ook een erffunctie);
- . deze wegen dienen te voldoen aan de RONA-richtlijnen; in de praktijk is dit slecht zelden het geval.

Deze combinatie van kenmerken, en wellicht ook het feit dat deze kenmerken niet systematisch voorkomen, is er de oorzaak van dat deze wegen relatief gevaarlijk zijn. Uit ongevalstudies blijkt dat op de 80 km/wegen in 1986 71% van de verkeersdoden buiten de bebouwde kommen viel. Per km is dat aanzienlijk lager dan voor autosnelwegen en voor autowegen, maar het is veel hoger wanneer men rekening houdt met het feit dat 80 km/h-wegen gemiddeld genomen veel minder worden bereden. Per voertuig.km zijn de ongevallen voor autosnelwegen ca 0,07; voor autowegen ca 0,11, maar voor WG 1B ongeveer 0,3; voor WA 2S ruim 0,5 en voor WA 1S zelfs bijna 0,9.

b. Autowegen. Autowegen zijn een aparte categorie: op autowegen geldt een snelheidslimiet van 100 km/h. Volgens de eerder gegeven gedachte is dit verschil met andere wegen een voldoende reden om autowegen tot een aparte klasse te verheffen. Mede omdat voor

een autobestuurder 100 km/h en 80 km/h subjectief gezien slechts weinig verschillen (overigens is ook objectief het verschil slechts gering: slechts 20%), en omdat snelheidslimieten slecht worden gehoorzaamd, is dit onderscheid voor de praktijk nauwelijks relevant. De sporadische bordjes - die bij duisternis vrijwel onzichtbaar zijn - helpen ook niet veel. Maar toch is het verschil tussen een autoweg en een weg met gemengd verkeer (al dan niet met gesloten-verklaringen) van groot belang voor het verwachtingspatroon van de bestuurder, en dus voor het gewenste gedrag: er kan geen, of juist wel, langzaam verkeer op weg voorkomen!

Met dit gezichtspunt wordt weinig rekening gehouden. Zo zijn zowel autowegen als 80 km/h-wegen opgenomen in de RONA.

c. Autosnelwegen. De enige weg-categorie (naast de woonerven overigens, die helaas vrijwel verdwenen zijn) die een duidelijke omschrijving heeft wat betreft enerzijds het vereiste gedrag in het verkeer, en anderzijds wat betreft de ontwerpkriteria en de homogeniteit erin, is de categorie van de autosnelwegen. Bovendien zijn de gedragsvereisten en de ontwerpkriteria ook internationaal gezien tamelijk homogeen - tenminste in de meeste West-Europese landen. Overigens komen in landen als Zwitserland, Yugo-Slavie en Griekenland enkelbaans "autosnelwegen" voor!

#### 4.3. Wegen binnen de bebouwde kom

Hierboven is vermeld dat men zich gewoonlijk tot twee "ingangen" beperkt, namelijk de locatie en de verkeersbestemming. In verkeerskundige beschouwingen vindt men gewoonlijk een classificatie die op deze gezichtspunten is gebaseerd, waarbij bij wegen binnen de bebouwde kom de verkeersfunctie meestal nog wat verder is opgesplitst. Men vindt dan termen als "wijkstraat" en "buurtstraat", maar ook termen als "autosnelweg" en "woonerf".

Classificaties die op deze gezichtspunten zijn gebaseerd, blijken in de meeste gevallen voor de toepassing op het gebied van de openbare verlichting zeer moeilijk bruikbaar te zijn. De reden is dat "ingangen" van verschillende aard door elkaar worden gebruikt (verkeersbouwkundige, verkeerskundige en juridische). Voorts zijn in de meeste gevallen de categorieën niet eenduidig vast te stellen (niemand kan precies het verschil aangeven tussen een buurtstraat en een wijkstraat), en tenslotte zijn de criteria, zo ze al zijn vast te stellen, meestal niet kwantificeerbaar. Voor de openbare verlichting is echter het grootste bezwaar het feit dat de "grote grijze middengroep" van "gewone stadstraten" niet verder opgesplitst kan worden.

De Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde heeft ten behoeve van het opstellen van de nieuwe Aanbevelingen voor Openbare Verlichting een klasse-indeling van wegen nodig. Omdat de verkeerskunde geen antwoord kon geven, is een aparte klasse-indeling van wegen ten behoeve van de verlichting opgesteld. Met tegenzin overigens; op deze manier wordt het aantal in zwang zijnde onderling niet compatibele classificaties weer met één uitgebreid.

De classificatie is bedoeld om voor iedere afzonderlijke weg of straat de klasse te kunnen bepalen - een determineersysteem dus. Er zijn vijf groepen van determinanten gedefinieerd, die ieder op een eenduidige wijze objectief aan de weg zelf kunnen worden vastgesteld:

- . verkeerskundige determinanten (wegtype)
- . verkeersbouwkundige aspecten (wegkenmerken)
- . administratieve determinanten (wegbeheerder)
- . gedragsaspecten van de wegbeheerder (maatregelen)
- . gedragsaspecten van de weggebruiker (verwachtingspatroon).

De volgende determinanten zijn specifiek voor de verlichting van belang:

- . bebouwing langs de weg (binnen/buiten de bebouwde kom)
- . functie van de weg (verkeersfunctie, verblijfsfunctie)
- . infrastructuur (dwarsprofiel)
- . verkeer (samenstelling, beperkingen)
- . verkeersintensiteit (voor verschillende klassen weggebruikers)

Al deze determinanten zijn te baseren op directe tellingen of directe metingen; ook de functie van de weg. Deze kan worden gedefinieerd als het percentage doorgaand verkeer - waaronder wordt verstaan verkeer dat de verplaatsing niet begint, noch eindigt in de betreffende straat of weg.

De door de Nsvv opgestelde classificatie wordt in detail in Deel III.3. van deze cursus besproken. Hier volgt alleen een globaal overzicht.

- . De eerste hoofdindeling is naar bebouwing: wegen binnen en buiten de bebouwde kom, (tabellen 2 en 4), alsmede vrijliggende fietspaden (tabel 3).

- . De tweede hoofdindeling voor wegen binnen de bebouwde kom is de functie van de weg. De wegen en straten worden onderverdeeld naar het doorgaand verkeer in wegen "met in hoofdzaak een verkeersfunctie" en "in hoofdzaak een verblijfsfunctie" (tabellen 2a en 2b). Het percentage doorgaand verkeer is vooralsnog niet gekwantificeerd.

- . De tweede hoofdindeling voor wegen buiten de bebouwde kom is "nieuwe wegen" en "bestaande wegen". De nieuwe wegen zijn onderverdeeld volgens de ROA/RONA (Tabel 4a), terwijl de bestaande wegen min of meer de structuur van de wegen binnen de bebouwde kom volgen (Tabel 4b). Deze keuze, die eigenlijk een zwak compromis vormt, is gemaakt om de aansluiting met de bestaande richtlijnen niet te moeilijk te maken.

- . Wegen binnen bebouwde kom met in hoofdzaak een verkeersfunctie worden onderverdeeld naar verkeer (autoverkeer, gemengd verkeer enz.), en naar infrastructuur (gescheiden rijbanen, parkeren, enz.).

- . Wegen binnen de bebouwde kom met in hoofdzaak een verblijfsfunctie worden onderverdeeld naar functie (woongebieden, winkelgebieden, industriegebieden) en naar het niveau van de criminaliteit. Deze begrippen zijn vooralsnog kwalitatief gehanteerd; kwantificering (in bebouwing, in aantallen misdrijven enz.) is momenteel nog niet voorzien.

## 5. Invloed van de duisternis

### 5.1. Verkeer bij duisternis

In de meeste industrielanden vindt een aanzienlijk deel van het gemotoriseerde wegverkeer bij duisternis plaats. De verdeling van het verkeer over dag en duisternis verschillen per wijze van verkeersdeelname en per wegtype. Zo is er bij duisternis relatief meer beroepsvervoer (vooral vrachtvervoer) en minder privévervoer. Op autosnelwegen wordt 15 à 20%

van het totale verkeer tussen 1900 en 0700 uur afgewikkeld, terwijl dit voor woonstraten veelal niet meer dan 2 à 3% is.

Evenzeer van belang is het verschil in verkeerssamenstelling. Het langzaam verkeer (voetgangers en fietsers) wordt in hoofdzaak bij dag afgewikkeld. Nauwkeurige gegevens hierover zijn echter niet bekend. Onder automobilisten is het percentage jongeren bij duisternis bepaald groter dan overdag; de bezettingsgraad van de auto's is dan hoger, en ook is 's nachts de deelname aan het verkeer na het gebruik van alcohol zeer veel hoger. De verkeersdrukke later in de nacht is lager dan overdag, terwijl ook ongunstige weersomstandigheden 's nachts vaker voorkomen dan overdag (mist, gladheid, vochtige en natte wegen enz.).

Er dient op te worden gewezen dat de meeste gegevens slechts een vergelijking tussen de perioden van 19.00 tot 07.00 uur en van 07.00 tot 19.00 uur mogelijk maken, maar geen vergelijking tussen de duisternis en het daglicht. Aangezien de duur van de perioden van daglicht en duisternis over het jaar gerekend in Nederland sterk varieert, zijn de bovengenoemde opgaven niet meer dan een benadering.

Er bestaan aanzienlijke verschillen tussen dag en duisternis wat betreft het verkeer en de verkeerssamenstelling. Daarom moet men rekenen op een aanzienlijk verschil in het "ongevallenplaatje" overdag en bij duisternis. Bij duisternis is het ongevallenquotiënt (ongevallen per voertuig-km) aanzienlijk hoger dan overdag; bovendien is de ernst van de ongevallen aanzienlijk hoger dan die van overdag. Uit onderzoek is duidelijk gebleken dat alleen de verschillen in het verkeer niet voldoende zijn om het extra ongevallenrisico te verklaren: de duisternis zelf is kennelijk een aanzienlijke risico-verhogende factor. Het blijkt dat het installeren van een "goede" straatverlichting in vergelijking met een "slechte" verlichting voor stedelijke hoofdwegen tot een reductie van het aantal nachtelijke letselongevallen met ca. 30% kan leiden. Bij deze maatregel wordt alleen de visuele situatie veranderd, zodat het effect alleen met de invloed van de duisternis te maken kan hebben. Op grond van wat er bekend is over de werking van het visuele systeem behoeft ons dat niet te verbazen.

In het algemeen is het ongevallenrisico bij duisternis anderhalf à tweemaal hoger dan bij dag. Bij de combinatie van regen en duisternis is het risico ca. tienmaal dat van droog weer overdag - meer dus dan de combinatie van de factoren apart. Het heeft er de schijn van dat verkeersdeelnemers tot zekere hoogte de ongunstige invloed van duisternis of van regen kunnen compenseren, maar niet voor de combinatie ervan.

## A III. Waarneming in het verkeer

Verlichting dient voor het zichtbaar maken van objecten. Om te weten welke objecten verlicht moeten worden, en dus om te weten hoe de verlichting moet worden ingericht, is kennis en inzicht over de waarneembaarheid nodig. Het gaat hierbij om een terrein dat bij uitstek tot de toegepaste psychologie behoort. Omdat het psychologisch onderzoek gedurende vele jaren vooral op "gedrag" was geconcentreerd, was een uitbreiding ten dienste van de verlichtingskunde gewenst. Daarbij zijn onderwerpen die in de psychologie behandeld worden, verder uitgediept. Het gaat daarbij om de waarneembaarheid zelf, de rijtaak, beslissingsmodellen, zoekgedrag, en de rol die de terugkoppeling daarin kan spelen. De beginselen zijn voor zover mogelijk aan de psychologie ontleend.

Het onderdeel A III is aan een SWOV-rapport uit 1992 (R-92-64) ontleend, en kan dus als redelijk 'up-to-date' worden beschouwd.

### 1. Verkeer bij duisternis

In de meeste industrielanden vindt een aanzienlijk deel van het gemotoriseerde wegverkeer bij duisternis plaats. De verdeling van het verkeer over dag en duisternis verschillen per wijze van verkeersdeelname en per wegtype. Zo bestaat de indruk dat er bij duisternis relatief meer beroepsvervoer (vooral vrachtovervoer) en minder privévervoer. Op autosnelwegen wordt 15 à 20% van het totale verkeer tussen 19.00 en 07.00 uur afgewikkeld, terwijl dit voor woonstraten veelal niet meer dan 2 à 3% is.

Evenzeer van belang is het verschil in verkeerssamenstelling. Het langzaam verkeer (voetgangers en fietsers) wordt in hoofdzaak bij dag afgewikkeld. Onder automobilisten is het percentage jongeren bij duisternis bepaald groter dan overdag; de bezettingsgraad van de auto's is dan hoger, en ook is 's nachts deelname aan het verkeer na het gebruik van alcohol zeer veel hoger. De verkeersdruk later in de nacht is lager dan overdag, terwijl ook ongunstige weersomstandigheden 's nachts vaker voorkomen dan overdag (mist, gladheid, vochtige en natte wegen enz.).

Er bestaan aanzienlijke verschillen tussen dag en duisternis wat betreft het verkeer en de verkeerssamenstelling. Daarom moet men rekenen op een aanzienlijk verschil in het 'ongevallenplaatje' overdag en bij duisternis. Bij duisternis is het ongevalquotiënt (ongevallen per voertuigkilometer) aanzienlijk hoger dan overdag; bovendien is de ernst van de ongevallen aanzienlijk hoger dan die van overdag. Uit onderzoek is echter duidelijk gebleken dat alleen de verschillen in het verkeer niet voldoende zijn om het extra ongevalrisico te verklaren: de duisternis zelf is kennelijk een aanzienlijke risicoverhogende factor. Ook regen en natte weg is een extra risicofactor. Vooral bij de combinatie van regen en duisternis is het risico aanzienlijk hoger dan bij droog weer overdag. Ter illustratie zijn in Tabel 9 enige gegevens voor 1991 voor Nederland verzameld.

Overdag vindt bijna 80% van de ongevallen bij droog weer plaats; bij natte weg (in alle combinaties) ca. 20%. Een klein gedeelte is 'onbekend'. Bij regen vinden bijna 9% van de ongevallen plaats. In 1991 heeft het, gemiddeld over de stations die de duur van de regenval registreren, 560 uur geregend; dat is 6,4% van de tijd (KNMI, 1992). Het 'overschot' van de regenongevallen is dus 39,7%. Regen is - zoals bekend - een belangrijke risicofactor in het verkeer. Bij duisternis is het percentage voor ongevallen bij regen ongeveer tweemaal zo groot als bij daglicht (16,5%). Het 'overschot' van de regenongevallen is dus veel groter en wel ruim 158%. Daarbij is aangenomen dat regen bij nacht even frequent is als bij dag. Zoals hierboven reeds is gesteld, blijkt vooral de combinatie van regen en duisternis extra risico op te leveren. Zie ook OECD (1972, 1976).

Opvallend is dat voor wegen met openbare verlichting het percentage hoger is dan voor onverlichte wegen. Men zou kunnen menen dat openbare verlichting een 'gevaarlijke' maatregel is, of dat de mogelijke winst in veiligheid die door de openbare verlichting wordt verschaft, wordt 'opgebruikt' door een toename van het risiconemend gedrag (de zgn. risico-homeostase-gedachte; Wilde, 1982, 1982a, 1984). Uit ander onderzoek, waarop in andere delen van deze studie in detail wordt ingegaan, blijkt echter dat openbare verlichting op zichzelf een doeltreffende verkeersveiligheidsmaatregel is (Hoofdstuk 4).



Hieruit kan men besluiten dat het waarschijnlijk die wegen zijn welke een extra risico met zich brengen, die van openbare verlichting worden voorzien, maar dat de openbare verlichting het extra risico niet geheel kan goed maken. Deze suggestie kan ook in andere gevallen naar voren worden gebracht.

## 2. Zien en gezien worden

Men is vrijwel nooit alleen in het verkeer. Om het einddoel van de tocht te bereiken, en wel zonder onderweg ergens tegenaan te botsen (de twee hoofdaspecten van de zogenaamde verkeerstaak) is het niet genoeg om alle zaken die van belang zijn te kunnen zien; men moet ook gezien kunnen worden. Soms overheerst het ene, vaak ook het andere. Wanneer men per auto buiten de bebouwde kom rijdt, is in de eerste plaats het kunnen 'zien' van belang. Maar voor een fietser in het drukke verkeer van een grote stad is het 'gezien worden' van veel meer belang. Fietsen moeten een behoorlijke markering hebben, vooral bij duisternis.

Iets dergelijks geldt voor het snelverkeer. Autoverlichting heeft even-zeer deze functies: verbeteren van het 'zien' alsmede het verbeteren van het 'gezien worden'.

Openbare verlichting is bij uitstek een hulpmiddel om bij duisternis zowel het 'zien' als het 'gezien worden' te verbeteren. Deze subjectieve ervaring kan met ongevalstudies worden onderbouwd. Zie par. 4.2.

## 3. De theorie van de waarneming

### 3.1. Waarnemingsaspecten

#### 3.1.1. Waarneembaarheid

Wanneer we de eisen die aan de waarneming in het verkeer willen onderzoeken, dan is het uiteraard van belang om na te gaan waar deze waarneming voor dient. Deze vraag lijkt een vanzelfsprekend antwoord op te leveren: het ontwaren van gevaarlijke obstakels. Dit is terecht, maar het is slechts een deel van het antwoord. We zullen ons bij de verdere bespreking van de waarneming beperken tot de waarneming zoals die door een bestuurder van een motorvoertuig (personenauto, vrachtwagen of motorfiets) moet worden uitgevoerd. Voor andere verkeersdeelnemers gelden zeer analoge beschouwingen; de ervaring heeft echter geleerd dat op grond van de lagere snelheid, de eisen die eruit volgen, over het algemeen minder zwaar zijn. Daarom beperken wij ons in deze studie tot de automobilisten.

Bij de waarneming van objecten in het verkeer dient steeds een aantal aspecten te worden onderscheiden. Deze aspecten zullen worden toegelicht aan de hand van de omschrijving van een aantal begrippen:

*Waarnemen* (waarneembaarheid): hieronder wordt verstaan het algemene begrip van het verzamelen en verwerken van informatie. Waarnemen is in laatste instantie het overbrengen van informatie. Waarneembaarheid is een kwalitatief begrip.

*Detecteren* (detecteerbaarheid): hieronder wordt verstaan de mate waarin aan de primaire waarneming wordt voldaan, waarbij alleen de aanwezigheid van een object wordt geconstateerd. Meestal wordt de detecteerbaarheid onder laboratoriumomstandigheden bepaald en uitgedrukt in drempelwaarden: de kans (meestal gesteld op 50%) dat het object ont-

waard wordt. Detecteerbaarheid is een kwantitatief begrip. Wanneer het om de visuele waarneming gaat, spreekt men meestal van de zichtbaarheid.

*Opvallen* (opvallendheid): hieronder wordt verstaan de mate waarin het object kan worden waargenomen in de 'werkelijke wereld', waarbij rekening wordt gehouden met de in de werkelijke wereld voorkomende verstoringen. De opvallendheid is te beschouwen als het 'vermogen' van een object om de aandacht te trekken, resp. te richten. Opvallen heeft te maken met concurrentie. De opvallendheid wordt meestal in veldexperimenten bepaald; ze wordt gewoonlijk uitgedrukt in de mate waarin de drempelwaarde (zie detecteerbaarheid) wordt overschreden (in de verlichtingskunde gebruikt men vaak de term 'bovendrempeligheid'). Opvallendheid is een kwantitatief begrip.

*Herkennen* (herkenbaarheid: hieronder wordt verstaan de mate waarin de vergelijking van het object met de inhoud van het 'geheugen' mogelijk is; de mate waarin het object aan een klasse van vooraf bekend objecten kan worden toegedeeld. De herkenbaarheid wordt bepaald met de methoden van de cognitieve psychologie; aangezien nog maar weinig kwantitatieve methoden ter beschikking staan, is herkenbaarheid een semi-kwalitatief begrip.

In simpele psychologische termen: detecteerbaarheid hoort tot de waarnemingsfysiologie; de opvallendheid tot de functiepsychologie, en herkenbaarheid tot de cognitieve psychologie. Op dit gebied is recentelijk veel onderzoek uitgevoerd; veel onderzoek is nog niet afgesloten. Een gevolg daarvan is dat er op een aantal details nog geen eenstemmigheid is tussen de op dit terrein werkzame onderzoekers. Er schijnt echter onder de 'deskundigen' voldoende overeenstemming te bestaan om de resultaten ervan als basis voor verlichtingskundige studies te gebruiken. Overzichten van de literatuur zijn gegeven in: Hagenzieker (1989, 1990, 1991, 1991a); Hagenzieker & Van der Heijden (1990, 1990a); Noordzij et al. (1993); Norman (1976); Riemersma (1988, 1988a, 1988b); Schreuder (1985, 1985a, 1985b, 1988a, 1988b, 1991); Theewes (1989, 1990, 1992); Wertheim (1986).

Men kan stellen dat in de gegeven volgorde (detecteerbaarheid - opvallendheid - herkenbaarheid) steeds 'hogere' niveaus van het centrale zenuwstelsel, alsmede van het bewustzijn, bij de waarneming betrokken zijn. Dit is van belang wanneer men maatregelen overweegt om de waarneembaarheid te verbeteren: aan de zichtbaarheid is niet veel te doen; de opvallendheid kan door training, en de herkenbaarheid door opleiding en educatie worden verbeterd.

Een essentieel onderdeel van het waarnemingsproces is uiteraard het waar te nemen object.

In vele gevallen is het gemakkelijk aan te geven welk object waargenomen dient te worden; in het wegverkeer is dit echter niet het geval. We komen verderop nog terug op 'het' object bij wegverkeer (par. 3.1.8), maar we vermelden ter illustratie reeds hier het discussiepunt betreffende het al dan niet stationair zijn van het object. Vroeger nam men meestal genoegen met een stationair object, ook omdat zulks gemakkelijk op volle schaal kan worden onderzocht; momenteel overheerst de mening - tenminste in Europa - dat een stilstaand object nauwelijks, en een stilstaande waarnemer in het geheel niet relevant is voor de waarneming in het wegverkeer.

### 3.1.2. Verwachtingspatroon

Bij de aspecten van de waarneming is het verwachtingspatroon van groot belang. Hieronder wordt verstaan de mate waarin het 'opduiken' van een object van een bepaalde klasse 'in de lijn der verwachtingen' ligt. Onverwachte objecten worden veel moeilijker - later, slechter, of soms in het geheel niet - gedetecteerd in vergelijking tot verwachte objecten. De verwachting zelf hangt af van:

- de bekendheid met de objecten (algemene ervaring als verkeersdeelnemer);
- de bekendheid met de situatie (plaatselijke ervaring van de verkeersdeelnemer).

De waarneming van de objecten hangt af van:

- de waakzaamheid van de waarnemer (arousal);
- de oplettendheid van de waarnemer (alertness).

Op dit gebied is zeer veel onderzoek gedaan. Tamelijk oude, maar zeer complete overzichten van het belang van het verwachtingspatroon op de waarneming (in hoofdzaak visueel, maar ook akoestisch) en op de daarop gebaseerde beslissingspatronen zijn gegeven in Broadbent (1958); Graham (ed.) (1965); Krendel & McRuer (1960). Modernere overzichten zijn gegeven in Michon et al. (eds.) (1976, 1979); Norman (1976); Sheridan & Ferrell (1974) en in de verslagen van de jaarlijkse 'NASA Conferences on Manual Control'; zie bijvoorbeeld Krendel & McRuer (1969). Griep (1971) heeft een nog steeds actueel overzicht gegeven van de invloed van verwachtingspatronen op de perceptie in het verkeer. Zie ook Blaauw & Riemersma (1975); Padmos (1984); Walraven (1980); Krendel & McRuer (1986); Weir & McRuer (1967). In par. 3.3.1.3. komen we terug op het verwachtingspatroon, met name in verband met het zoekgedrag. Het verwachtingspatroon is een belangrijke factor in de gedachten over de categorisering van wegen, en de herkenbaarheid van de klassen (Janssen, 1974, 1979, 1988); Janssen & Schreuder (1974).

### 3.1.3. De rijtaak

#### A. *Beslissingsmodellen*

Een belangrijke determinant voor de verkeersveiligheid is het gedrag van de verkeersdeelnemers in het verkeer (het *verkeersgedrag*). Net als alle gedrag is het gebaseerd op, en volgt het op, de opname (eigenlijk de verwerking) van *informatie*. Onder de *rijtaak* wordt gewoonlijk verstaan de verzameling van acties die van een bestuurder van een (motor)voertuig worden verwacht opdat hij/zij op adequate wijze aan het verkeer kan deelnemen. Wanneer men aan andere wijzen van verkeersdeelname denkt, kan men ook van de 'verkeerstaak' spreken. Zoals gezegd, speelt het verwerken van informatie (van waarnemingen) een essentiële rol bij het vervullen van de rijtaak.

Er zijn enige modellen van de rijtaak in omloop. Een overzicht van de meer gangbare modellen is gegeven in Schreuder (1972). Opvallend is dat er sindsdien niet veel modellen zijn bijgekomen; de verdere ontwikkelingen hebben zich vooral beperkt tot het werken met de modellen. Zie ook Janssen (1986); OECD (1992a).

- Het eenvoudigste model is het bekende 'behavioristische' model, dat bestaat uit een *stimulus* en de daaruit volgende *responsie* (het zgn. S-R-model). In vele gevallen voldoet dit model voor het beschrijven van (menselijk en dierlijk) gedrag; vandaar de populariteit ervan.
- In vele gevallen blijkt het S-R-model echter ernstig te kort te schieten; een aanzienlijke

verbetering kan worden gevonden door tussen de opname van informatie en het uitvoeren van acties (het gedrag) een tussenfase in te voeren: een *beslissingsproces* (de decisie D). Heel veel acties van mensen kunnen worden beschreven met het iets gecompliceerdere 'beslissingsmodel', het S-D-R-model.

### B. *Manoeuvres*

Vaak worden de responsies wat concreter geïnterpreteerd, waarbij ervan wordt uitgegaan dat de verkeersveiligheid wordt gekwantificeerd in termen van *ongevallen* (botsingen). Ongevallen op hun beurt kunnen worden beschreven als verstoringen van een op zichzelf 'gezond' verkeer. Het verkeer tenslotte kan worden beschreven als een opeenvolging van uit te voeren *manoeuvres*, die ieder het resultaat zijn van een *beslissingsproces* en ieder volgen op een *informatieverwerking* (het S-D-R-model dus). Manoeuvres kunnen worden gerangschikt in een *hiërarchisch* systeem waarbij aan de ene kant ('bovenaan') de keuze van reisdoel, route en vervoermiddel staan; aan de andere kant ('onderaan') het feitelijke besturen van het voertuig of het feitelijke lopen (Asmussen, 1972; Janssen & Schreuder, 1974; Schreuder, 1970, 1970a, 1974).

In het algemeen dient de waarneming om de visuele informatie te verzamelen die nodig is om de voor het deelnemen aan het verkeer noodzakelijke manoeuvres te kunnen uitvoeren. Deze manoeuvres kunnen worden ondergebracht in een hiërarchie van beslissingsprocessen (Schreuder, 1974; 1977). Het kan daarbij gaan om *elementaire manoeuvres* ('gewoon' doorrijden, binnen resp. buiten de rijstrook uitwijken, snelheid aanpassen, en tenslotte stoppen). Uit deze elementaire manoeuvres kunnen *samengestelde manoeuvres* worden samengesteld (bochten nemen, voorrangskruisingen passeren, inhalen enz). Anderzijds kunnen de elementaire manoeuvres in *manoeuvredelen* worden opgesplitst (snelheid handhaven, afstand tot voorligger handhaven, dwarspositie handhaven). Het beslissingsniveau waarop deze manoeuvres plaatsvinden, wordt aangeduid met de term *manoeuvreniveau*. Bij het bestuderen van de verkeersveiligheid ligt het zwaartepunt bij de 'onderste' manoeuvres. Erboven (en eronder) liggen andere niveaus, die te maken hebben met resp. de keuze van de route enz, en met de bediening van het voertuig. Deze mogen niet worden vergeten.

Voor ons onderwerp is alleen het manoeuvreniveau van belang. Een gedetailleerde bespreking van deze hiërarchie van beslissingsprocessen en van de ermee samenhangende waarnemingsprocessen is gegeven door Schreuder (1974). Hieronder geven we een schema van dit hiërarchische systeem.

strategisch niveau	hogere beslissingen	a
	route-selectie	b
tactisch/manoeuvre-niveau	complexe manoeuvres	c
	elementaire manoeuvres	d
	manoeuvredelen	e
operationeel niveau	voertuig hanteren	f

Hierbij moeten we op ieder niveau rekening houden met het doel en de middelen (of de weg). Het doel spreekt voor zich; de middelen vertegenwoordigen de weg om dat doel te bereiken. Op ieder niveau zijn deze twee te aan te geven; maar meestal is het middel op een bepaald niveau  $n$  op zichzelf een doel op een niveau dat een lager ligt ( $n-1$ ). Omgekeerd is het doel op niveau  $n$  een middel op niveau  $n+1$  (Schreuder, 1985c, zie ook par. 3.1.4).

### C. Stuurmanoeuvres en uitwijkmanoeuvres

Het 'gezonde' verkeer betreft de verzameling van de gedragselementen die te maken hebben met het bereiken van het einddoel van de verplaatsing; het 'zieke' gedeelte met plotseling optredende, ongewenste verstoringen die aanleiding geven tot *uitwijkmanoeuvres* of *ontwijkmanoeuvres* die ten doel hebben botsingen te vermijden. Botsingen kunnen dus worden beschreven als mislukte ontwijkmanoeuvres.

Er zijn dus twee soorten manoeuvres te onderscheiden: 'stuurmanoeuvres' die ten doel hebben om het einddoel te bereiken, en 'ontwijkmanoeuvres' die ten doel hebben botsingen te vermijden. De eerste betreffen de lagen  $c + d + e$  van het bovenvermelde schema; de tweede liggen uitsluitend op niveau  $e$ . De manoeuvres zelf lijken veel op elkaar; in laatste instantie gaat het bij allebei om het uitvoeren van handelingen die de *verplaatsing* regelen. Bij het per voertuig aan het verkeer deelnemen zijn dit in laatste instantie voertuigbewegingen; voor een voetganger zijn het de analoge elementen van de verplaatsing. Bij het bestuderen van de verkeersveiligheid (de verkeersonveiligheid) komen beide typen manoeuvres aan de orde. We gaan hier niet in op de vraag of er een scherpe grens tussen de twee soorten manoeuvres kan worden getrokken, of dat er van een geleidelijke overgang tussen die twee sprake is. Voor onze verdere bespreking hanteren we de beschrijving van een dichotomie.

Bij het uitvoeren van manoeuvres is te verwachten dat objecten die in het verwachtingspatroon vallen, gemakkelijker worden waargenomen dan objecten die 'vreemd' of 'onverwacht' zijn. Op grond van deze overwegingen kan de rijtaak (of eigenlijk de verkeers-taak), worden verdeeld in een 'Taak I' die te maken heeft met manoeuvres ten gevolge van *verwachte* objecten, en een 'Taak II' die te maken heeft met *onverwachte* objecten. Een belangrijk verschil tussen de stuurmanoeuvres en de ontwijkmanoeuvres is, dat de eerste het resultaat zijn van een expliciet beslissingsproces; het gaat om *sturen*, hetgeen wil zeggen dat er een *koers* wordt uitgezet, en dat tijdens de rit de bestaande koers ('Istwert') steeds vergeleken wordt met de uitgezette koers ('Sollwert'); het verschil tussen deze twee is het ingangssignaal voor het stuurproces. Aan de hand van dat verschil wordt zo nodig *bijgestuurd*. Stuurmanoeuvres beantwoorden aan het S-D-R-model (Schreuder, sturen en regelen). Daarom is de term *cybernetica* hier gebruikt. Uiteraard zijn de termen 'koers', 'uitzetten' en 'bijsturen' meer overdrachtelijk dan letterlijk gebruikt. Bij ontwijkmanoeuvres daarentegen wordt 'passief' (vaak automatisch) gereageerd op de prikkeling, zonder dat van een expliciete beslissing sprake is. Ontwijkmanoeuvres corresponderen met het S-R-model.

### D. Modelbeschouwingen

In het verleden is veel studie aan deze modellen gewijd. De eerste studies dateren uit de jaren zeventig (Asmussen, 1972; Griep, 1971, Schreuder, 1970; 1970a). Deze studies waren sterk theoretisch getint, en bovendien, door gebrek aan resultaten van bruikbare

experimenten, vooral kwalitatief. Vrijwel steeds werden terugkoppelloops (feed-back) toegevoegd; ook het geheugen kreeg een plaats. Een overzicht is gegeven in Schreuder (1972). Ofschoon de vorderingen in de cognitieve psychologie hun neerslag hebben gekregen in allerlei cognitieve en heuristische modellen, zijn de simpele S-R- en S-D-R-modellen in vele gevallen toereikend, en vaak ook zeer illustratief.

Bij het uitvoeren van manoeuvres worden objecten die in het verwachtingspatroon vallen, gemakkelijker waargenomen dan objecten die 'vreemd' of 'onverwacht' zijn. Meer in het bijzonder moet men bij onverwachte objecten met een langere 'reactietijd' rekenen dan bij verwachte objecten.

### E. Zoekgedrag

Ervaren verkeersdeelnemers spelen hierop in. Deze verkeersdeelnemers zoeken op actieve wijze de omgeving af naar die objecten die volgens hun verwachtingspatroon in de betreffende situatie van weg en verkeer aanwezig zullen zijn. Over het zoekgedrag is veel onderzoek gedaan. Het betreft bij voorbeeld studies van oogbewegingen, waarbij is gebleken dat ervaren autobestuurders een geheel andere zoekstrategie vertonen dan nieuwelingen (Cohen, 1985; Cohen & Zwahlen, 1979, 1989; Matanzo & Rockwell, 1967; Riemersma, 1979; Rockwell et al., 1967; Zwahlen, 1980). Ook is op dit gebied psychologisch onderzoek uitgevoerd. Er is echter geen kwantitatief onderzoek bekend dat een antwoord geeft op de vraag in welke mate de waarneembaarheid objecten bevordert wordt door het 'juiste' verwachtingspatroon, of door doelgerichte zoekstrategieën. In par. 7.2.3 is een schets gegeven voor een mogelijk onderzoek dat wel een rechtstreeks antwoord kan geven op deze vraag. Een aantal praktijkstudies zijn door Padmos en Walraven uitgevoerd betreffende de situaties en voorwerpen die bij het rijden in het verkeer tot kritische situaties aanleiding kunnen geven. Het ging er vooral om, om na te gaan aan welke eisen de verlichting (openbare verlichting of voertuigverlichting) moet voldoen om een effectief zoekgedrag mogelijk te maken (Walraven, 1980; Padmos, 1984; zie ook CIE, 1993).

Een onderdeel van deze materie dat vrijwel geheel *niet* is onderzocht, is de invloed van de *motivatie* op het verwachtingspatroon. Het maakt waarschijnlijk veel uit of de weggebruiker 'bereid' is om naar iets uit te kijken. Een aantal aspecten van de motivatie is behandeld door Schreuder (1972).

#### 3.1.4. Beslissingsprocessen

##### A. Automatisch en bewust gedrag

Gedrag dat volgens het S-R-model kan worden beschreven, noemt men wel automatisch gedrag. Het gaat daarbij om *reflexen* die al dan niet aangeleerd kunnen zijn. In het verkeer gaat het vooral om het besturen van een voertuig, en alle gedrag dienaangaande is aangeleerd. Men kan dan, in navolging van de psychologische terminologie, spreken van *voorwaardelijke reflexen*. Daaronder wordt verstaan die reflexen (die automatische handelingspatronen) die alleen in gang worden gezet wanneer aan bepaalde voorwaarden is voldaan - de *prikkel*. Gedrag dat met het S-D-R-model wordt beschreven, is bewust gedrag; het volgt na een bewust te nemen beslissing.

Bij voorwaardelijke reflexen speelt de *terugkoppeling* een belangrijke rol. Immers, een reflex kan alleen dan ontstaan wanneer aan bepaalde voorwaarden is voldaan (vandaar de

naam), en deze voorwaarden moeten worden waargenomen en in het reflex-proces worden opgenomen. Verderop komen we zowel terug op deze terugkoppelingen als op een speciaal geval van de terugkoppeling, de *tegenkoppeling* (par. 3.3.1.7).

Wanneer men automatisch en bewust gedrag vergelijkt, blijkt dat ieder voor het verkeer bepaalde 'voordelen' maar ook 'nadelen' heeft. Automatisch gedrag gebeurt zekerder, maar herstel is nauwelijks mogelijk en van enige flexibiliteit is geen sprake. Bewust gedrag kost echter meer tijd, en het slorpt aandacht op. Bovendien leidt bewust gedrag veel sneller tot vermoeidheid. Men kan zich dus gemakkelijk voorstellen dat voor sommige aspecten van het verkeersgedrag automatisch gedrag de voorkeur heeft, en voor andere aspecten het bewust gedrag.

Men kan het opdoen van rijervaring (verkeerservaring) beschrijven als het overgaan van bewust aan automatisch gedrag. Bepaalde gedragsopvolgingen komen zo vaak voor dat ze als een voorwaardelijke reflex kunnen worden beschouwd. Men kan nog een stap verder gaan, en de rijopleiding (de verkeerseducatie meer in het algemeen) beschouwen als een gerichte opleiding om de daarvoor in aanmerking komende gedragselementen 'over te hevelen' van het gebied van het bewuste gedrag naar het gebied van het automatische gedrag.

### B. *Beslissingen*

Men verwacht van de verlichting een bijdrage tot de verkeersafwikkeling en de verkeersveiligheid. Beslissingen dienaangaande worden genomen door het 'beleid', maar ook de beslissingen te nemen door de ontwerpers en beheerders van de verlichting, alsmede door de weggebruikers zijn van belang. Hier gaan we in op een bepaald aspect van beslissingsprocessen, en wel de - steeds terugkerende - relatie tussen 'doel' en 'middel'. Details van dit aspect zijn besproken door Schreuder (1985c).

Beslissingen worden genomen op basis van informatie, en leiden tot een actie. Men kan daarbij voor de praktijk het nemen van een beslissing en het maken van een keuze als gelijkwaardig beschouwen. Het is een onbeantwoorde vraag of mensen in staat zijn 'in-eens' een keuze te maken uit drie of meer alternatieven. Het is niet nodig om deze vraag hier te beantwoorden, omdat het altijd mogelijk is om dergelijke beslissingen te reduceren tot (mogelijk een serie van) keuzen tussen twee alternatieven. Men kan het gekozen van de twee alternatieven beschouwen als het 'doel' van de beslissing. Een doel is echter nooit een 'echt einddoel': het doel is steeds te beschouwen als een middel om een in ruimte of tijd verder weg liggend doel te bereiken.

Beslissingen kunnen steeds in een hiërarchische opklimming worden gerangschikt, waarbij het doel op niveau  $n$  steeds het middel is op niveau  $n+1$ ; het doel op niveau  $n+1$  is het middel op niveau  $n+2$ , enz. Omgekeerd is het middel op niveau  $n$  het doel op niveau  $n-1$ , enz. Voor de praktijk kan de reeks naar beide kanten als onbegrensd worden beschouwd (Schreuder, 1985c).

### 3.1.5. Waarnemen en beslissen; informatieverwerking

Alle manoeuvres volgen *per definitie* op het verwerken van informatie en zijn het gevolg (het resultaat) van een beslissingsproces. De informatie die verwerkt wordt, bestaat voor

een deel uit informatie die *on line* en *in situ* uit de omgeving worden afgeleid, en voor een deel uit informatie die uit de 'voorraad' (het *geheugen*) wordt geput. De uit de omgeving opgenomen informatie is vrijwel uitsluitend visuele informatie.

Men kan stellen dat bij de niveaus a en b uit het bovenvermelde schema de informatieverwerking plaats vindt voordat aan de tocht wordt begonnen. Bij de niveaus c, d en e vindt de informatieverwerking tijdens het rijden plaats. Bij niveau f speelt visuele informatie uit de omgeving nauwelijks een rol.

Waarnemen en beslissen worden als onderdelen beschouwd van de rijtaak, of, beter gezegd, van de verkeerstaak. Na de reeds vermelde studies van Asmussen, Griep en Schreuder is, meer recent veel, ook kwantitatief, resultaat ter beschikking gekomen. Overzichten zijn gegeven door Hagenzieker (1989), Riemersma (1979, 1985) enz. Veel van dit onderzoek betreft waarnemen op de rechte weg, maar ook is veel studie gedaan aan waarneembaarheid in bogen. Zie bijvoorbeeld Armour et al. (1989), Cavallo et al. (1988), Levelt (1987), Riemersma (1988b, 1989, 1989a, b).

In het algemeen dient de waarneming om de visuele informatie te verzamelen die nodig is om de voor het deelnemen aan het verkeer noodzakelijke manoeuvres te kunnen uitvoeren. In par. 3.3.1.3 hebben we in detail deze manoeuvres besproken.

Dit alles geldt voor manoeuvres die te maken hebben met objecten die in het verwachtingspatroon liggen. Wanneer een verkeersdeelnemer geconfronteerd wordt met onverwachte objecten, zijn veelal *noodmanoeuvres* nodig, die een aantal andere kenmerken kunnen vertonen dan de hier beschreven 'gewone' manoeuvres. We komen terug op deze noodmanoeuvres in de volgende paragraaf.

### 3.1.6. De zichtruimte

#### A. Verwachtingen

Hierboven hebben we reeds aandacht besteed aan het verwachtingspatroon, en aan het belang ervan voor het adequate verkeersgedrag (par. 3.3.1.3). Hier behandelen we het belang ervan voor de informatieverwerking.

Visuele informatie is de *input* van het (gedrags-)systeem; de handelingen (het verkeersgedrag) is de *output* ervan. Het systeem is een beslissingssysteem. De beslissingen betreffen de keuze (de *selectie*) van de meest adequate manoeuvre gegeven de input. De selectie hangt dus af van de omstandigheden. Om de juiste keuze van de manoeuvre te kunnen maken, heeft de verkeersdeelnemer derhalve een *beeld* nodig van de omgeving. Dit beeld betreft de feitelijke, actuele toestand van de situatie, maar belangrijker nog, het betreft de *toekomstige* toestand.

De toekomstige situatie kan uiteraard alleen *geschat* worden. Deze schatting is voor een groot deel gebaseerd op een *extrapolatie* van de feitelijke situatie op het moment, in combinatie met de gebeurtenissen uit het recente verleden; bij deze extrapolatie wordt gebruik gemaakt van de *ervaring* die de bestuurder heeft opgedaan in vergelijkbare situaties. Een *oordeel* over de situatie vormt dus een onderdeel van het proces. De uit de extrapolatie afgeleide verwachte, toekomstige situatie wordt het *verwachtingspatroon* ge-



noemd. Het verwachtingspatroon is dus een beeld van de nabije toekomst dat is gebaseerd op twee dingen: de gebeurtenissen uit het recente verleden, en de ervaring die uit het geheugen worden afgeleid. Wanneer we hier spreken van het 'nabije verleden' gaat het meestal om seconden en ten hoogste om minuten.

### B. Zoekgedrag

Ook over het zoekgedrag is in par. 3.1.6 reeds het een en ander gezegd. Hier gaan we in op het belang ervan voor de waarnemingsverwerking. Op basis van het verwachtingspatroon worden ook bepaalde visuele elementen verwacht. Een bekend voorbeeld: ziet men een bal de weg op rollen, dan mag men 'verwachten' dat er een kind achteraan zal hollen. Weet men dit, of mag men dit op basis van de ervaring verwachten, dan kan men bewust naar dit element (dit kind) gaan *zoeken*. Door het zoeken wordt de waarnemer ineens in een actieve rol geplaatst; in plaats van passief af te wachten welke informatie bij de waarnemer terecht komt ('toevallig' of niet), wordt er nu gezocht. Daarbij kunnen verschillende *zoekstrategieën* aan de orde komen (*heuristieken*).

### C. Vooruitzien

De term 'zichtruimte' wordt hier gebruikt om de mate aan te geven waarin 'vooruit' kan worden gezien; het kan daarbij gaan om de gewenste (of vereiste) zichtruimte, maar ook om de beschikbare zichtruimte. Soms wordt hiervoor de uit het Engels afkomstige term 'preview' gebruikt. Dit kan tot misverstand aanleiding geven, omdat in de strikte, technische betekenis zoals die in de regeltheorie en de stuurkunde wordt gebruikt, de preview als de directe inputgrootte geldt bij een bepaald type van stuurstrategie. In het Nederlands kan dus de term 'zichtruimte' worden gebruikt; in het Engels is er echter geen alternatief voor de term 'preview' wanneer men het algemenere begrip wil hanteren. Dit is het geval bij de aparte notitie, waarin is aangegeven wat de zichtruimte moet zijn voor verschillende manoeuvres op verschillende wegtypen (Schreuder, 1991). Onder de zichtruimte wordt hier verstaan de afstand (uitgedrukt in tijd of in lengte) waarop een voorwerp (of een groep van voorwerpen) gezien moet kunnen worden om de betreffende, door het voorwerp noodzakelijk geworden manoeuvre, nog op een redelijke mate uit te voeren. In redelijke mate betekent daarbij: zonder zichzelf of het overige verkeer in gevaar te brengen, en zonder ernstige overlast te ondervinden of te veroorzaken.

Zoals we hierboven hebben aangegeven, is de functie van de openbare verlichting: het mogelijk maken dat het verkeer op een vlotte en veilige manier kan worden afgewikkeld. De functies zijn gebaseerd op de uit de *verkeerstaak* af te leiden *rijtaak*. De rijtaak bestaat, zoals in par. 3.3.1.3 aangegeven, uit het nemen van de juiste beslissingen op basis van de uit de omgeving afkomstige (vooral visuele) informatie, het vergelijken van deze externe informatie met de interne informatie (die in hoofdzaak uit het geheugen afkomstig is), en ten slotte uit het correct uitvoeren van deze beslissing. En dit alles moet niet alleen op de 'juiste' en de 'correcte' wijze gebeuren; ook dient het 'tijdig' te gebeuren, en wel bij voorkeur zo tijdig dan herstelmanoeuvres nog mogelijk zijn. Dit laatste punt leidt tot vragen betreffende de (vereiste) zichtruimte.

Om deze vragen te kunnen beantwoorden, is het nodig in wat meer detail te bekijken wat de verkeerstaak inhoudt. De verkeerstaak houdt in laatste instantie in het *veilig, vlot*, en bij voorkeur *comfortabel* bereiken van de bestemming (en dit met minimale kosten) (zie Schreuder, 1974; 1988a). De vlotheid en het comfort kunnen worden samengevat in een

apart *taakaspect*: we hebben hierboven (in par. 3.3.1.3) gesproken van Taak I en Taak II (zie Schreuder, 1985a). De veiligheid heeft twee deelaspecten: het vermijden van *verwachte* en het vermijden van *onverwachte* objecten die botsingsgevaar opleveren.

We noemden reeds enige belangrijke verschillen tussen 'gewone' manoeuvres en 'nood'-manoeuvres. Er zijn nog twee verschillen aan te geven.

Het eerste verschil is gelegen in de toelaatbare (resp. de noodzakelijke) remvertraging. Bij een gewone manoeuvre moet rekening worden gehouden met het overige verkeer, en tot zekere hoogte met comfort-aspecten; een remvertraging van meer dan 2,5 à 3 m/s<sup>2</sup> (bij snelheden boven ca. 30 km/uur) is niet acceptabel. Bij een noodmanoeuvre mag echter een hogere remvertraging worden toegelaten; als praktisch maximum neemt men gewoonlijk 5 m/s<sup>2</sup>, de minimale eis voor een personenauto om aan het verkeer te mogen deelnemen. Met een goede auto, met goede banden en op een goed wegdek is deze waarde ook bij vochtig weer meestal redelijk goed te bereiken. Met comfortabel rijden is deze waarde echter niet te rijmen. Over de eisen die aan de remvertraging moeten worden gesteld, rekening houdend met rijden in normaal verkeer alsmede met verlangens aangaande rijcomfort, is weinig onderzoek bekend. In Schreuder (1981) is een samenvatting gegeven, waaruit de bovenstaande waarden zijn ontleend.

Het tweede verschil tussen 'gewone' manoeuvres en 'nood'-manoeuvres is het feit dat een gewone manoeuvre steeds in het verwachtingspatroon past, en een noodmanoeuvre nooit. Dit volgt zonder meer uit de definitie van deze twee soorten manoeuvres. Het gevolg is dat men voor een noodmanoeuvre een langere reactietijd moet nemen dan voor een gewone manoeuvre. De bekende 'schrikseconde' is waarschijnlijk aan de korte kant; bij de beschouwingen over de eisen die aan openbare verlichting moeten worden gesteld is uitgaan van een reactietijd van 3 seconden. Ook over de eisen die aan de minimale reactietijd moeten worden gesteld, rekening houdend met rijden in normaal verkeer alsmede met verlangens aangaande rijcomfort, is weinig onderzoek bekend. In Schreuder (1991) is een samenvatting gegeven, waaruit de bovenstaande waarde van 3 seconden is ontleend.

In Tabel 10 zijn de waarden van de vereiste zichtruimte gegeven voor wegen buiten de bebouwde kom, waarbij de feitelijke (nominale) snelheid is gesteld op 25 m/s (ongeveer 90 km/uur). Zie voor details Schreuder (1992a). Deze minimaal noodzakelijke waarden van de zichtruimte zijn uit theoretische overwegingen afgeleid.

Uit deze tabel blijkt dat voor de hierboven genoemde manoeuvres (voor 90 km/uur) de volgende minimale waarden van de zichtruimte genomen moeten worden:

- |  |           |
|--|-----------|
| - dwarspositie kiezen/handhaven binnen de rijstrook: | 75 meter  |
| - snelheid kiezen:                                   | 75 meter  |
| - stoppen voor discontinuïteit:                      | 175 meter |
| - nemen van een bocht:                               | 375 meter |
| - noodmanoeuvre: uitwijken:                          | 125 meter |
| - idem: noodstop:                                    | 140 meter |

Er zij hier gewezen op het verschil dat er bestaat tussen de waarden zoals die hierboven (en in Tabel 10) zijn gegeven, en de waarden die men in de populaire literatuur kan tegenkomen. De hier gegeven waarden zijn groter, en vaak aanzienlijk groter. Het verschil zit in hoofdzaak in de meer realistische aannamen over de 'reactietijd' en over de

remvertraging die hier zijn gehanteerd. De praktijk wijst uit dat in mist, wanneer de zichtruimte inderdaad kleiner is dan de hier gegeven waarden, soms ongevallen gebeuren die met de 'populaire' waarden niet te begrijpen zijn. Daarom is op een andere plaats de suggestie gedaan om met name voor het vermijden van ernstige mistongevallen naar de hier genoemde realistische waarden te kijken, en deze ook op te nemen in de voorlichting (Schreuder, 1991a). Voorts moet men een duidelijk onderscheid aanbrengen tussen de zichtruimte bij mist en de zichtruimte bij verlichting door dimlichten. Ofschoon de ruimte waarin alle details goed te zien zijn, ongeveer even groot kan zijn (zeg maar als voorbeeld ca. 50 meter) is de 'echte' zichtruimte bij het rijden met dimlicht groter: signaallichten, retroreflectoren enz. kunnen vaak op aanzienlijk grotere afstand worden ontwaard. Naar aanleiding van een aantal ernstige ongevallen bij mist is recentelijk veel onderzoek uitgevoerd naar verkeer bij mist.

Uit Tabel 10 blijkt voorts dat het vooral de wegmarkeringen zijn die als visueel kritische elementen kunnen optreden, Dit geldt met name voor de manoeuvres 'kiezen dwarspositie' en 'kiezen snelheid'. De vereiste zichtruimte is daarbij (voor 90 km/uur) 75 meter. Bij de manoeuvre 'stoppen voor discontinuïteiten' is de minimaal vereiste zichtruimte (ook voor 90 km/uur) ca. 175 meter. Voor afstanden van deze grootte-orde zijn wegmarkeringen, maar ook kleine, diffuus reflecterende, stationaire objecten (zie par. 3.3.1.8) niet van groot belang; wanneer er gestopt moet worden, dienen er andere objecten aanwezig te zijn die de noodzaak om te stoppen duidelijk maken. Omgekeerd is het natuurlijk ook niet *nodig* om te stoppen voor een wegmarkering of voor een doosje van 20 cm!

We vermelden hier in het voorbijgaan het belangrijke IZF-onderzoek van Walraven (1980) en van Padmos (1981, 1988) betreffende de visuele elementen die voor het wegverkeer van belang zijn. In die studies komen andere aspecten van het rijgedrag aan de orde, zodat we ze hier niet verder bespreken. Op een andere plaats komen we terug op deze studies (par. 3.3.1.8).

Ook verkeerstekens, waarschuwingstekens en -lichten en verkeerslichten kunnen een bijdrage leveren tot de preview. De bijdrage wordt echter soms overschat:

- verkeerstekens brengen gecodeerde informatie over;
- in sommige gevallen wordt bij verkeerslichten het risico voor ongevallen groter, ook al zijn ze op papier als verkeersveiligheids-maatregel bedoeld;
- waarschuwingslichten zijn a-specifiek; anderzijds zijn ze zeer opvallend, zodat ze alleen met mate dienen te worden gebruikt.

### 3.1.7. Het informatieproces

#### A. Terugkoppeling

Voor het hier te beschrijven proces van opname en verwerking van informatie is het begrip *terugkoppeling* van belang. Hiermee wordt bedoeld dat de output van het systeem van invloed is op de werking van het systeem, en daarmee (opnieuw) op de output. Terugkoppeling wordt onderscheiden in *meekoppeling* en *tegenkoppeling*. *Meekoppeling* is het verschijnsel waarbij de reactie wordt vergroot zodat de output steeds groter wordt. Het systeem raakt daarbij steeds verder van de evenwichtstoestand vandaan, en het verschijnsel stopt pas door ingrijpen van buitenaf (of door een catastrofe). Meekoppelverschijnselen zijn bekend in de economie. Onder *tegenkoppeling* wordt verstaan het ver-

schijnsel waarbij de reactie steeds gericht is in een richting die tegengesteld is aan de richting van de actie (output). Daarmee wordt het effect van de actie verkleind (of tegengewerkt). Op deze manier kan een systeem (een organisme) proberen een *evenwichtstoestand* vast te houden. Men spreekt daarbij wel van *homeostase*.

### B. *Risico en risicocompensatie*

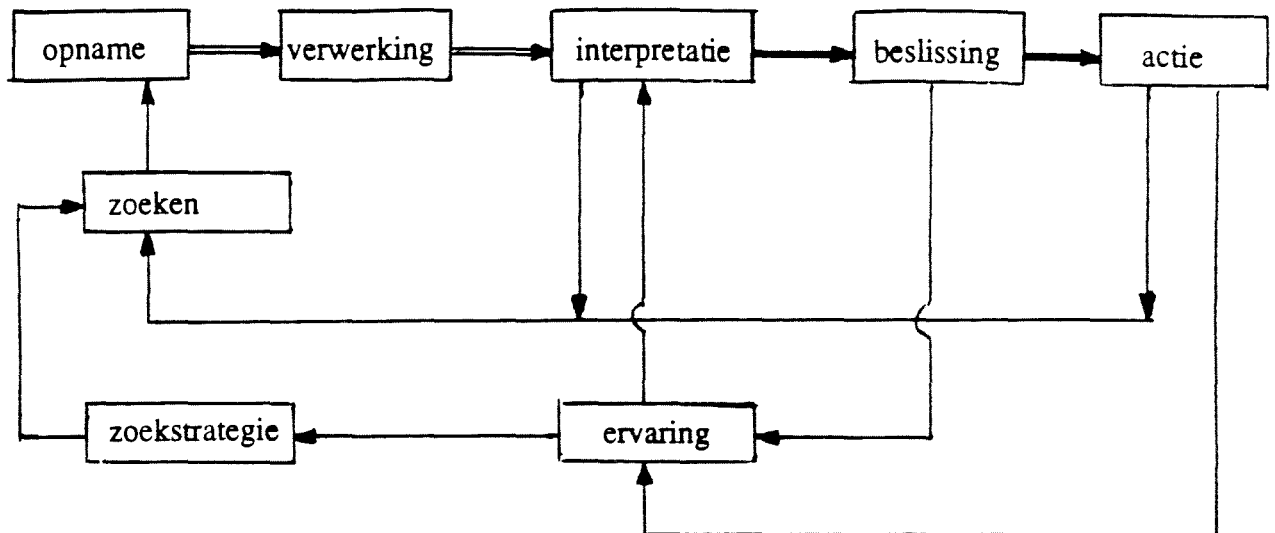
In de verkeerspsychologie heeft het begrip homeostase een bijzondere betekenis gekregen. In vele gevallen kan worden geconstateerd dat het aanbrengen of verschaffen van een verkeersveiligheidsmaatregel minder 'oplevert' dan in eerste instantie werd verwacht. Kennelijk wordt een gedeelte van de toegevoegde (extra) veiligheid die door de maatregel wordt verschaft, te niet gedaan door een wijziging van het gedrag. Dit is dus kennelijk een geval van *tegenkoppeling*. Deze gedachte is in theoretisch opzicht zeer in detail onderzocht; men spreekt daarbij van *risicocompensatie*. Een in redelijke mate compleet overzicht van de effecten van risicocompensatie in het verkeer is gegeven in een recent OECD-rapport (OECD, 1990). Dit rapport omvat het totale gebied van de verkeersveiligheid. Visuele aspecten, meer in het bijzonder die van openbare verlichting zijn slechts summier behandeld - misschien met het oog op de omvang van het rapport. Maar ook meer in het algemeen zijn er slechts weinig gegevens bekend over een mogelijke compensatie bij het aanbrengen van openbare verlichting. Uit de ongevallenstudies - die immers de compensatie mee in de resultaten betrekken - blijkt echter dat openbare verlichting een duidelijke positieve invloed heeft op de verkeersveiligheid, zodat een eventuele risicocompensatie bij de invloed op de openbare verlichting kennelijk klein is ten opzichte van de beperking van de ongevallen - openbare verlichting blijkt in de meeste gevallen een doeltreffende verkeersveiligheidsmaatregel te zijn (zie verder Hoofdstuk 4).

Zoals gebruikelijk bij beschouwingen over risico, risiconemen en risicocompensatie wordt vrijwel uitsluitend de keuze van de rijsnelheid als maatgevend beschouwd voor het risiconemend gedrag. Nu is de snelheid gemakkelijk te meten, maar het is de vraag of de snelheid wel een goede maat is voor dit gedragsaspect. De invloed van deze simplificatie (misschien wel een oversimplificatie) is in een andere studie besproken (Schreuder, 1991b).

Tenslotte nog een opmerking over de *risicohomeostase*. Sommige auteurs brengen de stelling naar voren dat in alle gevallen de verkeersdeelnemers hun gedrag zodanig aanpassen dat het uiteindelijke effect van verkeersveiligheidsmaatregelen precies nul is - precies te niet wordt gedaan door een corresponderende toename van het risiconemend gedrag (dus precies te niet wordt gedaan door de hogere snelheid). Ofschoon uit de statistische gegevens van ongevallen zonder meer duidelijk is dat dit onjuist is, wordt deze gedachte van tijd tot tijd weer naar voren gebracht. Ook bij kritische beschouwingen over het nut (vooral over de hoogte) van de openbare verlichting is dit argument vaak gebruikt. Op een andere plaats wordt gewezen op het nut van *kosten/baten-analyses* ten einde de verschillende aspecten (waarbij milieu-aspecten inbegrepen kunnen zijn) in hun onderling verband te bekijken.

### C. *Het proces*

Uit de hierboven genoemde elementen kan het volgende proces van opname en verwerking van informatie worden afgeleid.



Zoeken is een essentieel onderdeel van dit proces. Waarnemers zijn daarmee natuurlijk bekend bij activiteiten als verkeersdeelname, zelfs voor er van enige ervaring (als autobestuurder bijvoorbeeld) sprake is. Allengs, door het opdoen van ervaring, wordt de waarnemer 'beter' in het zoeken, maar ook kunnen bepaalde acties het zoeken naar bepaalde elementen nodig (wenselijk) maken. Er is dus sprake van een aantal verschillende, en te onderscheiden, 'feedback loops'.

#### D. Tafereelen

Het beeld hoeft niet compleet te zijn. Uit fragmenten is een voor het doel (de keuze van de juiste manoeuvre) toereikende fractie op te bouwen. Dit globale beeld wordt het *tafereel* genoemd. Het tafereel is dus een 'momentopname'; het betreft de toestand zoals die zich op het moment van waarnemen aan de verkeersdeelnemer voordoet. Het tafereel kan worden gereconstrueerd uit de waarneming van een aantal afzonderlijke elementen: de *tafereelreconstructie*. De bedoelde elementen zijn, voor zover het om de visuele informatie gaat, *visuele elementen*. Een indruk over de toekomstige toestand kan alleen door extrapolatie van de huidige toestand naar de toekomst worden verkregen; daarvoor zijn dus, naast de actuele toestand, de momentane toestanden van het (recente) verleden nodig. Deze opeenvolging van tafereelen vormen een *sequentie*.

Op een andere plaats (par. 3.1.1) hebben we in detail aangegeven dat de waarneming van de (visuele) elementen kan worden onderscheiden in de *detecteerbaarheid* (het 'kale' zien); de *opvallendheid* (de mate waarin het element wordt waargenomen in de praktische context, inclusief eventuele verstoringen) en de *herkenbaarheid* (het kunnen plaatsen van het element in de klasse van elementen waartoe het behoort).

De lengte die een sequentie ten minste moet hebben, hangt af van de uit te voeren manoeuvre. De lengte, naar de toekomst gerekend, wordt uitgedrukt in het vooruitzicht (vaak wordt hiervoor de term *preview* gebruikt, ofschoon deze term in de regelkunde een iets specifiekere betekenis heeft). Omdat de term *preview* in de hier gebezigde context tame-

lijk gebruikelijk is, zullen we de term hier blijven gebruiken, tenzij er gevaar voor misverstand bestaat.

De preview wordt uitgedrukt in eenheden van tijd of lengte; bij een bekende verplaatsingssnelheid zijn deze twee uiteraard gelijkwaardig. Voor de manoeuvres die voor het verkeersgedrag het meeste relevant zijn, is de vereiste preview tamelijk verschillend. Voor de manoeevredelen en de elementaire manoeuvres (niveaus d en e) is een preview van ca. 3 seconden meestal ruim voldoende; voor de complexe manoeuvres wordt meestal een minimaal noodzakelijke preview van enige tientallen seconden. aangehouden en voor de 'hogere' niveaus soms zelfs minuten of uren. Bij de laatste kan het uiteraard niet gaan om *in situ* te verkrijgen visuele informatie; de term preview verliest daarbij veel van haar betekenis. We zullen ons hier concentreren op de 'eigenlijke' manoeuvres.

#### E. *Sequenties*

Globaal kan men stellen dat voor een redelijke extrapolatie naar de toekomst over een bepaalde tijdspanne, over een even lange tijdspanne in het verleden de gegevens ter beschikking moeten staan. Dit betekent dat de sequenties tenminste ca. 3 seconden dienen te omvatten. Om na te gaan hoeveel (visuele) informatie in deze tijd verzameld en 'vastgelegd' kan worden, zullen we uitgaan van een aantal vuistregels die uit de waarnemingspsychologie bekend zijn.

In de praktijk kunnen - over een langere tijd vol te houden - twee à drie fixaties per seconde worden uitgevoerd; per fixatie kunnen ongeveer drie tot zes elementen worden waargenomen. We zullen verderop aangeven wat deze 'elementen' zijn. Deze drie à zes elementen moeten dus genoeg zijn voor de reconstructie van het bijbehorende tafereel; de sequentie kan dus worden gebaseerd op  $(drie) * (twee \text{ à } drie) * (drie \text{ à } zes) = 18 \text{ à } 54$  elementen (De zaak wordt iets gecompliceerd door het feit dat de waarneming 'voortschrijdend' is: steeds wordt het meest recente tafereel aan de sequentie toegevoegd terwijl het oudste eraf valt. We zullen hier niet ingaan op deze complicatie, en wel omdat daarover niets bekend is).

Het is overduidelijk dat de 18 à 54 elementen die kunnen worden waargenomen in ongeveer drie seconden een zeer klein deel vormen van alle elementen die mogelijk zouden kunnen worden waargenomen. Blijkbaar is er een geweldige redundantie in het aanbod van visuele informatie: immers, het blijkt zeer wel mogelijk te zijn om aan het verkeer deel te nemen aan de hand van deze 18 à 54 elementen per drie seconden. Maar wel betekent het dat het van het grootste belang is de *juiste* visuele elementen voor waarneming te selecteren, en deze elementen in de juiste volgorde van belangrijkheid te groeperen; de *visuele selectie* en de *waarnemingsprioriteiten*.

In par. 7.2.3 is een schematische aanzet gegeven voor een onderzoek aangaande verschillende aspecten van de waarneembaarheid in het verkeer.

#### 3.1.8. Verkeersrelevante objecten

##### A. *Risicodragende elementen*

Uit de veelheid van visuele elementen kan men een aantal elementen aanwijzen die essentieel zijn voor het reconstrueren van de tafereelen. In de Tabel 9 zijn een aantal 'voor-

werpen' opgesomd, waarvan mag worden aangenomen dat het belangrijk is dat de weggebruiker-automobilist-waarnemer ze (tijdig en juist) kan waarnemen. Deze voorwerpen worden de *visueel kritische elementen* genoemd; dit in tegenstelling tot de voorwerpen die *gevaar* (kunnen) opleveren. Deze gevaarlijke voorwerpen worden de *risicodragende elementen* genoemd. Ook hier moet weer onderscheid worden gemaakt tussen de twee taakaspecten (Taak I en Taak II; zie par. 3.3.1.3).

Voor Taak I gaat het om drie groepen van voorwerpen die als visueel kritische elementen kunnen optreden:

- voorwerpen behorende tot het wegmeubilair (lichtmasten, bermreflectoren, voorwaarschuwingstekens, verkeerstekens, waarschuwingslichten, verkeerslichten);
- voorwerpen behorende tot de weg zelf (wegmarkeringen);
- andere verkeersdeelnemers (met name voorliggers).

Voor Taak II gaat het om twee groepen van voorwerpen die als risicodragende elementen kunnen optreden:

- stationaire voorwerpen (obstakels; stilstaande auto's; stenen en dozen op de weg; verloren lading en verloren auto-onderdelen, maar ook lichtmasten, brugpijlers, bomen, gaten in de weg enz.);
- bewegende voorwerpen (verkeersdeelnemers, meer in het bijzonder kruisend verkeer, maar ook - vooral langzaam rijdende - voorliggers).

Op de weg komen deze risicodragende elementen uiteraard niet allemaal even vaak voor. De CBS-statistieken kunnen een aanduiding geven over het relatieve voorkomen van allerlei objecten en voorwerpen bij ongevallen. In Tabel 11 is een selectie gegeven uit de gedetailleerde CBS-gegevens over 1991 (CBS, 1992).

We wijzen hier nogmaals in het voorbijgaan op het belangrijke IZF-onderzoek van Walraven (1980) en van Padmos (1981, 1988, 1991) betreffende de visuele elementen die voor het wegverkeer van belang zijn. In die studies gaat het om andere aspecten van het rijgedrag die meer met routekeuze en met het *gemak* van waarnemen te maken hebben dan met het ontwijken van kleine obstakels (zie ook Padmos & Walraven (1982)). Verderop komen we op deze studies nog terug.

Het bovenstaande is algemeen geldig, d.w.z. geldt voor iedere wijze van deelname aan het verkeer. De visueel kritische elementen echter zijn zeer verschillend voor de verschillende wijzen van verkeersdeelname. In het hierna volgende zullen we in de eerste plaats aandacht besteden aan het als bestuurder van een motorvoertuig deelnemen aan het verkeer. Niet omdat deze wijze van verkeersdeelnemen het belangrijkste is, maar wel omdat dit zowel in absolute termen alsook relatief het meeste risico met zich brengt.

### B. *Visueel kritische elementen*

Een essentiële maar tot nu toe nauwelijks beantwoorde vraag is: welke zijn nu eigenlijk de (visueel kritische) elementen die *risico* met zich brengen wanneer ze niet (niet tijdig, of niet op de juiste wijze) worden gezien? Onderzoek betreffende de ongevallen en de 'bijna-ongevallen' hebben enige indicaties gegeven, maar, zoals hierboven is aangegeven, de voor het verkeer gevaarlijke obstakels vormen slechts één van de categorieën van de visueel kritische elementen (Padmos, 1984; Padmos & Walraven, 1982; Walraven, 1980).

Conflictstudies zijn meestal veel te specifiek toegespitst op bepaalde situaties of maatregelen om resultaten op te kunnen leveren die voor het onderhavige onderwerp voldoende algemeen zijn.

Aan de hand van de overwegingen die we hierboven hebben weergegeven is het mogelijk om in twee opzichten een onderscheid te maken tussen de visueel kritische elementen die voor waarneming in aanmerking komen:

- de waarnemer weet al-dan-niet om welk element het gaat;
- er wordt al-dan-niet naar gezocht.

Combinatie leidt tot vier mogelijkheden, volgens onderstaand schema:

---

		weten	
		ja	nee
zoeken	ja	A	B
	nee	C	D

---

De vier mogelijkheden sluiten als volgt aan op de eerdere indeling in manoeuvres: de gevallen A en B corresponderen met *stuurmanoeuvres*, terwijl C en D corresponderen met de *ontwijkmanoeuvres*. Daarbij kan in geval C van ervaring gebruik worden gemaakt, terwijl die in geval D niet aanwezig is.

Wanneer men zich afvraagt hoe deze verschillende elementen moeten worden verlicht zodat de waarneming ervan kan worden gewaarborgd, dient men te bedenken dat het in deze vier gevallen *fysiek* om het zelfde voorwerp kan gaan. De waarnemingscondities, maar vooral ook de *eisen van waarneming* zijn echter in de vier gevallen verschillend. Experimenteel kan men hiermee rekening houden door het invoeren van verschillende *veldfactoren*. Over deze veldfactoren gaat het hierna te beschrijven onderzoek.

### C. De situering van visueel kritische elementen

Hieronder zullen enige aspecten van de verkeersomgeving worden genoemd die als visueel kritisch element kunnen worden beschouwd. Deze opsomming geldt allereerst de 'eigenlijke' manoeuvres, omdat de aspecten die met de 'hogere' beslissingen samenhangen, minder direct van belang zijn voor de verkeersveiligheid. Deze 'eigenlijke' manoeuvres zijn:

- het handhaven van de dwarspositie (binnen de rijstrook, zowel op rechte weggedeelten als in bochten);
- het handhaven van de langpositie (meestal is dat de afstand tot de voorligger; bij een vrije weg kan dit inhouden het handhaven van de vooraf gekozen snelheid);
- het uitvoeren van uitwijkmanoeuvres (remmen, ontwijken enz.).



Tot de manoeuvres die horen bij de 'hogere' beslissingen horen het aanpassen van de snelheid, het stoppen, het verlenen van voorrang enz., maar ook het kiezen en handhaven van de route.

Voor het handhaven van de langspostie komen als visueel kritische elementen allereerst in aanmerking: de wegmarkeringen, de wegbegrenzings en de bermmarkeringen. Voor het handhaven van de afstand tot de voorligger komen uiteraard deze voorliggers zelf het meeste in aanmerking, meer speciaal de markeringen op de voertuigen. Bij duisternis zijn dit vooral de lampen en de reflectoren. Voor de ontwijkmanoeuvres tenslotte gaat het om een meer gevarieerde verzameling: naast signalen (signaallichten) van voertuigen gaat het om voetgangers op of bij de rijbaan, fietsers en allerlei obstakels zoals stenen, dozen en gaten in de weg. Voor de manoeuvres die horen bij de 'hogere' beslissingen gaat het vaak om verkeersborden en verkeerstekens die veelal een gecodeerde boodschap bevatten. Wat betreft de verlichtingsaspecten - die in deze notitie centraal staan - vertonen deze voorwerpen vaak een zekere analogie met de signalen, zodat ze niet apart behandeld zullen worden.

Opgemerkt dient te worden dat deze voorwerpen, vooraleer ze als visueel kritische elementen kunnen gaan fungeren, eerst gedetecteerd en herkend moeten kunnen worden. Hierbij doet zich een op het eerste gezicht merkwaardig feit voor, namelijk dat een voorwerp eerst herkend moet worden alvorens het gedetecteerd kan worden. Deze conclusie volgt uit de simpele (simplistische) beschrijving over de visuele functies zoals die in par. 3.1.1 is gegeven. Men moet dus aannemen dat deze beschrijving op zijn minst onvolledig is. We gaan hier niet verder in op de moderne inzichten van de cognitieve psychologie, waar aanzetten te vinden zijn die deze schijnbare interne tegenspraak lijken te kunnen oplossen.

Voorts dient ook opgemerkt te worden dat de hier genoemde voorwerpen in het normale wegbeeld zeer frequent voorkomen; ze zijn dus lang niet altijd 'visueel kritisch', hetwelk extra aandacht vestigt op de noodzaak om de juiste prioriteiten in de waarneming te stellen.

#### *D. De waarneembaarheid van visueel kritische elementen*

De visueel kritische elementen moeten niet alleen waarneembaar zijn, het is ook nodig dat er een aanzienlijke zekerheid bestaat dat ze ook inderdaad zullen worden waargenomen. De kans op een ongeval bij het 'missen' van een enkel visueel kritisch element is natuurlijk niet even groot voor alle elementen: het is minder erg om een markeringsstreep te missen dan een voetganger op de rijbaan. Dit heeft te maken met de volgende aspecten:

- is het element zelf een risicodragend object of (alleen maar) een signaal?
- staat het element op zichzelf of is het er één van een rij (groep, verzameling)?
- leidt het conflict horend bij het 'missen' van het element direct tot een ernstig ongeval, of alleen maar tot een verstoring van het rijcomfort?
- wat zijn de mogelijkheden voor het voorkomen van een ongeval wanneer het element wordt gemist?

Aan de hand van deze opsomming zou een prioriteitenlijst van visueel kritische elementen kunnen worden opgesteld in termen van de aandacht die ze moeten krijgen om de

waarneembaarheid ervan te waarborgen. Bij de huidige stand van de (wetenschappelijke) kennis is het echter niet mogelijk om een dergelijke lijst van prioriteiten op te stellen, omdat de kennis over de risico's voor (ernstige) ongevallen in relatie tot de visueel kritische elementen ontbreekt. Derhalve zullen de genoemde elementen als 'even belangrijk' worden beschouwd.

Het is in beginsel vrij eenvoudig om de waarneembaarheid van voorwerpen die met het vooropgezette doel om te dienen als visueel kritische elementen zijn aangebracht, te waarborgen. De detecteerbaarheid gehoorzaamt aan tamelijk eenvoudige, goed bekende wetmatigheden, die vooral het (luminantie-)contrast tussen het voorwerp en zijn directe achtergrond betreffen, of de absolute lichtsterkte wanneer het om kleine zelf lichtgevende voorwerpen (signaallampen) gaat. Het waarborgen van de opvallendheid is vooral een zaak van het zorgen voor een voldoende grote bovendrempeligheid, met name in relatie tot naburige bronnen van (visuele) storing. Ook hiervoor bestaan regels - zij het minder goed onderbouwde vuistregels. Het waarborgen van de herkenbaarheid tenslotte is, naast het waarborgen van de opvallendheid, vooral een kwestie van opleiding, training en voorlichting: alleen voorwerpen die goed bekend zijn, kunnen worden herkend. Veelal drukt men de herkenbaarheid uit in de leesbaarheid - ofschoon die twee kenmerken bepaald niet samenvallen. Deze term wijst meteen op een mogelijk probleem, vooral in een land als Nederland met een aanzienlijk aandeel van verkeersdeelnemers die het Nederlands niet of nauwelijks machtig zijn. We zullen hier niet op deze moeilijkheden ingaan, maar alleen vermelden dat in dit opzicht pictogrammen een voordeel hebben boven woorden voor het overbrengen van gecodeerde informatie (Schreuder, 1992a).

Moeilijker is het om de waarneembaarheid van voorwerpen te waarborgen die niet met opzet als visueel kritische elementen zijn aangebracht. Uiteraard betreft dit in de eerste plaats de andere verkeersdeelnemers; wanneer men denkt aan de waarneembaarheid vanuit het gezichtspunt van een bestuurder van een motorvoertuig, dan gaat het niet in de eerste plaats om de andere motorvoertuigen - die immers van signalen en markeringen zijn voorzien - maar om de fietsers en de voetgangers. Niet alleen zijn dat de 'zwakkere' verkeersdeelnemers, die alleen al door het ontbreken van een beschermend koetswerk extra kwetsbaar zijn, maar ook minder mogelijkheden hebben om markeringen en signaallampen mee te voeren. Het vermijden van botsingen met deze 'zwakkere' verkeersdeelnemers is dus in de eerste plaats een taak voor de bestuurders van de motorvoertuigen. Verder moet men hierbij ook rekenen de gevaarlijke verkeersobstakels zoals stenen, uitlaatpijpen en gaten in de weg, en ook de algemene kenmerken van landschap, wegverloop en omgeving die van belang zijn bij het verschaffen en ondersteunen van meer in het bijzonder het driedimensionale karakter van de taferelen. Soms is het mogelijk de betreffende voorwerpen van markeringen (meer in het bijzonder retroreflecterende markeringen) te voorzien, maar meestal dient men te volstaan met de constatering dat deze voorwerpen overdag gewoonlijk 'vanzelf' zichtbaar zijn en 'voor zichzelf' spreken. Bij duisternis moet men zulks zien te bereiken door een algemene verlichting te installeren die, net als het daglicht, een alzijdig verlichtend karakter heeft. Hiermee kan tot zekere hoogte aan de wensen wat betreft de detecteerbaarheid en de opvallendheid worden voldaan - tot zekere hoogte, en zeker niet altijd op een geheel bevredigende manier. Wat betreft de herkenbaarheid geldt hetzelfde als hierboven is gezegd: het is vooral een zaak van opleiding, training en voorlichting om ervoor te zorgen dat de voorwerpen bekend zijn zodat ze in het voorkomende geval herkend kunnen worden. Daarbij moet worden

opgemerkt dat de mogelijkheid tot herkennen sterk aan de situatie is gebonden; voorwerpen die zeer goed bekend zijn worden toch vaak slecht herkend wanneer ze in een context worden aangeboden waarin ze onverwacht zijn.

#### E. Botsobstakels

Ruim twee-derde van de ongevallen hebben te maken met botsingen tussen voertuigen die aan het verkeer deelnemen; het grootste deel daarvan betreft bewegende voertuigen (zie Tabel 11). Ongeveer 10% betreft voetgangers, terwijl ruim 20% te maken heeft met stilstaande obstakels (bomen, lichtmasten) en met 'eenzijdige' ongevallen (van de weg raken na slippen enz.). Deze getallen gelden voor de letselongevallen en voor 1991; aangenomen mag worden dat voor alle ongevallen een vergelijkbare verdeling geldt. Als conclusie geldt:

- botsingen tussen voertuigen overheersen;
- botsingen met allerlei (vaste) obstakels komen vrij veel voor;
- ongevallen met voetgangers zijn verre van zeldzaam;
- ongevallen met 'losse' voorwerpen kunnen worden verwaarloosd.

Nauwelijks een half procent betreft de obstakels die in de verlichtingskunde als 'standaardobject' zijn ingevoerd. Verlichting is functioneel. Dat wil zeggen dat verlichting 'iets' moet verlichten; de te verlichten objecten zijn de verkeerskundige standaardobjecten. Nu zijn deze standaardobjecten vaak niet precies te definiëren; daarom stelt men vaak de *visuele standaardobjecten* in de plaats. Wanneer men de eisen die aan de verlichting van wegen moet worden gesteld wil bepalen, wordt ervan uitgegaan dat de verkeerskundige standaardobjecten zichtbaar zullen zijn (in alle relevante omstandigheden) wanneer de waarneembaarheid van de visuele standaardobjecten (onder die omstandigheden) is gewaarborgd. De visuele standaardobjecten zijn uiteraard niet identiek met de verkeerskundige standaardobjecten, maar ze moeten er wel veel op lijken, met name wat betreft afmetingen, reflectie-eigenschappen, locatie en bewegingstoestand.

#### F. De keuze van een standaardobject

Al met al mag worden betwijfeld of de keuze van het traditionele 'standaardobject' van 20 bij 20 cm op 100 meter afstand, en met een (diffuse) reflectie van 20%, een goede keuze is. Dit 'standaardobject' is in het verleden ingevoerd door Dunbar (1938) en De Boer (1951), en voor tunnels aangepast door Adrian (1978; 1989). Het wijkt echter in alle opzichten sterk af van de risicodragende objecten die in het verkeer te verwachten zijn. Feitelijk levert het traditionele standaardobject alleen een aanduiding op voor de te bereiken gezichtsscherpte; de verdere fysiologische en psychologische aspecten van de waarneming komen niet aan de orde. Dit is reeds door Griep (1968) opgemerkt.

Ondanks deze kritiek, die later is herhaald door Padmos (1982) en Schreuder (1989, 1990, 1991, 1991c, 1992a), vindt het traditionele standaardobject nog steeds opgang in de openbare verlichting. Zo gebruikt Blaser (1990) het bij de beschouwingen over tegenstraalverlichting in tunnels (zie ook Blaser & Dudli, 1982). Voor een verdere discussie over de voor- en nadelen van tegenstraalverlichting zij verwezen naar Schreuder (1992a) en naar par. 4.2.3.

Het is een van de belangrijkste, misschien wel het meest belangrijke, onderwerp voor nadere studie en onderzoek om eens en voor al vast te stellen wat het verkeersrelevante object is (of wat de verkeersrelevante objecten zijn). We komen later terug op deze vraag, en meer in het bijzonder in par. 7.2.3.

## A IV Preview

Om de relatie tussen de waar te nemen objecten en de verlichting te preciseren, zijn de algemene gezichtspunten uit deel A III verder uitgewerkt. Het gaat daarbij om de uit de rijtaak af te leiden taak-elementen en hun onderlinge hiërarchie, onderverdeeld naar wegtype, en over de afstand vanwaar ze gezien moeten worden. De begrippen zichtruimte en preview zijn daarvoor ingeburgerd. Opgemerkt dient te worden dat de term preview in andere technische gebieden (met name de regelkunde) in een iets andere betekenis wordt gebruikt.

Het onderdeel A IV is aan een SWOV-rapport uit 1993 (R-93-36) ontleend, en kan dus als redelijk 'up-to-date' worden beschouwd.

### 3. THE DRIVING TASK

#### 3.1. Road safety aspects

Road traffic basically is nothing but the set of activities that is aimed at reaching some destination. All disturbances that may lead to reaching the destination later, with more difficulty, or not at all, are unfavourable for the purpose of the traffic, and should be avoided as far as possible. There is some likelihood with health: the normal state is the healthy one, and disturbances are illnesses. Using this analogy, normal road traffic is often compared to healthy traffic, and disturbances like traffic jams and accidents are compared to illnesses.

Disturbances always have the aspect of a conflict: there is always a conflict of interest between the healthy traffic and the disturbance. Conflicts can be classified, and be placed in an hierarchy, beginning at the "lower" side with simple meetings; "higher up" there are severe conflicts that disturb the flow of traffic, and still "higher" one finds the accidents. It is customary to place fatalities at the "top" of the hierarchy. This hierarchical approach has two important consequences. The first is that the frequency of occurrence diminishes while going from "low" to "high": the number of meetings is much higher than the number of fatalities. The second is that there seems to be a gradual increase in "severity" going from the one extreme to the other. These two aspects are important when one tries to use conflicts as an alternative measure for road safety (one should actually say "unsafety") in stead of accidents.

These considerations are essential when one tries to identify the basic concepts of the present road-traffic system as compared to the system of other modes of transport. Rail traffic and civil air traffic are essentially non-conflict modes of transport. This does not mean that there are no conflicts or accidents; what we mean is that the system is designed in such a way that conflicts are absent; in other words, as long as the system works as designed, there cannot be any conflict and therefore no accident. There is no possible way that two trains, or two planes, can occupy in a way that is accepted by the system, the same rail or air space. The reasoning is that, when no conflicts can occur, a fortiori no accidents are possible.

Road traffic, and street-car (tram) traffic, and naval traffic as well for that matter, operate on a completely different principle. Conflicts are accepted. It is assumed that the traffic system, or the - collective of - the traffic participants will operate in such a way that, although conflicts may be frequent, accidents will be avoided (or rather, will be limited to a socially acceptable level). As an example, most intersections are non-signalled, implying that traffic from different directions will have conflicts. It is expected that road users will behave in such a way that collisions are avoided. In some cases the road users are supported by rules or regulations, like e.g. "traffic from the right has priority". In many cases one goes even one step further: conflict situations are intentionally created in order to force the road users (usually the drivers of passenger cars) to behave in a fashion that is considered desirable from other points of view. In many residential areas, cycle tracks and sidewalks are removed on purpose in order to reduce driving speed, a benefit from the point of view of noise reduction or of environmental protection. The authorities count on the drivers to adapt their driving style in such a way that the number of accidents will not increase, at least not to a non-acceptable degree.

### 3.2. Task aspects

The sequence of decision-making processes that has to be followed by a car driver is usually called the "driving task". As indicated above, the usefulness of the activities are essential for our considerations; this means that taking part in traffic is done not random, but to some purpose. Traffic participation is considered as being functional.

Obviously, the purpose of taking part in traffic is to reach the trip destination. For our deliberations it is convenient to subdivide this purpose in three distinct goals, although in reality they are very much intertwined. The goals each have their "sub-tasks". The three sub-tasks are:

- reaching the destination by selecting and maintaining the correct route;
- avoiding obstacles while under way towards the destination;
- coping with emergencies while performing the two other sub-tasks.

The sub-tasks are quite different in nature. The first sub-task - the selection and maintenance of the route - involves decisions that are made for a large part even before the beginning of the trip. When the decisions are incorrect, the result is that the destination will not be reached, or not reached in time, resulting in loss of time and/or money (apart from frustration etc.). The loss may be called "economic".

The second sub-task originates while driving. It refers to discontinuities in the run of the road, and to the presence of other traffic participants. The decisions relate to the avoidance of the hazards that are presented by the discontinuities and the other participants. When the decisions are incorrect, collisions may result. Apart from not reaching the destination with its economic loss, the consequences are further the losses of goods and properties, and maybe even injuries or even fatalities. The consequences are of a road safety nature. It should be noted that drivers often choose another route when they expect to meet discontinuities or traffic participants; in this way, the decisions on the "higher" level are influenced.

In both cases that are described here, the essential feature is that there is adequate time to acquire and process the necessary information, to make the decision, and to execute the manoeuvre. In many instances, this is not the case. Unexpected and unwanted (dangerous) emergencies may arise, that require a fast reaction of the driver in order to avoid collisions. This is the third sub-task: coping with emergencies. Usually, the information on which the decision must be made is inadequate, incomplete or even wrong, the time for making the decision is very short, and the time to execute the manoeuvre is often simply not sufficient.

### 3.3. Foresight

Taking action costs time. First, the (visual) observations must be made; after that, the decision must be made, and finally, the action must be performed. It is customary to discern the following "times":

- detection time
- reaction time
- decision time
- action time.

The time required for the action will entail as well the time needed to prepare for the action, e.g. the shifting of the foot from the accelerator to the brake pedal. It might be noted that here, as elsewhere, the terminology might differ from place to place. In a more sketchy way, the detection time, the reaction time (proper) and the decision time are taken together as the "(overall) reaction time". The important point is, that the time involved may be quite considerable, more in particular when one deals with the actions to be taken by the driver of a fast-moving car.

Obviously, a decision can only be adequate when the time to make it is available. This implies that the object (or the group of objects) that make the action (the manoeuvre) necessary, must be visible at a distance large enough to make the observations and the decision, and to perform the action (to execute the manoeuvre). To describe the required time interval we use the term foresight. Foresight can be expressed in distances or in time intervals, depending on the questions that must be answered. When the driving speed is known, the distances and the time intervals can easily be converted into each other. Sometimes, the term "preview" is used in stead of foresight; this use may lead to confusion as preview is a rather specific term in control engineering.



## 4. MANOEUVRES

### 4.1. A hierarchy of manoeuvres

Manoeuvres can always be considered as a means (a road) to reach a goal (a target or a destination). Means and goals can be listed in an hierarchical system in such a way that the means at a certain level is a goal (actually a sub-goal) on a lower level. As an example: if the goal is to go from town A to city B, the means (the road) will lead through the village C. Now, reaching the village C is a sub-goal for which the intersection at D must be passed. Reaching the intersection D is a sub-sub-goal etc. In the other direction this hold as well: reaching the city B is the means to be able to attend the congress about E, and is a super-means. In this way, the hierarchy can be extended in both ways to "infinity". The point is, that means and goals are only relative concepts, and that each goal can be considered as a means for another goal. Manoeuvres can therefore also be listed in an hierarchical system. Three levels are of particular interest for the description of the driving task:

- (a) level of complex manoeuvres
- (b) level of elementary manoeuvres
- (c) level of manoeuvre parts.

The major complex manoeuvres are:

- just going on (as a result of the relevant decision);
- negotiating a curve;
- overtaking and passing a preceding vehicle without opposing traffic;
- overtaking and passing a preceding vehicle when opposing traffic is present;
- passing a (priority) intersection;
- passing an intersection with traffic signals;
- passing a "roundabout";
- coming to a stop for a T-junction, or for a traffic signal.

The elementary manoeuvres are:

- just going on;
- adjusting speed;
- swerving around;
- leaving the traffic lane;
- coming to a stop.

The manoeuvre parts are:

- just going on;
- adjusting the speed (to the desired speed or to the speed of the preceding vehicle);
- adjusting the lateral position within the driving lane.

The hierarchical structure of the manoeuvres results from the fact that each manoeuvre represents (is the outcome of) a decision. Each decision has a "goal" and a "way". The way must be followed in order that the goal can be reached. The terminology is derived from the route-selection process (one of the manoeuvre levels of the driving tasks); as a metaphor it can be used for all human activities. For all decisions a goal and a way can be defined; the hierarchical structure follows from the fact that the "way" at a certain level is the "goal" at a lower level, and vice versa: each goal is a way at a higher level.

As the traffic manoeuvres can be grouped in an hierarchical structure, each elementary manoeuvre can be composed from manoeuvre parts, and each complex manoeuvre can be composed from elementary manoeuvres. The hierarchy can be extended on both ways: on a still "higher" level the selection of the trip destination, the trip motivation, the route and the mode of transport can be found. These represent decisions that are made before the start of the trip, and therefore fall outside the scope of this note. Similarly, the hierarchy can be extended to the "lower" activities; at a lower level, one may define the handling of the controls of the vehicle (steering wheel, accelerator, brake pedal etc.). Also these "sub-manoevres" are not discussed in this note, as they are not directly related to information acquired from outside the vehicle.

#### 4.2. Manoeuvres in road traffic

A car is a surface vehicle, implying that there are two degrees of freedom for movement: lengthwise and crosswise (indicated here with x and y). In this respect, a car is similar to a vessel, that also has two degrees of freedom, but different from a train (one degree of freedom) or a plane (three degrees of freedom).

In principle, the selection of the values of  $x$  and  $y$  (and all time derivatives) is up to the driver; the decisions are made on line and in situ - meaning that there are no other authorities like traffic control or time tables. In reality, things are rather different. Restrictions of a physical, behavioural or legislative nature make that the actual possibilities for drivers are very limited indeed; in fact, only four are open for manipulation by the driver in normal traffic:

- \*  $dx/dt$ ; the forward driving speed;
- \*  $d^2x/dt^2$ ; the lengthwise acceleration or deceleration;
- \*  $y$ ; the lateral position;
- \*  $dy/dt$ ; the crosswise speed.

And even these four cannot be chosen at will as a result of the presence of road limits, speed limits, vehicle performance and other traffic.

This means that all traffic manoeuvres essentially have to be composed of these four parts.

Using these restrictions, the sub-tasks can be specified further. The end result is eight different sub-tasks, each involving different combinations of the information processing and of the degrees of freedom available for manipulation.

1. Maintaining the lateral position within the driving lane
2. Maintaining the speed
3. Maintaining the route (the course) on straight stretches and in curves
4. Overtaking: changing traffic lanes
5. Overtaking with opposing traffic
6. Adjusting speed for discontinuities or other traffic
7. Adjusting speed and lateral position for discontinuities or other traffic
8. Coping with emergencies.

In each of these eight cases we can indicate what manoeuvres may be required; for each manoeuvre we can indicate the type of information that is required to make the decision, and the moment in time when the information must be available in order to make the decision in time. It should be kept in mind that a manoeuvre at a specific level includes in principle all manoeuvres at all lower levels. This includes the acquisition of the information that is needed for these lower manoeuvres.

We will discuss these details in the next sections, each of which will be structured in the same way. First we will indicate the relevant task elements and the relevant manoeuvres with their specific process times. Further the required preview time will be derived from the process time of the manoeuvres. The next step is deriving the foresight distance for a number of specific types of road. We have based our considerations on three classes of road, which might serve as a global representation of the major part of the road network. These road classes are:

- Class A: Urban roads (thoroughfares and all urban roads with a traffic function) with a nominal driving speed of 15 m/sec (about 50 km/h).
- Class B: Rural trunk roads (primary roads) with a nominal driving speed of 25 m/sec (about 90 km/h).
- Class C: Rural freeways (motorways, limited access highways) with a nominal driving speed of 35 m/sec (about 125 km/h).

Finally, the visually critical elements will be indicated for all these cases; that are the elements for which the lighting must ensure their visibility.

## 5. VISUAL ELEMENTS FOR DIFFERENT CLASSES OF ROAD

### 5.1. Maintaining the lateral position within the driving lane

#### Task elements

Adjusting the lateral position by slight adjustments of the steering wheel.

#### Manoeuvres

As this is - for an experienced driver at least - a routine task, it will not be greatly influenced by variable factors like attention, arousal etc. The actual process time is in the order of 3 seconds.

#### Foresight

The process time of 3 sec (or less) leads to a foresight of 3 sec as well. For different road types the foresight distance is given in the following table:

Road type	Foresight distance (m)
A	45
B	75
C	105

#### Visually critical elements

The visually critical elements are:

- the side limits of the road; in most cases the sides are indicated by curbstones or marked by road markings;
- the centre of the road, or the lane limit.

#### Remarks

- On major roads, both urban and rural, the lane demarcations are indicated by road markings. On most minor roads, lane markings are absent.
- The absence of centre lines is often considered as a major road safety hazard. Keeping the right lateral position is reduced to guess-work. Often the only clue is the perceived position of opposing traffic.
- The information can be supported, but not be taken over by delineators.

- Far out the most critical situation is the wet-night situation, particularly on unlit roads.

## 5.2. Maintaining the driving speed

### Task elements

The task elements are:

- adjusting the speed according the desired (set) speed;
- adjusting the speed according the speed of preceding vehicle(s).

### Manoeuvres

As this is - for an experienced driver at least - a routine task, it will not be greatly influenced by variable factors like attention, arousal etc. The actual process time is in the order of 3 seconds; for following the speed of preceding traffic probably somewhat less.

### Foresight

The process time of 3 sec (or less) leads to a foresight of 3 sec as well. For different road types the foresight distance is the same as in para. 5.1.

### Visually critical elements

The visually critical elements are:

- the side limits of the road; in most cases the sides are indicated by curbstones or marked by road markings;
- the centre of the road, or the lane limit;
- the preceding vehicle(s), particularly their markers and marking lights.

### Remarks

- For speed adjustment according to a set (desired) speed, the visually critical elements are almost the same as for the maintenance of the lateral position.
- For speed adjustment in accord with the speed of preceding cars, obviously these preceding vehicles present the most important visually critical element.
- On major roads, both urban and rural, the lane demarcations are indicated by road markings. On most minor roads, lane markings are absent.
- The absence of centre lines is often considered as a major road safety

hazard. Keeping the right lateral position is reduced to guess-work. Often the only clue is the perceived position of opposing traffic.

- The information can be supported, but not be taken over by delineators.
- Far out the most critical situation is the wet-night situation, particularly on unlit roads.

### 5.3. Maintaining the route

#### Task elements

Assessing the course of the road, particularly the curves in the road.

#### Manoeuvres

On straight roads: just continue with the same speed and direction.

In curves: adjusting the steering wheel to the curve.

#### Foresight

The foresight time depends on the driving speed. The foresight is for the different road types is given in the following table:

Road type	Foresight time (sec)	Foresight distance (m)
A	10	150
B	15	375
C	20	700

#### Visually critical elements

The visually critical elements are:

- general elements of landscape or townscape;
- lighting columns, and (particularly at night) lanterns with burning lamps;
- delineators
- road markings (only for roads of type A).

#### Remarks

- Maintaining the route or course of the road is often considered as primarily a matter of driving comfort; this is probably true for straight roads, but probably not for curves.

- As lamps of the public lighting often can be seen at a large distance, the night-time visibility of the run of the road is often superior to the day-time visibility.
- In many cases the information can be supported, but not taken over by additional road signs.

#### 5.4. Overtaking: changing traffic lanes

##### Task elements

The task elements are:

- assessing the lateral position, the speed and the course of the road (as in earlier sections);
- assessing the speed and position (longitudinal and lateral) of the other traffic travelling in the same direction;
- adjusting the lateral position by adjustments of the steering wheel as required by the overtaking manoeuvre.

##### Manoeuvres

Adapt the lateral position to the lane changes. On straight roads: continue with the same speed and in the same direction. In curves: adjusting the steering wheel to the curve.

##### Foresight

The foresight time consists of two elements. The first is the foresight needed to maintain the course as in para. 5.3. The second is the foresight needed for the actual overtaking manoeuvre. The manoeuvre without opposing traffic is usually relevant only for dual carriage-way roads (divided highways). The required time for a lane change is for preparation 3 to 5 sec and for execution of the manoeuvre 5 to 7 sec; total 8 to 12 sec.

The foresight is:

Road type	Foresight distance (m)
(A	120 to 180; not relevant in practice)
(B	200 to 300; only relevant on divided highways)
C	280 to 420



### Visually critical elements

The visually critical elements are:

- general elements of landscape; lighting columns; road markings, delimiters; curbstones; centre lines (as in para. 5.1; 5.2 and 5.3);
- vehicles travelling in the same direction.

### Remarks

- The visual critical elements are the same as those in para. 5.1 and 5.2, but in addition one must reckon with the vehicles.
- Usually, the visibility of vehicles can be supported by signalling lights.
- In many cases the overall shape of the vehicles is not (sufficiently) visible. Signalling lights are essential. This may be the case both at day as at night.
- Almost all divided highways are of type C.

### 5.5. Overtaking with opposing traffic

#### Task elements

The task elements are:

- assessing the lateral position, the speed and the course of the road (as in earlier sections);
- assessing the speed and position (longitudinal and lateral) of the other traffic, travelling in the same and in the opposite directions;
- adjusting the lateral position by adjustments of the steering wheel as required by the overtaking manoeuvre.

#### Manoeuvres

Adapt the lateral position to the lane changes. On straight roads: continue with the same speed and in the same direction. In curves: adjusting the steering wheel to the curve.

#### Foresight

The foresight time consists of two elements. The first is the foresight needed to maintain the course as in para. 5.3. The second is the foresight needed for the actual overtaking manoeuvre. The overtaking manoeuvre with opposing traffic is not relevant for divided highways. For two-lane roads (and other single-carriageway roads), the foresight time (distance) must

take into account the opposing traffic, driving at essentially the same speed. First, this involves the total overtaking manoeuvre. Apart from changing lanes, the slower vehicle must be passed, and the lane change must take place in opposite direction, back to the proper lane. Estimated values are:

- preparation 3 to 5 sec
  - lane change 5 to 7 sec
  - passing the vehicle 2 to 6 sec
  - lane change (back to the proper lane) 5 to 7 sec
- Total 15 to 25 sec.

The foresight is:

Road type	Relative speed opposing traffic (m/sec)	Foresight distance (m)
A	30	450 to 750
B	50	600 to 1250
(C	70	1050 to 1750; not relevant in practice)

#### Visually critical elements

The visually critical elements are:

- general elements of landscape; lighting columns; road markings, delineators; curbstones; centre lines (as in para. 5.1; 5.2 and 5.3.);
- vehicles travelling in the same direction (as in para. 5.4);
- vehicles travelling in opposite direction.

#### Remarks

- o The visual critically elements are the same as those in para. 5.1 - 5.4, but in addition one must reckon with the opposing vehicles.
- o Usually, the visibility of vehicles can be supported by signalling lights.
- o Almost all roads of type A or B are single-carriageway roads.

## 5.6. Adjusting speed for discontinuities or other traffic

### Task elements

The task elements are:

- perceiving the obstacle or the other traffic participant;
- adjusting the speed according to the nature of the discontinuity or to the speed of other participants (vehicles);
- coming to a stop in case the discontinuity requires this.

### Manoeuvres

Adjusting (usually reducing) the speed and if needed, coming to a stop.

### Foresight

The foresight depends on the driving speed, the desired speed at the end of the manoeuvre, and the type of road (in view of the discontinuity or the other participant being expected or not).

The foresight will be given here only for the extreme case, being coming to a stop. The stopping distance equals the required preview. The stopping distance depends on the reaction time (rather brief for objects that are expected; see also para. 5.8), the driving speed, the type of road and the retardation. Although modern cars may have excellent braking performance (up to  $8 \text{ m/sec}^2$  on dry roads), normal driving practice where a reasonable degree of driving comfort is maintained, restricts the practical retardation to  $2.5 \text{ m/sec}^2$ . This value is used here. The foresight estimates are as follows.

---

Road type	Reaction time (sec)	Stopping distance (m) (= foresight distance)
A	1	60
B	2	175
C	3	350

---

### Visually critical elements

The visually critical elements are:

- general elements of landscape or townscape (other than para. 5.3), indicating the discontinuity;

- lighting columns, and (particularly at night) lanterns with burning lamps (other than para. 5.3) indicating the discontinuity;
- road markings, delineators, (other than para. 5.3), indicating the discontinuity.;
- pre-warning signs or signals indicating the discontinuity;
- other traffic participants (motor vehicles, mopeds, pedal bicycles, pedestrians).

#### Remarks

- The most important discontinuities in the road are T-junctions, priority junctions and signalled junctions (traffic signals).
- The consequences of the discontinuity for the traffic depends on the required speed adjustment. This adjustment may vary from zero to maximum (coming to a stop). General rules cannot be given.
- The consequences of a wrong or untimely decision are severe: the result will be a collision, which can be avoided only when an emergency manoeuvre is executed (see para. 5.8).

#### 5.7. Adjusting speed and lateral position for discontinuities or other traffic

##### Task elements

The task elements are:

- perceiving the obstacle or the other traffic participant;
- adjusting the speed according the nature of the discontinuity or to the speed of other participants (vehicles).
- adjusting the lateral position in the traffic lane or while leaving the traffic lane;
- coming to a stop in case the discontinuity requires this.

##### Manoeuvres

Adjusting (usually reducing) the speed; swerving around (an obstacle); changing traffic lanes; and if needed, coming to a stop.

##### Foresight

The foresight as regards the lateral position is equal to the foresight required for maintaining the lateral position (as in para. 5.1), or changing traffic lanes (as in 5.4 and 5.5).

Road type	Route maintenance	Foresight distance (m)	
		overtaking traffic in same direction (after para. 5.4)	overtaking with opposing traffic (after para. 5.5)
A	150	120 to 180	450 to 750
B	375	**	600 to 1250
C	700	280 to 420	**

\*\* : not relevant in practice

The foresight as regards coming to a stop is as in para. 5.6.

#### Visually critical elements

The visually critical elements are:

- general elements of landscape; lighting columns; road markings, delineators;
- pre-warning signs or signals indicating the discontinuity
- other traffic participants (motor vehicles, mopeds, pedal bicycles, pedestrians).

#### Remarks

- The same remarks as in para. 5.6 are made; only the consequences are more severe as at least two manoeuvres are involved.
- The consequences of the discontinuity for the traffic depends on the required speed adjustment. This adjustment may vary from zero to maximum (coming to a stop). General rules cannot be given.
- The consequences of a wrong or untimely decision are severe: the result will be a collision, which can be avoided only when an emergency manoeuvre is executed (see para. 5.8).

#### 5.8. Coping with emergencies

##### Task elements

Reacting as fast as possible to the emergency.

### Manoeuvres

Swerving around; reducing speed; coming to an emergency stop.

### Foresight

The foresight required for swerving around is similar to that as given in para. 5.3. As driving comfort is no consideration, the "reaction" time can be much shorter. Preview estimates are:

Road type	Foresight time (sec)	Foresight distance (m)
A	3	45
B	5	125
C	7	250

The foresight required for reducing speed depends on the driving speed and the desired speed after the manoeuvre and can range from zero to a maximum for coming to a stop.

The foresight for coming to a stop is similar to that as given in para. 5.6.

The retardation, however, in an emergency stop is much higher. On dry roads, it may be 6 to 7 m/sec<sup>2</sup>; on wet roads for cars about 5 and for trucks about 3.5 m/sec<sup>2</sup>. For the calculations, 5 m/sec<sup>2</sup> will be used. As the emergency is unexpected, the required reaction time is considerable. The foresight estimates are (rounded-off values; calculated values between brackets):

Road type	Reaction time (sec)	Stopping distance (m) (= foresight distance)
A	2	55 ( 52,5)
B	3	140 (137,5)
C	4	270 (262,5)

### Visually critical elements

Visually critical elements can be any object that presents itself suddenly

in the field of view, particularly if the presence is not in line with the general pattern of expectation. The most frequent and the most important seem to be (derived from accident studies; not in an order of priority):

- kerbs
- objects in the shoulder of the road (poles, signs, etc)
- other motor vehicles
- two-wheelers
- pedestrians
- objects dropped from vehicles (tires, exhausts, stones, boxes etc).

#### Remarks

- The same remarks as the earlier sections hold, as in spite of the need to perform an emergency manoeuvre as regards a specific traffic obstacle, the other traffic aspects remain equally pressing;
- The consequences of a wrong or untimely decision are severe: the certain result will be a collision, as it is precisely the emergency manoeuvres that are needed to avoid collisions. And if these fail, a collision cannot - by definition - be avoided;
- Aspects of driving comfort can be disregarded.

## 6. SUMMARY OF FINDINGS

### 6.1. Class A roads

Urban roads (thoroughfares and all urban roads with a traffic function) with a nominal driving speed of 15 m/sec (about 50 km/h).

No	Manoeuvre	Foresight	Visually critical objects
5.1.	Lateral position	45 m	road markings
5.2.	Speed control	45 m	road markings
		...	(preceding vehicles)
5.3.	Curves	150 m	road markings, light columns, delineators
5.4.	Overtaking without opposing traffic		(not relevant)
5.5.	Overtaking with opposing traffic	450-750 m	light columns (opposing vehicles)
5.6.	Stopping for		
5.7.	discontinuities	60 m	road markings, delineators, pre-warning signs, pre-warning signals, traffic signs, traffic signals
5.8.	Emergency manoeuvres		
	- swerving	45 m	(road markings), obstacles (other traffic)
	- emergency stop	55 m	obstacles (other traffic)



## 6.2. Class B roads

Rural trunk roads (primary roads) with a nominal driving speed of 25 m/sec (about 90 km/h).

No.	Manoeuvre	Foresight	Visually critical objects
5.1.	Lateral position	75 m	road markings
5.2.	Speed control	75 m	road markings
		...	(preceding vehicles)
5.3.	Curves	375 m	light columns, delineators
5.4.	Overtaking without opposing traffic		(not relevant)
5.5.	Overtaking with opposing traffic	600-1250 m	light columns (opposing vehicles)
5.6.	Stopping for		
5.7.	discontinuities	175 m	(road markings), delineators, pre-warning signs, pre-warning signals, traffic signs, traffic signals
5.8.	Emergency manoeuvres		
	- swerving	125 m	obstacles (other traffic)
	- emergency stop	140 m	obstacles (other traffic)

## A V. Objecten

Een verdere uitwerking ten dienste van het opstellen van de verlichtingskundige vereisten, leidt tot de noodzaak om het begrip 'visueel kritisch element' te preciseren. Daarvoor is een behandeling van een aantal principieel verschillende wijzen van verlichting noodzakelijk: de symmetrische verlichting, ter onderscheiding van de tegenstralende en de meestralende verlichting. Nadere uitwerkingen van de begrippen zoekgedrag, verwachtingspatronen en waarnemingsafstanden zijn gegeven. Meer in het bijzonder ten dienste van de verlichting van tunnels is de afleiding van de risico-objecten uit de statistieken van ongevallen behandeld.

Ook het onderdeel A IV is aan een SWOV-rapport uit 1993 (R-93-35) ontleend, en kan dus als redelijk 'up-to-date' worden beschouwd.

## A.V. OBJECTEN (R-93-36)

### 2.1. Symmetrische, tegenstralende en meestralende verlichting

Het tegenstraalprincipe kan als volgt worden toegelicht. Men kan het licht, dat uit de boven de weg gemonteerde armaturen treedt, en dat het wegdek treft, in beginsel op drie wijzen richten:

- . tegen de rijrichting van het verkeer in gericht;
- . met het verkeer meestralend;
- . symmetrisch ten opzichte van de verkeersrichting stralend.

Men noemt deze drie verlichtingswijzen wel de "tegenstralende verlichting", de "meestralende verlichting" en de "symmetrische verlichting". Een gedetailleerde studie over de voor- en nadelen van deze drie verlichtingswijzen is gegeven in Schreuder (1991).

Het belang van de verlichtingswijze is het gevolg van het feit dat de detecteerbaarheid van objecten op de weg door twee factoren wordt bepaald:

- de adaptatieluminantie;
- het contrast tussen het object en de achtergrond.

Het contrast C wordt op de bekende wijze weergegeven door:

$$C = (L_o - L_b)/L_b$$

waarin  $L_o$  en  $L_b$  de luminanties zijn van het object resp. de directe achtergrond waartegen het object afsteekt.

Wanneer het gaat om de herkenbaarheid van voorwerpen, dan moeten daaraan nog worden toegevoegd:

- . het (interne) contrast tussen delen van het object (zowel kleur als luminantie);
- . de bekendheid van (met) het voorwerp;
- . het verwachtingspatroon.

Op grond van de eerste factor (de adaptatie) is het gebruikelijk om in de openbare verlichting, alsook in de tunnelverlichting, de wegdekluminantie als het belangrijkste criterium voor de verlichtingskwaliteit te beschouwen. Hierop is de zgn. luminantie-techniek gebaseerd. Zie De Boer (1951). De luminantietechniek is in detail beschreven in Schreuder (1964; 1967). "Tegenstralend" is de luminantie (luminance yield) hoger, en vaak veel hoger, dan "meestralend". Dit komt omdat vrijwel alle wegdekken, ook in droge toestand, onder de bij wegverkeer gebruikelijke strijkende waarnemingsrichting een sterk spiegelende reflectie vertonen. Zie De Boer, ed. (1967); Schreuder (1967, 1993). Op basis hiervan kan tegenstraalverlichting een mogelijk voordeel opleveren voor de verlichting van tunnels.

Er is nog een tweede overweging. Zowel de wegdekluminantie als het contrast tussen een object op de weg en de achtergrond (het wegdek zelf) hangt af van de wijze waarop het licht ingestraald wordt, alsmede van de wijze waarop het licht door het wegdek en door het object wordt weerkaatst. Bij tegenstralende verlichting is het contrast hoger omdat bij gelijke luminantie van het wegdek de naar de weggebruiker gekeerde (voor-)kant van objecten in de schaduw liggen, en dus een geringere luminantie hebben dan bij een symmetrische of een meestralende verlichting. Bovendien is bij tegenstralend verlichting de bijdrage van het licht dat door het wegdek wordt weerkaatst en (indirect) het voorwerp treft, geringer.

Bij een onderlinge vergelijking van de drie genoemde verlichtingswijzen

komen een aantal aspecten naar voren. In de meeste gevallen vertegenwoordigen de tegenstralende en de meestralende verlichting uiteraard de extremen, terwijl de symmetrische verlichting daartussen in ligt.

\* Wanneer men gebruik maakt van het feit dat de reflectie van de meeste wegdekken een sterk spiegelend karakter vertoont, wordt bij gelijke horizontale verlichtingssterkte op het wegdek een hogere wegdekluminantie bereikt dan bij symmetrische verlichting; bij meestralende verlichting is de luminantie nog lager.

\* Bij tegenstralende verlichting wordt de achterkant van eventuele objecten sterker, en de voorkant ervan zwakker verlicht, zodat de luminantie van de objecten lager wordt dan bij symmetrische of bij meestralende verlichting. De bijdrage van het, aan het wegdek gereflecteerde licht (de indirecte bijdrage), vergroot het verschil tussen de drie wijzen van verlichting.

\* Deze twee effecten te zamen leiden voor tegenstraalverlichting tot een hoger contrast tussen object en wegdek, en dus (meestal) tot een betere zichtbaarheid, dan voor de andere verlichtingswijzen. Mogelijk kan voor gelijke zichtbaarheid een lager lichtniveau worden geïnstalleerd. Hier zij opgemerkt dat zich in alle gevallen situaties kunnen voordoen waarbij de luminantie van het voorwerp en die van het wegdek (vrijwel) gelijk zijn - waarbij het contrast dus (ongeveer) nul is, en waarbij het voorwerp dus (vrijwel) onzichtbaar is. Het is niet vooraf te voorspellen of dit effect (de zgn. "Tarnzone") zich bij "onbelangrijke" of juist bij "belangrijke" objecten zal voordoen.

\* De visuele geleiding is bij tegenstralende en bij symmetrische verlichting beter dan bij meestralende verlichting, vooral door het feit dat de lichtbronnen zelf (beter) zichtbaar zijn.

\* Bij tegenstralende en meestralende verlichting is de lichtverdeling kritischer dan bij symmetrische verlichting. Dit leidt meestal tot een lager armatuurrendement.

\* Om bij tegenstralende verlichting een even goede gelijkmatigheid van het luminantiepatroon op het wegdek te bereiken als bij de andere verlichtingswijzen, worden hogere eisen gesteld aan de vorm van de lichtsterkteverdeling van de armaturen. Ook dit leidt meestal tot een lager armatuurrendement.

\* Bij tegenstraalverlichting is de verblinding gewoonlijk veel sterker dan bij symmetrische verlichting. Meestralende verlichting kan vrijwel "verblindingsvrij" worden uitgevoerd. Er bestaat echter een duidelijke relatie tussen de verblinding en de optische geleiding.

Met twee aspecten is bij dit alles nog geen rekening gehouden. De eerste is de vraag of de mate waarin verlichting bijdraagt tot de verkeersveiligheid kan worden uitgedrukt in de waarneembaarheid van objecten op de weg, en de tweede is de vraag of een verhoging van de doeltreffendheid ook gepaard gaat met een hogere doelmatigheid (efficiency).

Tenslotte noemen we een aantal publikaties waarin de tegenstraalverlichting op overzichtelijke wijze is beschreven. De belangrijkste zijn: Anon (1974); Blaser (1990); CIE (1984, 1990); Novellas (1982); Schreuder (1979, 1981, 1991, 1991a); Stolzenberg (1984); Walthert (1976, 1978). De meeste publikaties betreffen tegenstraalverlichting in tunnels.

## 2.2. Verkeersrelevante objecten

### 2.2.1. Tafereelreconstructie

Men kan het visuele gebeuren, dat zich aan de waarnemer/weggebruiker ontrolt, beschrijven in termen van taferelen. Het kenmerkende van een taferel is, dat een globaal overzicht van de informatie voldoende is om het

belang van bepaalde details te kunnen inschatten. Het is niet nodig om alle informatie die in het tafereel opgeborgen zit, ook inderdaad ter beschikking te hebben. Het is de "kunst" van adequaat waarnemen om uit een veelal klein gedeelte van de informatie de hoofdzaken (de visueel kritische elementen) uit het tafereel af te leiden. Anders gezegd: het gaat erom, om uit een veelal klein deel van de informatie het tafereel op een zodanige wijze te reconstrueren dat de juiste beslissingen kunnen worden genomen. Waarnemen kan dus worden beschreven als het reconstrueren van deze taferelen in termen van de beslissingen die dienen te worden genomen.

Uit de veelheid van visuele elementen kan men een aantal elementen aanwijzen die essentieel zijn voor het reconstrueren van de taferelen die voor het verkeer van belang zijn. In Schreuder (1993) is een overzicht gegeven van de aspecten die daarbij een rol spelen. In de aan deze studie ontleende Tabel 1. zijn een aantal "voorwerpen" opgesomd, waarvan mag worden aangenomen dat het belangrijk is dat de weggebruiker-automobilist-waarnemer ze (tijdig en juist) kan waarnemen. Deze voorwerpen worden de visueel kritische elementen genoemd. Tot de visueel kritische elementen behoren ook de voorwerpen die gevaar (kunnen) opleveren. Deze gevaarlijke voorwerpen worden de risicodragende elementen genoemd. In par. 2.2.3. komen we terug op deze verschillende elementen.

Bij de reconstructie van de taferelen moet onderscheid worden gemaakt tussen twee taakaspecten. Ze worden vaak aangeduid als "Taak I" en "Taak II". Hier volgt een korte beschrijving van deze taakaspecten. Ook dit is in Schreuder (1993) in detail besproken.

Het begrip "rijtaak" is gebaseerd op de gedachte dat alle manoeuvres die door een automobilist/verkeersdeelnemer in het verkeer worden uitgevoerd, per definitie het resultaat zijn van beslissingsprocessen die (ook per definitie) volgen op het verwerken van informatie. De informatie die verwerkt wordt, bestaat voor een deel uit informatie die "on line" uit de omgeving worden afgeleid, en voor een deel uit informatie die uit de voorraad (het geheugen) wordt geput. De uit de omgeving opgenomen informatie is vrijwel uitsluitend visuele informatie.

Voorts is het verwachtingspatroon van belang. De reacties en de daarop gebaseerde beslissingen hangen in sterke mate ermee samen of er sprake is van objecten die in het verwachtingspatroon passen, of niet. Wanneer dit het geval is, spreekt met wel van "Taak I". Wanneer een verkeersdeelnemer geconfronteerd wordt met onverwachte objecten, zijn veelal noodmanoeuvres nodig, die een aantal andere kenmerken kunnen vertonen dan de "gewone" manoeuvres. Dit wordt samengevat in het begrip "Taak II". Een uitvloeisel van het feit dat bepaalde voorwerpen in het verwachtingspatroon vallen is, dat er actief naar gezocht kan worden.

Voorwerpen die in verband met het correct uitvoeren van Taak I tot de visueel kritische elementen behoren, vormen drie groepen:

- \* voorwerpen behorende tot het wegmeubilair (lichtmasten, bermreflectoren, voorwaarschuwingstekens, verkeerstekens, waarschuwingslichten, verkeerslichten);
- \* voorwerpen behorende tot de weg zelf (wegmarkeringen);
- \* andere verkeersdeelnemers (met name voorliggers).

Voor Taak II gaat het om twee groepen van voorwerpen die als risicodragende elementen kunnen optreden:

- \* stationaire voorwerpen (obstakels; stilstaande auto's; stenen en dozen op de weg; verloren lading en verloren auto-onderdelen, maar ook lichtmasten, brugpijlers, bomen, gaten in de weg enz.);

\* bewegende voorwerpen (verkeersdeelnemers, meer in het bijzonder kruisend verkeer, maar ook - vooral langzaam rijdende - voorliggers).

Op de weg komen deze risicodragende elementen uiteraard niet allemaal even vaak voor. Hier zij gewezen op het belangrijke IZF-onderzoek van Walraven en Padmos betreffende de visuele elementen die in de praktijk voor het wegverkeer van belang zijn (Zie Padmos, 1981; 1982; 1984; 1988; 1991; Padmos & Walraven, 1982; Walraven, 1980). Zie ook Schreuder (1993).

### 2.2.2. Visueel kritische elementen

Aan de hand van de overwegingen die we hierboven hebben weergegeven is het mogelijk om in twee opzichten een onderscheid te maken tussen de visueel kritische elementen die voor waarneming in aanmerking komen:

- . de waarnemer weet al dan niet om welk element het gaat;
- . er wordt al dan niet naar gezocht.

Combinatie leidt tot vier mogelijkheden, volgens onderstaand schema:

		weten	
		ja	nee
zoeken	ja	A	B
	nee	C	D

De vier mogelijkheden sluiten als volgt aan op de eerdere indeling in manoeuvres: het geval A correspondeert met stuurmanoeuvres, terwijl C en D corresponderen met de ontwijkmanoeuvres. Het geval B lijkt op het eerste gezicht een weinig voorkomend geval te zijn: het lijkt niet veel zin te hebben om te zoeken naar iets dat niet bekend is. Toch kan het tot de stuurmanoeuvres worden gerekend omdat de gedachte "er kan zo dadelijk iets onbekends opdoemen" in het verwachtingspatroon kan worden ingebouwd. Men noemt de rijstijl waarbij dit in de praktijk wordt gebracht, wel "defensief rijden". Bij de ontwijkmanoeuvres in geval C kan van ervaring gebruik worden gemaakt, terwijl die in geval D niet aanwezig is.

### 2.2.3. Visuele waarneming van obstakels in tunnels

Het oogmerk van de meetmethode die in dit rapport wordt beschreven, is het bepalen van de kwaliteit van de verlichting in tunnelingangen. De eerste vraag luidt dan ook, op welke wijze de kwaliteit kan worden omschreven. Een voor de praktijk bruikbare omschrijving is, dat de kwaliteit van de verlichting wordt bepaald door de mate waarin de voor de verkeersveiligheid belangrijke voorwerpen (de risico dragende objecten) kunnen worden waargenomen. Onder deze objecten wordt verstaan de verzameling van objecten die ontwijkmanoeuvres nodig maken. Immers, ongevallen kunnen steeds (in principe tenminste) worden omschreven als het gevolg van (of het gevolg op) mislukte ontwijkmanoeuvres. Deze wijze van beschouwing sluit aan bij het inzicht dat verkeersgedrag kan worden beschreven in termen van manoeuvres die middels een beslissingsproces worden gekozen uit alternatieven, waarbij de beslissing gebaseerd is op de ter plekke (in situ) over het object verkregen (visuele) informatie, die bij het beslissingsproces wordt vergeleken met de in het geheugen aanwezige informatie. Deze wijze van beschouwing is op andere plaatsen in detail beschreven (Schreuder, 1993). Zie ook par. 2.2.2.

De volgende vraag is welke visuele informatie omtrent deze objecten nodig

is om de juiste beslissing te kunnen nemen. Met moet daarbij het begrip waarnemen (waarneembaarheid) nader beschouwen. Naast de ("kale") zichtbaarheid (de detecteerbaarheid) is de opvallendheid, en vooral de herkenbaarheid van belang. Ook hierover zijn details gegeven in Schreuder (1993).

Een verdere vraag is wat de (belangrijkste) risico-dragende objecten in tunnels zijn. Deze objecten kunnen worden afgeleid uit de ermee plaats hebbende ongevallen. Nu bestaan er wel statistieken van ongevallen met de meest uiteenlopende voorwerpen voor de "open weg", maar niet voor tunnels. We zullen daarom de gegevens voor de open weg gebruiken als uitgangspunt. Deze gegevens zijn gegeven in Tabel 2. Deze tabel geldt voor 1988, het laatste jaar waarin ook gewonden die niet in het ziekenhuis zijn opgenomen, in de statistiek zijn vermeld, zodat het beschikbare materiaal een zo groot mogelijke omvang heeft.

Uit de gegevens van Tabel 2 zijn de gevallen afgezonderd die relevant (kunnen) zijn voor tunnels (Tabel 3). Daarbij is - in overeenstemming met de in par. 1.2. gegeven overwegingen - uitgegaan van tunnels in rurale autosnelwegen of in andere rurale hoofdwegen; tunnels dus die uitsluitend door het gemotoriseerde verkeer gebruikt (mogen) worden. Daarom wordt aangenomen dat er in tunnels geen langzaam verkeer is, en geen kruisend verkeer, maar wel tegenliggers en rijbaanwisselingen. Ook is aangenomen dat men in een tunnel met de vangrail (of met de tunnelwand) kan botsen, of van de weg kan raken. Tenslotte is aangenomen dat er losse voorwerpen op de weg kunnen liggen. Deze drie rubrieken van mogelijke risico-dragende objecten blijken van alle relevante ongevallen ca 75%, bijna 23% en ruim 2% te vormen (Tabel 3). Met andere woorden: auto's vormen verreweg de gevaarlijkste objecten in tunnels; ook wanden e.d. vormen een aanzienlijke gevarenbron, terwijl losse voorwerpen nauwelijks van belang zijn.

Deze gegevens zijn ontleend aan de nationale gegevens, en omvatten dus het gehele Nederlandse wegennet. In tunnels kunnen de verhoudingen tussen deze botsobjecten wellicht anders liggen. In Nederland zijn tunnels gevaarlijker zijn dan open wegen. Dit blijkt uit Afbeelding 1, ontleend aan Janssen (1991a). Aangegeven is de relatie tussen het aantal letselongevallen per km weglengte en het verkeersaanbod (voertuigen per etmaal) voor autosnelwegen (resp. met 2x2 en met 2x3 rijstroken). Ook is aangegeven dezelfde relatie voor de acht belangrijkste tunnels in Nederland. De gegevens betreffen de (gesloten) tunnelbuis zelf en de (open) toe- en afritten. Vrijwel alle tunnels liggen "boven" de (open) snelwegen. Tenslotte is in de afbeelding een "gemiddelde" aangegeven. Dit is de lijn die het zwaartepunt van de punten die de tunnels representeren, verbindt met de oorsprong van de grafiek. Uit Afbeelding 2 (eveneens ontleend aan Janssen 1991a) blijkt dat de gesloten tunnelbuizen een nog groter risico vertegenwoordigen. Overigens zijn niet in alle landen dergelijke ervaringen opgedaan; soms is gevonden dat tunnels veiliger zijn dan de open weg (Janssen 1991; Stembord & Swart, 1991).

De ongevallen in tunnels vertegenwoordigen een zeer kleine fractie is van alle ongevallen die op de openbare weg plaats vinden. Dit heeft natuurlijk te maken met het feit dat er - in weglengte gezin - in Nederland maar zo weinig tunnels zijn. Uit de door de VOR verschaftte aantallen betreffende (letsel-)slachtoffers voor 1992 blijkt dat tunnels en viaducten ongeveer 0,2% representeren, en bruggen ca 0,3%. Gezien dit geringe aantal geregistreerde ongevallen in tunnels is een opsplitsing naar type ongeval en/of type botsobject moeilijk te maken. We moeten ons beperken tot het uitspreken van een vermoeden. Dit vermoeden is dat, in verhouding tot de open weg, de wanden een groter gevaar vormen, en de losse voorwerpen een (nog)

kleiner. Men kan dus stellen dat botsingen in tunnels met losse voorwerpen zeer gering in aantal zijn, dit in tegenstelling tot botsingen met andere verkeersdeelnemers en met wanden, guard rails enz.

Samenvattend kan men stellen dat de kwaliteit van de verlichting van tunnels kan worden uitgedrukt in de mate waarin in de eerste plaats auto's en in de tweede plaats de tunnelwanden kunnen worden waargenomen. Ook kan het van belang zijn om enige aandacht aan losse voorwerpen te schenken. Deze constatering is niet alleen van belang voor de opzet en uitvoering van de meetmethode, maar ook - meer algemeen - voor het mogelijke belang van tegenstraalverlichting in tunnels.

#### 2.2.4. Wegmarkeringen

In deze par. zullen we enige woorden wijden aan de waarneembaarheid van wegmarkeringen. Details zijn te vinden in SCW (1980) en Schreuder (1978, 1980, 1985). Bij de visuele waarneming is het waarnemen van contrasten van belang. Een object kan alleen worden waargenomen wanneer het contrast tussen het object en zijn directe achtergrond groter is dan de drempelwaarde. Het contrast is te beschouwen als de verhouding tussen de helderheid (de luminantie) van het object en zijn directe achtergrond. Zie ook par. 2.1.

De luminantie van een voorwerp is evenredig met de verlichtingssterkte op het voorwerp, en met de reflectiefactor. Het voorwerp kan drie soorten reflectie vertonen:

- . diffuse reflectie. Het licht wordt ongeacht de wijze van instraling, naar alle richtingen even streek weerkaatst (verstrooid);
- . spiegelende (of reguliere) reflectie. Het licht volgt de zgn. spiegelwetten: de hoek van inval is gelijk aan de hoek van terugkaatsing;
- . retroreflectie. Het licht wordt teruggekaatst in de richting waar het vandaan kwam. Daartoe zijn die materialen of die voorwerpen voorzien van zgn. retroreflectoren; stelsels van spiegels of lenzen die de omkeer van de stralengang door reflectie bewerken.

Alleen in geval van diffuse reflectie is er sprake van een enkele reflectiefactor, die dan ook een scalaire grootte is. In alle andere gevallen hangt de intensiteit van het weerkaatst licht (en dus de "reflectiefactor") af zowel van de richting van het invallende licht als van de richting van het weerkaatste licht. In beide gevallen zijn twee onafhankelijke variabelen nodig om de richting vast te leggen; in totaal dus vier. De reflectie kan alleen door een tensor worden beschreven. Uiteraard is de intensiteit van het teruggekaatste licht bovendien recht evenredig met de intensiteit van het invallende licht. Wanneer de retroreflector isotroop is (een rotatiesymmetrie vertoont) zijn drie variabelen genoeg en kan de reflectie als een ruimtelijke figuur worden weergegeven.

Ter toelichting: onder geleidingsmiddelen verstaan we de verzameling van middelen die worden aangewend om de bestuurders/weggebruikers visuele informatie te verschaffen aangaande het handhaven van de dwarspositie. Soms worden de hierna te noemen bermbeveiligingsconstructies ook wel geleidingsmiddelen genoemd, maar hier gaat het alleen om visuele geleiding. Wegmarkeringen zijn de zgn. horizontale markeringen, bestaande uit strepen of smalle banden van wit materiaal (verf of plastic), die direct op het wegdek zijn aangebracht. Onder wegmarkeringen wordt tevens verstaan de zgn. markeerknoppen of wegdekreflectoren, ook wel kattenogen ("cat's eyes") genoemd, kleine elementen die los van elkaar direct op het wegdek worden aangebracht. Onder bermreflectoren worden verstaan de verticale markeringen die in de wegberm worden aangebracht; vroeger werden ze wit geverfd,



en als "bermplanken" betiteld. Bermreflectoren worden ook vaak als reflectorpalen betiteld. Bermbeveiligingsconstructies ("guard rails") worden in tunnels sporadisch toegepast. De reden is dat de ruimte in de breedte die voor een goede werking nodig is, gewoonlijk ontbreekt (zie Schreuder, 1993a).

Wegmarkeringen worden soms gebruikt als bron van akoestisch-kinestetische informatie, meer in het bijzonder de geprofileerde wegmarkeringen of "rumble strips" (Griep, 1971). Geprofileerde wegmarkeringen hebben vooral voordelen bij de nat-nacht-zichtbaarheid, een onderwerp dat alleen voor onverlichte tunnels van belang is. Zie verder Meseberg, 1990, 1990a,b; Meseberg, ed. 1990; Paulmann & Neis, 1985; Schreuder, 1978, 1980a, 1985.

### 2.3. De waarneming van obstakels in tunnels

Uit de beschouwingen die in par.2.2. zijn gegeven, komen drie (groepen van) obstakels naar voren, die voor het wegverkeer gevaar kunnen opleveren. Het zijn deze obstakels die door de verlichtingsinstallatie zichtbaar gemaakt moeten kunnen worden, en wel op een zodanige wijze en zodanig vroegtijdig dat de (ontwijk-)manoeuvres, nodig om een botsing te voorkomen, nog kunnen worden uitgevoerd. Op basis van het voorafgaande zijn hierbij dus twee criteria aan te wijzen:

- . het voorwerp moet als een risico-object herkend worden;
- . het voorwerp moet tijdig waargenomen worden.

In par. 2.4. zullen we ingaan op de criteria die aan de verlichting worden gesteld om de herkenbaarheid van de bedoelde (groepen van) objecten te waarborgen, in par. 2.6. zullen we de eisen bespreken waaraan de verlichting moet voldoen om dit ook tijdig te kunnen doen. Deze twee criteria vormen de basis voor de methode om de kwaliteit van de tunnelverlichting te kunnen meten. De daartoe noodzakelijke operationalisering wordt besproken in par. 2.7.

In het verleden is, ten einde verlichtingsinstallaties met elkaar te kunnen vergelijken, een "standaardobject" ingevoerd. De afmetingen ervan bedragen 20 bij 20 cm; het wordt op 100 meter afstand waargenomen, en het heeft een (diffuse) reflectie van 20%. Het oogmerk was niet zozeer om een "gevaarlijk obstakel" aan te wijzen, maar veeleer om een object te creëren dat kon gelden als een maat voor de waarneembaarheid. Dit "standaardobject" is in het verleden ingevoerd door Dunbar (1938) en De Boer (1951), en voor tunnels aangepast door Adrian (1978; 1989). Het wijkt echter in alle opzichten sterk af van de risicodragende objecten die in het verkeer te verwachten zijn; zie par. 2.3. Feitelijk levert het traditionele standaardobject alleen een aanduiding op voor de te bereiken gezichtsscherpte; de verdere fysiologische en psychologische aspecten van de waarneming komen niet aan de orde. Dit is reeds door Griep (1968) opgemerkt.

Ondanks deze kritiek, die later is herhaald door Padmos (1982) en Schreuder (1991, 1992), vindt het traditionele standaardobject nog steeds opgang in de tunnelverlichting. Zo gebruikt Blaser (1990) het bij de beschouwingen over tegenstraalverlichting in tunnels. De gedetailleerde discussie in par. 2.3. heeft tot doel om aan te tonen dat de keuze van het "internationale standaardobject" een slechte keuze is voor een beschrijving van de obstakels die in het verkeer van belang zijn. Bij de hier beschreven methode wordt het dan ook niet gebruikt. Zie verder Schreuder (1992). Dit neemt niet weg dat het detecteren van kleine objecten van belang kan zijn voor de verkeersveiligheid. Zie verder par. 2.7.4.

### 2.4. Het herkennen van risico-objecten

In par. 2.2 hebben we gesteld dat er voor de verkeersveiligheid in tunnels in hoofdzaak drie (groepen van) obstakels van belang zijn, en wel (in afnemende volgorde van belangrijkheid):

- . (andere) auto's;
- . tunnelwanden en vangrails;
- . losse voorwerpen.

Ook hebben we aangegeven dat zowel de detecteerbaarheid als de herkenbaarheid van voorwerpen aan de orde komen, en dat de detecteerbaarheid van objecten door twee factoren wordt bepaald:

- de adaptatieluminantie;
- het contrast tussen het object en de achtergrond.

De samenhang tussen de waarneembaarheid van objecten (de detecteerbaarheid) en de adaptatieluminantie kan worden geïllustreerd aan de hand van de klassieke onderzoeken van Blackwell, zoals die zijn neergelegd in de "referentiefunctie voor de relatieve contrastgevoeligheid (de RCS-functie)". Deze functie is de basis voor het door de CIE voorgesteld model voor visuele waarneming (CIE, 1981). De RCS-functie is weergegeven in Afbeelding 3. Uit Afbeelding 3 blijkt dat bij toenemende adaptatieluminantie de relatieve contrastgevoeligheid toeneemt; dat wil zeggen dat men bij een hoger adaptatieniveau voorwerpen kan waarnemen die minder tegen hun achtergrond afsteken; die in de spreektaal dus minder goed zichtbaar zijn. Dit verschijnsel is algemeen bekend: wanneer men iets "beter wil kunnen zien", gaat men bij het raam staan. We wijzen op de gedaante van deze RCS-functie. Bij lage luminanties - zoals die bij straatverlichting en tunnelingangen voorkomen - is de helling vrij groot: verhoging van de adaptatieluminantie "helpt" veel om beter te kunnen detecteren. Bij zeer hoge luminanties is de winst geringer; er zijn zelfs duidelijke aanwijzingen dat bij nog hogere niveaus de mogelijkheid tot detecteren weer afneemt.

Dit onderstreept het belang van de adaptatieluminantie voor de waarneembaarheid van objecten. Het is dus noodzakelijk om deze adaptatieluminantie te bepalen. De enige directe wijze om de adaptatieluminantie te bepalen is om opnieuw gebruik te maken van de RCS-functie: men meet de contrastgevoeligheid, en kan daaruit de adaptatieluminantie afleiden. Deze weg wordt in de methode die in dit rapport wordt beschreven, ook gevolgd. Omdat het daarbij gaat om het verschil in de adaptatieluminantie voor verschillende verlichtingswijzen, is een relatieve bepaling van de adaptatieluminantie voldoende, en is het niet nodig om de contrastgevoeligheid in absolute maat te bepalen.

Als tweede criterium hebben we ingevoerd: het contrast tussen het object en de achtergrond. Het is bekend dat een object gemakkelijker kan worden ontwaard naarmate het contrast tussen het object en zijn (directe) achtergrond groter is. Het "gemakkelijker ontwaren" kan blijken uit het feit dat de drempelwaarde voor de waarnemingssnelheid groter is (of de expositietijd korter kan zijn). Ook kunnen kleinere objecten worden gezien wanneer het contrast groter is. Deze twee effecten kunnen worden toegelicht aan de hand van de afbeeldingen 4 en 5, die aan de oorspronkelijke metingen van Schreuder (1964a) zijn ontleend. Adrian (1964) heeft de metingen van verscheidene auteurs samengevat in een enkele set krommen, waarin de relatie tussen het drempelcontrast, de adaptatietoestand en de grootte van het object (in hoekmaat) is weergegeven. Zie Afbeelding 6. Uit deze schaar van kromme blijkt dat voor de luminanties die voor tunnelverlichting relevant zijn (boven ca 10 cd/m<sup>2</sup>) en objecten groter dan ca 10 boogminuten (corresponderend met 20 cm op 70 m afstand) de afmetingen nauwelijks invloed hebben op de waarneembaarheid. De waarneembaarheid wordt voor objecten groter

dan ca 10' bepaald door het contrast en niet door de maat. Zie ook Schreuder (1971).

In par. 2.2. is aangegeven dat, wanneer het gaat om de herkenbaarheid van voorwerpen, nog drie criteria moeten worden toegevoegd. De eerste daarvan is het interne contrast tussen delen van het object. Dit interne contrast kan op dezelfde wijze worden beschreven als het hierboven beschreven contrast tussen voorwerp en achtergrond.

In par 2.2. zijn nog twee andere criteria genoemd: de bekendheid van (met) het voorwerp en het verwachtingspatroon. Voor het wegverkeer in het algemeen zijn dit twee belangrijke (tot zekere hoogte met elkaar verbonden) criteria, die van aanzienlijk belang kunnen zijn voor het optreden resp. het voorkomen van ongevallen. Onbekendheid heeft te maken met de mate waarin het voorwerp in het algemeen voorkomt, terwijl het verwachtingspatroon meer aan de situatie is gebonden. Het vermoeden is wel uitgesproken - ofschoon er nauwelijks onderzoeksresultaten bestaan - dat ligfietsen, invalidewagens en motorfietsen meer risico opleveren dan auto's of fietsen omdat ze slechts zelden op de weg voorkomen, terwijl voetgangers en fietsers, die zeer algemeen zijn in het verkeersbeeld, op een autosnelweg - waar men ze niet "verwacht" - een groot extra risico lopen in vergelijking tot een woongebied. In tunnels, met name in tunnels voor het gemotoriseerde snelverkeer, is de kans dat onverwachte verkeersdeelnemers voorkomen, te verwaarlozen. We zullen er dan ook verder geen aandacht aan besteden.

## 2.5. De equivalente sluiertiluminantie en verblinding

Een begrip dat om een aantal redenen voor de in dit rapport beschreven meetmethode van belang is, is de equivalente sluiertiluminantie. De equivalente sluiertiluminantie geeft aan wat de invloed is van de luminantie van delen van het gezichtsveld, waarop de blik niet is gericht, op de adaptatie van het deel waarop de blik wel is gericht.

Er zijn twee redenen waarom we dit verschijnsel in dit rapport bespreken. Beiden hangen ermee samen dat de bedoelde invloed kan worden beschreven in termen van een lichtsluier die zich over het gezichtsveld uitstrekt. Voor zover het gaat om licht dat in de oogmedia wordt verstrooid, heeft deze lichtsluier een fysische betekenis; voor zover het andere aspecten van de verblinding betreft (o.a. neuronale), is een fysische basis onduidelijk. Men spreekt daarom meestal over de "equivalente sluiertiluminantie"  $L_{seq}$ . Wel kan deze sluiertiluminantie, equivalent of reëel, in luminantiewaarden worden gekwantificeerd.

De werking van de equivalente sluiertiluminantie is tweeledig. Ten eerste wordt door de sluiert de adaptatieluminantie verhoogd. Dit is het eerste aspect waarom we dit verschijnsel hier bespreken. Ten tweede worden door de sluiert de contrasten geringer, waardoor de waarneembaarheid moeilijker wordt. Dit is de tweede reden waarom we deze verschijnselen bespreken. De situatie doet zich immers vaak voor dat door de luminanties in de buurt van de tunnel, de ingang moeilijk te zien is; vaak noemt men dit het "zwarte gat-effect" (Schreuder, 1964a). In sommige gevallen kan de (opkomende of ondergaande) zon vlak boven de tunnelingang te zien zijn. Deze situatie kan tot extreme verblinding leiden (Schreuder, 1981; Schreuder & Oud, 1988).

Het meeste onderzoek aangaande de equivalente sluiertiluminantie is uitgevoerd in het kader van studies naar de verblinding. Daarom zullen we in het kort dit verschijnsel bespreken.

Verblindings treedt op wanneer door de aanwezigheid van heldere gedeelten in het gezichtsveld de waarneming wordt bemoeilijkt. Meer in het bijzonder spreekt men van verblindingsbron wanneer er sprake is van een (meestal kleine, heldere) verblindingslichtbron die naast het waar te nemen object ligt, en zelf geen rol speelt bij de informatieverschaffing. Op deze wijze omschreven is verblindings steeds een storend effect.

De terminologie is verwarrend. Feitelijk zou men in het Nederlands alleen van verblindings moeten spreken wanneer door de inwerking van de verblindingsbron de waarneming geheel onmogelijk wordt gemaakt; dan is men blind. In het Engels spreekt men dan van "blinding". Wij gebruiken de term verblindings echter ook wanneer de waarneming niet onmogelijk is, maar slechts gehinderd. (Engels "glare"). En soms spreekt men van verblindings wanneer er van een negatieve invloed op de waarneming helemaal geen sprake is, maar alleen van een vermindering van het gemak van waarneming (Engels: dazzle). In de Nederlandse verlichtingskunde worden deze drie begrippen in navolging van het Duits gewoonlijk als volgt omschreven:

- . absolute verblindings
- . fysiologische verblindings (disability glare in het Engels)
- . psychologische verblindings (discomfort glare in het Engels).

De erbij gegeven Engelse termen zijn het Nederlandse taalgebied gemeengoed geworden.

Aangezien bij de "gewone" verlichting van straten en tunnels de absolute verblindings vrijwel nooit aan de orde komt, zijn daar geen regels voor gegeven.

In de straatverlichting is in het verleden, in navolging van de binnenverlichting, de meeste aandacht besteed aan de discomfort glare (Adrian & Schreuder, 1970; 1972; De Boer, ed., 1967; Schreuder, 1967, 1972). Soms werden aanbevelingen alleen in termen van discomfort glare uitgedrukt (NSVV, 1974/75). Meer recent is echter de gedachte dat disability glare meer van belang is voor de verkeersveiligheid, en dat de twee verblindings-soorten toch veel gemeen hebben, zodat de restrictie van de een meestal samen gaat met restrictie van de ander. Omdat bovendien de disability glare gemakkelijker te bepalen is, wordt daaraan momenteel de voorkeur gegeven (Schreuder, 1983; NSVV, 1990).

De effecten van disability glare kunnen worden beschreven in termen van een lichtsluier die zich over het gezichtsveld uitstrekt. Voor zover het gaat om licht dat in de oogmedia wordt verstrooid, heeft deze lichtsluier een fysische betekenis; voor zover het andere aspecten van de verblindings betreft (o.a. neuronale), is een fysische basis onduidelijk. Men spreekt daarom meestal over de "equivalente sluiervlucht" Lseq. Wel kan deze sluiervlucht, equivalent of reëel, in vluchtwwaarden worden gekwantificeerd.

Voor een enkele (puntvormige) verblindingslichtbron is de sluiervlucht (gewoonlijk aangeduid met Lseq) gemakkelijk te bepalen. Stiles en Holaday hebben reeds in de twintiger jaren een formule gegeven waarin de waarde van de sluiervlucht (behoudens een evenredigheidsconstante) alleen afhangt van de verlichtingssterkte E op het oog, teweeg gebracht door de verlichtingsbron, en de hoek  $\theta$  tussen de kijkrichting en de richting waarin de verblindingsbron te zien is. De bedoelde relatie is:

$$L_{seq} = K \frac{E}{\theta^2}$$

Met Lseq in cd/m<sup>2</sup>, E in lux en  $\theta$  in graden is K ongeveer 10. Dit is de bekende Stiles-Holaday-relatie die lange tijd als algemeen geldig is be-

schouwd, tenminste voor  $\theta$  tussen 2 en 50 graden. Zie bijvoorbeeld Adrian (1969). Vos (1983) heeft op basis van alle beschikbare gegevens en van eigen werk een betere formule opgesteld die geldig is voor  $\theta$  tussen 10 boogminuten en 100 graden. Zie ook Vos & Padmos (1983). De formule is wel wat ingewikkelder, maar hangt nog steeds alleen van  $\theta$  af. Verblindings-tenminste volgens de wetmatigheden die door Vos naar voren zijn gebracht - cirkelsymmetrisch en additief! Over de additiviteit bestaan overigens enige twijfels. Zie bijvoorbeeld Schreuder (1981).

Omdat de disability glare voor het grootste deel (volgens velen volledig) wordt veroorzaakt door lichtverstrooiing in het oog, hangt de mate van verblindingshinder sterk af van de conditie van het oog zelf. Het is bekend dat er grote verschillen bestaan in de helderheid van de oogmedia wanneer men verschillende mensen vergelijkt. Vooral de leeftijd is van groot belang. De hierboven genoemde factor K is dan ook geen constante, maar hangt sterk af van de leeftijd, en vertoont verder een aanzienlijke spreiding "tussen personen". Verschillen van een factor 10 tussen personen kan gemakkelijk voorkomen. Het is dan ook de vraag of het zinvol is de verblindingsmet grote precisie te bepalen. Vos (1983) heeft ook deze leeftijdsafhankelijkheid bestudeerd. Zie voorts Gregory (1970); Schouten (1972); Fry (1965) en Schreuder (1981).

## 2.6. Waarnemingsafstanden

Visuele informatie is de input van het (gedrags-)systeem; de handelingen (het verkeersgedrag) is de output ervan. Het systeem is een beslissings-systeem. De beslissingen betreffen de keuze (de selectie) van de meest adequate manoeuvre gegeven de input. De selectie hangt dus af van de omstandigheden. Om de juiste keuze van de manoeuvre te kunnen maken, heeft de verkeersdeelnemer derhalve een beeld nodig van de omgeving. Dit beeld betreft de feitelijke, actuele toestand van de situatie, maar belangrijker nog, het betreft de toekomstige toestand.

De toekomstige situatie kan uiteraard alleen geschat worden. Deze schatting is voor een groot deel gebaseerd op een extrapolatie van de feitelijke situatie op het moment, in combinatie met de gebeurtenissen uit het recente verleden; bij deze extrapolatie wordt gebruik gemaakt van de ervaring die de bestuurder heeft opgedaan in vergelijkbare situaties. Een oordeel over de situatie vormt dus een onderdeel van het proces. De uit de extrapolatie afgeleide verwachte, toekomstige situatie wordt het verwachtingspatroon genoemd. Het verwachtingspatroon is dus een beeld van de nabije toekomst dat is gebaseerd op twee dingen: de gebeurtenissen uit het recente verleden, en de ervaring die uit het geheugen worden afgeleid. Wanneer we hier spreken van het "nabije verleden" gaat het meestal om seconden en ten hoogste om minuten.

Op basis van het verwachtingspatroon worden ook bepaalde visuele elementen verwacht. Een bekend voorbeeld: ziet men een bal de weg op rollen, dan mag men "verwachten" dat er een kind achteraan zal hollen. Weet men dit, of mag men dit op basis van de ervaring verwachten, dan kan men bewust naar dit element (dit kind) gaan zoeken. Door het zoeken wordt de waarnemer ineens in een actieve rol geplaatst; in plaats van passief af te wachten welke informatie bij de waarnemer terecht komt ("toevallig" of niet), wordt er nu gezocht. Daarbij kunnen verschillende zoekstrategieën aan de orde komen (heuristieken).

We zullen hier de term zichtruimte gebruiken om de mate aan te geven waarin "vooruit" kan worden gezien; het kan daarbij gaan om de gewenste (of vereiste) zichtruimte, maar ook om de beschikbare zichtruimte. Wanneer er

geen verwarring kan optreden, gebruiken we soms de meer gangbare, uit het Engels afkomstige term "preview" (Schreuder, 1991). Onder de zichtruimte wordt hier verstaan de afstand (uitgedrukt in tijd of in lengte) waarop een voorwerp (of een groep van voorwerpen) gezien moet kunnen worden om de betreffende, door het voorwerp noodzakelijk geworden manoeuvre, nog op een redelijke mate uit te voeren. In redelijke mate betekent daarbij: zonder zichzelf of het overige verkeer in gevaar te brengen, en zonder ernstige overlast te ondervinden of te veroorzaken. En dit alles moet niet alleen op de "juiste" en de "correcte" wijze gebeuren; ook dient het "tijdig" te gebeuren, en wel bij voorkeur zo tijdig dan herstelmanoeuvres nog mogelijk zijn. Dit laatste punt leidt tot vragen betreffende de (vereiste) zichtruimte.

Om deze vragen te kunnen beantwoorden, is het nodig in wat meer detail te bekijken wat de verkeerstaak inhoudt. De verkeerstaak houdt in laatste instantie in het veilig, vlot, en bij voorkeur comfortabel bereiken van de bestemming (en dit met minimale kosten) (zie Schreuder, 1974; 1988a). De vlotheid en het comfort kunnen worden samengevat in een apart taakaspect, dat hier verder buiten beschouwing blijft. De veiligheid heeft twee deelaspecten: het vermijden van verwachte en het vermijden van onverwachte objecten die botsingsgevaar opleveren. (zie Schreuder, 1985a)

We noemden reeds enige belangrijke verschillen tussen "gewone" manoeuvres en "nood"-manoeuvres. Er zijn nog twee verschillen aan te geven. Het eerste verschil is gelegen in de toelaatbare (resp. de noodzakelijke) remvertraging. Bij een gewone manoeuvre moet rekening worden gehouden met het overige verkeer, en tot zekere hoogte met comfort-aspecten; een remvertraging van meer dan 2,5 à 3 m/s<sup>2</sup> (bij snelheden boven ca. 30 km/uur) is niet acceptabel. Bij een noodmanoeuvre mag echter een hogere remvertraging worden toegelaten; als praktisch maximum neemt men gewoonlijk 5 m/s<sup>2</sup>, de minimale eis voor een personenauto om aan het verkeer te mogen deelnemen. Met een goede auto, met goede banden en op een goed wegdek is deze waarde ook bij vochtig weer meestal redelijk goed te bereiken. Met comfortabel rijden is deze waarde echter niet te rijmen. Over de eisen die aan de remvertraging moeten worden gesteld, rekening houdend met rijden in normaal verkeer alsmede met verlangens aangaande rijcomfort, is weinig onderzoek bekend. In Schreuder (1981) is een samenvatting gegeven, waaruit de bovenstaande waarden zijn ontleend.

Het tweede verschil tussen "gewone" manoeuvres en "nood"-manoeuvres is het feit dat een gewone manoeuvre steeds in het verwachtingspatroon past, en een noodmanoeuvre nooit. Dit volgt zonder meer uit de definitie van deze twee soorten manoeuvres. Het gevolg is dat men voor een noodmanoeuvre een langere reactietijd moet nemen dan voor een gewone manoeuvre. De bekende "schrikseconde" is waarschijnlijk aan de korte kant. Op basis van onderzoek van Riemersma (1979, 1985) wordt verder uitgegaan van een reactietijd van 3 seconden. Ook over de eisen die aan de minimale reactietijd moeten worden gesteld, rekening houdend met rijden in normaal verkeer alsmede met verlangens aangaande rijcomfort, is weinig onderzoek bekend. In Schreuder (1991) is een samenvatting gegeven, waaruit de bovenstaande waarde van 3 sec. is ontleend.

In Tabel 4 zijn de waarden van de vereiste zichtruimte gegeven voor wegen buiten de bebouwde kom, waarbij de feitelijke (nominale) snelheid is gesteld op 25 m/s (ongeveer 90 km/uur). Zie voor details Schreuder (1992 a). Deze minimaal noodzakelijke waarden van de zichtruimte zijn uit theoretische overwegingen afgeleid.

Uit deze tabel blijkt dat voor de hierboven genoemde manoeuvres (voor 90

km/uur) de volgende minimale waarden van de zichtruimte genomen moeten worden:

- dwarspositie kiezen/handhaven binnen de rijstrook: 75 meter
- snelheid kiezen: 75 meter
- stoppen voor discontinuïteit: 175 meter
- nemen van een bocht: 375 meter
- noodmanoeuvre: uitwijken: 125 meter
- idem: noodstop: 140 meter

Er zij hier gewezen op het verschil dat er bestaat tussen de waarden zoals die hierboven (en in Tabel 4) zijn gegeven, en de waarden die men in de populaire literatuur kan tegenkomen. De hier gegeven waarden zijn groter, en vaak aanzienlijk groter. Het verschil zit in hoofdzaak in de meer realistische aannamen over de "reactietijd" en over de remvertraging die hier zijn gehanteerd.

Uit Tabel 4. blijkt voorts dat het vooral de wegmarkeringen zijn die als visueel kritische elementen kunnen optreden, Dit geldt met name voor de manoeuvres "kiezen dwarspositie" en "kiezen snelheid". De vereiste zichtruimte is daarbij (voor 90 km/uur) 75 meter. Bij de manoeuvre "stoppen voor discontinuïteiten" is de minimaal vereiste zichtruimte (ook voor 90 km/uur) ca. 175 meter. Voor afstanden van deze grootte-orde zijn wegmarkeringen, maar ook kleine, diffuus reflecterende, stationaire objecten niet van groot belang; wanneer er gestopt moet worden, dienen er andere objecten aanwezig te zijn die de noodzaak om te stoppen duidelijk maken. Omgekeerd is het natuurlijk ook niet nodig om te stoppen voor een wegmarkering of voor een doosje van 20 cm!

We vermeldden hierboven reeds het belangrijke IZF-onderzoek van Walraven (1980) en van Padmos (1981, 1988) betreffende de visuele elementen die voor het wegverkeer van belang zijn. In die studies komen andere aspecten van het rijgedrag aan de orde, zodat we ze hier niet verder bespreken.

## 2.7. Operationalisering

Ten behoeve van de methode om de kwaliteit van de verlichting in tunnels te bepalen, moeten deze gezichtspunten voor de drie belangrijkste (groepen van) risico-objecten worden geoperationaliseerd. Dit wordt in deze par. uitgewerkt. Begonnen wordt met de adaptatie, omdat die bij alle objecten van belang is.

### 2.7.1. de adaptatieluminantie.

De adaptatieluminantie wordt bepaald door het drempelcontrast te bepalen. Wanneer bij twee verschillende luminantiepatronen in het gezichtsveld het drempelcontrast even groot is, kunnen die twee situaties met dezelfde adaptatieluminantie worden gekenmerkt. Wanneer het drempelcontrast in die twee situaties niet gelijk is, kan met behulp van de RCS-functie (zie par. 2.4.) de adaptatieluminantie worden genormeerd.

In de straatverlichting gebruikt men gewoonlijk een benadering om de adaptatieluminantie te bepalen. Daarbij neemt men aan dat de adaptatieluminantie gelijk is aan de gemiddelde luminantie van het wegdek. Voor de omstandigheden zoals die zich bij de normale straatverlichting voordoen, is deze aanname te verdedigen, omdat de blik van de autobestuurder/waarnemer vrijwel steeds op het wegdek is gericht, en omdat de omgeving vrijwel steeds aanzienlijk donkerder is dan het wegdek. Dit geldt met name voor de verlichting van de wegen waarvoor de luminantie als criterium voor de verlichtingskwaliteit wordt gebruikt: de verkeerswegen (NSVV, 1991). Voor

tunnels kan deze benadering echter niet worden gebruikt, omdat in tunnels de wanden meestal tenminste even helder zijn als het wegdek, en vaak aanzienlijk helderder (NSVV, 1992; Schreuder, 1990). De uit Hopkinson & Collins (1970) ontleende Afbeelding 7 geeft aan dat de adaptatieluminantie en de luminantie van (delen van) het gezichtsveld ver uiteen kunnen liggen.

Een tweede benadering van de adaptatieluminantie kan gevonden worden in het bepalen van de equivalente sluiertiluminantie. Dit verschijnsel is uitgebreid beschreven in par. 2.5. De sluiertiluminantie is van belang voor de praktijk van de verlichting van tunnelingangen, en komt daarom ook in de onderhavige methode aan de orde. De uitvoering ervan is in par. 3. beschreven. Voor het bepalen van de adaptatieluminantie is echter de directe methode gekozen, omdat alleen dan via de RCS-kromme de adaptatieluminantie kan worden genormeerd. De sluiertiluminantie is daarbij enerzijds als een correctiefactor te beschouwen, anderzijds is deze luminantie van belang voor het "sturen" van de verlichtingsinstallatie - dat wil zeggen het aanpassen van de ingangsverlichting aan de momentane toestand van het daglicht.

#### 2.7.2. Risico-object: auto's

Op grond van overwegingen van de verkeersveiligheid in tunnels wordt gewoonlijk van de verlichting geëist dat ook stilstaande grote obstakels zo tijdig moet kunnen zien dat ervoor kan worden gestopt. Het gaat om obstakels van de maat van auto's; dat wil zeggen dat men er niet omheen kan rijden. Dit betekent in termen van hetgeen in par. 2.6. is gesteld dat de waarneembaarheidsafstand (de "preview") ten minste 140 meter moet bedragen (bij de voor autosnelwegen "matige" snelheid van 90 km/h).

Wat betreft de waarneembaarheid heeft deze eis een aantal consequenties:

- a. een stilstaande auto moet kunnen worden waargenomen wanneer de auto in de tunnel staat en de waarnemer zich nog buiten de tunnel bevindt. Hier heeft men te maken met het "zwarte gat-effect".
- b. een obstakel van de maat van een auto beslaat op 140 meter een hoek van ca 35 boogminuten; het gaat "visueel" dus om een klein object.
- c. de auto moet als een "obstakel" worden herkend: niet alleen als een auto, maar bovenal als een stilstaande auto.

Wat betreft a.: dit betekent dat de adaptatieluminantie moet worden bepaald. Wat betreft b.: het gaat om de waarneming van een object dat in hoekmaat betrekkelijk klein is. Daarbij komt het contrast tussen het object en zijn directe achtergrond aan de orde. Omdat het in feite om een groot object gaat dat op aanzienlijke afstand moet worden gezien, beslaat een eventueel door het object op de weg ervoor geworpen schaduw een kleine hoek, en kan worden verwaarloosd. Dit punt is vooral van belang bij de discussie over de voor- en nadelen van tegenstraalverlichting in tunnelingangen. Bij c. komen twee aspecten aan de orde: de contrasten van onderdelen van de auto ten opzichte van elkaar, en de herkenning van "kwalitatieve" aspecten zoals glimplekken, reflecties van lichtbronnen e.d. In par. 3 wordt uitgewerkt hoe deze aspecten kunnen worden bepaald.

#### 2.7.3. Risico-object: wanden en guard-rails

In Tabel 3 is aangegeven dat van de dodelijke ongevallen die op de open weg gebeuren, en die van een type zijn dat voor tunnels relevant lijkt te zijn, bijna 20% te maken heeft met manoeuvres in lengterichting; van de ongevallen met letsel is het ruim 22%. In par. 2.2.3. hebben we aangegeven dat we deze getallen ook voor tunnels gebruiken, ofschoon bekend is dat tunnels een "speciaal geval" zijn, en waarschijnlijk in vele opzichten



afwijken van de open weg. Onder "manoeuvres in lengterichting" verstaan we hier alle ongevallen waarbij een botsing met de wand, de guard-rails of andere constructies in lengterichting plaats vindt. Daarbij is aangenomen dat auto's die op de open weg van de weg raken en ongevallen in de berm veroorzaken (of ondergaan), in een tunnel wel tegen de wand "moeten" botsen. Immers, bermen ontbreken vrijwel altijd in tunnels.

We kunnen deze resultaten vergelijken met die welke voor de zgn. "80 km/h-wegen" zijn verzameld. Ook op deze wegen komen veel eenzijdige ongevallen voor (Schoon, 1990). Een ongeval wordt als "eenzijdig" betiteld wanneer er geen andere aan het verkeer deelnemende voertuigen bij zijn betrokken. Bochten schijnen speciale problemen op te leveren. Bij het overgrote deel van de eenzijdige ongevallen raakt het betreffende voertuig van de weg; de botsing vindt dan vooral plaats met bermmeubilair (bomen enz). Voor tunnels wordt dan, zoals gezegd, aangenomen dat het betreffende voertuig tegen de tunnelconstructie (wand, guard-rail enz.) botst.

Voertuigen raken van de weg wanneer de deelmanoeuvres "dwarspositie kiezen/handhaven binnen de rijstrook" en/of "snelheid kiezen" onjuist worden uitgevoerd, en wanneer de daarop volgende "noodmanoeuvre" zonder succes wordt uitgevoerd. De visuele informatie die nodig is om dergelijke "fouten" te voorkomen, heeft vooral te maken met de geleiding. Men kan dus stellen dat ongevallen, waarbij fouten zijn gemaakt wat betreft de manoeuvres in lengterichting, ongevallen zijn waar het aan de geleiding heeft gemankeerd.

Uit een nadere analyse (Schreuder & Schoon, 1992) blijkt dat het vooral wegmarkeringen zijn, die de informatie kunnen verschaffen over de geleiding; informatie die een bestuurder nodig heeft om niet van de weg te raken. De door deze markeringsmiddelen verschaft informatie kan in vele gevallen worden aangevuld door de informatie afkomstig van bermreflectoren, lichtpunten, verkeersborden, waarschuwingstekens en -lichten. Van belang is te constateren dat het duidelijk zichtbaar zijn van de lichtpunten in tunnels - vooral van buiten naar binnen gezien - als een voordeel geldt voor tegenstraalverlichting. Zie Narisada et al., (1977) en Schreuder (1992).

Zoals in par.2.6. is toegelicht, is voor iedere manoeuvre een bepaalde "preview" nodig; de objecten die de manoeuvre nodig maken, moeten tijdig worden waargenomen. In Tabel 1 zijn de waarden van de preview gegeven voor wegen buiten de bebouwde kom, waarbij de feitelijke (nominale) snelheid is gesteld op 25 m/sec (ongeveer 90 km/h). Deze minimaal noodzakelijke waarden van de preview zijn uit theoretische overwegingen afgeleid. Uit deze tabel blijkt dat voor het kiezen en handhaven van de dwarspositie kiezen/handhaven binnen de rijstrook (voor 90 km/h) de volgende minimale waarden van de preview ten minste 75 meter moet zijn. Voor het nemen van een bocht is een veel grotere preview nodig: ten minste 375 meter. Deze (samengestelde) manoeuvre is echter voor tunnels van ondergeschikt belang. Wanneer men fouten wat betreft de geleiding wil voorkomen, moeten de geleidingsmiddelen ten minste op 75 meter zichtbaar zijn; wanneer men de kwaliteit van een verlichting voor een tunnel wat dit betreft wil beoordelen, dan moet de waarneembaarheid van geleidingsmiddelen op 75 meter afstand worden beoordeeld.

De waarneembaarheid van voorwerpen die in de lengterichting van de tunnel (of van de weg) min of meer continu zijn, wordt bepaald door het contrast tussen het voorwerp en de achtergrond. Ofschoon er allerlei markerings- en geleidingsmiddelen in tunnels worden toegepast, hebben we de wegmarkeringen gekozen als criterium voor de waarneembaarheid. Het bedoelde contrast

betreft dus het contrast tussen de wegmarkering en het wegdek, waarop de markering is aangebracht. In par. 2.2.4. zijn we ingegaan de verlichtingskundige aspecten die met deze constatering samenhangen; meer in het bijzonder op de invloed van de reflectie-eigenschappen van de wegmarkeringen. In par. 3 bespreken we de praktische uitvoering ten behoeve van de bedoelde meetmethode.

#### 2.7.4. Risico-object: losse voorwerpen op de weg

Uit Tabel 4. volgt, dat botsingen met "losse voorwerpen op of naast de weg" op de open weg nauwelijks voorkomen. Zelfs wanneer men alleen de voor tunnels relevante situaties bekijkt, is het aantal ongevallen dat met dergelijke objecten te maken heeft, minder dan twee procent. Dit geldt voor alle wegen; wanneer men de gegevens zou hebben voor tunnels in auto(snel)wegen, mag men verwachten dat de bijdrage van losse voorwerpen relatief geringer is. In par.2.3. hebben we aangegeven dat zulks alleen maar een vermoeden kan zijn, omdat gegevens ontbreken. Toch is het nodig om voorwerpen op de weg als risico-dragende objecten te beschouwen.

De detecteerbaarheid van kleine voorwerpen is besproken in par.2... Uit Afbeelding 6 is afgeleid dat ook voorwerpen die als "kleine obstakels" kunnen worden beschouwd (stenen, dozen, uitlaatpijpen enz.) buiten het gebied van de "wet van Ricco" vallen, en dus visueel niet als klein zijn aan te merken: de detecteerbaarheid wordt door het contrast bepaald en niet door de afmeting. De relevante psycho-fysische determinant is dus de contrastgevoeligheid, en niet de gezichtsscherpte.

Bij de bespreking van auto's als risico-object (par 2.7.2.) hebben we reeds aangeduid dat de meting van de contrastgevoeligheid van belang is. Daar ging het om het contrast tussen de auto zelf (een groot voorwerp op grote afstand) en de achtergrond, en om het contrast van onderdelen van de auto ten opzichte van elkaar. Bij kleine obstakels op de weg gaat het om het contrast tussen het obstakel en de weg (het wegdek). Daarbij moet met nog een extra factor rekening worden gehouden: de schaduw die het object op de weg kan werpen ten gevolge van de verlichting door lichtbronnen achter ("voorbij") het object. Deze factor zou vooral bij tegenstraalverlichting een rol kunnen spelen. Uit Afbeelding 8 blijkt echter dat de schaduw, gezien vanuit de positie van de automobilist-waarnemer, slechts een (kleine) hoek van minder dan een boogminuut beslaat. De invloed van de schaduw op de waarneembaarheid van kleine obstakels kan dus verwaarloosd worden. Het is dus om deze reden niet nodig om een "echt" voorwerp op de weg te plaatsten; het is voldoende om de contrastgevoeligheid bij de geldende adaptatietoestand te bepalen.

#### 2.7.5. Waarnemingscriteria voor obstakels in tunnels

Samenvattend omvat de methode ter bepaling van de kwaliteit van de ingangsverlichting van verkeerstunnels de volgende aspecten:

- \* bepaling van de adaptatietoestand;
- \* bepaling van de sluiertluminantie;
- \* bepaling van het "interne" contrast bij (visueel middelmatig grote) objecten (auto's);
- \* bepaling van de herkenbaarheid van (visueel middelmatig grote) objecten (auto's);
- \* bepaling van het drempelcontrast van in de lengterichting geplaatste objecten in het vlak van de weg (wegmarkeringen);
- \* bepaling van het drempelcontrast van op het wegdek geplaatste kleine objecten (obstakels).

- dwarspositie kiezen/handhaven binnen de rijstrook:	75 meter
- snelheid kiezen:	75 meter
- stoppen voor discontinuïteit:	175 meter
- nemen van een bocht:	375 meter
- noodmanoeuvre: uitwijken:	125 meter
- idem: noodstop:	140 meter

Tabel 1. De minimale waarden van de zichtruimte voor een aantal typen manoeuvres; snelheid 90 km/uur. (naar Schreuder, 1993).

	Totaal ong	dodelijke afloop
1 voertuigen zelfde weg zelfde richting	5 201	82
2 voertuigen zelfde weg tegen. richting	3 104	147
3 zelfde weg, afslaan	4 066	74
4 zelfde weg, afslaan	4 177	79
5 kruising	7 287	231
6 kruising	4 749	68
7 met geparkeerd voertuig	1 307	25
8 met voetganger	4 054	192
9 voorwerp (zonder 931 en 951)	4 308	254
931 vanrail	549	28
951 los voorwerp op of langs de weg	240	5
0 eenzijdige ong (zonder 011, 021, 022)	847	48
011 slippen op de weg	1 749	21
021 van de weg, recht	120	3
022 van de weg, bocht	101	1
. totaal		41 859 1 258

Tabel 2. Verkeersongevallen en slachtoffers volgens manoeuvres van het ongeval, 1988 (getallen en nummering van rubrieken ontleend aan CBS, 1989).

	Totaal ong	%	dodelijke afloop	%
* voertuigen zelfde weg	8 305	75	229	79,8
* vanrail, slippen, van de weg	2 519	22,8	53	18,5
* los voorwerp	240	2,2	5	1,7
* totaal relevant voor tunnels	11 064	100	287	100

Tabel 3. Voor tunnels relevante verkeersongevallen en slachtoffers volgens manoeuvres van het ongeval, 1988 (getallen en nummering van rubrieken ontleend aan CBS, 1989; zie ook Tabel 2). Relevant voor tunnels de rubrieken 1; 2; 931; 011; 021; 022; 951

Manoeuvre	preview (m)	visueel kritisch element
* Dwarspositie	75	wegmarkeringen
* Snelheid (gekozen)	75	wegmarkeringen
.. (voorligger)	...	(voorligger)
* Bochten	375	lichtmasten, bermreflectoren
* Inhalen zonder tegenliggers (niet relevant)		
* Inhalen met tegenliggers	600 - 1250	lichtmasten (tegenliggers)
* Stoppen voor discontinuïteiten	175	(wegmarkeringen), bermreflectoren, voorwaarschuwingstekens, verkeers- tekens, waarschuwingslichten, verkeerslichten
* Noodmanoeuvres		
.. uitwijken	125	obstakels (ander verkeer)
.. noodstop	140	obstakels (ander verkeer)

Tabel 4. De "preview" (Schreuder, 1993)

## A VI Methoden van onderzoek

Deel A wordt afgesloten met een aantal algemene beschouwingen over de methoden van onderzoek die voor de studie van de verkeersveiligheid, en van de effecten van bepaalde hulpmiddelen (zoals bijvoorbeeld de wegverlichting) in aanmerking komen. Behalve een aantal theoretische opmerkingen over statistische methoden en hun voor- en nadelen voor de toepassing op ongevallen-onderzoek, komen de bepaling van de baten en tot zekere hoogte van de kosten aan de orde. Deze gegevens zijn nodig voor een bestudering van de kosten/baten-relaties.

Het onderdeel A VI is ontleend aan een SWOV-rapport uit 1992 (R-92-39) en een cursus uit 1993, alsmede aan een oudere bijdrage aan een rapport van de Internationale Verlichtingscommissie CIE. Sinds deze studies is er, met name op het gebied van de kosten/baten-studies veel werk verricht, deels binnen de SWOV en deels erbuiten. Voor de SWOV-studies kan worden verwezen naar:

Flury, F.C. (1992). *De kosten van de verkeersonveiligheid; Een interim-rapport*. A-92-31. SWOV, Leidschendam, 1992 (niet gepubliceerd).

Schreuder, D.A. (1992a). *Openbare verlichting als verkeersveiligheidsmaatregel; stand van zaken en toekomst*. R-92-64. SWOV, Leidschendam, 1992.

Poppe, F & Mulder, J.A.G. (1994). *Kosten-effectiviteit van verkeersveiligheidsmaatregelen*. SWOV, Leidschendam, 1994 (in druk)

Voor de studies buiten de SWOV kan worden verwezen naar:

Schreuder, D.A. (1993). *Het niveau van de openbare verlichting op verschillende categorieën van wegen*. DSC Duco Schreuder Consultancies, Leidschendam, 1993.

Schreuder, D.A. (1994). *Kosten-Nutzen Ueberlegungen für Straßenbeleuchtung*. LICHT94, Interlaken, Switzerland, September 1994. DSC Duco Schreuder Consultancies, Leidschendam, 1994.

## 2. Opzet

Het onderzoek is uitgevoerd als een ongevallenstudie, of meer specifiek, als een zgn. relatie-onderzoek. Daarbij worden de aard (eventueel de ernst) van ongevallen vergeleken met andere kenmerken van de verlichting. Het onderzoek is gebaseerd op de hypothese dat bij een toenemend lichtniveau het risico voor ongevallen afneemt. Deze hypothese is gebaseerd op het feit dat openbare verlichting een effectieve verkeersveiligheidsmaatregel is, en dat er een duidelijke relatie bestaat tussen het lichtniveau en de visuele prestaties. Ofschoon de relatie tussen de visuele prestatie en de verkeersveiligheid nog maar zeer ten dele bekend is, mag de hypothesen als "plausibel" worden aangemerkt.

Het "relatie-onderzoek" gaat om het bepalen van de relaties tussen groepen van gegevens betreffende de volgende aspecten:

- ongevallenkenmerken
- verlichtingskenmerken
- wegkenmerken
- verkeerskenmerken
- criminaliteitskenmerken.

Het belangrijkste oogmerk van de studie was het verkrijgen van een grote "steekproef" aan ongevallen te krijgen. Het onderzoek is uitgevoerd in betrekkelijk kleine geografisch en organisatorisch af te grenzen "gebieden".

### 3. Benodigde gegevens

Zoals hierboven is aangeduid zijn gegevens over de ongevallen, de verlichting, de weg en het verkeer (en de criminaliteit) nodig. Deze gegevens dienen voor alle wegen en straten die bij het onderzoek betrokken waren, apart te worden verzameld. In totaal ging het om ongeveer drie duizend straten. De ongevallengegevens zijn voor alle betrokken gemeenten verzameld. Gegevens wat betreft de criminaliteit zijn allen voor de Gemeente Oss beschikbaar.

#### 3.1. Ongevallengegevens

De onveiligheid wordt gewoonlijk gekarakteriseerd door het aantal ongevallen. In Utrecht en Oss is gebruik gemaakt van de gegevens die door de Dienst Verkeersongevallenregistratie VOR zijn vastgelegd. Voor Amsterdam, Leeuwarden en Barendrecht zijn de door de gemeente zelf opgestelde registraties gebruikt; het betrof meestal de ongevallen die naar de VOR zijn doorgegeven. Wat dat betreft zijn alle gegevens in dezelfde mate behept met de bekende problemen van de "zwartcijfers" bij de registratie. De SWOV gebruikt voor landelijke analyses alleen ongevallen met letsel (gewonden en/of doden). Voor het onderhavige onderzoek, dat regionaal (locaal) was begrensd, zijn alle ongevallen gebruikt, ook ongevallen met uitsluiten materiële schade, onder de aanname dat de zwartcijfers niet op een systematische wijze afhangen van het lichtniveau van de openbare verlichting.

De VOR splitst de ongevallen op naar kruisingen en wegvakken, zodat het niet gemakkelijk om uit te maken bij welke weg de ongevallen op kruisingen behoren. Het bleek niet mogelijk te zijn om een algemeen geldige wijze van toedeling te vinden, zodat de toedeling van kruispuntongevallen naar wegen met de hand is gedaan. Uiteraard is dit een tijdsintensieve bezigheid. Wel bood dit de mogelijkheid om in twee gevallen de ongevallen op kruisingen en op wegvakken van elkaar te scheiden (Utrecht en Oss). Verderop zal blijken dat dit een belangrijk gegeven is.

#### 3.2. Verlichtingsgegevens

Het lichtniveau is gekarakteriseerd door de gemiddelde horizontale verlichtingssterkte Ehor op de rijbaan. Dit is slechts een benadering voor de grootheden die de waarneming in wegen en straten bepalen, met name van de luminantie van het wegooppervlak. Voor alle wegen en straten van de vijf gemeenten is de gemiddelde horizontale verlichtingssterkte op de rijbaan verschaft. Deze gegevens zijn op verschillende wijzen verzameld. Deels zijn ze rechtstreeks gemeten; deels zijn ze op basis van analogie met bekende straten geschat, en deels zijn ze berekend op grond van bekende gegevens over geometrie en verlichtingsmiddelen (armaturen en lampen).

De verlichting is ingedeeld in klassen. De klassen zijn zo gekozen dat tussen twee opvolgende klassen een "verschil" van wortel twee bestaat. Dit is gedaan met het oog op de hierna te bespreken avond- en nachtschakeling. De waarden zijn vervolgens afgerond. De klasse-indeling voor de verlichting is gegeven in Tabel 1.

### 3.3. Gegevens van weg en verkeer

Voor het in rekening brengen van gegevens over de weg en het verkeer is een classificatie van wegen nodig, waarin deze aspecten verdisconteerd zijn. In navolging van de Aanbevelingen voor Openbare Verlichting van de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde NSvV is voor een indeling in twee klassen gekozen: wegen met (in hoofdzaak) een verkeersfunctie, en wegen met (in hoofdzaak) een verblijfsfunctie (NSVV, 1989; 1990). Voor de eerste klasse wordt door de NSvV de wegdekkluminantie als belangrijkste criterium voor de verlichtingskwaliteit gebruikt, bij de tweede de verlichtingssterkte. We hebben hierboven reeds aangegeven dat voor de onderhavige studie met de verlichtingssterkte kan worden volstaan. De indeling in twee klassen van wegen sluit aan bij hetgeen ook in andere onderzoeken gebruikelijk is.

Deze klasse-indeling met slechts twee klassen heeft het voordeel dat het aantal straten en het aantal ongevallen per klasse behoorlijk groot is; het nadeel is dat in iedere klasse wegen voorkomen die onderling tamelijk sterk kunnen verschillen. Om dit laatste nadeel te ondervangen, is bovendien een klasse-indeling gebruikt die meer in detail gaat. Ook deze klasse-indeling volgt die van de NSvV (NSvV, 1989; 1990). Deze klasse-indeling is gebaseerd op de volgende vier ingangen:

- plaats van de weg in het verkeersnetwerk
- verkeers/verblijfsfunctie van de weg
- verkeersintensiteit
- infrastructuur (dwarsprofiel enz.)

Het gaat om kenmerken die objectief aan de weg zelf te bepalen (te meten) zijn. De NSvV-indeling omvat enige tientallen klassen. Dat is nodig voor het ontwerp van verlichtingsinstallaties. Voor het onderhavige onderzoek is de vereenvoudigde klasse-indeling op dezelfde kenmerken gebaseerd.

Voor alle wegen straten in alle betrokken gemeenten zijn de gegevens verschaft over wegtype en verkeer, zodat ze in de bedoelde klassen konden worden onderverdeeld. Een enkel probleem wordt hier gesignaleerd: te verwachten is dat er een zekere interactie zal bestaan tussen het "gevaar" van de weg bij duisternis en het lichtniveau dat voor die weg is geselecteerd. Wegen met meer verkeer zijn "gevaarlijker" dan wegen met weinig verkeer, en wegen waar met hoge snelheid wordt gereden zijn "gevaarlijker" dan wegen waar de snelheid laag is, en "gevaarlijke" wegen worden van een hoger lichtniveau voorzien.

### 3.4. Gegevens betreffende de criminaliteit

De Gemeente Oss heeft gegevens ter beschikking gesteld die konden worden gebruikt voor de analyse van de relatie tussen het lichtniveau en de criminaliteit. De gegevens betreffende de criminaliteit zijn verstrekt en gebruikt onder handhaving van strikte vertrouwelijkheid.



Wat betreft de criminaliteit zijn de gegevens van medio 1989 t/m medio 1991 gebruikt, en wel:

- . tasjesroof, totaal 25 opgaven
- . zedenmisdrijven, totaal 20 opgaven
- . inbraak aan de voorzijde van woningen, totaal 91 opgaven
- . inbraak aan de zijkant/achterkant van woningen, totaal 366 opgaven
- . inbraken in auto's, totaal 1404 opgaven.

Niet alle opgaven konden bij de analyse worden gebruikt, omdat (vooral bij de inbraakgevallen) niet steeds het tijdstip in voldoende nauwkeurige mate was opgegeven om na te gaan of het misdrijf bij daglicht, bij avond of bij nacht is gebeurd.

De volledigheid van deze gegevens kan niet exact worden beoordeeld. Uit landelijke gegevens is bekend dat slechts een deel van de misdrijven wordt aangegeven; naar schatting is het percentage van de geregistreeerde misdrijven niet meer dan 30 a 40% van het totaal. Het is echter niet te verwachten dat dit percentage op haar beurt weer van het lichtniveau afhangt.

### 3.5 Omvang van de gegevens

De hier gebruikte methode leidt tot een groot pakket gegevens. In deze par. wordt een overzicht gegeven van de omvang van het onderzoek.

#### a. Inwoners per 1 jan 1991

Amsterdam 702 444

Amsterdam West (schatting) 150 000

Barendrecht 20 202

Leeuwarden 85 693

Oss 51 685

Utrecht 231 231

omvang proefneming (ca) 540 000

#### b. Aantal geregistreeerde ongevallen 22 333

waarvan overdag 17 020

en duisternis 5 313

#### c. Aantal geregistreeerde misdrijven 1 018

### 3. Kosten/baten-analyses

De mate waarin aan de hierboven genoemde functies kan worden voldaan hangt voor een groot deel af van de kwaliteit van de openbare verlichting. En de kwaliteit op haar beurt is voor een aanzienlijk deel maatgevend voor de kosten van de openbare verlichting. Om te komen tot een optimale besteding van gelden is derhalve een vergelijking tussen de "kosten en de "baten" van de openbare verlichting nodig.

Kosten/baten-analyses betreffende openbare verlichting kunnen in beginsel voor drie doelen worden gebruikt:

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

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

De monetaire kosten zijn te verdelen in drie onderdelen:

- . de installatiekosten;
- . de energiekosten (stroomkosten);
- . de onderhoudskosten.

In eerste benadering zijn de installatiekosten en de onderhoudskosten onafhankelijk van het lichtniveau, en de stroomkosten recht evenredig met het lichtniveau. Bij weinig (nachtelijk) verkeer zullen de kosten dus veelal hoger zijn dan de baten; bij veel nachtelijk verkeer kan het omgekeerde optreden. Overigens zij hier met nadruk erop gewezen dat het vaststellen van de kosten van de verlichting, zelfs wanneer men zich tot de monetaire kosten beperkt, bepaald geen eenvoudige zaak is.

De niet-monetaire kosten betreffen een drietal milieu-aspecten:

- . het energiegebruik (grondstoffengebruik);
- . de met de energie-opwekking gepaard gaande uitstoot en productie van afval (CO<sub>2</sub>; zwavel; radio-actieve producten);
- . "lichtvervuiling" (strooilicht en intrusie).

De baten zijn eveneens te verdelen in monetaire baten en niet-monetaire baten. Voor iedere van de hierboven genoemde zes functies kunnen deze kosten worden bepaald. In beginsel tenminste; in de praktijk valt dit vaak tegen omdat vaak de noodzakelijke gegevens ontbreken.

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

### 3.2. De invloed van het lichtniveau op de baten

Als hypothese wordt gewoonlijk gesteld dat de baten van de openbare verlichting (bijvoorbeeld uitgedrukt in het risico voor ongevallen) toenemen bij een toenemend lichtniveau. Deze hypothese is gebaseerd op praktische feiten en theoretische overwegingen. De feiten zijn het bekende, verderop nader te bespreken resultaat van onderzoek waaruit blijkt dat openbare verlichting een effectieve verkeersveiligheidsmaatregel is. De theoretische overwegingen zijn gebaseerd op het feit dat men bij meer licht beter kan zien, en dus ook beter kan rijden: ("hoe meer licht, des te veiliger").

De hypothese kan nader worden geïllustreerd. Wanneer men een maat voor het ongevalrisico bij duisternis (bijvoorbeeld het quotiënt van de aantallen ongevallen bij duisternis en bij daglicht, de  $n/d$  ratio) uitzet tegen het lichtniveau (bijvoorbeeld uitgedrukt in de horizontale verlichtingssterkte  $E_{hor}$ ), verwacht men volgens de hypothese een kromme met een gedaante zoals weergegeven in Afbeelding 1. Deze kromme kan als volgt worden gekenschetst. De kromme begint niet bij lichtniveau nul, omdat motorvoertuigen tenminste dimlichten voeren, die een kleine, maar bij geringe openbare verlichting merkbare, bijdrage leveren tot het lichtniveau. Vervolgens neemt de  $n/d$  ratio af bij toenemend lichtniveau op grond van de eerder genoemde overwegingen. Deze afname blijft niet doorgaan, want ook bij zeer hoge lichtniveaus (bijvoorbeeld overdag) zijn er ongevallen die aan visuele aspecten zijn toe te schrijven. Het bestaan van dergelijke ongevallen is de belangrijkste beweegreden voor de invoering van "motorvoertuigverlichting overdag" (MVO). In de afbeelding betekent dit dat de kromme niet naar  $n/d = 0$  afdaalt, maar naar een waarde van  $n/d$  die groter is dan 0: de asymptoot. Na het bereiken van de asymptoot loopt de kromme verder "horizontaal".

Een analoge redenering kan worden opgezet wat betreft de andere functies van de openbare verlichting: zo kan men de nacht/dagverhoudingen voor het aantal misdrijven, voor de gevoelens van onzekerheid, en voor de oordelen over de leefbaarheid op precies dezelfde wijze uitzetten tegen het lichtniveau; in alle gevallen is een kromme van de gedaante van Afbeelding 1 te verwachten.

Het probleem doet zich voor dat een dergelijk verloop niet steeds wordt gevonden. Daarom zullen we iets dieper ingaan op deze hypothese.

Men neemt bij deze hypothese gewoonlijk aan dat er een eenvoudig verband bestaat tussen het lichtniveau en de verkeersveiligheid. In feite is deze aanname de combinatie van drie afzonderlijke aannamen, te weten:

1. Er bestaat een monotoon stijgende relatie tussen de gemiddelde horizontale verlichtingssterkte op het wegdek en de adaptatieluminantie.
2. Er bestaat ook een dergelijke relatie tussen de adaptatieluminantie en de visuele prestaties.
3. Bovendien bestaat er een dergelijke relatie tussen de visuele prestatie en de verkeersveiligheid.

Alleen wanneer er sprake is van een monotoon stijgende relaties is het mogelijk dat de "som" van deze drie relaties ook een monotoon stijgende relatie is.

Deze drie aannamen zijn plausibel; het is op basis van wat er bekend is over de psychofysische werking van het visuele systeem, en over de visuele aspecten van de verkeerstaak uitgesloten te achten dat de relaties andersom zouden zijn. Maar er bestaat een aanzienlijke onzekerheid over de praktijk. We zullen deze relaties

kort nader toelichten.

De eerste aanname (de relatie tussen de horizontale verlichtingssterkte en het adaptatieniveau) is alleen in zeer algemene termen juist. Wanneer men deze relatie meer in detail bekijkt, blijkt meestal dat er bij duisternis op wegen met een openbare verlichting geen rechtstreeks verband bestaat tussen de horizontale verlichtingssterkte op het wegdek en de wegdek-luminantie. Voorts beslaat het wegdek slechts een betrekkelijk klein deel van het gezichtsveld, zodat de adaptatietoestand mede (en vaak in overheersende mate) wordt bepaald door de luminanties in andere delen van het gezichtsveld. Allereerst dient men te denken aan de armaturen van de openbare verlichting, die immers steeds in het gezichtsveld voorkomen. Zelfs bij wegen die aan de door de NSvV en de CIE opgestelde eisen voor de beperking van de verblinding voldoen, is de adaptatieluminantie enige tientallen procenten hoger dan die welke met de wegdek-luminantie zou overeenkomen. Het is bekend dat vele installaties, ook in Nederland, niet aan de aanbevelingen van de NSvV of van de CIE voldoen, met name in woonstraten. Wanneer er in het gezichtsveld tegenliggers die dimlicht voeren, voorkomen, neemt de adaptatieluminantie sterk toe. Zelfs op goed verlichte wegen met een enkele tegenligger met goed afgestelde dimlichten kan de adaptatieluminantie gemakkelijk verdubbelen. Er zij hier ter zijde opgemerkt dat deze uitspraken niet gebaseerd zijn op een directe meting van de adaptatieluminantie; ze zijn afgeleid uit de stijging in de waarnemingsdrempel ten gevolge van de optredende verblinding, en zijn dus niet meer dan een - vrij accurate - benadering. En tenslotte kunnen andere lichtbronnen (etalages, kantoren, woonhuizen, sportvelden enz.) een aanzienlijke invloed hebben op de adaptatieluminantie. Kortom, het is niet te verwachten dat de adaptatieluminantie monotoon stijgende relatie zal vertonen met de gemiddelde horizontale verlichtingssterkte op het wegdek.

De tweede aanname (de relatie tussen adaptatieniveau en de visuele prestatie) is in de literatuur hecht gefundeerd. Het is algemeen bekend dat bij een toenemend adaptatieniveau de visuele prestaties toenemen. Het onderzoek in het gebied van het zgn. "mesopisch zien" heeft bovendien duidelijk gemaakt dat deze relatie vooral sterk is in het gebied van lichtniveaus dat voor deze onderzoeken relevant is.

Omtrent de derde relatie (tussen de visuele prestatie en de verkeersveiligheid) is slechts weinig onderzoek uitgevoerd. Meestal neemt men aan dat de relatie niet alleen bestaat, maar ook sterk is. Deze aanname zou afkomstig kunnen zijn van het "gezonde verstand"-oordeel, dat het "natuurlijk zo moet zijn: het is duidelijk dat je niet behoorlijk kan rijden wanneer je niet behoorlijk kan kijken". Wanneer men echter een stapje verder gaat, blijkt deze aanname helemaal niet "voor de hand" te liggen. Uit de ongevallenstatistieken komt duidelijk naar voren dat het risico om bij ongevallen betrokken te raken bij duisternis, bij slecht zicht en bij slecht weer aanzienlijk groter is dan bij goed zicht: de ongevallenquotiënten bij regen of bij mist zijn hoger dan die bij helder weer. Maar ondanks deze toename blijven de ongevallenquotiënten in absolute zin nog steeds bijzonder laag: de kans om levend thuis te komen is nog steeds tienduizenden malen groter dan de kans om onderweg een ongeval te krijgen. Voor mensen die blijvend een verminderde visuele prestatie hebben, komt daar nog de compensatie bij. Deze compensatie gaat zover dat er nauwelijks enig verband is gevonden tussen de visuele prestatie van afzonderlijke mensen en hun betrokkenheid in ongevallen. Dit leidt dan vanzelf tot de tweede aanname, die een meer "wetenschappelijk" karakter heeft. Uit de bestudering van de taak van verkeersdeelnemers (meer in het bijzonder van autobestuurders) is gebleken dat het overgrote deel (vaak schat men dit op 95% of meer) van de voor de uitvoering van deze taak benodigde informatie van visuele aard is. In die zin heeft de visuele waarneming dus een sleutelpositie: zonder visuele waarneming is verkeersdeelname als bestuurder van een voertuig onmogelijk (ter zijde: wel als voetganger!). Dit betekent echter in het geheel niet dat er een sterke relatie zou moeten bestaan tussen de kwaliteit (of de kwantiteit) van deze visuele waarneming en de kwaliteit van de verkeersdeelname (iets dat nog niet automatisch gelijk hoeft te zijn aan weinig in ongevallen betrokken te zijn; maar dat is een andere zaak die we hier buiten beschouwing laten). Integendeel. Er zijn aanwijzingen te over - vooral afkomstig uit recent onderzoek - dat ongevallen veel vaker samenhangen met verkeerde beslissingen dan met verkeerde waarneming: de cognitieve aspecten blijken in sterke mate de perceptieve aspecten te overheersen!

De tweede van de hierboven ingevoerde aannamen is goed te onderbouwd. Wat betreft de eerste en de derde aanname zijn er echter geen rechtstreekse onderzoeksresultaten bekend die het kwantitatieve aspect van deze relaties kunnen beschrijven. Men moet dus ernstig rekening houden met de mogelijkheid dat dergelijke monotoon stijgende relaties niet bestaan, of tenminste experimenteel niet zijn aan te tonen.

Bij openbare verlichting wordt vaak gekeken naar de "baten" van een eventuele verhoging van het lichtniveau. Uit onderzoek komt naar voren dat een verhoging van het lichtniveau inderdaad meestal samen gaat met een verbetering van de verkeersveiligheid. Om uit deze onderzoeksresultaten een algemene "regel" af te leiden moet onder meer met het verkeersaanbod rekening te houden. Bij een constant lichtniveau kan worden gesteld dat de opbrengst (de afname van het aantal ongevallen) in eerste benadering recht evenredig is met het verkeersaanbod - en dan in het bijzonder met het verkeersaanbod bij duisternis. Uit het onderzoek komt naar voren dat er duidelijke aanwijzingen zijn dat de afname van de nachtelijke ongevallen af hangt van het toegepaste lichtniveau.

Wat betreft de verkeersveiligheid zijn de monetaire baten afgeleid van de kosten van de ongevallen, waarbij men ervan uitgaat dat men kan bepalen hoeveel ongevallen door een verkeersveiligheidsmaatregel kunnen worden voorkomen ("bespaard"). Als uitgangspunt wordt de totale nationale economische schade op jaarbasis gebruikt. Men stelt de kosten van deze schade gewoonlijk op een bedrag tussen de 6 en 15 miljard gulden, afhankelijk van de economische definitie van schade. De niet-monetaire baten betreffen (het voorkomen van) menselijk leed, verlies van levenskansen en van levensvreugde. Het is moeilijk - hoewel niet onmogelijk - om een monetair equivalent voor deze niet-monetaire schade te definiëren.

#### 4. Enige aspecten van de verkeerspsychologie

##### 4.1. Het aspect snelheid

Het heeft er de schijn van dat tot nu toe bij de beschouwingen over de verkeersveiligheid in hoofdzaak legalistische standpunten worden gehuldigd. Men gaat ervan uit dat er bepaalde wegen zijn aan te wijzen die bij een bepaalde snelheid "veilig" zijn en bij hogere snelheid "onveilig". Deze grenssnelheid wordt als wettelijke limietsnelheid vastgelegd. Gegeven dit eenvoudige (overgesimplificeerde) beeld is het eenvoudig om de wegen weer opnieuw "veilig" te maken: zorg dat de snelheid waarmee wordt gereden niet boven de limiet komt. Dit gezichtspunt is duidelijk te vinden in de gangbare literatuur over de problematiek van de verkeersveiligheid; met name is dit te vinden in de polemieken over de 80 km/h-wegen en de autosnelwegen. Deze gedachte blijkt aan een belangrijk gedeelte van het huidige verkeersveiligheidsbeleid ten grondslag te liggen.

Bij deze beschouwing wordt aan een aantal belangrijke aspecten voorbijgegaan. Deze zijn:

- . het is niet mogelijk om voor afzonderlijke wegen, en zeker niet voor hele categorieën van wegen, aan te geven wat de "veilige" snelheid is;
- . er is, wat betreft de wegkenmerken, geen plotselinge, abrupte overgang tussen "veilig" en "onveilig"; de invloed van de persoonlijkheidskenmerken en het gedrag van de bestuurders/verkeersdeelnemers is daarvoor te groot;
- . weggebruikers zijn behept met de algemeen menselijke eigenschap dat ze nauwelijks bereid zijn een bevel, voorschrift of richtlijn op te volgen waarvan ze de functie niet inzien; wanneer de functie wel duidelijk is, worden voorschriften en richtlijnen daarentegen op grote schaal opgevolgd;
- . ongevallen behoren niet tot het "gewone" patroon van het weggebruik; het zijn steeds uitzonderingen.

Er moet derhalve een veel meer gedetailleerde aanpak worden gevolgd. Deze noodzaak blijkt uit de geringe respons van snelheidsbeperkende maatregelen, en meer in het bijzonder het geringe effect ervan wat betreft de veiligheid op 80 km/h-wegen.

##### 4.2. De aspecten risico en risico-compensatie

In vele gevallen kan worden geconstateerd dat het aanbrengen of verschaffen van een verkeersveiligheidsmaatregel minder "oplevert" dan in eerste instantie werd verwacht. Kennelijk wordt een gedeelte van de toegevoegde (extra) veiligheid die door de maatregel wordt verschaft, te niet gedaan door een wijziging van het gedrag. Deze gedachte is in theoretisch opzicht zeer in detail onderzocht; men spreekt daarbij van risico-compensatie. Een in redelijke mate compleet overzicht van de effecten van risico-compensatie in het verkeer is gegeven in een recent OECD-rapport (OECD, 1990). Dit rapport omvat het totale gebied van de verkeersveiligheid; waarschijnlijk met het oog om de omvang van het rapport beperkt te houden is over visuele aspecten, meer in het bijzonder die van openbare verlichting slechts summier behandeld. Meer

concreet, er zijn weinig gegevens bekend over een mogelijke compensatie bij het aanbrenge van openbare verlichting. Maar zo een dergelijke compensatie er zou kunnen zijn, uit de ongevallenstudies - die immers de compensatie mee in de resultaten betrekken - blijkt dat openbare verlichting een duidelijke positieve invloed heeft op de verkeersveiligheid. Ondanks eventuele risico-compensatie is openbare verlichting een doeltreffende verkeersveiligheidsmaatregel.

Zoals gebruikelijk bij beschouwingen over risico, risico-nemen en risico-compensatie wordt vrijwel uitsluitend de keuze van de rijsnelheid als maatgevend beschouwd voor het risico-nemend gedrag. Nu is de snelheid gemakkelijk te meten, maar het is de vraag of de snelheid wel een goede maat is voor dit gedragsaspect. Op de beperkingen van deze simplificatie (misschien wel een oversimplificatie) is reeds eerder gewezen.

Tenslotte nog een opmerking over de risico-homeostase. Sommige auteurs brengen de stelling naar voren dat in alle gevallen de verkeersdeelnemers hun gedrag zodanig aanpassen dat het uiteindelijke effect van verkeersveiligheidsmaatregelen precies nul is - precies te niet wordt gedaan door een corresponderende toename van het risico-nemend gedrag (dus precies te niet wordt gedaan door de hogere snelheid). Ofschoon uit de statistische gegevens van ongevallen zonder meer duidelijk is dat dit onjuist is, wordt deze "theorie" van tijd tot tijd weer naar voren gebracht. Bovendien gaat men eraan voorbij dat een hogere snelheid een kortere reistijd betekent, en dus ook een "baat" van de maatregel zou betekenen. Deze "theorie" verdient geen verdere aandacht. We zouden er derhalve ook geen aandacht aan willen besteden, ware het niet dat deze "theorie" te pas - maar uiteraard vooral te onpas - naar voren wordt gebracht wanneer mensen een bepaalde verkeersveiligheidsmaatregel niet geloven, maar ze geen behoorlijke argumenten hebben om de maatregel op redelijke gronden te bestrijden. Vooral bij de openbare verlichting is dit in het verleden vaak gebeurd: milieubewuste burgers bestrijden vaak de openbare verlichting door op de risico-homeostase te wijzen. Uiteraard zouden deze mensen hun eigen zaak veel beter dienen door te wijzen op de milieu-belasting van openbare verlichting, en tevens die van hard rijden.

## APPENDIX B

## THEORETICAL CONSIDERATIONS ON STATISTICAL ACCIDENT STUDIES

## B1. Theory of public lighting as an accident countermeasure

Road lighting may be supposed to act as an effective accident countermeasure because it enhances the possibility for visual perception. According to a generally accepted model of driver behaviour, perception permits interpretation; this leads to decisions and these result in actions (96). The driving task is primarily a decision making task.

The crucial concept is the perception, often expressed in terms of visibility. A road lighting installation provides visibility (the supply), the driving task requires visibility (the demand). The model, shown in Fig B1, can be constructed:

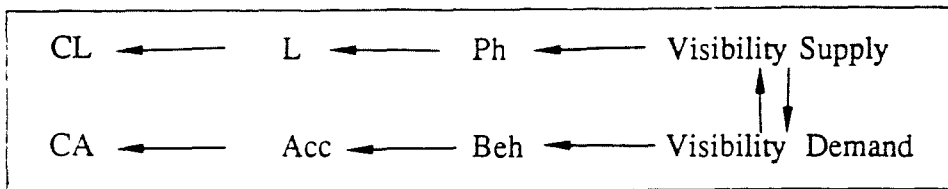


Fig B1. Model of visibility supply (and lighting costs) associated with visibility demand (and accident costs)

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

From this it can be concluded that road lighting is an effective accident countermeasure when the supply exceeds the demand; it is a cost efficient countermeasure when CA exceed CL. The costs and benefits are discussed in detail in Appendix A.

## B2. Methods of research.

Three methods of research can be considered:

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

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

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

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

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

Three kinds of comparison can be distinguished:

- \* The experiment/control site comparison, with/without lighting, that concerns two independent site samples, at the same time.
- \* The before/after lighting comparison on the same site sample (or two paired samples), the comparison being made for periods before and after the lighting change.
- \* The experiment/control site + before/after comparison, which concerns two best possible independent site samples (experiment and control). The experiment is observed before and after lighting, and control during the same period but without change.
- \* The comparisons are all the more valid if they concern random samples from among all the possible sites to be dealt with.

### B3. Statistical Studies

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

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

There are always two situations to be compared: with and without the measure (plus:P and minus:M).

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

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

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



### B3.1 The survey method

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

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

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

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

It may be concluded that this method has limited application to practical investigations regarding the effects of road lighting. Results should be used with caution, taking into account the limitations implied or stated in the particular studies.

### B3.2 The before-and-after method

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

It may be concluded that: Before-and-after studies are relatively simple to perform, but the results are of questionable value without a control, if long time periods are involved or other road works are involved.

### B3.3 Combined method

The comparison method and the before-and-after method can be combined with the aim to overcome some of the draw-backs of each of them. The combination is usually termed as Before-and-after study with control group. In some cases it is possible to arrange that all elements in the experimental group exactly match the elements of the control group. In road lighting research this is not necessarily the case as the roads qualifying for installation or improvement of the lighting may be conspicuous in respect of their accident history. In other words, the roads selected for lighting schemes are essentially non-randomly selected (see Section B4).

Often one is restricted to a more general control. The most simple one is to use the day-time as a control for the night-time. However, trends may be different in the day from the night, e.g. drinking-driving accidents. Still, on pragmatic grounds a reasonable selection can often be made as regards the relevant variables. If this is combined with the correction for trends by taking the day-time accidents and the traffic volumes into account, and if the influence of lighting columns is considered, the net result is acceptable as long as restrictions are spelled out and the application of the results is specified.

It may be concluded that the before-and-after method with controls allows investigations to be made with a reasonable degree of accuracy, provided any restrictions are carefully documented; it is the most reliable method.

### B4 Regression to the mean

The installation or the improvement of road lighting may result from a short term appraisal of the accident situation. The decision is then based on a relatively small number of accidents. As accident frequency can be described with acceptable accuracy by Poisson distributions, one may expect that even for constant mean and spread - that is, when nothing changes over a long time - the actual number of accidents will be quite different from one period to another.

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

This is relevant to this report in two ways: primarily it suggests that the priority for installation and upgrading of road lighting could be biased in the statistical sense. This factor should be taken into account when considering the roads for the control group. Further, it might mislead those who judge the effectiveness of lighting schemes, particularly small schemes where the number of accidents is small.

### B5 Samples sizes for before-and-after studies

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

	Before	After
Test	N	Nx
Control	N	N

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

The question arises of how large a sample  $N$  is required to give a reasonable chance of detecting a benefit of the treatment; i.e. of rejecting the null-hypothesis of no effect. This depends on (a) the desired detection probability (power of the test), (b) the size of change one would expect and (c) the level of statistical significance deemed acceptable.

Figure B2 shows the value of  $N$  for various percentage changes at a level of statistical significance of 5 per cent. This level is normally accepted as demonstrating the effect did not arise by chance. The figure refers to a two tailed test, i.e. a test of the null hypothesis of no effect against the alternative of some effect in *either* direction. If one wished to carry out a one-tailed test, by which large apparent increases in risk would not be regarded as disproving the null hypothesis, then the significance level would be halved or conversely  $N$  could be smaller.

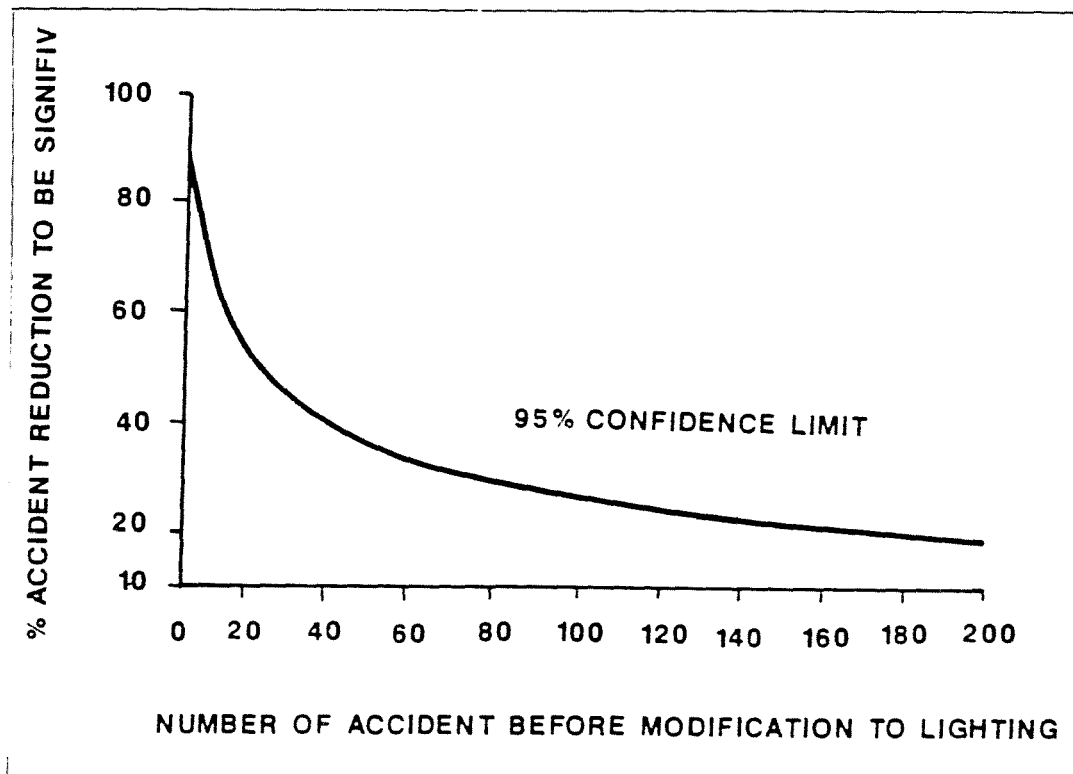


Fig B2. The accident change needed to show to statistical significance.  
Note: For illustration only, not for experimental design.

A long length of road and/or a long before and after period is needed to generate accidents, especially severe ones, in the numbers (N) needed to demonstrate statistical significance. The observations necessary can be deduced from the statistical test method and site conditions, as exemplified below:-

(a) with a one year before and after period the length of road must be:

AADT	Reduction in accidents	
	15%	30%
25 000	112km	26km
50 000	56km	13km

(b) with 10km of road the periods of observation before and after implementing lighting must be:

AADT	Reduction in accidents	
	15%	30%
25 000	11,2 years	2,6 years
50 000	5,6 years	1,3 years

It is assumed that:      night casualty rate = 1,25 per 106v  
                                   25% traffic at night  
                                   5% statistical significance level

Detailed information for planning accidents studies are given in reference [100].

## Literatuur A- en B-boek

- Adrian, W. (1964). Zur Blendungsbewertung bei der Beleuchtung von Strassen. *Lichttechnik* 16 (1964) 541-546.
- Adrian, W. (1969). Die Unterschiedsempfindlichkeit des Auges und die Möglichkeit ihrer Bewertung. *Lichttechnik* 21(1969)2A-7A.
- Adrian, W. (1978). Bericht über die Messung des Schöneegg-Tunnels von 17.2.78. (Niet gepubliceerd; Bijlage bij Riemenschneider, 1978).
- Adrian, W. (1989). Visibility of targets: Model for calculation. *Lighting Res. & Technol.* 21(1989)181-188.
- Adrian, W. & Schreuder, D.A. (1968). The assessment of glare in street lighting. *Light & Lighting* 61(1968) 360-361.
- Adrian, W. & Schreuder, D.A. (1970). A simple method for the appraisal of glare in street lighting. *Lighting Res. & Technol.* 2(1970) 61-73.
- Adrian, W. & Schreuder, D.A. (1972). A modification of the method for the appraisal of glare in street lighting. In: CIE, 1972.
- Anderson, K.A.; Hoppe, W.J.; McCoy, P.T. & Price, R.E. (1984). Cost-effective evaluation of rural intersection lighting levels. TRB 63rd Annual Meeting, Washington DC, 1984.
- Anon (1963). Research on road safety. HMSO, London, 1963.
- Anon (1969). Fourth annual NASA-University Conference on Manual control, University of Michigan, Ann Arbor, March 21-23, 1968. NASA SP-192. NASA, Washington, DC., 1969.
- Anon (1974). Wegontwerp en wegverlichting tegen de achtergrond van de verkeersveiligheid. Pre-adviezen congresdag 6 december 1974. Het Nederlandse Wegencongres, Den Haag, 1974.
- Anon (1974a). Das Prinzip der Gegenstrahlbeleuchtung für Strassentunnels. *Alumagazin*, Zürich, April 1974.
- Anon (1982). Zichtbaarheid 's nachts van wegmarkeringen op droge en natte wegdekken. SCW-Mededeling 52 / SVT-Mededeling 17. SCW, Arnhem, 1982.
- Anon (1983). Fietspadverlichting: Een studie van de Commissie voor Openbare Verlichting van de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde. *Elektrotechniek* 61(1983)233-245.
- Anon (1985). Verlichting der autosnelwegen; Invloed der besparingsmaatregelen op de ongevalen. Ministerie van Openbare Werken, Brussel, 1985.
- Anon (1985). Nationaal plan voor de Verkeersveiligheid II. Tweede Kamer, vergaderjaar 1985-1986, 18 195 nrs, 18-19. Oktober 1985.
- Anon (1985). Swedish National Code of Practice for Road Lighting. Highway Administration, Stockholm, 1985.
- Anon (1986). Le marquage routier en France. ISTED, Bagnaux, 1986.
- Anon (1986a). L'amélioration de la visibilité de nuit des marquages routiers par les traitements de surface des microbilles de verre. In: Anon (1986).
- Anon (1987). (Rapportage van een plan voor de nieuwe ingang voor de Schipholtunnel; geen titel, geen auteur. Verslag van een voorstel gemaakt door de Universiteit van Nijmegen). 1987 (Jaartal geschat).
- Anon (1991). Controlled road lighting. Proposal submitted to the Commission of the European Communities, Promotion of Energy Technologies for Europe (THERMIE). Rijkswaterstaat, Rotterdam, June 1991 (Niet gepubliceerd).
- Armour, M.; Carter, R.E.; Cinquegrana, C.; Griffith, J.R. (1989). Study of single vehicle rural accidents, Volume 1: Accident data report. GR/89/4. Road Traffic Authority, 1989.
- Asmussen, E. & De Boer, J.B. (1962). A luminance meter for street lighting. *Public Lighting* 27 (1962) no. 118: 136.
- Asmussen, E. (1972). Transportation research in general and travellers decision making in particular as a tool for transportation management. In: OECD (1972a).
- Balder, J.J. & Fortuin, G.J. (1955). The influence of time of observation on the visibility of stationary objects. *Proc. Comm. Int. Eclair*, 1955, Zürich.

- BGC (1987). Onderzoek relatie lichtniveau-aantal ongevallen. Bureau Goudappel Coffeng, Deventer, 1987. (Bijlage 1 in Schreuder, 1990c).
- BGC (1990). Verlichting op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom; Effecten en niveaus. RWE/917/09/Mn. Bureau Goudappel Coffeng, Deventer, 1990.
- BGC (1990a). Verlichting op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom; Data. Bureau Goudappel Coffeng, Deventer, 1990 (Niet gepubliceerd).
- Biesheuvel, M.A. & Planken, J.J.A. (1989). Bepaling f-factor tunnelingang, Afstudeeropdracht Hoger Technisch Onderwijs HTO. Rotterdam.
- Blaauw, G.J. (1983). Requirements for markings and raised pavement markers. In: CIE (1983).
- Blaauw, G.J. & Padmos, P. (1981). De zichtbaarheid 's nachts van wegmarkeringen op droge en natte wegen. IZF 1981 C-20. IZF-TNO, Soesterberg, 1981.
- Blaauw, G.J. & Riemersma, J.B.J. (1975). Interpretation of roadway designs by an analysis of driver's visual scanning and driving behavior on straight and curved roadway sections. Report C-5. IZF-TNO, Soesterberg, 1975.
- Blackwell, H.R. (1946). Contrast thresholds of the human eye. *Journ. Opt. Soc. Amer.* 36 (1946) 624-643.
- Blaser, P. (1990). Counterbeam lighting; A proven alternative for the lighting of the entrance zones of road tunnels. *Transp. Res. Record* 1287, pp. 244-251.
- Blaser, P. & Dudli, H. (1982). Die Sichtverhältnisse in der Einfahrzone von Strassentunneln mit Gegenstrahlbeleuchtung. In: SLG (1982).
- Boer, J.B. de (z.j.). The concept 'Road Surface Luminance' and its application to public lighting. III. *Engng. Soc. (London) Monograph no. 4*.
- Boer, J.B. de (1951). Fundamental experiments of visibility and admissible glare in road lighting. CIE, Stockholm, 1951.
- Boer, J.B. de & Van Heemskerck Veeckens, J.F.T. (1955). Observations on discomfort glare in street lighting. CIE, Zürich.
- Boer, J.B. de (1958). Strassenleuchtdichte und Blendungsfreiheit als praktische Masstäbe für die Güte öffentlicher Beleuchtung *Lichttechnik* 10 (1958) 359-364.
- Boer, J.B. de & Schreuder, D.A. (1966). Limitation de la gêne par les sources lumineuses en éclairage public. *Lux* (1966) No. 40: 491-500.
- Boer, J.B. de (ed). (1967). Public lighting. Eindhoven, Centrex, 1967.
- Boer, J.B. & Schreuder, D.A. (1967). Glare as a criterion for the quality in street lighting. *Trans. Illum. Engng. Soc. (London)*. 32 (1967) 117-128.
- Boer, J.B. de & Knudsen, B. (1963). The pattern of road luminance in public lighting. CIE, Vienna, 1963.
- Boereboom, A.; Boer, J.B. de & Massart, P. (1963). Mesure des luminances en éclairage public. *Comm. Int. Eclair.* (1963) Wien.
- Bonomo, M. (1980). L'illuminazione dei tratti iniziali delle gallerie autostradali (De verlichting van de ingangen van tunnels in autosnelwegen). *Luce* (1980) 1: 1-15.
- Bovy, P.H.L. (1991). Mobiliteit in cijfers, modellen en scenario's. In: PAOVV (1991).
- Broadbent, D.E. (1958). Perception and communication. Pergamon Press, London, 1958.
- Buijn, H.R.; Van den Brink, T.D.J. & Schreuder, D.A. (1991). Road lighting for road safety, public security and amenity. In: CIE (1991).
- Burg, A. (1964). An investigation of some relationships between dynamic visual acuity, static visual acuity and driving record. Report No. 64-18. Univ. of California, Los Angeles, 1964.
- Burg, A. (1968). Vision and driving; A summary of research findings. Ann. Meeting Highway Research Board, 1968.
- Burghout, F. (1977). Kenngrößen der Reflexionseigenschaften von trockner Fahrbahndecken. *Lichttechnik* 29(1977)23.
- Burghout, F. (1977a). Simple parameters significant of the reflection properties of dry road surfaces. In: LITG (1977).
- Burghout, F. (1977b). Simple parameters significant of the reflection properties of dry road surfaces. In: CIE (1977).

- Cavallo, V. et al. (1988). Perception and anticipation in negotiating curves: the role of driving experience. In: Anon. (1988c).
- CBS (1989). Statistiek van de ongevallen op de openbare weg 1988. CBS-Publikaties. SDU-Uitgeverij, Den Haag.
- CBS (1992). Statistiek van de ongevallen op de openbare weg 1991. CBS-Publikaties. SDU-Uitgeverij, Den Haag.
- CBS (1992). Statistiek van de ongevallen op de openbare weg 1991. SDU-Uitgeverij, Den Haag, 1992.
- CBS (1993). Statistisch jaarboek, Den Haag. SDU-Uitgeverij, 1993.
- CIE (1965). International recommendations for the lighting of public thoroughfares. Publication No. 12. CIE, Paris, 1965.
- CIE (1972). Comte rendue dixseptieme session de la Commission Internationale de l'Eclairage CIE. Publication No. 21A. CIE, Paris, 1972.
- CIE (1976). Calculation and measurement of luminance and illuminance in road lighting. Publication No. 30. CIE, Paris, 1976.
- CIE (1977). Measures of road lighting effectiveness. Symposium Karlsruhe, July 5-6, 1977. LITG, Berlin, 1977.
- CIE (1977). Recommendations for the lighting of roads for motorized traffic. Publication No. 12/2. CIE, Paris, 1977.
- CIE (1980). Proceedings 19th Session of CIE, Kyoto, Japan, 1979. Publication No. 50. CIE, Paris, 1980.
- CIE (1981). Guide on the emergency lighting of building interiors. Publication No. 49. CIE, Paris, 1981.
- CIE (1981). An analytic model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance. Publ. No. 19/2 (two volumes). CIE, Paris.
- CIE (1983). International symposium Visual aspects of road markings, Paris, 2-3 May, 1983. Reports and papers. CIE, Paris, 1983.
- CIE (1984). Tunnel entrance lighting. Publication No. 61. CIE, Paris, 1984.
- CIE (1984a). Road surfaces and lighting. Joint Report from CIE and PIARC. Publication No. 66. CIE, Paris, 1984.
- CIE (1987). Guide to the properties and uses of retroreflectors at night. Publication No. 72. CIE, Vienna, 1987.
- CIE (1988). Visual aspects of road markings. Publication No. 73. CIE, Vienna, 1988.
- CIE (1990). Guide for the lighting of road tunnels and underpasses (Draft March 1990). Publication No. 26/2. CIE, Vienna, 1990.
- CIE (1991). Proceedings 22nd Session Melbourne 1991. Australian National Committee on Illumination, Melbourne, 1991.
- CIE (1992). Vergadering van CIE Divisie 4, Praag, September 1992 (Niet gepubliceerd).
- CIE (1993). Road lighting as an accident counter-measure. Publication No. 8/2. CIE, Vienna, 1993.
- Cohen, A. (1985). Visuelle Informationsaufnahme während der Fahrzeugsteuerung in Abhängigkeit der Umweltmerkmale und der Fahrpraxis. Schweizerische Zeitschrift für Psychologie 44(1985)249-288.
- Cohen, A.S. & Zwahlen, H.T. (1989). Blicktechnik in Kurven. Wissenschaftliches Gutachen. BFU-Report 13. BFU/BPA/UPI, Bern, 1989.
- Cornwell, P.R. (1973). Appraisals of traffic route lighting installations. Lighting Res. & Technol. 5(1973)10-16.
- Crothers, R.P. (1990). Pro-beam; A viable alternative to lighting tunnel entrances. Paper prepared for Visibility Symposium. TRB, Washington D.C., July 25, 1990.
- CROW (1987). Zicht op wegmarkeringen. Publikatie No. 2. CROW, Ede, 1987.
- CROW (1991). Cursus openbare verlichting. CROW, Ede, 1991.
- Dunbar, C. (1938). Necessary values of brightness contrast in artificially lighted streets. Trans. Illum. Engng. Soc. (London) 3(1938)21.
- Dutruit, M. (1974). Die Retro-Reflexion. Regionale Strassen Konferenz. IRF, Budapest, 1974.

- Ebell, R.J.E.V.; Groot, R.E.; Schreuder, D.A. & Theewis, S.R. (1984). Probleemanalyse visuele waarneembaarheid van kruisende fietsers en bromfietsers bij duisternis in relatie tot een RVLV-maartregel. IWACC 1984-1 (Twee delen). IWACC, Oudendijk, 1984.
- Erbay (1974). Atlas voor de reflectie-eigenschappen van wegdekken. Berlijn, 1974 (Niet gepubliceerd).
- Fisher, A. (1973). A review of street lighting in relation to safety. Dept. of Transport NR/18. Governmental Publishing Service, Canberra, 1973.
- Flury, F.C. (1977). Economische schade door verkeersongevallen 1970 t/m 1976; Aanvulling op tabel 31 in Tien jaar verkeersonveiligheid in Nederland. R-77-23. SWOV, Voorburg, 1977.
- Flury, F.C. (1984). Economische schade ten gevolge van verkeersonveiligheid. R-84-10. SWOV, Leidschendam, 1984.
- Flury, F.C. (1989). Gedifferentieerde kosten van ongevallen. R-89-44. SWOV, Leidschendam, 1989.
- Flury, F.C. (1990). De ontwikkeling van de verkeersveiligheid tot en met 1988 en het beleid uit het Meerjarenplan Verkeersveiligheid 1987-1991. R-90-28. SWOV, Leidschendam, 1990.
- Flury, F.C. (1992). De kosten van de verkeersonveiligheid; Een interimrapport. A-92-31. SWOV, Leidschendam, 1992. (Niet gepubliceerd).
- Fry, G.A. (1965). Distribution of focussed and stray light on the retina produced by a point source. *Journ. Opt. Soc. Amer.* 55 (1965) 333-335.
- Gallagher, V.P.; Koth, B.W. & Freedman, M. (1975). The specification of street lighting needs. FHWA-RD-76-17. Franklin Institute, Philadelphia, 1975.
- Graham, C.H. (ed.) (1965). Vision and visual perception. Wiley, New York, 1965.
- Geijtenbeek, M. (1992). Contrastmetingen verkeerstunnels. Eindrapport Hogeschool Rotterdam.
- Gregory, R.L. (1970). The intelligent eye. Weidenfeld & Nicholson, London, 1970.
- Griep, D.J. (1968). Traffic accidents, visual performance and driving behaviour. In: Henkes (ed.) (1968).
- Griep, D.J. (1971). Analyse van de rijtaak. *Verkeerstechniek* 22(1971)303-306; 370-378; 423-427; 539-542.
- Grijs, J.C. de (1972). Visuele beoordeling van verlichtingscriteria in Den Haag en Amsterdam. *Electrotechniek* 50 (1972) no. 14.
- Guldemond, L. (1992). Beheersplannen verlichting. In: PAOVV (1992a).
- Guldemond, L. (1992a). Onderhoud; tarieven. In: PAOVV (1992a).
- Hagenzieker, M.P. (1989). Visuele selectie in het verkeer; Een interimrapport. R-89-60. SWOV, Leidschendam, 1989.
- Hagenzieker, M.P. (1990). Time courses in visual information processing: The influence of luminance on localisation and identification performance. Paper presented at the Second International Conference on Visual Search, September 3-6, 1990. University of Durham, Durham, 1990.
- Hagenzieker, M.P. (1991). Visuele selectie in het verkeer; Tweede interimrapport. R-91-78. SWOV, Leidschendam, 1991.
- Hagenzieker, M.P. (1991a). Visual perception and vehicle lighting during daytime: A conceptual model. In: CIE (1991).
- Hagenzieker, M.P. & Van der Heijden, A.H.C. (1990). Time courses in visual-information processing: Some theoretical considerations. *Psychological Research* 52(1990) 5-12.
- Hagenzieker, M.P. & Van der Heijden, A.H.C. (1990a). Time courses in visual-information processing: Some empirical evidence for inhibition. *Psychological Research* 52 (1990) 13-21.
- Harris, A.J. & Christie, A.W. (1951). The revealing power of street lighting installations and its calculation. *Trans. Ill. Engng. Soc. (London)* 16 (1951) 120-128.
- Hautala, P.V. & Simons, R.H. (1991). Luminance criteria and visibility measures for road lighting design. Workshop. In: CIE (1991).
- Henkes, H.E. (ed.) 1968. Perspectives in ophthalmology; Report of the 1967 Postgraduate Courses held under the auspices of the Netherlands Ophthalmological Society and the Medical Faculty of Rotterdam. June 1967. Excerpta Medica Foundation, Amsterdam.
- Hopkinson, R.G. & Collins, J.B. (1970). The ergonomics of lighting. Macdonald & Co., London.



- IES (1988). Annual Conference of The Illuminating Engineering Society of North America, August 7-11, 1988. Minneapolis, Mn., 1988.
- Janoff, M.S. (1988). Subjective rating of visibility and alternative measures of roadway lighting. In: IES (1988).
- Janssen, S.T.M.C. (1974). Verkeersveiligheid als criterium voor het wegontwerp. In: Anon (1974).
- Janssen, S.T.M.C. (1979). Categorisering van wegen buiten de bebouwde kom. R-79-43. SWOV, Voorburg, 1979.
- Janssen, S.T.M.C. (1988). De verkeersveiligheid van wegtypen in 1986 en 2010. R-88-3. Leidschendam, SWOV, 1988.
- Janssen, S.T.M.C. & Schreuder, D.A. (1974). Karakteristieken van het wegverkeer. In: Anon (1974).
- Janssen, W.H. (1984). De detectie van een mogelijke botsing bij gebogen nadering van een kruispunt. IZF 1984-C3. IZF-TNO, Soesterberg, 1984.
- Janssen, W.H. (1986). Modellen van de rijtaak; De 'state-of-the-art in 1986'. IZF 1986 C-7. IZF-TNO, Soesterberg, 1986.
- Janssen, W.H. & Van der Horst, A.R.A. (1980). The perception of impending collision in night-time driving. IZF 1980 C-17. IZF-TNO, Soesterberg, 1980.
- Janssen, S.T.M.C. (1991). Accident risk on bridges and tunnels compared with the total road network. Paper presented at: Ile Symposium international et exposition: Les ouvrages d'art et la sécurité routière (Abstract). 19-22 Juin 1991. Luxembourg.
- Janssen, S.T.M.C. (1991a). Vergelijking van de verkeersonveiligheid in tunnels en op bruggen van autosnelwegen. SWOV, Leidschendam (Niet gepubliceerd).
- Keitz, H.A.E. (1967). Lichtberechnungen und Lichtmessungen. Philips Tech. Bibl., Eindhoven, 1967.
- Ketvirtis, A. (1989). Directional light application in vehicular tunnel illumination design. Paper to be presented at IES National Conference 1989 (Zonder nadere aanduiding aangehaald door Crothers, 1990).
- KNMI (1992). Jaaroverzicht van het weer in Nederland 89, 13. KNMI De Bilt, 1992.
- Knudsen, B. (z.j.). The dangerous points in public lighting. Ill. Engng. Soc. (London).
- Knudsen, B. (1967). Lamps and lanterns. Chapter 6 in: De Boer (ed.) (1967).
- Knudsen, B. (1968). De morke punkter in vejbelysning (Dangerous points in street lighting). Dansk Vejtidskrift (1968)8:153-164.
- Koornstra, M.J. et al., (eds.) (1992). Naar een duurzaam veilig wegverkeer. SWOV, Leidschendam, 1992.
- Krause, D. (1979). Visibilité de nuit des marquages routiers par temps de pluie. PV 79.568. Laboratoire Regional de Saint-Quentin, 1979.
- Krauze, D. (1984). Etude de la signalisation horizontale; Visibilité de nuit par temps de pluie de marques expérimentaux appliqués en rive sur chaussée circulée. PV 84-194. Laboratoire Regional de Saint-Quentin, 1984.
- Krendel, E.S. & McRuer, D.T. (1960). A servomechanism approach to skill development. J. Franklin Institute 269(1960)1:24-42 (Ref. Krendel & McRuer, 1969).
- Krendel, E.S. & McRuer, D.T. (1968). Psychological and physiological skill development; A control engineering model. Proc. 4th Annual Conference on Manual Control, 1968.
- Krendel, E.S. & McRuer, D.T. (1969). Psychological and physiological skill development; A control engineering model. Ch. 15 in: Anon (1969).
- Le Grand, Y. (1956). Optique physiologique, Tome III. Ed. Revue Optique, Paris, 1956.
- Levelt, P. (1987). Onderzoek naar bogen; Inventarisatie ten behoeve van boog-onderzoekers. SWOV, Leidschendam, 1987. (Niet gepubliceerd).
- Licht84 (1984). Gemeinschaftstagung der Lichttechnischen Gesellschaften Deutschland, Niederlande, Oesterreich, Schweiz, Mannheim, 5-7 Juni, 1984.
- LITG (1976). Lichttechnische Tagung '76, München, 31/5-3/6 1976.
- LITG (1977). Measures of road lighting effectiveness. Symposium, Karlsruhe, 5-6 July 1977. LITG, Berlin, 1977.

- Maas, C.J. (1986). De relatie tussen straatverlichting en criminaliteit. Tijdschrift voor de Politie 48(1986)438-443.
- Matanzo, F. & Rockwell, T.P.H. (1967). Driving performance under night time conditions of visual degradation. Human Factors 9(1967)427-432.
- Meseberg, H.-H. (ed.) (1990). Fahrbahnmarkierungen '90. DGSM Heft 9. Kirschbaum Verlag, Bonn, 1990.
- Meseberg, H.-H. (ed.) (1990). Lichttechnische Anforderungen an Fahrbahnmarkierungen. In: Meseberg (ed.) (1990).
- Meseberg, H.-H. (ed.) (1990a). Lichttechnische eigenschappen von Markierungen. In: Meseberg (ed.) (1990).
- Meseberg, H.-H. (ed.) (1990b). Erläuterungen zu den 'Hinweisen für die Anwendung von Fahrbahnmarkierungen mit erhöhten Nachtsichtbarkeit bei Nässe'. In: Meseberg (ed.) (1990).
- Michon, J.A.; Eijkman, E.G.J.; De Klerk, L.F.W. (eds.) (1976). Handboek der psychonomie. Van Loghum Slaterus, Deventer, 1976.
- Michon, J.A.; Eijkman, E.G.J. & De Klerk, L.F.W. (eds.) (1979). Handbook of psychonomics (2 volumes). North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1979.
- NAASRA (1988). Guide of traffic engineering practice, Part 12: Roadway lighting. National Association of State Road Authorities, Sydney, 1988.
- Narisada, K.; Inoue, T. & Bjorset, H.-H. (1977). Tunnel lighting; Luminous intensity of luminaires to guide approaching drivers. Draft, March 1977 (Ref. CIE, 1984).
- Narisada, K. & Yoshikawa, K. (1974). Tunnel entrance lighting; Effect of fixation point and other factors on the determination of requirements. Lighting Res. Technol. 6 (1974) 9-11.
- Neis, H. (1985). Zur Problem der Erfassung und Beurteilung von profilierten Fahrbahnmarkierungen im trockenen und nassen Zustand. Dissertation. Technische Hochschule Darmstadt, 1985.
- NNI (1971). Veiligheidsvoorschriften voor laagspanningsinstallaties. 2e druk, gewijzigd, met correcties. NEN 1010. Nederlands Normalisatie-instituut NNI, Rijswijk, 1971.
- Noordzij, P.C.; Hagenzieker, M.P. & Theewes, J. (1993). Visuele waarneming en verkeersveiligheid, Eerste concept. SWOV, Leidschendam, 1993 (Niet gepubliceerd).
- Norman, D.A. (ed.) (1976). Memory and attention. Second edition. John Wiley & Sons Inc., New York, 1976.
- Novellas, F. (1982). Eclairage des tunnels routiers; Intérêt des systèmes à mobilisation de contraste. Rev. Routes Aérodr., 1982 (Jaartal geschat).
- NSVV (1957). Aanbevelingen voor openbare verlichting. Moormans Periodieke Pers, Den Haag, 1957 (Jaartal geschat).
- 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) 90-91.
- NSVV (1990). Nieuwe aanbevelingen voor openbare verlichting in Nederland; Een voorpublicatie. Elektrotechniek 67 (1989): 983-988.
- NSVV (1990). Aanbevelingen voor openbare verlichting; Deel I. NSVV, Arnhem, 1990.
- NSVV (1990a). Licht90. Tagungsberichte Gemeinschaftstagung, Rotterdam, 21 - 23 Mai, 1990. NSVV, Arnhem, 1990.
- NSVV (1992). Aanbevelingen voor de verlichting van lange verkeerstunnels. NSVV, Arnhem.
- NSVV (1993). Aanbevelingen voor openbare verlichting; Deel II, Meten en berekenen. NSVV, Arnhem, 1993 (In druk).
- OECD (1972). Lighting, visibility and accidents. OECD, Paris, 1972.
- OECD (1972a). Symposium on road user perception and decision making. OECD, Rome, 1972.
- OECD (1976). Adverse weather, reduced visibility and road safety. OECD, Paris, 1976.
- OECD (1990). Behavioural adaptation to changes in the road transport system. OECD, Paris, 1990.
- OTA (1970). Tenth International Study Week in Traffic and Safety Engineering. OTA, Rotterdam, 1970.

- Padmos, P. (1981). Veiligheids- en comfortaspecten van het autorijden bij duisternis buiten de bebouwde kom, in relatie tot wegverlichting. IZF 1981-C-21. IZF-TNO, Soesterberg, 1981.
- Padmos, P. (1982). Discussiebijdrage. In: SLG (1982).
- Padmos, P. & Alferinck, J.W.A.M. (1983). Verblinding bij tunnelingangen II: De invloed van atmosferisch strooilicht. IZF 1983 C-9. IZF-TNO. Soesterberg, 1983.
- Padmos, P. & Alferinck, J.W.A.M. (1983a). Verblinding bij tunnelingangen III: De invloed van de autovoortuit. IZF 1983 C-10. IZF-TNO. Soesterberg, 1983.
- Padmos, P. (1984). Visually critical elements in night time driving in relation to public lighting. In: TRB (1984).
- Padmos, P. (1988). Visuele problemen op autosnelwegen bij duisternis. IZF 1988 C-17. IZF-TNO, Soesterberg, 1988.
- Padmos, P. (1991). Hartslag als maatstaf voor belasting tijdens het autorijden bij duisternis. IZF 1991 C-2. IZF-TNO, Soesterberg, 1991.
- Padmos, P. & Walraven, J. (1982). Wegverlichting buiten de bebouwde kom; Welke visuele informatie heeft een automobilist nodig? Elektrotechniek 60(1982) 449-451.
- PAOVV (1991). Verkeer en milieu: Van woorden naar daden. Cursus, Delft, 16-18 april 1991. PAO-VV, Orgaan voor postacademisch onderwijs in de vervoerswetenschappen en de verkeerskunde, Rijswijk/Delft, 1991.
- PAOVV (1991a). Cursus Openbare Verlichting. Delft/Eindhoven, 22-24 januari 1991. PAO-VV, Orgaan voor postacademisch onderwijs in de vervoerswetenschappen en de verkeerskunde, Rijswijk/Delft, 1991.
- Paulmann, G. & Neis, H. (1985). Untersuchungen über die Erhöhung der Nachtsichtbarkeit bei Nässe durch Verstärkung der Retroreflexion infolge profilierte Markierungen. Forschungsbericht 3.143 G 81 C. Technische Hochschule Darmstadt, 1985.
- PBNA (1992). Cursus Openbare Verlichting. PBNA, Arnhem, 1992.
- Philips (1989). Philips Licht; Prijslijst Pocket-Lichtcatalogus 89/90. Philips Nederland, B.V. Eindhoven, 1989.
- Philips Armaturen voor Buitenverlichting. Philips Nederland N.V., Eindhoven (z.j.).
- Polak, P.H. (1987). De relatie tussen openbare verlichting en verkeersveiligheid; Methodologische notitie. SWOV, Leidschendam, 1987.
- Reeb, O. (1962). Grundlagen der Photometrie. G. Braun, Karlsruhe, 1962.
- Riemenschneider, W. (1978). Influence of asymmetric lighting to visibility. Novelectric, Buchs, 9th October 1978 (Niet gepubliceerd).
- Riemersma, J.B.J. (1979). The perception of deviation from a straight course. IZF 1979 C-6. IZF-TNO, Soesterberg, 1979.
- Riemersma, J.B.J. (1985). Koershouden op de rechte weg. Verkeerskunde 36(1985)367-372.
- Riemersma, J.B.J. (1988). Zonering en herkenbaarheid; Een experiment. IZF 1988 C-2. IZF-TNO, Soesterberg, 1988.
- Riemersma, J.B.J. (1988a). Enkelbaans/dubbelbaans autowegen; beleving van de weggebruiker. IZF C-4. IZF-TNO, Soesterberg, 1988.
- Riemersma, J.B.J. (1988b). Waarnemen van boogkenmerken. IZF 1988 C-8. IZF-TNO, Soesterberg, 1988.
- Riemersma, J.B.J. (1989). Waarnemen van weg en omgeving en rijtaak. In: Handboek Sociale Verkeerskunde. Van Gorcum, Assen/Maastricht, 1989.
- Riemersma, J.B.J. (1989a). The effects of transition curves and superelevation on the perception of road-curve characteristics. IZF 1989 C-18. IZF-TNO, Soesterberg, 1989.
- Riemersma, J.B.J. (1989b). Vergelijking VSC-snelheidsgegevens en IZF-beoordelingen van boegen. Memo IZF 1989-M25. IZF-TNO, Soesterberg, 1989.
- Rockwell, T.H.; Ernst, R.L. & Rulon, M.J. (1967). Research on visual requirements in night driving. Final Report EES 254-1. NCHRP. Ohio State University, Columbus, Ohio, 1967.
- Schober, H. (1960). Das Sehen (2 Bände). Fachbuchverlag, Leipzig, 1958-1960.
- Schoon, C.C. & Schreuder, D.A. (1993). HID-autokoplampen en verkeersveiligheid. R-93-7. SWOV, Leidschendam, 1993.

- Schouten, T.M. (1972). Verblinding, enige fysiologische, leeftijdsafhankelijke oorzaken. R-72-9. SWOV, Voorburg, 1972.
- Schreuder, D.A. (1962). Warum Beleuchtung mit Natriumdampflampen? Elektrizitätsverwertung 37 (1962) 191-195.
- Schreuder, D.A. (1962). Aufgehellte Fahrbahndecken und lichttechnische Probleme. Asphalt u. Teerstrassen (1962). Heft 16, 144-153.
- Schreuder, D.A. (1964). Lichting in adverse weather. Traffic Engng. Control 5 (1964) 720-723.
- Schreuder, D.A. (1964). De luminantietechniek in de straatverlichting. De Ingenieur 76(1964)E89-E99.
- Schreuder, D.A. (1964a). The lighting of vehicular traffic tunnels. Centrex, Eindhoven.
- Schreuder, D.A. (1967). The theoretical basis for road lighting design. Chapter III In: De Boer (ed.) (1967).
- Schreuder, D.A. (1970). A functional approach to lighting research. In: OTA (1970).
- Schreuder, D.A. (1970a). Road lighting and traffic safety; A functional approach. Lux (1970) no 57: 146-147; 256-263.
- Schreuder, D.A. (1971). Autoverlichting binnen de bebouwde kom. Verkeerstechiek (1971) 583-588.
- Schreuder, D.A. (1972). De motivatie tot voertuiggebruik. Internationale Faculteit, Haarlem, 1972.
- Schreuder, D.A. (1972a). The coding and transmission of information by means of road lighting. In: SWOV (1972).
- Schreuder, D.A. (1972b). Discomfort glare in street lighting. Lighting Res. Technol. 4(1972)47-48.
- Schreuder, D.A. (1974). De rol van functionele eisen bij de wegverlichting. In: Anon. (1974).
- Schreuder, D.A. (1977). The relation between lighting parameters and driving performance. In: LITG (1977).
- Schreuder, D.A. (1978). Zichtbaarheid van wegmarkeringen op natte wegen; Een literatuurstudie. SVT/SCW, Arnhem, 1987.
- Schreuder, D.A. (1979). Tunnel lighting engineering; The third generation. Contributed to CIE TC 4.6, SC 3. SWOV, Voorburg, 1979.
- Schreuder, D.A. (1979a). The lighting of residential areas. R-79-49. SWOV, Voorburg, 1979. In: CIE (1980).
- Schreuder, D.A. (1980). Tunneleinfahrtbeleuchtung: Die dritte Generation. R-80-27. SWOV, Voorburg, 1980. In: LITG, 1980. Zie ook: Schreuder (1981a).
- Schreuder, D.A. (1980a). Geprofileerde wegmarkeringen. R-80-51. SWOV, Voorburg, 1980.
- Schreuder, D.A. (1981). De verlichting van tunnelingangen; Een probleemanalyse omtrent de verlichting overdag van lange tunnels. R-81-26 I en II. SWOV, Voorburg, 1981.
- Schreuder, D.A. (1981a). De verlichting van tunnelingangen: De derde generatie. R-81-21. SWOV, Leidschendam, 1981. Ook: Wegen 55(1981)242-245.
- Schreuder, D.A. (1983). Glare in road lighting. CIE Journal 2(1983)53-57.
- Schreuder, D.A. (1983). De relatie tussen verkeersongevallen en openbare verlichting. R-83-12. SWOV, Leidschendam, 1983.
- Schreuder, D.A. (1985). Het effect van vermindering van de openbare verlichting op de verkeersveiligheid. R-85-58. SWOV, Leidschendam, 1985.
- Schreuder, D.A. (1985a). Fundamentele overwegingen omtrent visuele en verlichtingskundige aspecten van de verkeersveiligheid. R-85-61. SWOV, Leidschendam, 1985.
- Schreuder, D.A. (1985b). Toepassingen en gebruiksmogelijkheden van retroreflecterende materialen in het wegverkeer; Een overzicht van de stand van zaken. R-85-62. SWOV, Leidschendam, 1985.
- Schreuder, D.A. (1985c). Regelen, beheersen en sturen... bijvoorbeeld in het wegverkeer. Wegen 59(1985) 217-220.
- Schreuder, D.A. (1985d). De zichtbaarheid van wegmarkeringen op natte wegen; Een aanvullende literatuurstudie. R-85-23. SWOV, Leidschendam, 1985.

- Schreuder, D.A. (1988). De relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en de verkeersveiligheid; Een aanvullende literatuurstudie. R-88-10. SWOV, Leidschendam, 1988.

- Schreuder, D.A. (1988a). Road lighting and priorities for observation. Illum. Engn. Yougoslavia, Zagreb, 1988.
- Schreuder, D.A. (1988b). Visual aspects of the driving task on lighted roads. CIE Journal 7(1988)1:15-20.
- Schreuder, D.A. (1988c). Gezichtsvermogen en verkeersveiligheid. R-88-9. SWOV, Leidschendam, 1988.
- Schreuder, D.A. & Oud, H.J.C. (1988). The predetermination of the luminance in tunnel entrances at day. R-88-13. SWOV, Leidschendam.
- Schreuder, D.A. (1989). The field factor for the determination of tunnel entrance luminance levels. Paper presented at the SLG/CIE Symposium on: New developments in tunnel lighting; Lugano, Switzerland, 12 October 1989.
- Schreuder, D.A. (1989a). De relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en de verkeersveiligheid; Een voorstudie. R-89-45. SWOV, Leidschendam, 1989.
- Schreuder, D.A. (1989b). Enquete wijst uit: Straten zijn onveilig en licht is akelig. De Gorzette 17(1989)1:23-25.
- Schreuder, D.A. (1989c). Bewoners oordelen over straatverlichting. PT Elektronica- Elektrotechniek 44(1989)5:60-64.
- Schreuder, D.A. (1990). Aanbevelingen voor de verlichting van lange tunnels voor het gemotoriseerde verkeer. R-90-10. SWOV, Leidschendam.
- Schreuder, D.A. (1990). De veldfactor bij de bepaling van de verlichtingsniveaus bij tunnelingen. R-90-10. SWOV, Leidschendam, 1990.
- Schreuder, D.A. & Schoon, C.C. (1990). De relatie tussen het koershouden van voertuigen van voertuigen en wegmarkering op 80 km/uur-wegen; Een literatuurstudie. R-90-54. SWOV, Leidschendam.
- Schreuder, D.A. (1990a). De relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en de verkeersveiligheid op niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom. R-90-45. SWOV, Leidschendam, 1990.
- Schreuder, D.A. (1991). Tegenstraalverlichting in tunnels; Een overzicht van de beschikbare literatuur. R-91-96. SWOV, Leidschendam.
- Schreuder, D.A. (1991). Visibility aspects of the driving task: Foresight in driving. A theoretical note. R-91-71. SWOV, Leidschendam, 1991.
- Schreuder, D.A. (1991a). Motorway lighting under fog conditions. R-91-72. SWOV, Leidschendam, 1991.
- Schreuder, D.A. (1991b). Verkeersveiligheid en burgerlijke veiligheid. In: CROW (1991).
- Schreuder, D.A. (1991c). De veldfactor bij de bepaling van de verlichtingsniveaus bij tunnelingen; Verslag van een nadere analyse van het experimentele onderzoek. R-91-65. SWOV, Leidschendam, 1991.
- Schreuder, D.A. (1991d). Practical determination of tunnel entrance lighting needs. Paper presented at the TRB Annual Meeting, Washington DC, January 15, 1991.
- Schreuder, D.A. (1991d). Lighting requirements in the entrance of tunnels in traffic conditions. Paper prepared for presentation at the CIE Session in Melbourne, Australia, July 1991.
- Schreuder, D.A. (1991e). Verkeersveiligheid. In: PAOVV (1991a).
- Schreuder, D.A. (1991f). A device to measure road reflection in situ. In: CIE (1991).
- Schreuder, D.A. (1992). 30-jarig bestaan van de SWOV. SWOV-schrift no 50, maart 1992, blz. 13-15.
- Schreuder, D.A. (1992a). Tegenstraalverlichting in tunnels; Een overzicht van de beschikbare literatuur. R-91-96. SWOV, Leidschendam.
- Schreuder, D.A. (1992a). De invloed van windturbineparken op de verkeersveiligheid. R-92-74. SWOV, Leidschendam.
- Schreuder, D.A. (1992b). Taak en functie van de openbare verlichting. Les 1 in: PBNA (1992).
- Schreuder, D.A. (1992c). De relatie tussen de veiligheid en het niveau van de openbare verlichting. R-92-39. SWOV, Leidschendam, 1992.
- Schreuder, D.A. (1992d). Openbare verlichting als verkeersveiligheidsmaatregel; stand van zaken en toekomst. R-92-64. SWOV, Leidschendam, 1992.

- Schreuder, D.A. & Lindeijer, J.E. (1987). Verlichting en markering van motorvoertuigen; Een state-of-the-art-rapport. R-87-7. SWOV, Leidschendam, 1987.
- Scott, P.P. (1980). The relationship between road lighting quality and accident frequency. Lab. Report LR 929. TRRL, Crowthorne, 1980.
- SCW (1974). Wegverlichting en oppervlaktetextuur (Road lighting and surface texture). Mededeling No. 34. SCW, Arnhem, 1974.
- SCW (1982). Zichtbaarheid 's nachts van wegmarkeringen op droge en natte wegdekken. SCW-Mededeling 52 / SVT-Mededeling 17. SCW, Arnhem.
- SCW (1984). Lichtreflectie van wegdekken (The reflection of light by road surfaces). Mededeling 53. SCW, Arnhem, 1984.
- Sheridan, T.B. & Ferrell, W.R. (1974). Man-machine systems. The MIT Press, Cambridge, Mass., 1974.
- Skene, P. & Turner, H.J. (1976). Studies of road lighting systems: Dural Study. University of New South Wales, 1976 (Niet gepubliceerd).
- SLG (1982). Bericht Lichttechnische Gemeenschapstgung "Licht82. Dok.No.500/82. SLG, Zürich, 1982.
- Sørensen, K. (1975). Road surface reflection data. Report No. 10. Lysteknisk Laboratorium, Lyngby, 1975.
- Sørensen, K. & Nielsen, B. (1974). Road surfaces in traffic lighting. Report No. 9. Danish Illuminating Engineering Laboratory, Lyngby, 1974.
- Springer, J.F. & Huizinga, K.E. (1969). Beschouwingen ten aanzien van een esthetisch verantwoorde vormgeving van wegen, Deel 3. *Wegen* 43(1969)226-234.
- Springer, J.F. & Huizinga, K.E. (1974). Het wegbeeld als toetssteen voor het wegontwerp. Twee delen. Rijkswaterstaat Serie No 15. Den Haag, 1974.
- Stam, A. (1989). Resultaten meting tunnelverlichting Drechtunnel. Stam en Van Vuren, Organisatieadviseurs, Sliedrecht (Niet gepubliceerd).
- Steenks, K. (1992). Beleidsaspecten gemeentewegen. In: PAOVV (1992a).
- Stembord, H.L. & Swart, L. (1991). Tunnels veiliger dan 'gewone' wegen? *Wegen* 65 (1991) 3: 11-14.
- Stolzenberg, K. (1984). Konzepte und Empfehlungen für Tunnelbeleuchtung. In: Licht84 (1984).
- SVEN (1981). Besparing op energie en kosten bij openbare verlichting. SVEN, Apeldoorn, 1981.
- SWOV (1972). Psychological aspects of driver behaviour. Symposium Noordwijkerhout, 2-6 August 1972. SWOV, Voorburg, 1972.
- Tan, T.H.; Van den Brink, T.J.D. & Swart, L. (1983). Tunnelingangsverlichting. *Elektrotechniek* 61 (1983) 669-675.
- Tanner, J.C. & Harris, A.J. (1955). Street lighting and accidents; Some British investigations. In: CIE (1955).
- Theewes, J. (1989). Visual selection: Endogenous and exogenous control; A review of the literature. IZF 1989 C-3. IZF-TNO, Soesterberg, 1989.
- Theewes, J. (1990). Exogenous and endogenous control of visual attention. IZF 1990 C-3. IZF-TNO, Soesterberg, 1990.
- Theewes, J. (1992). Selective attention in the visual field.. Proefschrift VU, Amsterdam. Bariet, Ruinen, 1992.
- Tooke, W.R. & Hurst, D.R. (1975). Wet night visibility study. G. Dot Res. Proj. No. 6701. Dept. of Transportation of Georgia, 1975.
- TRB (1984). Providing visibility and visual guidance to the road user. Symposium, July 30-August 1, 1984. TRB, Washington, DC, 1984.
- TRB (1988). Symposium on visibility criteria for signs, signals and roadway lighting. Minneapolis, Mn, August 3-5, 1988. Transportation Research Board, Committee on Visibility, 1988.
- Turner, H.J.(1972). The effectiveness of the NSW Street Lighting Subsidy System. National Road Safety Symposium, Canberra, 1972
- Van Bommel, W.J.M. (1978). Optimization of road lighting installations by the use of performance sheets. *Lighting Res. & Technol.* 10(1978)189.

- Van Bommel, W.J.M. & De Boer, J.B. (1980). Road lighting. Kluwer, Deventer, 1980.
- Van den Brink, T.D.J. (1984). Experimenten met daglichtroosters. Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde (Niet gepubliceerd).
- Van den Brink, T.D.J. (1991). Verkeer en licht: Visuele aspecten. Den Haag, RWS/ DVK, 1991.
- Van den Brink, T.D.J. (1992). Beleidsaspecten Rijkswegen. In: PAOVV (1992a).
- Van den Brink, T.D.J. & Buijn, H.R. (1987). De waardering van de verlichting van enkelbaanswegen buiten de bebouwde kom (Niet gepubliceerd).
- Van den Brink, T.D.J. & Buijn, H.R. (1990). Die Bewertung öffentlicher Beleuchtung von Landstrassen. In: NSVV, 1990a.
- Vermeulen, J. & Knudsen, B. (1968). Het ontwerpen van een verlichting van voorgeschreven luminantie en gelijkmatigheid. Philips Tech. Tijdschr. (168)29.
- Vis, A.A. (1993). Openbare verlichting en de verkeersveiligheid van autosnelwegen. R-93-19. SWOV, Leidschendam, 1993.
- Vos, J.J. (1983). Verblinding bij tunnelingangen I: De invloed van strooilicht in het oog. IZF 1983 C-8. IZF-TNO, Soesterberg, 1983.
- Vos, J.J. & Padmos, P. (1983). Straylight, contrast sensitivity and the critical object in relation to tunnel entrance lighting. CIE, Amsterdam, 1983.
- Waldram, J.M. (1938). The revealing power of street lighting installations. Trans. Illum. Engn. Soc. (London) 3(1938)173-196.
- Walraven, J. (1980). Visueel critische elementen bij nachtrijden; Een verkennend onderzoek. Rapport C 80-22. IZF-TNO, Soesterberg, 1980.
- Walsh, J.W.T. (1953). Photometry (2nd edition). Constable Co. Ltd., London, 1953.
- Walthert, R. (1976). Verschiedene Systeme der Tunnelbeleuchtung. In: LITG (1976).
- Walthert, R. (1977). Tunnel lighting systems. Int. Lighting Rev. (1977)112.
- Walthert, R. (1978). Sehverhältnisse im Bereich von Tunneln. Strasse und Verkehr 64(1978)235-239.
- Weir, D.H. & McRuer, D.T. (1967). Conceptualization of overtaking and passing manoeuvres on two-lane rural roads. Vol. IV. Driver control. Systems Technology Inc., Hawthorne, Cal., 1967.
- Wertheim, A.H. (1986). Over het meten van visuele opvallendheid van objecten in het verkeer. IZF 1986 C-25. IZF-TNO, Soesterberg, 1986.
- Westermann, H.-O. (1963). Reflexionskennwerte von Strassenbelägen (Reflection characteristics of road surfaces). Lichttechnik 15(1963)507-510.
- Westermann, H.-O. (1964). Das Reflexionsverhalten bituminöser Strassendecken im Zusammenhang mit der Griffigkeit. Strasse u. Tiefbau 18(1964)290-295.
- Westermann, H.-O. (1967). Het ontwerpen van de openbare verlichting van de stad. Pol. Techn. Tijdschr.(1967)854-859.
- Wilde, G.J.S. (1982). The theory of risk homeostatis: Implications for safety and health. Risk Analysis 2(1982)209-225. (Cit.: OECD, 1990).
- Wilde, G.J.S. (1982a). Critical issues in risk homeostatis theory. Risk Analysis 2(1982) 249-258 (Cit.: OECD, 1990).
- Wilde, G.J.S. (1984). Evidence refuting the theory of risk homeostatis? A rejoinder to Frank P. McKenna. Ergonomics 27(1984)197-304.
- Zwahlen, H.T. (1979). Driver eye scanning behaviour at tunnel approaches. Vol 1. Franklin Inst. Res. Lab. Philadelphia, Pa, 1979.
- Zwahlen, H.T. (1980). Driver eye scanning behaviour in rain and during an unexpected windshield wiper failure. Z.f.Verkehrssicherheit 26(1980)148-155.