

VISUELE WAARNEMING EN MOTORVOERTUIGVERLICHTING OVERDAG (MVO)

Een literatuurstudie

R-90-41

Drs. M.P. Hagenzieker

Leidschendam, 1990

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV



## SAMENVATTING

In de discussie over het feit of motorvoertuigverlichting overdag (MVO) in Nederland als gedragsregel ingevoerd zou moeten worden of niet, worden vaak argumenten - pro en contra - aangevoerd die betrekking hebben op visuele waarneming. Voertuigen zouden ten gevolge van MVO opvallender kunnen worden, eerder gedetecteerd en/of beter herkend, de afstand tot andere voertuigen zou beter ingeschat kunnen worden, etc. Aan de andere kant wordt ook wel geopperd dat verlichting overdag of tijdens de schemer verblindingsverschijnselen tot gevolg kan hebben, en dat weggebruikers die geen verlichting voeren (zoals fietsers en voetgangers) minder opvallend kunnen worden ten gevolge van MVO.

Centraal in het rapport staat de vraag wanneer nu 'positieve' en wanneer 'negatieve' effecten (met betrekking tot visuele waarneming) te verwachten zijn van MVO. Om beide typen effecten in samenhang met elkaar te kunnen begrijpen, wordt één model gepresenteerd waarin allerlei typen onderzoek (bijvoorbeeld zowel detectie-experimenten als onderzoek naar verblinding) ondergebracht worden. Het model is in eerste instantie bedoeld om een conceptueel kader aan te geven; het blijkt dat het gepresenteerde model goed bruikbaar is om verschillende typen onderzoek in relatie tot elkaar te kunnen beschrijven.

In het algemeen geldt dat hoe hoger de adaptatieluminantie (grotendeels bepaald door het lichtniveau van de omgeving) is, des te groter de lichtsterkte (van MVO lampen) moet zijn om nog een 'verbetering' - in termen van bijvoorbeeld detectie, 'gap acceptance' of beoordelingen van zichtbaarheid - te bewerkstelligen ten opzichte van een situatie zonder verlichting; en des te groter de lichtsterkte mag zijn voordat een vorm van verblinding zal optreden. Hieruit volgt dat voor welke lichtsterkte ook gekozen wordt, er altijd een spanningsveld zal bestaan tussen de 'gewenste verbetering' en de 'ongewenste verblinding'. Onder 'daglichtomstandigheden' ( $> 100$  à  $200 \text{ cd/m}^2$ ) zal bij een lichtsterkte van  $1000 \text{ cd}$ , bijvoorbeeld, vrijwel nooit sprake zijn van een vorm van verblinding, terwijl wel een verbetering in visuele prestaties te verwachten is. In de schemerperiode kan echter een lichtsterkte van  $1000 \text{ cd}$  voor verblindingsverschijnselen zorgen. Als om deze reden voor een lagere lichtsterkte gekozen wordt, van zeg  $400 \text{ cd}$ , dan zal dit bij heel heldere lichtomstandigheden,

bijvoorbeeld van ongeveer  $1000 \text{ cd/m}^2$  of hoger, geen 'verbetering' ten opzichte van de situatie zonder verlichting meer opleveren.

Vervolgonderzoek zou zich moeten richten op de afweging tussen het willen vermijden van verblinding en het willen verbeteren van visuele prestaties om uiteindelijk tot een 'optimale' keuze voor de lichtsterkte van MVO-lampen te komen. Daarbij zullen dan ook onderzoeken moeten worden betrokken die meer overeenkomen met de 'werkelijke omstandigheden in het verkeer' dan de meeste onderzoeken die tot nog toe zijn uitgevoerd. Naast visuele waarnemingsaspecten zal dan ook aandacht besteed dienen te worden aan meer cognitieve processen, beslissen en uiteindelijk verkeersgedrag, omdat een verbetering in visuele prestatie nog niet hoeft te betekenen dat dit ook zal leiden tot veiliger gedrag.

## INHOUD

### Voorwoord

1. Inleiding
2. Waarnemen
  - 2.1. Zichtbaarheid en detectie
  - 2.2. Zichtbaarheid en opvallendheid
  - 2.3. Herkennen, identificeren en de rol van verwachting
  - 2.4. Toepassingen in het verkeer
    - 2.4.1. Detectie
    - 2.4.2. Opvallendheid en herkenning
    - 2.4.3. Lichtomstandigheden en (vrijwillig) MVO-gebruik
    - 2.4.4. Systematische codering
3. Verblinding
  - 3.1. Algemeen
  - 3.2. Discomfort glare ("psychologische verblinding")
  - 3.3. Disability glare ("fysiologische verblinding")
4. Een kwalitatief model
  - 4.1. Algemeen
  - 4.2. Het model en MVO-onderzoek
    - 4.2.1. Conceptueel kader
    - 4.2.2. Drempelwaarden
  - 4.3. Detectie-experimenten
    - 4.3.1. Lichtsterkte en detectie-afstand
    - 4.3.2. Afstand schatten en "gap acceptance"
  - 4.4. Subjectieve beoordelingen van zichtbaarheid en glare
    - 4.4.1. Beoordelingen van zichtbaarheid
    - 4.4.2. Herkenning
    - 4.4.3. Beoordelingen van (discomfort) glare
  - 4.5. Samenvatting van de resultaten
5. Overig onderzoek
6. Conclusies en aanbevelingen

Literatuur

Afbeeldingen 1 t/m 8

Bijlage 1. "Licht"

Bijlage 2. Samenvatting SAE DRL-tests (1990)

## VOORWOORD

Voor u ligt een literatuurstudie die handelt over "visuele waarneming en motorvoertuigverlichting overdag (MVO)". De laatste jaren is er veel discussie gaande over het feit of MVO in Nederland als gedragsregel ingevoerd zou moeten worden of niet. In deze discussie worden vaak argumenten - pro en contra - aangevoerd die betrekking hebben op visuele waarneming. Eén van de argumenten die contra MVO worden geuit, betreft de veronderstelling dat MVO 'verblinding' tot gevolg zou hebben. Bij de Rijksdienst voor het Wegverkeer (RDW) leefde de vraag wat nu precies bedoeld wordt met de term 'verblinding', wanneer dit fenomeen optreedt, en of er inderdaad sprake van zal zijn bij het voeren van motorvoertuigverlichting overdag. Als onderdeel van een reeds gestart onderzoek naar mogelijke effecten van MVO op de verkeersveiligheid, dat door de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV in opdracht van de Dienst Verkeerskunde (DVK) van Rijkswaterstaat wordt uitgevoerd, heeft de RDW heeft de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV verzocht een literatuurstudie te verrichten om inzicht te verkrijgen in de problemen van 'verblinding'.

In de discussie rond MVO is het onderwerp 'verblinding' slechts één van de vele die met visuele waarneming van doen hebben, en is beter te begrijpen als ook andere aspecten van visuele waarneming er bij worden betrokken. Daarom is besloten in deze literatuurstudie het onderwerp 'verblinding' niet geïsoleerd te behandelen, maar te plaatsen in een bredere context.

## 1. INLEIDING

Diverse buitenlandse ongevallestudies maken melding van een daling in het aantal ongevallen ten gevolge van het voeren van motorvoertuigverlichting overdag (MVO). Deze onderzoeken zijn niet onbetwist, meestal op grond van methodologische en statistische overwegingen. Het is daarom des te meer van belang om de eventuele werking van MVO te kunnen begrijpen: welke werkingsmechanismen liggen ten grondslag aan MVO? Welk effect heeft MVO op de visuele waarneming?

Het grote probleem met effecten van een zekere maatregel op visuele prestaties of beoordelingen (in termen van detectie, zichtbaarheid, opvallendheid etc.) is dat de relatie van zulke indirecte maten met bijvoorbeeld gedrag en ongevallen onvoldoende bekend is. Een verbetering in de 'zichtbaarheid' hoeft bijvoorbeeld nog niet te betekenen dat het gedrag van bestuurders daarmee verandert. Toch is het zinvol om deze 'waarnemingsaspecten' nader te bekijken. Effecten in termen van ongevallen kunnen beter begrepen worden als daarbij ook de er aan voorafgaande processen worden betrokken. Inzicht in de onderliggende factoren die de werking - in positieve of in negatieve zin - van MVO zouden kunnen verklaren, maakt het tevens mogelijk in de toekomst gerichte hypothesen in ongevallestudies te toetsen.

Als we de verschillende stadia van de informatieverwerkingsketen beschouwen: waarnemen - evalueren - beslissen - handelen, dan zal duidelijk zijn dat als al in een vroeg stadium (bijvoorbeeld waarnemen) in deze keten 'iets fout gaat', dit van invloed zal zijn op alle daarop volgende stadia. Het behoeft nauwelijks betoog dat het overgrote deel van de informatie die een verkeersdeelnemer tot zich neemt van visuele aard is. Het 'niet zien' van een bepaald object is van cruciaal belang, omdat een fout in dit vroege stadium elk volgend proces - zoals herkennen, beslissen en handelen - beperkt, zo niet onmogelijk maakt.

Verlichting voeren op voertuigen speelt voor wat betreft de waarneming op twee manieren een rol: het is van belang voor "zien" en "gezien worden". In het algemeen heeft het verlichten van voertuigen dus te maken met zowel hoe het voertuig door anderen wordt gezien als met hoe de voertuigen de omgeving verlichten. Een kenmerk van MVO is dat niet (zoals 's nachts) de



omgeving verlicht wordt, en het zo de bestuurder van het voertuig mogelijk wordt gemaakt goed te 'zien', maar dat deze verlichting juist de bedoeling heeft dat voertuigen door anderen 'beter' (dan zonder verlichting) gezien worden (zie bijv. OECD, 1990, pp. 53-54). Motorvoertuigverlichting overdag (MVO) zal zijn werking daarom voornamelijk vinden in het "zichtbaar maken" van het voertuig voor anderen.

Wat zou MVO nu kunnen toevoegen aan de visuele informatie die ons in het verkeer toch al bereikt? Argumenten met betrekking tot 'opvallendheid', 'detecteerbaarheid' e.d. worden vaak opgevoerd. Voertuigen zouden ten gevolge van MVO 'opvallender' kunnen worden, ze zouden eerder gedetecteerd kunnen worden, ze zouden eerder en/of 'beter' herkend kunnen worden, de afstand tot andere voertuigen zou beter ingeschat kunnen worden, etc. De mogelijke invloeden van MVO op bijvoorbeeld 'zichtbaarheid', 'detectie', 'opvallendheid', 'herkenning', en 'identificatie' zullen in dit rapport aan de orde komen. Daarnaast worden zo nu en dan speculaties geuit omtrent negatieve bijwerkingen van MVO: zo zou verlichting overdag of tijdens de schemer verblindingsverschijnselen met zich mee kunnen brengen, en weggebruikers die geen verlichting voeren (zoals fietsers en voetgangers) zouden minder opvallend worden ten gevolge van MVO. Ook deze aspecten komen in het rapport aan de orde.

Centraal in het rapport staat derhalve de vraag wat nu de effecten van MVO zouden kunnen zijn op diverse aspecten van visuele waarneming; en wanneer treden nu 'positieve' en wanneer 'negatieve' effecten op? Om beide typen effecten te kunnen begrijpen, wordt één model gepresenteerd waarin allerlei typen onderzoek (bijvoorbeeld zowel detectie-experimenten als onderzoeken naar verblindingsverschijnselen) ondergebracht worden. Resultaten uit onderzoek (hoofdzakelijk betreffende koplampen) worden in dit rapport besproken en gerelateerd aan bovengenoemd model.

Het rapport besluit met conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek. In een bijlage worden tenslotte kort enige begrippen toegelicht met betrekking tot "licht": wat is licht, hoe worden verschillende aspecten van licht en waarnemen gemeten, e.d.?

## 2. WAARNEMEN

Waarnemen is een begrip dat verwijst naar alle perceptuele processen en uitkomsten die men zich kan voorstellen. Vanwege deze aspecificiteit wordt daarom in de literatuur vaak onderscheid gemaakt tussen verschillende aspecten van 'waarnemen'. Begrippen als 'detectie', 'opvallendheid' (Eng.: 'conspicuity'), 'zichtbaarheid' (Eng.: 'visibility') komen veelvuldig voor in de 'waarnemingsliteratuur'. Daarom worden hieronder enkele van deze begrippen kort beschreven.

### 2.1. Zichtbaarheid en detectie

De begrippen "zichtbaarheid" en "detecteerbaarheid" worden veelal door elkaar heen gebruikt. Zichtbaarheid kan gedefinieerd worden als de 50%-kans op detectie (=waarnemingsdrempel). Als een voorwerp 'beter' zichtbaar wordt, dan wordt meestal bedoeld dat het op de een of andere manier 'beter' gedetecteerd wordt, dus de kans op detectie steeds groter wordt (en in ieder geval groter dan de eerder genoemde 50%); dit houdt dan over het algemeen in dat een voorwerp al op een grotere afstand gedetecteerd wordt, of dat waarnemers een kortere tijd nodig hebben om te beslissen of een voorwerp er al dan niet is (reactietijd).

Zichtbaarheid bevat een menselijke beoordelingscomponent en er bestaat geen apparaat dat "zichtbaarheid" direct kan meten: er moet altijd een mens bij te pas komen om het te bepalen. Vaak wordt één en ander met behulp van detectie-experimenten onderzocht. Een belangrijke factor die bepaalt of een voorwerp gedetecteerd wordt is het contrast tussen voorwerp en achtergrond. Het contrast (C) tussen een object en z'n achtergrond wordt gedefinieerd als:

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

met  $L_a$  = luminantie van de achtergrond

$L_o$  = luminantie van het object,

en wordt meestal uitgedrukt in % (bovengenoemde expressie \* 100).

Hoewel contrast verband houdt met zichtbaarheid, is het niet hetzelfde. DiLaura (1978, geciteerd in Sanders & McCormick, 1987) geeft hier een eenvoudig voorbeeld van. Neem een voorwerp met een contrast van 50% met de achtergrond dat met een zaklantaarn wordt aangeschoten op een groot toneel in een theater; het zal nauwelijks zichtbaar zijn. Neem nu ditzelf-

de voorwerp dat nu door een grote schijnwerper wordt aangeschonen die 10.000 keer de lichtsterkte heeft van de zaklamp. Het contrast blijft hetzelfde, maar de "zichtbaarheid" verandert aanzienlijk. Zowel luminantie als contrast zijn van belang voor zichtbaarheid. Een andere factor is de grootte van het voorwerp; een groot voorwerp op het podium zal beter zichtbaar zijn dan een klein.

De mate waarin het visuele systeem gevoelig is voor contrast is dus niet onder alle omstandigheden dezelfde. Blackwell (o.a. 1946, 1968) is degene die waarschijnlijk het meest uitvoerig onderzoek heeft verricht naar de gevoeligheid van het visuele systeem. Hoe lager bijvoorbeeld het luminantieniveau is, hoe groter het contrast van een voorwerp met de achtergrond moet zijn om dezelfde kans op detectie te bewerkstelligen. Maar gegeven een bepaalde luminantie, verbetert de detecteerbaarheid van een voorwerp bijvoorbeeld als het contrast met de achtergrond groter wordt, en ook als het voorwerp groter wordt.

Om de zichtbaarheid van een bepaald voorwerp te bepalen, kan deze vergeleken worden met een of andere standaard. Blackwell (bijv. 1968) heeft uitgebreid onderzoek hiernaar verricht en hij formuleerde een standaardtarget als een uniform verlichte schijf met een grootte van 4 boogminuten (ca.  $0,07^\circ$ ) en gepresenteerd in pulsjes van  $1/5$  seconde op een uniform verlicht scherm. De taak van de proefpersoon was de aanwezigheid van het schijfje te detecteren. Blackwell wilde op deze manier de 'zichtbaarheidsdrempel' van een standaardtarget vaststellen: het punt waarop proefpersonen het schijfje in 50% van de gevallen waarin het werd aangeboden ook konden detecteren. Deze methode is een geschikte methode om de reacties van het visuele systeem op nog net waar te nemen kleine voorwerpen te bepalen, maar het is de vraag of deze iets zegt over hoe mensen meer complexe situaties "zien". Bovendien zegt deze methode niets over bovendrempelige waarneming, of waarneming die niet zozeer centraal (recht vooruit), maar juist perifeer plaats vindt (Sanders & McCormick, 1987).

## 2.2. Zichtbaarheid en opvallendheid

Soms wordt met "zichtbaarheid" méér bedoeld dan "iets gedetecteerd hebben". Men kan "iets" tussen andere elementen gedetecteerd hebben; dan wordt ook wel van opvallendheid gesproken. Of men kan "iets" (al dan niet

tussen andere elementen) herkend en geïdentificeerd hebben als zijnde bijvoorbeeld 'een auto'. Met andere woorden, "zien" heeft verschillende niveaus: bij detectie gaat het er om dat een waarnemer besluit dat hij "iets" gezien heeft, bij herkennen moet hij daarbij ook beslissen of dit iets hem bekend voor komt, en bij identificeren moet hij besluiten wat hij dan precies gezien heeft. De termen 'zichtbaarheid' en 'opvallendheid' worden in de literatuur vaak door elkaar gebruikt.

Zichtbaarheid impliceert nog geen opvallendheid; een bepaald voorwerp kan bijvoorbeeld tussen soortgelijke voorwerpen zichtbaar (lees: detecteerbaar) zijn, maar hoeft daardoor nog niet opvallend te zijn. Volgens Engel (1976, p. 90) wordt visuele opvallendheid gedefinieerd als de "objectfactor, of beter gezegd de verzameling van objectfactoren (fysische eigenschappen), die bepalend zijn voor de mate van waarschijnlijkheid dat een zichtbaar voorwerp in zijn achtergrond opgemerkt wordt."

Cole & Jenkins (1980; geciteerd in Cole & Hughes, 1990) definiëren opvallendheid als volgt: "Een opvallend voorwerp is een voorwerp dat, voor een gegeven achtergrond, met zekerheid wordt gezien binnen zeer korte tijd, ongeacht de plaats van het voorwerp in relatie tot de kijkrichting op het moment van fixatie". Binnen een zeer korte tijd is korter dan 200 msec volgens Cole & Jenkins, binnen die tijd is het namelijk niet mogelijk om oogbewegingen te maken. Excentriciteit, dus de hoek die het voorwerp maakt met de kijkrichting, is een belangrijke factor bij opvallendheid (Cole & Hughes, 1984; Engel, 1976). Ook het contrast tussen object en achtergrond en de complexiteit van de achtergrond zijn van belang. De grootte van het voorwerp speelde verrassenderwijze geen dominante rol.

Opvallendheid houdt dus in ieder geval in dat een bepaald voorwerp moet 'wedijveren' met andere voorwerpen om de aandacht te trekken, terwijl zichtbaarheid het detecteren van de aanwezigheid van een bepaald voorwerp inhoudt tegen een 'lege' achtergrond.

Er zijn vele 'definities' (hoewel niet alle even duidelijk) in omloop van de term opvallendheid. Wertheim (1986) en Theeuwes (1989) verschaffen overzichten van deze definities. Het meten en definiëren van 'opvallendheid' gebeurt op zoveel verschillende manieren dat het in feite niet mogelijk is om over 'de' opvallendheid van een voorwerp te spreken. Wat alle

definities van opvallendheid wel gemeenschappelijk hebben is dat altijd gerefereerd wordt aan 'aandacht': een opvallend object trekt aandacht (zie bijv. Theeuwes, 1989, p. 14). Alle definities hebben in feite ook gemeen dat externe, fysische, factoren de opvallendheid van een object bepalen.

Toch kunnen ook andere dan externe factoren van invloed zijn op de opvallendheid. Engel (1976) maakt in dit verband expliciet onderscheid tussen visuele opvallendheid (bottom-up) en cognitieve opvallendheid (top-down). Op min of meer dezelfde manier wijzen Hughes & Cole (1984) erop dat opvallendheid niet alleen beschouwd kan worden als een kenmerk van een object, juist omdat het gaat om het trekken van aandacht. Of een object al dan niet de aandacht van een waarnemer zal trekken hangt in sterke mate af van die waarnemer. Hughes & Cole onderscheiden daarom twee typen opvallendheid: 'attention conspicuity' en 'search conspicuity'. Het eerste type verwijst naar de mogelijkheid dat een object de aandacht zal trekken van een waarnemer die niet speciaal op zoek is naar zo'n object. Het tweede type, 'search conspicuity', wordt gedefinieerd als de kenmerken van een object die gemakkelijk en snel gelocaliseerd kunnen worden als de waarnemer er naar op zoek is. Volgens Douglas & Booker (1977) kan dit al of niet zoeken een groot verschil (factor 100 tot 1000) betekenen in bijvoorbeeld de minimale lichtsterkte die nodig is om een object te 'vinden'. Henderson et al. (1983) verstaan onder opvallendheid (van voertuigen) "not only that attribute of a vehicle that calls attention to itself as a stimulus, but also those attributes that contribute to the recognition of a stimulus as a vehicle and to the general understanding of what the vehicle is doing relative to the observer" (p. 145). In deze definitie lijken dus beide 'typen' opvallendheid zoals hierboven beschreven vertegenwoordigd te zijn.

Hughes & Cole (1984, 1986) noemen samenvattend een aantal factoren die meebepalen of een object al dan niet opvalt:

- fysische eigenschappen van het object en zijn achtergrond;
- de informatie die gegeven wordt, waaronder ook informatie omtrent het bijzondere of onverwachte karakter van het object;
- de informatiebehoefte van de waarnemer (is de waarnemer op zoek naar een bepaald object? e.d.);
- de waarnemingsstrategie van de waarnemer (weggebruiker), die mede bepaald wordt door de informatie in de omgeving en zijn behoefte aan informatie.

### 2.3. Herkennen, identificeren en de rol van verwachting

De meest elementaire vorm van 'waarnemen' is het detecteren of men 'iets ziet'. Het wordt gecompliceerder als een persoon daarbij ook moet aangeven tot welke klasse van voorwerpen dit 'iets' behoort: het herkennen of identificeren van objecten. De termen herkennen en identificeren worden meestal door elkaar gebruikt, en bedoeld wordt dan dat een voorwerp het juiste label opgeplakt krijgt door een waarnemer ("Dit is een auto"). Sommige auteurs merken op dat met herkennen slechts bedoeld wordt dat men het betreffende voorwerp 'al eens eerder heeft gezien', terwijl identificeren meer is dan dat: het herkende voorwerp wordt geïdentificeerd met een bepaalde categorienaam, bijv. een auto (zie bijv. Haber & Hershenson, 1980). Bij herkennen en identificeren spelen factoren als ervaring en geheugen een rol. Het is natuurlijk noodzakelijk dat verkeersdeelnemers relevante voorwerpen 'zien' (in dit geval bedoeld als: detecteren). Maar de detectie van 'iets' is over het algemeen niet voldoende om daarop adequate beslissingen met betrekking tot verkeersgedrag te baseren. Daarvoor is het ook nodig dat de juiste interpretatie gegeven wordt aan datgene wat 'gedetecteerd' is, de juiste betekenis of identificatie moet gekoppeld worden aan de visuele impressie, het beeld dat op het netvlies valt.

Een gebeurtenis of handeling kan gegenereerd worden door 'de omgeving', of gegenereerd zijn door de waarnemer die actief op zoek is naar een bepaald deel van de omgeving, of door een interactie van deze twee processen. Het onderscheid tussen het verwerken en waarnemen van 'fysische kenmerken' en de invloed van de waarnemer zelf op dit waarnemingsproces, wordt ook wel aangeduid met de termen 'bottom-up' versus 'top-down' processen. Of zoals Anderson (1983) dit onderscheid verwoordt: "Bottom-up processing starts with the data and tries to work up to the high level. Top-down processing tries to fit high-level structures to the data. [...] Whether one studies tasks that are basically perceptual (that is, they start at the bottom of the cognitive system) or basically problem solving (that is, they start at the top of the system), one must address the issue of how top-down processing and bottom-up processing are mixed" (p. 127).

Verschillende onderzoekers (o.a. Hughes & Cole, 1984, 1990) hebben laten zien dat de waarnemer zelf van grote invloed is op de kans dat een bepaald voorwerp wordt opgemerkt. Zo zal een waarnemer die voorwerpen met zekere

fysische kenmerken verwacht tegen te komen, deze eerder 'zien' dan als hij die niet verwacht. En LaBerge (1973) heeft in meer fundamenteel onderzoek bijvoorbeeld laten zien dat proefpersonen letters die zij verwachten te zien sneller herkennen.

Tenslotte kan opgemerkt worden dat 'detectie', 'opvallendheid' en 'herkennen' alledrie graduele zaken zijn en dat 'zichtbaarheid' (d.w.z. het 'zien' van iets) in de praktijk het resultaat van alle drie is. In de praktijk nemen mensen genoegen met meer of minder zekerheid wat betreft ofwel het zien van iets of het weten dat iets er is of weten wat dat 'iets' is.

#### 2.4. Toepassingen in het verkeer

##### 2.4.1. Detectie

Als aangenomen zou kunnen worden dat voertuigen en hun achtergrond uniforme targets waren en bestuurders slechts bezig zouden zijn met het geconcentreerd detecteren van voertuigen terwijl ze alleen maar recht vooruit kijken, dan zouden Blackwell's gegevens direct gebruikt kunnen worden om de omstandigheden te bepalen waarop een 'standaard' voertuig gedetecteerd kan worden. Voertuigen zijn echter geen uniforme targets: ze bestaan uit verschillende soorten oppervlakken van verf, glas, chroom etc. En de weg-omgeving is evenmin uniform. Bovendien lijkt het niet realistisch de bestuurder te beschouwen als iemand die zich alleen maar bezig houdt met het detecteren van voertuigen. Het is dus niet zo maar in te schatten hoe 'detecteerbaar' een voertuig is voor een bestuurder onder allerlei verschillende (licht)omstandigheden.

Hoe groter het contrast tussen het voertuig en de achtergrond is, hoe groter de kans is dat het gedetecteerd wordt. Voor licht gekleurde auto's ('verf/lak') is het contrast over het algemeen groter dan voor donker gekleurde auto's (zie bijv. Allen & Clark, 1964; Dahlstedt & Rumar, 1976). Maar het contrast van zo'n licht gekleurde auto met de achtergrond verandert niet als de verlichtingssterkte van de omgeving verandert. Omdat de contrastgevoeligheid van het visuele systeem afneemt met afnemende illuminaties zal de kans op detectie kleiner worden als de verlichtingssterkte van de omgeving afneemt.

Zelfs op zonnige dagen varieert de verlichtingssterkte van de achtergrond aanzienlijk. De bestuurder wordt niet alleen geconfronteerd met een verscheidenheid aan achtergrondluminanties die door de achtergrond zelf veroorzaakt worden, maar ook met zelfs grotere veranderingen die veroorzaakt worden doordat de achtergrond afwisselend in en uit het directe zonlicht gelegen is. Als gevolg hiervan is een voertuig dat in direct zonlicht behoorlijk goed zichtbaar zou zijn, in een donkere schaduw opeens relatief slecht zichtbaar. De luminantie van een lichtbron, aan de andere kant, is constant en als de bron helder genoeg is dan zal de luminantie ervan groter zijn dan die van onverlichte voorwerpen in de omgeving. Als de verlichtingssterkte van de omgeving afneemt, neemt het contrast tussen de lichtbron en de achtergrond juist toe. Dus, als een voertuig op de één of andere manier niet goed gedetecteerd kan worden, dan is het altijd 'voordelig' als dat voertuig verlichting voert. Dit geldt dan met name tijdens de schemer, bij slechte weersomstandigheden - zoals tijdens regen, mist en sneeuw - en wanneer de zon heel laag staat - zoals bij zonsopgang en zonsopgang. Maar ook op heel zonnige dagen kan een auto zonder verlichting gemakkelijk 'wegvallen' tegen de achtergrond, bijvoorbeeld in de schaduw van gebouwen of bomen; het voeren van verlichting kan er voor zorgen dat - door het vergrote contrast - in dergelijke situaties een voertuig goed gedetecteerd kan worden.

#### 2.4.2. Opvallendheid en herkenning

Het incorrect selecteren van informatie uit de omgeving (bijvoorbeeld op het verkeerde tijdstip, verkeerde informatie, e.d.) kan leiden tot ongevallen. Dit selecteren kan via 'top-down'-of 'bottom-up'-processen gebeuren. Stel we gebruiken MVO als voorbeeld om deze processen te illustreren. De verlichting 'sec' zou er voor kunnen zorgen dat de waarnemer daar 'automatisch' (bottom-up; vgl. 'attention conspicuity') naar gaat kijken, in feite zonder dat de waarnemer er erg in heeft; maar het kan ook zijn dat, omdat de waarnemer weet dat alle auto's altijd verlichting voeren, hij actief op zoek zal zijn naar deze 'cues' (top-down; vgl. 'search conspicuity'). Deze processen kunnen ook beide tegelijk spelen.

Hills (1980) benadrukt de rol van 'verwachtingen' in het verkeer: "A further important factor affecting a driver's detection and perception of a potential hazard is his perceptual 'set' or his expectancies. These are formed both from long-term experience and by the short-term experience of



the previous few minutes driving. These can profoundly affect the driver's interpretation of the various visual features and signals in a scene and also the various visual judgments he has to make." (Hills, 1980, pp. 190-193).

#### 2.4.3. Lichtomstandigheden en (vrijwillig) MVO-gebruik

Als het gebruik van motorvoertuigverlichting wordt geobserveerd, blijkt dat de omgevingsilluminantie de beste voorspeller ervan is. Maar niet de enige. Zo blijkt dat de weersgesteldheid een belangrijke rol speelt. In het algemeen neemt het voeren van verlichting toe - bij dezelfde omgevingsilluminantie - naarmate het weer "natter" wordt (zie bijv. Allen & Clark, 1964; Hisdal, 1973, geciteerd in Attwood, 1981; Williams, 1989).

Ook uit recente waarnemingen in Nederland (Lindeijer & Bijleveld, 1990) blijkt dat personenauto's bij nat weer hun verlichting al bij hogere illuminantiewaarden voeren dan bij droog weer. Bij een verlichtingssterkte van de omgeving van 2000 lux voert bij droog weer gemiddeld ongeveer 40% van de automobilisten verlichting, terwijl dit bij nat weer varieert van minder dan 60% tot meer dan 90%, maar gemiddeld 75% is (zie Afbeeldingen 1 en 2).

#### 2.4.4. Systematische codering

Er zijn dus - naast de verlichtingssterkte van de omgeving - ook andere factoren die de beslissing om verlichting te voeren beïnvloeden. Rabideau & Bhutta (1977, geciteerd in Attwood, 1981) noemen in dit verband de volgende factoren: het hierboven reeds vermelde weertype, maar ook het seizoen, type voertuig en wegtype. De verlichtingssterkte van de omgeving was wel de beste voorspeller voor het gebruik van verlichting. In alle gevallen is er trouwens wel sprake van een enorme spreiding in het gebruik van verlichting (zie Afbeeldingen 1 en 2). Niet iedereen doet dus op hetzelfde moment (in termen van verlichtingssterkte) de verlichting aan. Deze spreiding maakt dat ook in situaties waarin verlichting "echt nodig" is er altijd een deel van de voertuigen (nog) geen verlichting voert. Al vaak is het argument "homogeniteit" gebruikt in overwegingen over de verkeersveiligheid (zie bijv. SWOV, 1969; Schreuder & Lindeijer, 1987). Een ongeordende veelheid aan (visuele) elementen in het gezichtsveld kan een gevaar opleveren, omdat het dan moeilijk is voorspellingen te doen over hoe de visuele omgeving er uit zal zien in de nabije toekomst. Het systematisch

coderen van auto's door middel van bijvoorbeeld verlichting\* kan er voor zorgen dat bij verkeersdeelnemers de verwachting wordt aangeleerd dat aan het verkeer deelnemende motorvoertuigen voorzien zijn van brandende (kop)-lampen. Hierdoor zouden ze eerder herkend kunnen worden als zijnde relevante voorwerpen om rekening mee te houden, wat consequenties voor het gedrag met zich mee kan brengen. Hier staat tegenover dat - de redenering omkerend - voertuigen die niet voorzien zijn van verlichting dan niet meer 'verwacht' worden, en dus wellicht later herkend zullen worden. Dit laatste is alleen dan van belang bij partieel MVO-gebruik met een hoog percentage gebruikers. Bovendien zorgt homogeniteit bij het voeren van verlichting (overdag) er in ieder geval voor dat onder die omstandigheden waar het echt nodig is (bijvoorbeeld bij mist, zware regen, schemer e.d.) tenminste iedereen even goed zichtbaar is.

---

\* Alle auto's voorzien van dezelfde (lichte) kleur verf zal in deze context ook een efficiënte codering zijn, met dien verstande dat door 'kleur'-codering niet te zien is of de auto wel of niet aan het verkeer deelneemt: een geparkeerde auto - bijvoorbeeld - zal over het algemeen géén verlichting voeren en is daardoor te herkennen als op dat moment 'niet aan het verkeer deelnemend'; een 'rode' of 'witte' auto heeft die kleur altijd, ook als deze staat geparkeerd.

### 3. VERBLINDING

#### 3.1. Algemeen

Koplampen werden tot nog toe voornamelijk bij duisternis gebruikt. In deze context hebben ontwerpers van koplampen altijd het probleem gehad om aan de ene kant de lampen helder genoeg te maken zodat de bestuurder onverlichte objecten lang genoeg van te voren kan zien om nog actie te kunnen nemen; en aan de andere kant de lampen niet zo helder te maken dat ze onacceptabele verblinding tot gevolg hebben bij tegenliggers.

Het effect van een 'verblindingslichtbron' kan worden beschreven als een lichtsluier, of als een extra achtergrondluminantie, zodat het contrast tussen object en 'oorspronkelijke' achtergrond minder wordt en waardoor het object minder goed 'te zien' is. Er is veel onderzoek gedaan naar het onderwerp 'verblinding' en de negatieve invloed ervan op visuele prestaties en subjectieve beoordelingen. Het zal duidelijk zijn dat verblinding vooral 's nachts relevant is. Om deze reden is het belangrijk dat lampbundels goed zijn afgesteld en (naar rechts) gericht zijn.

Tijdens de zgn. hersteltijd bij verblinding is een deel van het netvlies 'buiten werking', zodat ook andere objecten slechter gezien worden, afhankelijk van de nieuwe kijkrichting. Deze hersteltijd voor verblinding is kort en verwaarloosbaar bij luminanties tussen ca. 100 en 3000 cd/m<sup>2</sup>, maar bij veranderingen waarbij het eindniveau lager dan enige tientallen cd/m<sup>2</sup> ligt, kan de hersteltijd aanzienlijke waarden aannemen (zie bijv. Schreuder, 1987). Dus als er al van verblinding door MVO sprake is dan herstelt het oog hier (want overdag) sneller van dan in het donker.

Europese dimlichten hebben een zogenaamde 'scherpe coupure' die een lage verblinding tot gevolg heeft: een lage lichtsterkte vlak boven de horizon zodat tegenliggers niet worden verblind, en een hoge lichtsterkte vlak onder de horizon zodat de weg e.d. goed verlicht wordt. In Europa is een verblindingsintensiteit limiet van 250 cd van kracht voor dimlichten (ECE, 1978); in de Verenigde Staten en Canada geldt een limiet van 1000 cd. De verblindingsintensiteit is het licht van de dimlichten dat in de richting van de ogen van tegemoetkomende automobilisten valt. Alferdinck & Padmos (1988) vonden echter dat in de praktijk, o.a. door vuil, ouderdom van de

lamp, foutief gericht staan e.d., deze verblindingsintensiteit in Nederland tussen de 200 en 1000 cd ligt, met een mediaan van 500 cd. Speciale 'running lights' om op of onder de voorbumper te plaatsen zijn momenteel op 15% van de Zweedse auto's te vinden. Een Zweedse standaard is in 1978 geaccepteerd (SIS, 1978). Recentelijk zijn ook ECE-regels vastgesteld voor MVO-lampen die aangeven dat het oppervlak  $\geq 40 \text{ cm}^2$  moet zijn en de lichtsterkte 'recht vooruit' tussen de 400 en 800 cd (ECE, 1990). Overdag leveren dergelijke waarden waarschijnlijk geen problemen op, maar naarmate de schemer vordert zal verblinding relatief meer van belang worden. In een aantal onderzoeken is dan ook expliciet gekeken naar het aspect 'verblinding' en MVO onder verschillende ambiënte lichtomstandigheden.

De gevoeligheid van het visuele systeem past zich aan aan de luminantie van de omgeving (adaptatie). Eenvoudig gezegd komt het erop neer dat het oog ongevoeliger wordt (voor licht) naar mate de omgevingsluminantie groter wordt. Als in het gezichtsveld nu objecten voorkomen waarvan de luminanties erg veel onderling verschillen, dan moet het oog steeds adapteren als van het één naar het ander gekeken wordt. Dit heet 'transiënt adapteren' en het reduceert het vermogen tot 'zien' tijdelijk totdat het oog weer geadapteerd is aan het 'nieuwe' luminantieniveau. Naast deze transiënte adaptatie wordt in de literatuur onderscheid gemaakt tussen

- 'discomfort glare', in het Nederlands ook wel psychologische verblinding genoemd (Duits: 'psychologische Blendung'; Arendt & Fischer, 1956, geciteerd in De Boer, 1967);
- 'disability glare', in het Nederlands ook wel fysiologische verblinding genoemd (Duits: 'physiologische Blendung');
- 'blinding glare', wat vertaald zou kunnen worden met 'absolute verblinding'\*.

In het algemeen kan onder 'verblinding' worden verstaan dat het veroorzaakt wordt door luminantie in het gezichtsveld die aanzienlijk groter is dan de luminantie waaraan de ogen geadapteerd zijn, en die ongemak, hinder, irritatie of verlies van visuele prestaties en zichtbaarheid tot gevolg heeft.

---

\* De van oorsprong Engelse terminologie is moeilijk te vertalen naar het Nederlands: zowel de woorden 'glare' als 'blinding' worden in het Nederlands met verblinding of verblindend aangeduid, daarom zullen de Engelse aanduidingen in de tekst gehanteerd worden.

"Discomfort glare" zorgt voor 'hinder' of 'ongemak' bij het waarnemen, maar interfereert niet noodzakelijkerwijs met visuele prestaties of zichtbaarheid\*; "disability glare" zorgt voor verminderde visuele prestaties en zichtbaarheid en gaat vaak vergezeld van 'hinder'; "blinding glare" tenslotte is zo intens dat voor een aanzienlijke tijd niets gezien kan worden, men is dan letterlijk blind (zie bijv. Kaufman & Christenson, 1972). Voor 'blinding glare' zijn zulke hoge luminanties nodig dat deze vorm van glare in de praktijk nauwelijks voor zal komen. In de volgende paragrafen beperken we ons daarom tot 'discomfort glare' en 'disability glare'.

### 3.2. Discomfort glare ("psychologische verblinding")

Discomfort glare is het gevoel van irritatie of hinder dat veroorzaakt wordt door hoge of niet-uniforme verdelingen van luminantie in het gezichtsveld. De onderliggende processen die 'discomfort glare' veroorzaken, zijn onvoldoende bekend. Er is veel onderzoek gedaan naar de ervaring van 'glare'. Omdat 'hinder' of 'ongemak' een subjectieve ervaring is, moet het vastgesteld worden door mensen te vragen het niveau ervan aan te geven (bijv. door een bepaalde 'score' te geven) als ze aan een verblindingsbron worden blootgesteld.

Eén van de maten waarmee discomfort glare wordt aangeduid heet de BCD - de 'borderline between comfort and discomfort' - ofwel de grens tussen aangenaam en onaangenaam. De BCD is de luminantie van een verblindingsbron die door een waarnemer beoordeeld wordt als zodanig dat deze net gevoelens van onaangenaamheid veroorzaakt. Hoe hoger de BCD-score, hoe minder verblindend de lichtbron, of hoe ongevoeliger een persoon is voor die verblinding. De mate van discomfort glare hangt o.a. samen met de hoek die de verblindingsbron maakt met de kijkrichting, de grootte van de verblindingsbron en de achtergrondluminantie. Zo vond Bennett (1977b; geciteerd in Sanders & McCormick, 1987) een correlatie van 0,26 van de BCD met achtergrondluminantie, een correlatie van -0,41 met de grootte van de verblindingsbron en een correlatie van 0,12 met de hoek tussen bron en kijk-

---

\* Hierbij kan worden opgemerkt dat het niet kunnen meten van 'minder prestatie' nog niet hoeft te betekenen dat de prestatie hetzelfde blijft; dat hangt namelijk af van de gevoeligheid en geldigheid van de gehanteerde 'prestatiemetingen'.

richting. Dus, hoe groter de achtergrondluminantie, hoe kleiner de verblindingsbron en hoe groter de hoek tussen verblindingsbron en kijkrichting, hoe minder 'hinder' geproduceerd wordt. Bennett merkt echter op dat deze drie factoren samen slechts 28% van de variantie in de BCD-beoordelingen verklaarden; individuele verschillen tussen waarnemers verklaarden veel meer: 55% van de variantie.

Er bestaan verschillende formules die aspecten die samenhangen met 'licht' op de één of andere manier relateren aan subjectieve beoordelingen van de hoeveelheid 'discomfort' die ervaren wordt. De meeste hebben ruwweg de volgende vorm:

$$\text{ervaren hoeveelheid glare} = \frac{(\text{luminantie van de verblindingsbron})^m * (\text{grootte van de bron})^n}{(\text{luminantie van de achtergrond})^x * (\text{hoek van bron met kijkrichting})^y}$$

In zijn algemeenheid laat de formule zien dat als de luminantie van de verblindingsbron toeneemt, de grootte toeneemt of de visuele hoek kleiner wordt, de mate van 'subjectieve glare' groter wordt; een toename van de luminantie van de achtergrond zorgt juist voor een afname in de ervaren 'glare'.

Er bestaan verschillende methodes om discomfort glare te bepalen. De VCP-methode bijvoorbeeld (VCP= visual comfort probability) geeft het percentage mensen waarbij verwacht wordt dat ze een bepaalde mate van glare nog acceptabel vinden. Het Glare Index systeem is een andere methode, het is een beoordelingsschaal waarop beoordelaars moeten aangeven hoe verblindend een lichtbron is: variërend van 'net te tolereren' tot glare die 'net niet waar te nemen valt'. Ook andere schalen - soms 6-punts, soms 9-punts - worden gebruikt, steeds volgens min of meer hetzelfde principe (zie bijv. De Boer, 1967; Sivak & Olson, 1988).

Alle methoden vertonen sterke gelijkens, en de resultaten verkregen met de verschillende methoden komen dan ook aardig overeen. Maar wat deze 'discomfort glare' nu eigenlijk precies is en hoe het veroorzaakt wordt is onbekend. Markus (geciteerd in Boyce, 1981) betwijfelt zelfs of 'glare' eigenlijk wel iets betekent voor de meeste mensen. Hij denkt dat het een

abstractie is die niet eenduidig overeenkomt met de ervaringen van mensen. Als onderzoekers vervolgens mensen vragen om de mate van 'glare' die ze ervaren aan te geven, dan is het niet zo verwonderlijk, volgens Markus, dat er moeilijk te interpreteren resultaten gevonden worden: iedereen hanteert zo zijn eigen definitie van wat 'glare' of 'verblindings' zou zijn. Markus wijst ook op het belang van context; mensen zitten bijvoorbeeld urenlang voor de televisie die, volgens de hierboven beschreven formules, "intolerable glare" produceert.

Geconcludeerd kan worden dat er nog maar weinig bekend is over de psychologische en fysiologische basis van het fenomeen 'discomfort glare'. Momenteel zijn er verschillende methoden in omloop om discomfort glare te bepalen, waarvan de voorspelde maten van discomfort glare aardig correleren; de correlatie van de voorspelde discomfort glare en individuele scores van waarnemers is echter bijzonder laag.

### 3.3. Disability glare ("fysiologische verblindings")

'Glare' die interfereert met visuele prestaties en zichtbaarheid wordt 'disability glare' genoemd. Licht dat het oog binnenkomt wordt verstrooid in de oogbol door onregelmatigheden van de lens en de vloeistof in de oogbol. Dit 'verstrooide' licht creëert een sluierluminantie op de retina en reduceert het contrast van de target waarnaar gekeken wordt, waardoor het minder goed 'zichtbaar' wordt. Elke lichtbron in het gezichtsveld veroorzaakt wat sluierluminantie op de retina. Het effect ervan op 'waarnemen' is een functie van de lichtsterkte van de verblindingsbron en de hoek die deze maakt met de kijkrichting. Hoe kleiner de hoek en hoe groter de lichtsterkte, hoe groter het effect op 'waarnemen' zal zijn. Ook gewoon daglicht kan disability glare veroorzaken. Dit wordt duidelijk als men televisie wil kijken overdag en de televisie staat vlak bij een raam: soms is het moeilijk om nog maar iets van het beeld te zien\*.

De afgelopen decennia is enorm veel onderzoek verricht naar deze vorm van verblindings. Er zijn formules opgesteld waarbij gebruik gemaakt is van sluierluminanties waarvan de invloed op waarnemen equivalent is aan de verblindingsverschijnselen. De algemene vorm van de formule is:

\* (gedeeltelijk ook door spiegeling)

$L_{seq} = k (E / \Theta^n)$   
waarin  $L_{seq}$  = de equivalente sluiertluminantie  
 $E$  = verlichtingssterkte  $E$  (lux) op het oog  
 $k, n$  = constanten  
 $\Theta$  = hoek van de verblindingsbron t.o.v. kijkrichting

De waarden voor de constanten  $k$  en  $n$  variëren o.a. voor verschillende leeftijden, voor verschillende hoeken  $\Theta$ , e.d. Meestal wordt de waarde 10 voor  $k$  en de waarde 2 à 3 voor  $n$  gekozen (zie bijv. ook Stiles & Crawford, 1937; Vos, 1983; en voor overzicht o.a. Schreuder & Lindeijer, 1987).

De nationale en internationale standaards voor de verlichting van voertuigen, houden rekening met deze 'disability glare'. Zo vermeldt de Europese norm dat de zogenaamde verblindingslichtsterkte van dimlichten in de richting van tegenliggers niet groter dan 250 cd mag zijn. 'Discomfort glare' wordt echter in geen van de normen vermeld; 'disability glare' - die visuele prestaties beïnvloedt - wordt als belangrijker beschouwd dan 'discomfort'. Bij de vraag of er al dan niet 'verblindings' zal optreden bij het voeren van verlichting overdag, speelt in feite voornamelijk de vraag of - onder bepaalde omstandigheden, bijvoorbeeld schemer - 'discomfort glare' een rol zal spelen. Over het algemeen zullen de luminantieniveaus overdag zo hoog zijn en derhalve het verschil in luminantie van een koplamp en de achtergrond dermate klein, dat van 'disability glare' geen sprake zal zijn. We komen later hierop terug.



#### 4. EEN KWALITATIEF MODEL

##### 4.1. Algemeen

Meestal wordt gesteld dat discomfort glare en disability glare twee verschillende vormen van verblinding zijn. Maar wanneer treedt nu het ene type op en wanneer het andere? En wanneer kan men 'goed waarnemen' zonder dat verschijnselen als verblinding optreden? Eén en ander is schematisch weergegeven in Afbeelding 3 (vgl. ook Hopkinson & Collins, 1970, p. 21). Op de horizontale as staat in arbitraire log-eenheden de adaptatie-luminantie uitgezet, die afhankelijk is van het lichtniveau van de omgeving; op de verticale as de lichtsterkte van lampen, ook in arbitraire log-eenheden. Het gebied dat linksboven en rechtsonder afgebakend is door krommen, geeft het gehele gebied weer waarin 'waarnemen' (i.e, zowel detecteren, herkennen etc.) mogelijk is. Stimuli die te donker zijn om te kunnen waarnemen, zijn gelegen in het gebied rechtsonder; stimuli die zo helder zijn dat ze letterlijk verblinden en waarnemen onmogelijk maken liggen linksboven. In het gebied waarin waarnemen mogelijk is, zijn verschillende deelgebieden te onderscheiden. De onderste kromme geeft het drempelniveau weer voor het detecteren van lichtpuntjes, gegeven bepaalde adaptatieluminanties; daarboven ligt een gebied waarin discriminatie mogelijk is - herkenning en identificeren zijn mogelijk - zonder negatieve 'bijverschijnselen' (het gearceerde gebied). Daar weer boven ligt het gebied waarin ook nog 'goed' kan worden waargenomen, maar waar daarbij een vorm van discomfort glare gaat optreden. En het gebied daar weer boven geeft aan dat er disability glare zal optreden, als lampen van deze sterkten zich binnen het gezichtsveld bevinden van een waarnemer\*. Detectie is daar natuurlijk zeer goed mogelijk, maar 'details' zijn moeilijker waar te nemen door 'disability glare'.

De horizontale lijnen Afbeelding 3 geven lichtsterkten van koplampen. Het plaatje illustreert dat een koplamp met lichtsterkte A bij hele lage adaptatieluminanties 'verblindend' zal zijn, maar bij een groot tussengebied aan adaptatieluminanties in het gebied 'goed zichtbaar' valt; nergens valt

\* Het gaat bij disability glare om een verblindingsbron Y die de waarneming van een object X bemoeilijkt of onmogelijk maakt; in Afbeelding 3 gaat het om de luminantie van X.

deze koplamp in het 'te donker' gebied voor detectie. Een koplamp met lichtsterkte B levert volgens het plaatje weliswaar nergens verblinding op, maar valt bij relatief hoge adaptatieluminanties in het 'te donker' gebied, waar de koplamp dus niet meer bijdraagt aan de zichtbaarheid.

De lijnen in Afbeelding 3 zijn vooralsnog slechts zo gekozen dat ze in vorm en ligging bij benadering overeenstemmen met bestaande kennis of noties daaromtrent. Zo zijn de lijnen die de grenzen aangeven voor disability glare en discomfort glare monotoon stijgend weergegeven, waarbij de glare-luminantie minder dan rechtevenredig toeneemt bij toenemende adaptatieluminanties (zie bijv. De Boer, 1967). De kromme voor detectie is afgeleid uit onderzoek naar drempelbepalingen voor het detecteren van puntbronnen (zie Douglas & Booker, 1977). De kromme die de grens voor 'absolute verblinding' aangeeft is zo gekozen, omdat wel melding wordt gemaakt van het feit dat zowel bij heel hoge als bij heel lage adaptatieluminanties deze vorm van verblinding eerder zal optreden dan bij de tussenliggende waarden (zie bijv. Vos, 1977). Het dynamische bereik van het visuele systeem (waarbinnen 'goed' kan worden waargenomen) bedraagt ongeveer 2 tot 3 log-eenheden voor elke adaptatieluminantie (Pugh, 1988); een dergelijk bereik is tevens aangehouden in het model zoals afgebeeld in Afbeelding 3.

#### 4.2. Het model en MVO-onderzoek

##### 4.2.1. Conceptueel kader

Tot nog toe zijn, bij proeven op het gebied van MVO en visuele waarneming, de resultaten van verschillende typen onderzoeken (bijv. naar detectie, verblinding) steeds min of meer los van elkaar verricht of gerapporteerd. Of dergelijke onderzoeken hadden betrekking op de vraag wanneer een 'verbetering' (bijv. in termen van detectie) op zal treden ten gevolge van MVO, of op de vraag wanneer 'negatieve' bijverschijnselen (bijv. glare) zouden optreden ten gevolge van MVO. Het hier gepresenteerde model is een poging om verschillende typen onderzoek rechtstreeks met elkaar in verband te brengen, en zo meer duidelijkheid te verkrijgen omtrent de vraag wanneer nu positieve en wanneer negatieve effecten van MVO te verwachten zijn. Dit rapport heeft vooralsnog niet tot doel het model te toetsen op zijn geldigheid of de grenslijnen zoals aangegeven in Afbeelding 3 nauwkeurig te bepalen. Het is in eerste instantie bedoeld om een conceptueel kader aan te geven, waarin verschillende visuele verschijnselen en onder-

zoeken begrijpelijk zijn samen te vatten. Mocht blijken dat het model hiertoe in staat is, dan is de volgende stap om het model nader te kwantificeren en te toetsen op zijn geldigheid (wanneer wel en wanneer niet toepasbaar?\*)

Aan de hand van een aantal onderzoeken, wordt vervolgens getracht dit conceptuele plaatje enigszins te kwantificeren. Steeds wordt de combinatie van de lichtsterkte van koplampen zoals gebruikt in MVO-experimenten tegen de adaptatieluminantie uitgezet. Daarbij wordt de lichtsterkte uitgedrukt in cd, en de adaptatieluminantie in  $\text{cd/m}^2$ . Omdat adaptatie afhangt van de hoeveelheid licht die op het oog valt, is het heersende luminantieniveau hier de meest geschikte variabele. De meeste onderzoeken maken wel melding van het heersende lichtniveau tijdens het experiment in termen van illuminantie (lux), maar niet in termen van luminantie ( $\text{cd/m}^2$ ).

Volgens

$$\text{luminantie} = \frac{\text{illuminantie} \times \text{reflectiefactor}}{\pi}$$

kunnen illuminantiegegevens omgerekend worden in luminantiewaarden. Als aangenomen wordt dat de gemiddelde reflectie van de oppervlakken 15% was tijdens de diverse onderzoeken (N.B. 10% reflectie voor asfalt wegdek; 20% voor gras), dan kunnen de illuminantiegegevens bij benadering worden omgerekend naar de adaptatieluminantie.

#### 4.2.2. Drempelwaarden

In Afbeelding 4 is de lijn die de drempelwaarde aangeeft ontleend aan gegevens van Douglas & Booker (1977). In hun grafiek staat de 98% detectiegrens uitgezet van een (punt) lichtbron als functie van de achtergrondluminantie, die zij uitdrukken in footlamberts. Deze luminantiemaat kan eenvoudig omgerekend worden in de meer gebruikelijke  $\text{cd/m}^2$ , volgens: 1 fL =  $3,426 \text{ cd/m}^2$ . De drempelwaarden die Douglas en Booker geven zijn uitge-

---

\* Zo is bijvoorbeeld in het model nog geen rekening gehouden met de visuele hoek. Het is bekend dat bij perifeer waarnemen over het algemeen groter lichtsterkten nodig zijn om 'verblinding' of een 'verbetering in detectie' te bewerkstelligen dan bij centraal waarnemen. Ook is nog geen rekening gehouden met de grootte van de lichtbron; voornamelijk is één grootte verondersteld, namelijk die van een 'gemiddelde koplamp' (van ongeveer  $100 \text{ cm}^2$ ). Bij een nadere specificering van het model zal (o.a.) hiermee rekening moeten worden gehouden.

drukt in 'milecandles', een illuminantiemaat, en is zonder aannamen niet om te rekenen in candela's, de maat voor lichtsterkte. Als aangenomen wordt dat de hierna te bespreken onderzoeken gemiddeld een waarnemingsafstand van ongeveer 100 m hadden, dan is (gegeven de zgn. kwadratenwet van de fotometrie) :

$$1 \text{ cd} = \frac{1 \text{ milecandle}}{(1609)^2} * 100^2$$

De zo verkregen waarden kunnen worden beschouwd als extreem lage waarden en gelden slechts dan als de waarnemer precies weet waar hij de lichtbron moet zoeken (Douglas & Booker, 1977, pp. 4-18). De auteurs merken op dat zelfs als de lichtsterkte twee maal zo groot is, de lichtbron moeilijk te vinden zal zijn. De waarden moeten een factor 5 tot 10 groter zijn als de lichtbron 'gemakkelijk' te vinden moet zijn (Tousey & Koomen, 1953). Verder merken Douglas en Booker op dat deze drempelwaarden slechts toepasbaar zijn als een waarnemer gericht op zoek is naar het lichtsignaal. Een veel sterker signaal is nodig als het de aandacht moet trekken van een waarnemer die er niet naar op zoek is; dan zijn volgens sommigen zelfs factoren van 100 tot 1000 niet denkbeeldig (zie bijv. Kaufman & Christenson, 1972). In Afbeelding 4 zijn de door Douglas en Booker gegeven drempelwaarden, vermenigvuldigd met een factor 10 en omgerekend naar  $\text{cd/m}^2$ , resp. cd, ingetekend; de lijn dient in deze figuur voornamelijk als referentie om een idee te krijgen in welk (enorm) gebied 'waarnemen' mogelijk is.

#### 4.3. Detectie-experimenten

##### 4.3.1. Lichtsterkte en detectie-afstand

In deze en volgende paragrafen worden onderzoeken gepresenteerd die betrekking hebben op de vraag op wanneer en hoe de (visuele) 'prestatie verbetert' als voertuigen verlichting voeren in vergelijking tot de situatie dat deze geen verlichting voeren. Het gaat hier dus om de invulling van het 'tussengebied' (tussen detectie en verblinding) in Afbeelding 3, waarbij gezocht wordt naar een grens die aangeeft waar de prestatie nog net verbetert ten gevolge van MVO.

Hörberg & Rumar (1975; zie ook Hörberg & Rumar, 1979) deden een aantal experimenten om het effect van lichtsterkte, grootte en kleur van koplampen te onderzoeken op de detectie-afstand van voertuigen die een waarnemer

naderden bij verschillende visuele hoeken (30° en 60°). Het experiment vond plaats op een taxibaan van een militair vliegveld. De omgevingsilluminantie varieerde van 3000 tot 6000 lux. De onderzoekers gebruikten lampen van 50 cd, 150 cd, 400 cd en 60.000 cd (groot licht), en vergeleken de detectie-afstanden met die verkregen wanneer er geen verlichting ontstoken was. De resultaten lieten zien dat de koplampen intenser moeten zijn om voertuigen bij 60° visuele hoek te detecteren dan om ze bij 30° visuele hoek te detecteren bij dezelfde afstanden. Bij 60° perifeer waarnemen is een aanzienlijk grotere lichtsterkte (> 400 cd) nodig om de detectie-afstand bij omgevingsilluminaties tussen 3000 en 6000 lux (vroeg avondschemer) te verbeteren. Bij 30° visuele hoek levert een lichtsterkte van 400 cd bijna een verdubbeling op de detectie-afstand van een voertuig vergeleken met hetzelfde voertuig zonder verlichting (zie Afbeelding 5, overgenomen uit Rumar, 1980). In Afbeelding 4 is dit te zien aan het feit dat het punt voor de 400 cd-lamp boven de stippellijn ligt.

Hörberg (1977; zie ook Hörberg & Rumar, 1979) onderzocht in een soortgelijk experiment tevens detectie-afstanden van voertuigen onder een hoek van 20° bij een aantal verschillende omgevingsilluminaties, variërend van 125 tot 1750 lux. Lampen van 100, 200 en 300 cd werden gebruikt. De resultaten lieten zien dat de detectie-afstanden groter werden naarmate de lichtsterkte van de lampen groter was tot een daglichtniveau van ongeveer 1000 lux; de bijbehorende punten zijn ingetekend in Afbeelding 4. Bij omgevingsilluminaties boven de 1000 lux vond geen verbetering in detectie-afstand meer plaats (met geen van de drie lampen).

Kirkpatrick et al. (1987) deden een vergelijkbaar experiment. De detectie-afstand van een voertuig dat onder een hoek van 15° een waarnemer naderde werd vastgesteld onder verschillende daglichtomstandigheden. Lampen met een lichtsterkte van 250, 500, 1000 en 2000 cd werden gebruikt bij omgevingsilluminaties van 20.000 en 70.000 lux (heldere daglichtomstandigheden). De resultaten lieten zien dat detectie-afstand toenam naarmate de lichtsterkte van de lampen toenam. De gemiddelde verbetering in detectie-afstand bedroeg ongeveer 24 m als de resultaten verkregen met de 2000 cd lamp en die zonder verlichting met elkaar worden vergeleken. Bij een omgevingsilluminantie van 20.000 lux vond een verbetering in detectie-afstand plaats vanaf lichtsterkten van 1000 cd; bij een grotere omgevingsilluminantie van 70.000 lux trad echter pas verbetering op vanaf 2000 cd (zie ook Afbeelding 4).

Attwood (1975; zie ook Attwood, 1981) deed een soortgelijk onderzoek, maar bij een veel grotere range van omgevingsilluminanties. Afbeelding 6 geeft de resultaten weer. Voertuigen werden eerder gedetecteerd wanneer de (low-beam) koplampen aan waren dan wanneer ze uit waren. Aangenomen wordt dat de lampen een lichtsterkte van 600 cd hadden (volgens SAE standaard). De detectie-afstanden waren min of meer constant over de hele range van omgevingsilluminanties als de voertuigen verlichting voerden. Als de voertuigen geen verlichting voerden, namen de detectieafstanden echter af naarmate ook de omgevingsilluminantie afnam. Bij waarden van de achtergrondluminantie hoger dan ongeveer  $100 \text{ cd/m}^2$  vond geen verbetering meer plaats in detectie-afstand als uitkomsten vergeleken werden tussen wel of geen verlichting voerende voertuigen; bij lagere waarden verbeterde de detectie van een voertuig met verlichting steeds meer naarmate de achtergrondluminantie omlaag ging. Een simulatie van het experiment in het laboratorium (Attwood & Angus, 1975) leverde soortgelijke resultaten op. In Afbeelding 4 is e.e.a. weergegeven voor een subset van vier punten; te zien is dat de afstand tot de stippellijn steeds kleiner wordt naarmate de achtergrondluminantie groter wordt. Niet in overeenstemming met Attwood's onderzoekresultaten, suggereert Afbeelding 4 dat ook bij waarden vanaf  $100 \text{ cd/m}^2$  nog een verbetering in detectie plaatsvindt.

#### 4.3.2. Afstand schatten en "gap acceptance"

Hörberg (1977) onderzocht de effecten van lichtsterkte van koplampen op het schatten van afstanden. Proefpersonen moesten de afstanden tot twee stilstaande auto's vergelijken die op verschillende rijbanen stonden tussen 250 en 550 m van hen af. Eén van de auto's had geen verlichting, de andere wel (met lichtsterkte van 300 of 900 cd). De afstanden tussen de voertuigen bedroeg 0, 15, 30 of 60 m en de taak van de proefpersoon was binnen enkele seconden te beslissen welke het dichtst bij stond. De omgevingsilluminantie bedroeg 4000-5000 lux. Het bleek dat naarmate de lichtsterkte van de koplamp groter was, de geschatte afstand tot dat voertuig kleiner was. Anders gezegd: als beide voertuigen even ver weg stonden, dan werd het verlichte voertuig dichterbij geschat dan het onverlichte. Aangenomen zou kunnen worden dat het dichterbij schatten van een voertuig 'veiliger' is, omdat eerder overgegaan zal worden tot een reactie van de bestuurder. De bijbehorende punten in Afbeelding 4 liggen dan ook beide boven de stippellijn, een 'betere prestatie' dan zonder verlichting het geval geweest zou zijn.

Attwood (1976; zie ook Attwood, 1981) onderzocht of verlichting op voertuigen onder verschillende omgevingsluminanties invloed had op 'gap acceptance'. Proefpersonen moesten in een gesimuleerde inhaal-taak beslissen wanneer ze nog net veilig konden inhalen, terwijl er een tegenligger - met of zonder verlichting - hen tegemoet kwam. De minimale geaccepteerde 'gaps' varieerden zowel met de lichtsterkte van de koplamp, als met de omgevingsluminantie. Attwood noemt de lichtsterkten van de gebruikte koplampen niet, wel vermeldt hij dat een 'low-beam' en een 'reduced low-beam lamp' werd gebruikt. De geschatte lichtsterkte van de 'low-beam lamp' bedraagt 600 cd (volgens SAE standaard), die van de 'reduced low-beam lamp' is geschat op 200 cd. Bij een omgevingsluminantie van  $343 \text{ cd/m}^2$  werd bij de 'low-beam lamp' een aanzienlijk grotere 'gap' (70 m) geaccepteerd in vergelijking tot de situaties zonder licht, resp. met de 'reduced low-beam lamp' (20-25 m). Bij een zeer geringe omgevingsluminantie ( $4,6 \text{ cd/m}^2$ ) moesten de 'gaps' veel groter zijn voor ze werden geaccepteerd als 'net veilig', zowel met de 'low-beam' als met de 'reduced low-beam lamp' (120 resp. 50 m). Het accepteren van een grotere gap kan worden geïnterpreteerd als een 'veiliger' prestatie ten opzichte van de situatie zonder verlichting. Daarom ligt in Afbeelding 4 voor de  $343 \text{ cd/m}^2$ -situatie het 600 cd-punt boven de stippellijn, maar het 200 cd-punt niet (de geaccepteerde 'gap' was in dit geval namelijk niet groter vergeleken met die voor de situatie zonder verlichting). Voor de  $4,6 \text{ cd/m}^2$  liggen beide punten boven de stippellijn. De figuur suggereert tevens dat de 'low-beam' koplamp bij lage luminanties (bijna donker) net niet tot discomfort glare zal leiden.

#### 4.4. Subjectieve beoordelingen van zichtbaarheid en glare

In Afbeelding 7 zijn experimenten ingetekend met betrekking tot 'glare' en andere subjectieve beoordelingen. De bovenste stippellijn geeft de grens weer waarboven 'discomfort glare' zal optreden; de onderste lijn geeft - net als in Afbeelding 4 - de grens aan waarboven op de een of andere manier een 'verbetering ten opzichte van de situatie zonder verlichting' optreedt.

##### 4.4.1. Beoordelingen van zichtbaarheid

Hörberg & Rumar (1975; zie ook Hörberg & Rumar, 1979) onderzochten met behulp van 'paired comparisons' de relatieve zichtbaarheid van voertuigen; proefpersonen moesten aangeven welke van twee voertuigen 'beter zichtbaar'

was. Hierbij was steeds één van de auto's uitgerust met verlichting (50, 150 of 400 cd), de andere niet. De omgevingsilluminantie bedroeg ongeveer 2500-5000 lux. De resultaten lieten zien dat de proefpersonen zelfs een auto uitgerust met een 50 cd lamp als beter zichtbaar beoordeelden dan een auto zonder verlichting; een verbeterde zichtbaarheid nam echter pas duidelijk toe bij 400 cd. In Afbeelding 7 is te zien dat het 400 cd-punt duidelijk boven de lijn ligt die een 'verbetering ten opzichte van de situatie zonder verlichting' weergeeft, de andere twee punten liggen niet boven deze lijn.

Allen & Clark (1964) stelden de 'zichtbaarheid' vast met behulp van een 'zichtbaarheidsmeter'. Zij constateerden dat een lamp van 21 cd gemonteerd aan de voorkant van een auto bij een illuminantie van 2000 ftc'd (= 21.529 lux) even goed 'zichtbaar' was als een zwarte auto. Bij 750 ftc'd (= 8.074 lux) was de 21 cd lamp even goed 'zichtbaar' als een witte auto; en bij 250 ftc'd (= 2.691 lux) was de 21 cd lamp beter zichtbaar dan auto's zonder licht. Uit het artikel van Allen en Clark wordt niet goed duidelijk hoe deze 'zichtbaarheidsmeter' precies werkte. Als de punten ingetekend worden in Afbeelding 7, dan stemmen de resultaten van het experiment niet overeen met de interpretatie die er volgens de figuur aan gegeven moet worden; in alle drie de gevallen komen de punten royaal onder de stippellijn terecht.

#### 4.4.2. Herkenning

In de eerder beschreven detectie-experimenten was de taak van de proefpersoon over het algemeen het detecteren van één voertuig in een verder lege verkeersruimte. Bovendien wisten de proefpersonen in alle gevallen wat zij te zien zouden krijgen: een auto. De hierboven beschreven experimenten zijn in feite alleen van toepassing op verkeersdeelnemers die alert zijn, op de juiste plaats in het gezichtsveld keken op het juiste moment en wisten welk (type) object zij konden verwachten.

In werkelijkheid zullen zich allerlei verlichte en onverlichte voertuigen en verkeersdeelnemers (en andere al dan niet verlichte objecten) op de weg bevinden; of de resultaten van detectie-experimenten ook op deze situaties toegepast kan worden, is dan nog de vraag. Het is daarom aan te bevelen om een experiment uit te voeren, waarin proefpersonen verkeersdeelnemers - en niet slechts auto's - niet alleen moeten detecteren, maar ook moeten identificeren. c.q. herkennen als bijvoorbeeld voetgangers, auto's, fiet-



sers, e.d.. Het 'juist herkennen' kan dan bijvoorbeeld blijken uit het juist benoemen van objecten, of uit de 'juiste' (verkeers)manoeuvre die proefpersonen geacht worden uit te voeren. In een dergelijk experiment kan onderzocht worden of auto's met MVO ook beter herkend als zodanig; de verlichting kan dan als extra codering gelden, en een zekere verwachting kweken, voor een 'aan het verkeer deelnemend' voertuig, in tegenstelling tot bijvoorbeeld een geparkeerde auto (zonder verlichting). Omdat tot nog toe weinig aandacht is besteed aan dergelijke cognitieve processen bij waarnemingsonderzoek op het gebied van verkeers(veiligheid), is het aan te bevelen te onderzoeken in hoeverre bijvoorbeeld 'top-down' invloeden een rol zouden kunnen spelen bij een maatregel als MVO.

In het schematische model (Afbeelding 3) wordt aangenomen dat ook herkenings- en identificatieprestaties verbeteren als de lichtsterkte van lampen toeneemt. Of dit inderdaad het geval is, zal aan de hand van onderzoek moeten worden vastgesteld. Een aanwijzing dat de identificatieprestatie inderdaad toeneemt met luminantieniveau is af te leiden uit een laboratoriumonderzoek van Hagenzieker et al. (1990). Proefpersonen moesten letters benoemen die ofwel een 'hoge' (10 cd/m<sup>2</sup>) ofwel een 'lage' (0,2 cd/m<sup>2</sup>) luminantie hadden. Uit de resultaten bleek dat de identificatieprestatie beter was in de hoge luminantieconditie. Opvallend was dat de localisatiepresentatie niet beïnvloed werd als de hoge en lage luminantieconditie met elkaar werden vergeleken. Er lijken derhalve twee min of meer onafhankelijke componenten of processen betrokken te zijn bij 'herkennen': localiseren en identificeren. Opgemerkt moet worden dat deze laboratoriumtaak nog ver van de 'werkelijkheid' afstaat, en generaliseren van de resultaten een hachelijke zaak is; het dient hier om te illustreren dat "herkenning" en "identificatie" mogelijk belangrijke afhankelijke variabelen zijn om - ook in relatie tot MVO - nader te onderzoeken.

#### 4.4.3. Beoordelingen van (discomfort) glare

Onderzoekingen die betrekking hebben op beoordelingen van glare, hebben in termen van het model van Afbeelding 3 vooral te maken met het zoeken naar de grens tussen het 'goed' waarnemen (zonder hinderlijke bijverschijnselen) en het optreden van verblinding.

Kirkpatrick & Marshall (1989) onderzochten in hoeverre koplampen (met verschillende lichtsterkten) bij een gemiddelde omgevingsilluminantie van

ongeveer 1900 lux discomfort glare opleveren als waarnemers in hun achteruitkijkspiegels de verlichting van een achteropkomende auto zien. Lichtsterkten van 500, 1000, 2000, 4000 en 7000 cd werden gebruikt.

Beoordelaars moesten op een 9-punts schaal (De Boer schaal) aangeven hoe hinderlijk ze de 'glare' vonden. Uit de resultaten bleek dat de 2000 cd lamp door 80% van de proefpersonen als 'net acceptabel' beoordeeld werd, lampen van meer dan 2000 cd werden onacceptabel of storend gevonden; de 1000 cd lamp werd 'bevredigend' genoemd. In een eerder experiment onderzochten Kirkpatrick et al. (1987) ook discomfort glare via achteruitkijkspiegels; toen bedroeg de gemiddelde omgevingsilluminantie ongeveer 700 lux. Lampen van 500, 1000 en 2000 cd werden gebruikt, en proefpersonen beoordeelden de 1000 cd lamp als 'net acceptabel'. Het is bekend dat de discomfort glare luminantie minder dan rechtevenredig afneemt met toenevende adaptatie-luminantie (De Boer, 1967); de resultaten van Kirkpatrick c.s. zijn hiermee dus in overeenstemming. De punten voor beide experimenten zijn ingetekend in Afbeelding 7; te zien is dat voor beide omgevingsilluminanties de lampen vanaf 2000 cd volgens de figuur 'hinder' zouden moeten opleveren. Kirkpatrick & Marshall leiden uit hun resultaten echter af dat het verschil in gemiddelde omgevingsilluminantie niet de oorzaak kan zijn van de verschillende beoordelingen in beide experimenten (zoals de figuur zou suggereren). Zij concluderen dat als met de verschillende omgevingsilluminanties rekening wordt gehouden, in het 1989-experiment nog steeds de 2000 cd lamp als 'net acceptabel' beoordeeld werd. Kirkpatrick & Marshall opperen dat het gevonden verschil in beoordelingen wellicht te wijten is aan een zogenaamd 'range effect'; in het tweede experiment varieerden de lichtsterkten van de lampen van 500 tot 7000 cd, in het eerdere experiment van 500 tot 2000 cd. Proefpersonen kunnen hun beoordelingen dus gebaseerd hebben op de relatieve hinder die ze ondervonden, rekening houdend met de range aan lichtsterkten waaraan ze blootgesteld werden.

Ook Sivak et al. (1989a) wijzen op de rol die eerdere blootstelling of 'ervaring' (maar dan wel in een geheel andere orde van grootte) speelt bij discomfort glare die ervaren wordt. In een experiment werden zowel Amerikanen alsook een groep West-Duitsers, die net een aantal weken daarvoor in de Verenigde Staten waren gearriveerd, gevraagd koplampen te beoordelen op de mate van discomfort glare. De lichtsterkte van Europese dimlichten is lager dan die van Amerikaanse. De resultaten lieten zien dat West-Duitsers

significant meer 'hinder' ondervonden van de (Amerikaanse) koplampen dan de Amerikaanse proefpersonen; de beoordeling van glare lijkt dus met eerdere ervaring te maken te hebben.

Niet alleen ervaring, maar ook leeftijd lijkt van invloed te zijn op beoordelingen van discomfort glare, waarbij ouderen er eerder last van hebben dan jonge mensen (zie bijv. Kirkpatrick et al., 1987; Olson & Sivak, 1984; Pulling et al., 1980). Niet altijd worden echter leeftijdseffecten gevonden, het eerder genoemde onderzoek van Kirkpatrick & Marshall (1989) kon geen effect van leeftijd aantonen op beoordelingen van discomfort glare. Dit is ook niet zo vreemd; er zijn namelijk geen fysiologische redenen voor een toename van discomfort glare met leeftijd, maar wel voor disability glare met leeftijd. En deze twee typen glare kunnen tegelijkertijd voorkomen, ook in experimenten.

Sivak et al. (1989b) vonden een samenhang tussen ervaren discomfort glare en taakmoeilijkheid. Het bleek dat hoe moeilijker de taak was die proefpersonen moesten uitvoeren, des te groter de ervaren discomfort glare was. Bovendien bleek dat proefpersonen die slecht waren in het uitvoeren van de taak meer 'hinder' van de glare stimuli hadden dan proefpersonen die goed waren in het uitvoeren van de taak.

Tijdens een MVO-test in Florida (SAE, 1987) beoordeelden waarnemers of MVO van verschillende lichtsterkten onder verschillende omgevingsilluminaties en verschillende visuele hoeken "te zien was" en in welke mate. Daarbij werd de volgende schaal gebruikt: 0 - DRL not noticeable; 1 - DRL slightly noticeable; 2 - DRL noticeable; 3 - DRL very noticeable; 4 - DRL too bright. Als beoordelingen van waarnemers in de categorie 0 of 4 vielen dan werd dit als 'onacceptabel' aangemerkt. De algemene conclusies van de test luiden dat bij kleine waarnemingshoeken de beoordelaars de lampen eerder opmerkten dan bij meer perifere visuele hoeken; de lampen eerder opmerkten op korte dan op lange afstanden en dat lampen met een lichtsterkte van 5000 cd onder alle omstandigheden door veel waarnemers als 'too bright' werden beoordeeld. In Afbeelding 7 staan enkele punten behorende bij deze test weergegeven. Bij een omgevingsilluminantie van 90.000 lux werden de lampen met lichtsterkte 600 cd (kijkhoek 8°; afstand 152 m) nauwelijks opgemerkt; dit punt is in de figuur dan ook terug te vinden onder de stip-pellijn. De lamp van 1500 cd werd beter opgemerkt en die van 5000 cd nog

beter, maar door de meeste waarnemers nog niet als 'too bright' bestempeld (hoewel de figuur dit wel suggereert). Bij een veel lager niveau van ambiente illuminantie (ong. 8000 lux) werd ook de 600 cd lamp al duidelijk opgemerkt, en ligt in Afbeelding 7 dan ook boven de stippellijn.

Bij een soortgelijke test (SAE, 1989) in Washington, D.C. beoordeelden waarnemers of lampen van respectievelijk 200, 400, 500, 1000, 2000, 2400 en 7000 cd als 'verlicht' (ja of nee 'lighted') werden waargenomen en of deze 'hinderlijk' (ja of nee 'glaring') werden gevonden onder twee niveaus van omgevingsilluminantie: van ong. 40.000 lux en 800 lux. De resultaten lieten zien dat alle lampen onder zowel daglicht- als schemercondities door meer dan 80 % van de proefpersonen werden beoordeeld als 'lighted'. Bij de daglichttest (40.000 lux) bleek tevens dat vanaf circa 2400 cd de lampen door meer dan 20% van de beoordelaars als 'glaring' werden beoordeeld; bij schemeromstandigheden werd dit percentage al bij lampen vanaf ca. 1000 cd gehaald (zie ook Afbeelding 7).

De afgelopen jaren heeft de SAE een hele reeks MVO-proeven uitgevoerd, vergelijkbaar met de hierboven beschreven tests (zie CIE, 1990; SAE, 1990). Een samenvatting van deze proeven en de resultaten er van is te vinden in Bijlage 2.

#### 4.5. Samenvatting van de resultaten

Als we de Afbeelding 4 en 7 in één plaatje samenvatten, ontstaat Afbeelding 8. Deze nieuwe figuur is in feite een kwantificering van het eerder gepresenteerde model zoals in Afbeelding 3 is weergegeven. Als we vervolgens aannemen dat de ingetekende stippellijnen die respectievelijk de grenzen aangeven waarboven één of andere verbetering in visuele prestatie of beoordeling optreedt ten opzichte van de situatie zonder verlichting en die waarboven 'discomfort glare' zal gaan optreden, correct zijn, dan geeft het gebied tussen de stippellijnen een indicatie voor de gewenste lichtsterkte voor verlichting op voertuigen.

Bij omgevingsluminanties van ruwweg  $1 \text{ cd/m}^2$  en lager kunnen we spreken van 'donker'; omgevingsluminanties tussen 1 en ongeveer 100 à 200  $\text{cd/m}^2$  worden aangetroffen tijdens de schemer; en daarboven kan gesproken worden van 'daglicht' (zie Afbeelding 9 voor enige voorbeelden van luminantiewaar-

den van praktijksituaties). Afbeelding 8 laat zien dat hoe hoger de adaptatieluminantie is, des te groter de lichtsterkte moet zijn om nog een 'verbetering' te bewerkstelligen ten opzichte van een situatie zonder verlichting, en des te groter de lichtsterkte mag zijn voordat een vorm van verblinding zal gaan optreden. Hieruit volgt dat voor welke lichtsterkte uiteindelijk ook gekozen zal worden, er altijd een spanningsveld zal bestaan tussen de 'gewenste verbetering' en de 'ongewenste verblinding'. Onder 'daglichtomstandigheden' ( $> 100 \text{ à } 200 \text{ cd/m}^2$ ) zal bij een lichtsterkte van 1000 cd vrijwel nooit van een vorm van verblinding sprake zijn, terwijl wel een verbetering in visuele prestaties of beoordelingen te verwachten is. In de schemerperiode kan echter bij een lichtsterkte van 1000 cd al sprake zijn van glare. Als om deze reden gekozen wordt voor een lagere lichtsterkte, zeg 400 cd, dan zal dit bij hele heldere daglichtomstandigheden, zeg van  $1000 \text{ cd/m}^2$  of hoger, geen 'verbetering' ten opzichte van de situatie zonder verlichting meer opleveren.

Ook Padmos (1988) wijst op deze trade-off tussen benodigde lichtsterkte enerzijds en het heersende lichtniveau anderzijds. Hij koppelt de lichtsterkte van koplampen aan het percentage van de tijd overdag (gemiddeld per jaar, op gematigde breedtes zoals in Nederland) waarvoor de lamp nog bijdraagt aan de opvallendheid - in termen van detectie-afstanden - van een auto. Hij concludeert dat, als het uit oogpunt van beperking van verblinding gewenst is de lichtsterkte te beperken tot 250, 1000 of 2000 cd, de percentages van de tijd overdag waarin het MVO-licht de opvallendheid vergroot resp. 8%, 46% of 76% zullen zijn. De daglicht-omgevingsilluminantie (horizontaal) waar Padmos (1988) van uit gaat bij deze berekeningen is gemeten in het "open veld", dus zonder dat er 'obstakels' of andere omgevingsachtergronden aanwezig waren. Om deze reden zullen de percentages van 8%, resp. 46% en 76% die hij noemt aan de lage, voorzichtige kant zijn; een weggebruiker rijdt over het algemeen niet door het open veld, maar door steden, bossen, e.d., met steeds wisselende luminanties (en over het algemeen lager dan die gemeten in het open veld).

## 5. OVERIG ONDERZOEK

In dit hoofdstuk zullen tenslotte enkele onderzoeken worden samengevat waarvan de resultaten niet in het eerder gehanteerde schema gepast kunnen worden. Het gaat hierbij om studies waarin het effect van voertuigen die verlichting voeren onderzocht wordt op het detecteren van voertuigen die geen verlichting voeren. Ook zijn enkele onderzoeken gedaan naar de eventuele maskerende werking van MVO op remlichten en richtingaanwijzers.

Attwood (1977, 1979) onderzocht in hoeverre de lichten van voertuigen het detecteren van een onverlicht voertuig beïnvloeden. De resultaten lieten zien dat als een onverlichte auto tussen twee - door middel van dimlicht - verlichte auto's in gedetecteerd moest worden, deze moeilijker gedetecteerd kon worden dan als ze alle dezelfde verlichting voerden (of alle geen verlichting voerden). Dit effect nam toe naarmate de omgevingsilluminantie afnam of de lichtsterkte van de lampen toenam; het effect was derhalve het grootst ten tijde van de (lage) schemering.

Een aanverwante vraag is of door het invoeren van verlichting overdag voor motorvoertuigen, langzaam verkeer - zoals voetgangers en fietsers - relatief minder 'zichtbaar' of 'opvallend' wordt. Riemersma et al. (1987) onderzochten veranderingen in 'opvallendheid' van een fietser (zonder licht) in de nabijheid van een auto die voorzien was van verlichting. De opvallendheid werd gemeten met een speciale 'opvallendheidsmeter' (zie Wertheim, 1986; Wertheim & Tenkink, 1987), waarbij de opvallendheid bepaald werd door vast te stellen hoe ver het contrast gereduceerd kon worden tot het te meten object net niet meer was waar te nemen. Daarnaast werden oogbewegingen geregistreerd, en proefpersonen voerden een benoemingsexperiment uit waarin ze moesten vertellen wat ze op bepaalde scènes zagen. Bij elk van deze drie deelexperimenten bleek uit de resultaten dat de verlichting de 'opvallendheid' van de auto verhoogt, zonder de 'opvallendheid' van de fietser aan te tasten.

Of verlichte voertuigen er nu voor zorgen dat onverlichte verkeersdeelnemers (andere auto's of langzaam verkeer) minder goed te detecteren of 'minder opvallend' zijn, is dus op basis van deze twee onderzoeken niet vast te stellen, omdat de resultaten in eerste instantie tegenstrijdig lijken.

Kirkpatrick et al. (1987) maken melding van een studie waarin maskerende effecten van MVO op richtingaanwijzers werden onderzocht. Zij vonden dat bij een lichtsterkte van 250 cd van de richtingaanwijzer en een range van 500 tot 2000 cd voor MVO, de kijkafstand een effect op de maskerende werking had als ook het lampoppervlak, maar er werd geen hoofdeffect van MVO lichtsterkte gevonden. Als geen speciale 'running lights' aanwezig zijn, gaat bij het inschakelen van de verlichting overdag ook de achterverlichting branden. Verschillende auteurs wijzen er op dat de achterlichten niet helder genoeg zijn om maskering van remlichten te veroorzaken (Rumar, 1981; Attwood, 1981). Op basis van de onderzoeken die voorhanden zijn, lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat verlichting overdag niet veroorzaakt dat remlichten of richtingaanwijzers erdoor gemaskeerd zullen raken.

Helmers (1988) stelt dat negatieve bijverschijnselen van MVO, zoals bijvoorbeeld bovengenoemde 'maskering' niet opwegen tegen de positieve effecten ervan, en er dus van een positief netto resultaat sprake is. Toekomstig onderzoek, zowel ongevalstudies als onderzoek met betrekking tot waarneming en gedrag, moet uitwijzen of deze Zweedse claim terecht is.

## 6. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

1. De resultaten van zeer uiteenlopende typen onderzoeken - zowel die betrekking hebben op detectie, 'gap acceptance', als subjectieve beoordelingen van zichtbaarheid en glare - kunnen in één schematisch model worden ondergebracht.

De bedoeling van het model dat in dit rapport gepresenteerd wordt (zie ook Afbeelding 3 en 8), was niet het te toetsen of nauwkeurig de er in aangegeven grenzen vast te stellen. Het is in eerste instantie gebruikt om de vele verschillende soorten onderzoek in één conceptueel kader te kunnen onderbrengen. Nu gebleken is dat dit inderdaad mogelijk is en de resultaten een begrijpelijk geheel vormen, zal een volgende stap moeten zijn de geldigheid van het model (wanneer wel, wanneer niet van toepassing?) verder te onderzoeken en de veronderstelde grenzen nader te specificeren.

2.a) Detectie-afstanden zijn groter voor voertuigen met verlichting in vergelijking tot voertuigen zonder verlichting.

b) Bij het voeren van verlichting overdag worden grotere minimale 'gaps' geaccepteerd dan wanneer geen verlichting gevoerd wordt.

c) Subjectieve beoordelingen wijzen erop dat voertuigen met MVO 'beter zichtbaar' zijn dan voertuigen zonder MVO.

d) Deze verbeteringen in 'prestatie' en 'zichtbaarheid' zouden volgens het model zoals gepresenteerd in dit rapport (zie Afbeelding 8) al moeten optreden met lampen vanaf 100 cd bij lage adaptatieluminanties tot ongeveer  $50 \text{ cd/m}^2$  (schemer); voor hogere adaptatieluminanties zijn hogere lichtsterkten nodig: bijvoorbeeld lampen van minimaal 300-400 cd bij  $1000 \text{ cd/m}^2$  en van minimaal 2000 cd bij adaptatieluminanties van ongeveer  $5000 - 6000 \text{ cd/m}^2$ .

3. Er bestaat een spanningsveld tussen het willen vermijden van verblindingsverschijnselen enerzijds en het willen verbeteren van visuele prestaties anderzijds. Zo zal een lamp van 1000 cd, volgens het model, bij adaptatieluminanties kleiner dan ongeveer  $50-100 \text{ cd/m}^2$  (vergelijkbaar met schemeromstandigheden) kunnen leiden tot verblindingsverschijnselen (discomfort glare). Als er sprake is van 'verblindingsverschijnselen' door MVO dan zal dit, afhankelijk van de gekozen lichtsterkte, vooral een rol spelen in schemerperioden. Dit geldt dan vooral als speciale MVO-lampen (i.e., geen dimlicht) gebruikt worden; als dimlichten gebruikt worden als MVO dan speelt



het probleem van verblinding tijdens de schemerperiode in zoverre niet, dat dergelijke verblinding geen specifiek "MVO-probleem" is.

4. Gezien bovengenoemd 'spanningsveld' is het van belang om aan de hand van onderzoek nauwkeurig na te gaan wat de mogelijk 'ideale' lichtsterke-range van MVO-lampen moet worden; daarbij moet steeds een afweging gemaakt worden tussen het willen vermijden van 'glare' en het willen verbeteren van 'visuele prestaties'.

5. Een nadeel van de onderzoeken waarop de in dit rapport besproken resultaten gebaseerd zijn, is dat proefpersonen altijd precies wisten wat er 'te zien' zou zijn; dat is niet zo realistisch en het is daarom aan te bevelen dit type onderzoek in het vervolg uit te voeren onder meer op de 'werkelijkheid' gelijkende condities.

6. Het effect van MVO op herkenning of identificatie is nog niet onderzocht; ook is nog bijzonder weinig bekend over het effect ervan op (andere) cognitieve processen, beslissingen en (verkeers)gedrag onder dynamische omstandigheden. Het is aan te bevelen deze aspecten bij vervolgonderzoek wel te onderzoeken.

7. De beschikbare onderzoekresultaten met betrekking tot de vraag of verlichte voertuigen het waarnemen van onverlichte verkeersdeelnemers bemoeilijken leveren voor verschillende voertuigtypen tegenstrijdige bevindingen. Nader onderzoek is gewenst.

Literatuur

Alferdinck, J.W.A.M., & Padmos, P. (1988). Car headlamps; Influence of dirt, age and poor aim on glare and illumination intensities. *Lighting Res. & Technol* 20(4), 195-198.

Allen, M.J. & Clark, J.R. (1964). Automobile running lights; A research report, *Amer. J of Optometry* 41(5), 293-315.

Anderson, J.R. (1983). *The architecture of cognition*. Harvard University Press, Cambridge, Ma.

Attwood, D.A. (1975). Daytime running lights project II: Vehicle detection as a function of headlight use and ambient illumination. Technical report RSU 75/2. Defense and Civil Institute of Environmental Medicine, Ontario.

Attwood, D.A. (1976). Daytime running lights project IV: Two-lane passing performance as a function of headlight intensity and ambient illumination. Technical report RSU 76/1, Defense and Civil Institute of Environmental Medicine, Ontario.

Attwood, D.A. (1977). Daytime running lights project V: Effect of headlight glare on the detection of unlit vehicles. Technical report RSU 77/1. Defense and Civil Institute of Environmental Medicine, Ontario.

Attwood, D.A. (1979). The effects of headlight glare on vehicle detection at dusk and dawn. *Human Factors* 21(1), 35-45.

Attwood, D.A. (1981). The potential of daytime running lights as a vehicle collision countermeasure. SAE Technical Paper Series, No. 810190

Attwood, D.A. & Angus, R.G. (1975). Daytime running lights project III: Pilot validation study of a field detection experiment. Technical Memo 75/3. Road Safety Unit, Transport Canada

Blackwell, H.R. (1946). Contrast thresholds of the human eye. *J. Opt. Soc. Amer.* 36, 624.

Blackwell, H.R. & Blackwell, O.H. (1968). The effect of illumination quantity upon the performance of different visual tasks. *Illuminating Engineering*, 63 143-152.

Boyce, P.R. (1981). *Human factors in lighting*. Applied Science Publishers, London.

CIE (1990). *Automobile daytime running lights (DRL); Purpose, effects and lighting requirements*. 3rd Draft. TC-4.13. Commission Internationale de l'Eclairage.

Cole, B.L. & Hughes, P.K. (1990). Drivers don't search: They just notice. In: Brogan, D. (ed.). *Visual search*. Proceedings of the First International Conference on Visual Search, University of Durham, England, September 5-9, 1988. Taylor & Francis, London.

Cole, B.L. & Hughes, P.K. (1984). A field trial of attention and search conspicuity. *Human Factors* 26, 299-313.

Dahlstedt, S. & Rumar, K. (1976). *Vehicle color and front conspicuity in some simulated rural traffic situations*. University of Uppsala, Sweden.

De Boer, J.B. (1967). *Visual perception in road traffic and the field of vision of the motorist*. In: De Boer, J.B. (ed.). *Public lighting*. Philips Technical Library, Eindhoven.

Douglas, C.A. & Booker, R.L. (1977). *Visual range: Concepts, instrumental determination, and aviation applications*. National Bureau of Standards, Washington, D.C.

ECE (1978). *Agreement concerning the adoption of uniform conditions and reciprocal recognition of approval for motor vehicle equipment and parts*. Regulation 20 (H4 halogen headlamps). Economic Commission for Europe.

ECE (1990). *Uniform provisions concerning the approval of daytime running lamps for power-driven vehicles*. Regulation 87. Economic Commission for Europe.

Engel, F.L. (1976). Visual conspicuity as an external determinant of eye movements and selective attention. Thesis T.U.- Eindhoven, Netherlands.

Favie, J.W.; Damen, C.P.; Hietbrink, G. & Quaedflieg, N.J. (1967). Verlichting. Philips Technische Bibliotheek, Eindhoven.

Haber, R.N. & Hershenson, M. (1980). The psychology of visual perception. Holt, Rinehart & Winston, New York.

Hagenzieker, M.P.; Van der Heijden, A.H.C. & Hagenaar, R. (1990). Time courses in visual-information processing: Some empirical evidence for inhibition. *Psychological Research* 52, 13-21.

Helmers, G. (1988). Daytime running lights; A potent traffic safety measure? VTI rapport 333A. Statens Väg- och Trafikinstitut (VTI), Linköping.

Henderson, R.L.; Ziedman, K.; Burger, W.J. & Cavey, K.E. (1983). Motor vehicle conspicuity. In: SAE Special Publication SP-544, SAE paper No. 830566.

Hills, B.L. (1980). Vision, visibility, and perception in driving. *Perception* 9, 183-216.

Hopkinson, R.G. & Collins, J.B. (eds.) (1970). The ergonomics of lighting. MacDonald Technical and Scientific, London.

Hörberg, U. (1977). Running light; Twilight conspicuity and distance judgment. Report 215. University of Uppsala, Sweden.

Hörberg, U. & Rumar, K. (1975). Running lights conspicuity and glare. Report 178. University of Uppsala, Sweden.

Hörberg, U. & Rumar, K. (1979). The effect of running lights on vehicle conspicuity in daylight and twilight. *Ergonomics* 22(2), 165-173.

Hughes, P.K. & Cole, B.L. (1984). Search and attention conspicuity of road traffic control devices. *Australian Road Research* 14, 1-9.

Kaufman, J.E. & Christenson, J.F. (eds.) (1972). IES Lighting Handbook. IES, New York.

Kirkpatrick, M.; Baker, C.C.; & Heasley, C.C. (1987). A study of daytime running light design factors. Report DOT HS 807193. National Highway Traffic Safety Administration, Washington, D.C.

Kirkpatrick, M. & Marshall, R.K. (1989). Evaluation of glare from daytime running lights. Final Report DOT HS 807502. National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC.

La Berge, D. (1973). Attention and the measurement of perceptual learning. *Memory & Cognition* 1, 268-276.

Lindeijer, J.E. & Bijleveld, F.D. (1990). Het gebruik van motorvoertuigverlichting overdag (MVO); Beschrijving van het MVO-gebruik in Nederland in de periode november 1989 tot en met april 1990; Een interimverslag. SWOV, Leidschendam. (Niet gepubliceerd)

OECD (1990). Behavioural adaptations to changes in the road transport system. OECD, Paris.

Olson, P.L. & Sivak, M. (1984). Glare from automobile rear-vision mirrors. *Human Factors* 26(3), 269-282.

Padmos, P. (1988). Visual aspects of daytime running lights. IZF 1988 C-24. TNO Institute for Perception, Soesterberg.

Pugh, E.N. Jr. (1988). Vision: Physics and retinal physiology. In: Atkinson, R.C.; Herrnstein, R.J.; Lindzey, G. & Luce, R.D. (eds.). *Stevens' Handbook of Experimental Psychology, Vol. 1: Perception and motivation*. 2nd edition. Wiley, New York.

Pulling, N.H.; Wolf, E.; Sturgis, S.P.; Vaillancourt, D.R. & Dolliver, J.J. (1980). Headlight glare resistance and driver age. *Human Factors* 22(1), 103-112.

Riemersma, J.B.J.; Welsh, M.; Wertheim, L. & Bakker, P.J. (1987). De opvallendheid van het attentielicht. Memo IZF 1987 M40. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.

Rumar, K. (1980). Running lights; Conspicuity, glare and accident reduction. *Accid. Anal. & Prev.* 12, 151-157.

Rumar, K. (1981). Daylight running lights in Sweden; Pre-studies and experiences. SAE Technical Paper Series, No. 810191.

SAE (1987). DRL Test May 6, 1987, Orlando, Florida.

SAE (1989). DRL Test September 26-27, Washington D.C.

SAE (1990). Daytime Running Lamps (DRL) Test Summary.

Sanders, M.S. & McCormick, E.J. (1987). Human factors in engineering and design. McGraw-Hill, New York.

Schreuder, D.A. & Lindeijer, J.E. (1987). Verlichting en markering van motorvoertuigen; Een state-of-the-art rapport. R-87-7. SWOV, Leidschendam

SIS (1978). Swedish standard 553110: Special running lights. Swedish Commission for Standardisation SIS, Stockholm.

Sivak, M. & Olson, P.L. (1988). Toward the development of a field methodology for evaluating discomfort glare from automobile headlamps. *Journal of Safety Research* 19, 135-143.

Sivak, M.; Olson, P.L. & Zeltner, K.A. (1989a). Effect of prior headlighting experience on rating of discomfort glare. *Human Factors* 31(4), 391-395.

Sivak, M.; Flannagan, M.; Ensing, M. & Simmons, C.J. (1989b). Discomfort glare is task dependent. UMTRI-89-27. Transportation Research Institute, Ann Arbor, Michigan.

Stiles, W.S. & Crawford, B.H. (1937). The effect of a glaring light source on extrafoveal vision. Proc. Roy. Soc. 122B, 255-280.

SWOV (Schreuder, Dr. D.A. & Carlquist, J.C.A.). (1969). Stads- en dimlichten binnen de bebouwde kom. Rapport 1969-6. SWOV, Voorburg.

Theeuwes, J. (1989). Visual selection: Exogenous and endogenous control; A review of the literature. IZF 1989 C-3. TNO Institute for Perception, Soesterberg.

Tousey, R. & Koomen, M.J. (1953). Visibility of stars and planets during twilight. J. Opt. Soc. Am. 43, 177.

Vos, J.J. (1977). De behoefte en mogelijkheden tot tempering van zonlicht voor de ogen. IZF 1977-21. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.

Vos, J.J. (1983). Verblindings bij tunnelingangen I. De invloed van strooi-licht in het oog. IZF 1983 C-8. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.

Wertheim, A.H. (1986). Over het meten van visuele opvallendheid van objecten in het verkeer. IZF 1986 C-25. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO Soesterberg.

Wertheim, A.H. & Tenkink, E. (1987). Excentrische waarneembaarheid van objecten als index voor visuele opvallendheid; Een validiteitsstudie. IZF 1987 C-8. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.

Williams, P.R. (1989). Driving at dusk and the conspicuity role of vehicle lights; A review. Australian Road Research 19(4), 277-287.





AFBEELDINGEN 1 T/M 8

Afbeelding 1. Percentages personenauto's met MVO bij nat weer en/of nat wegdek (Bron: Lindeijer & Bijleveld, 1990).

Afbeelding 2. Percentages personenauto's met MVO bij droog weer en droog wegdek (Bron: Lindeijer & Bijleveld, 1990).

Afbeelding 3. Schematische weergave van het kwalitatief model.

Afbeelding 4. Detectie en gap-acceptance experimenten. Op de x-as staat de adaptatieluminantie (van de achtergrond) aangegeven; op de y-as de lichtsterkte (van een (kop)lamp met een oppervlakte van ongeveer 100 cm<sup>2</sup>). De punten boven de onderbroken lijn geven aan dat de "prestatie" (detectie; gap-acceptance; afstand schatten) "beter is" in vergelijking tot een situatie zonder MVO.

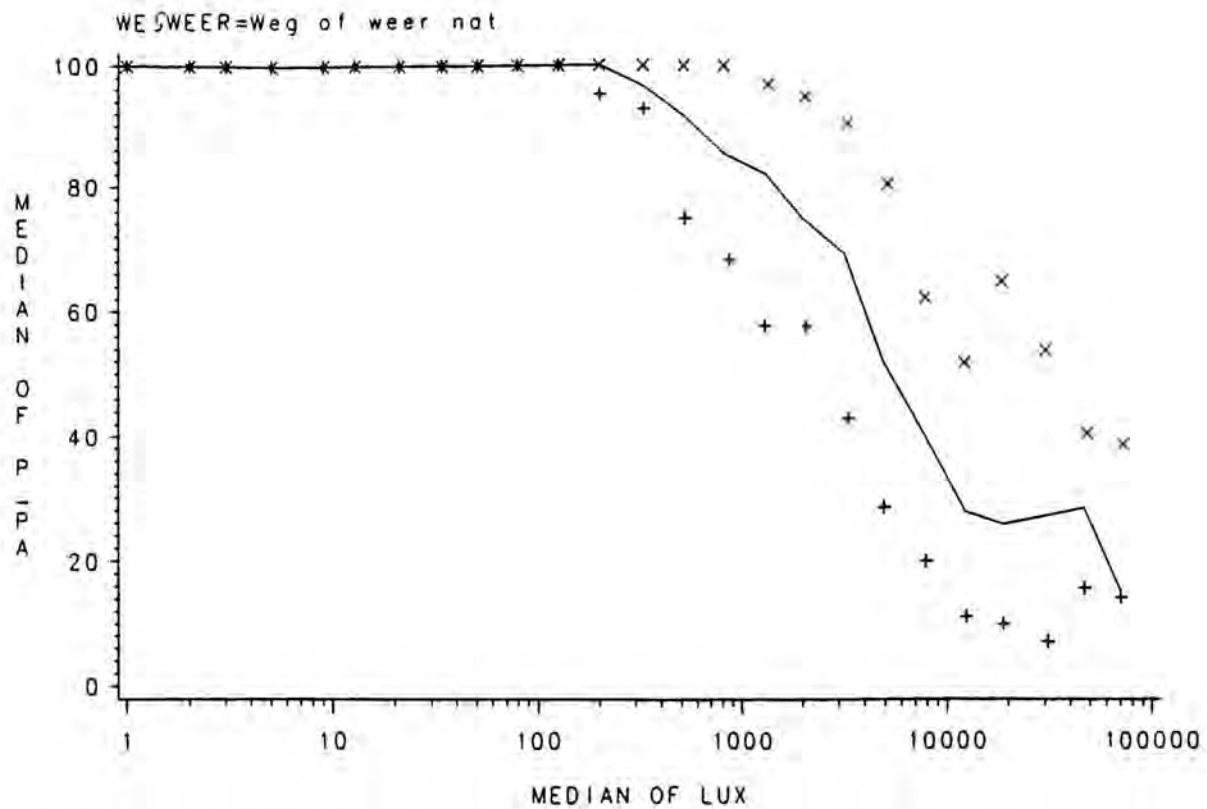
Afbeelding 5. Detectie-afstand bij daglicht voor twee zichthoeken in relatie tot lichtsterkte en koplampgrootte (Bron: Rumar, 1980).

Afbeelding 6. Detectie-afstand versus omgevingsluminantie met en zonder MVO (Bron: Attwood, 1981).

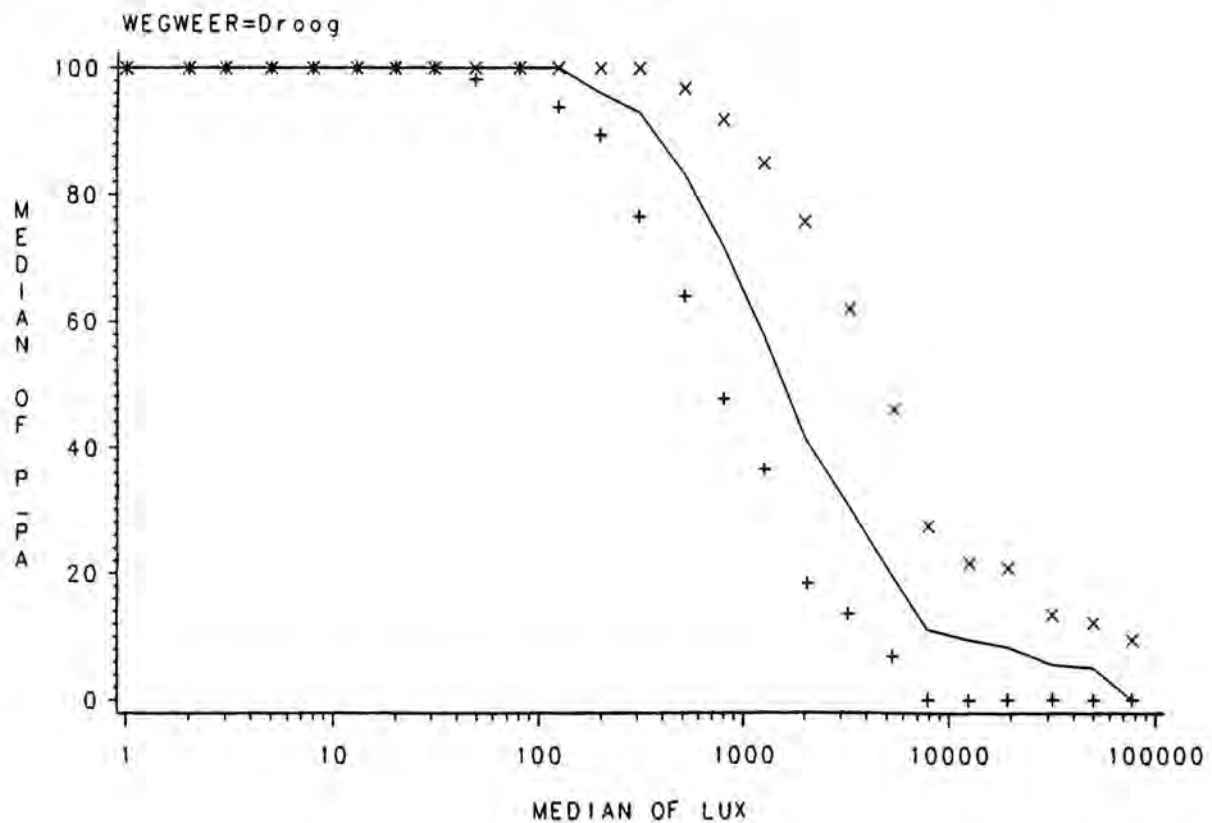
Afbeelding 7. Glare en subjectieve beoordelingsexperimenten. De punten boven de onderbroken lijn geven aan dat de "prestatie" (subjectieve verbetering/ beoordeling) "beter is" in vergelijking tot een situatie zonder MVO. De punten boven de stippellijn geven aan dat sprake is van (discomfort) glare.

Afbeelding 8. Samenvatting van MVO-experimenten.

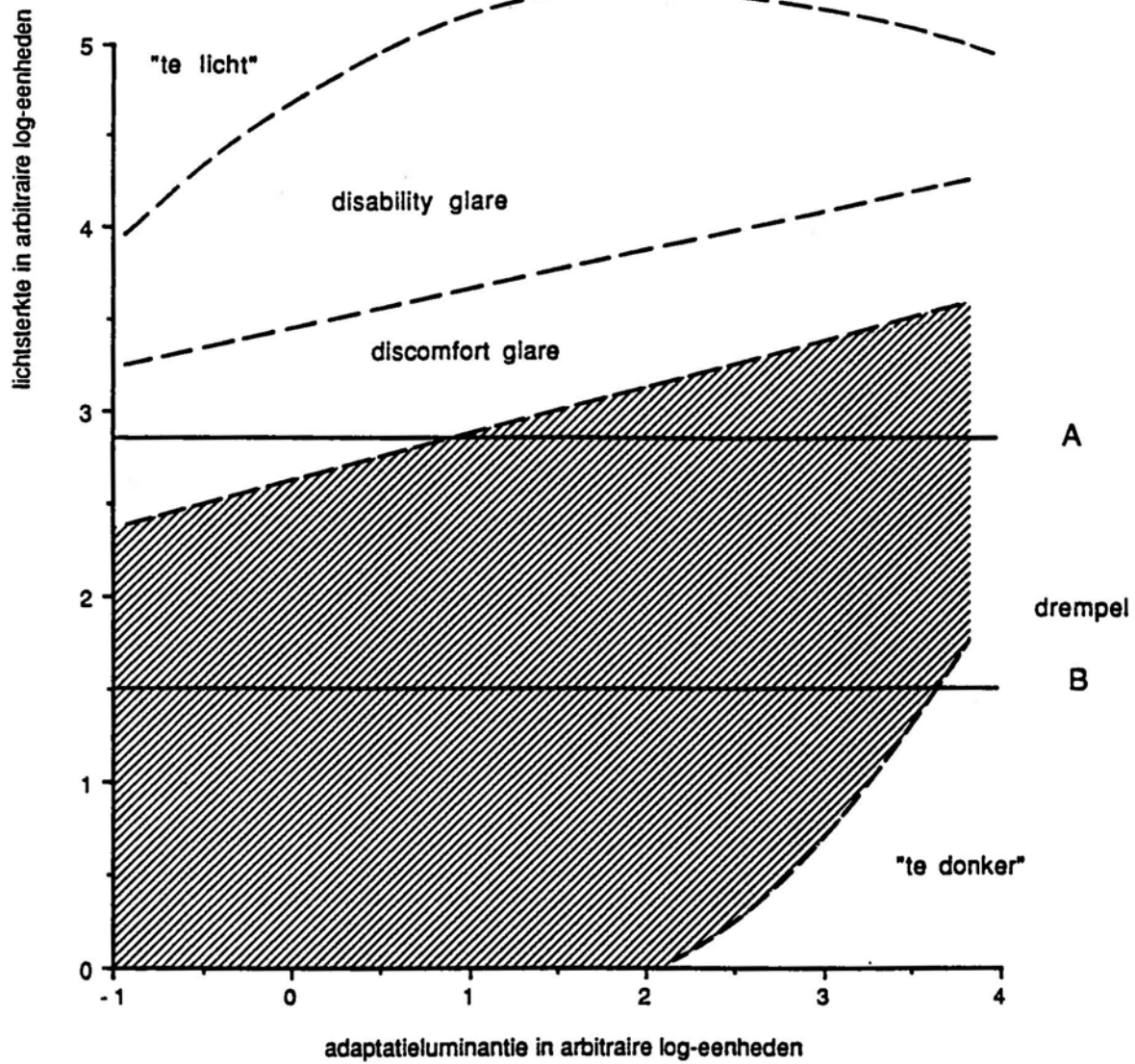
Afbeelding 9. Voorbeelden van luminantiewaarden van praktijksituaties (bij benadering; zie ook Bijlage).



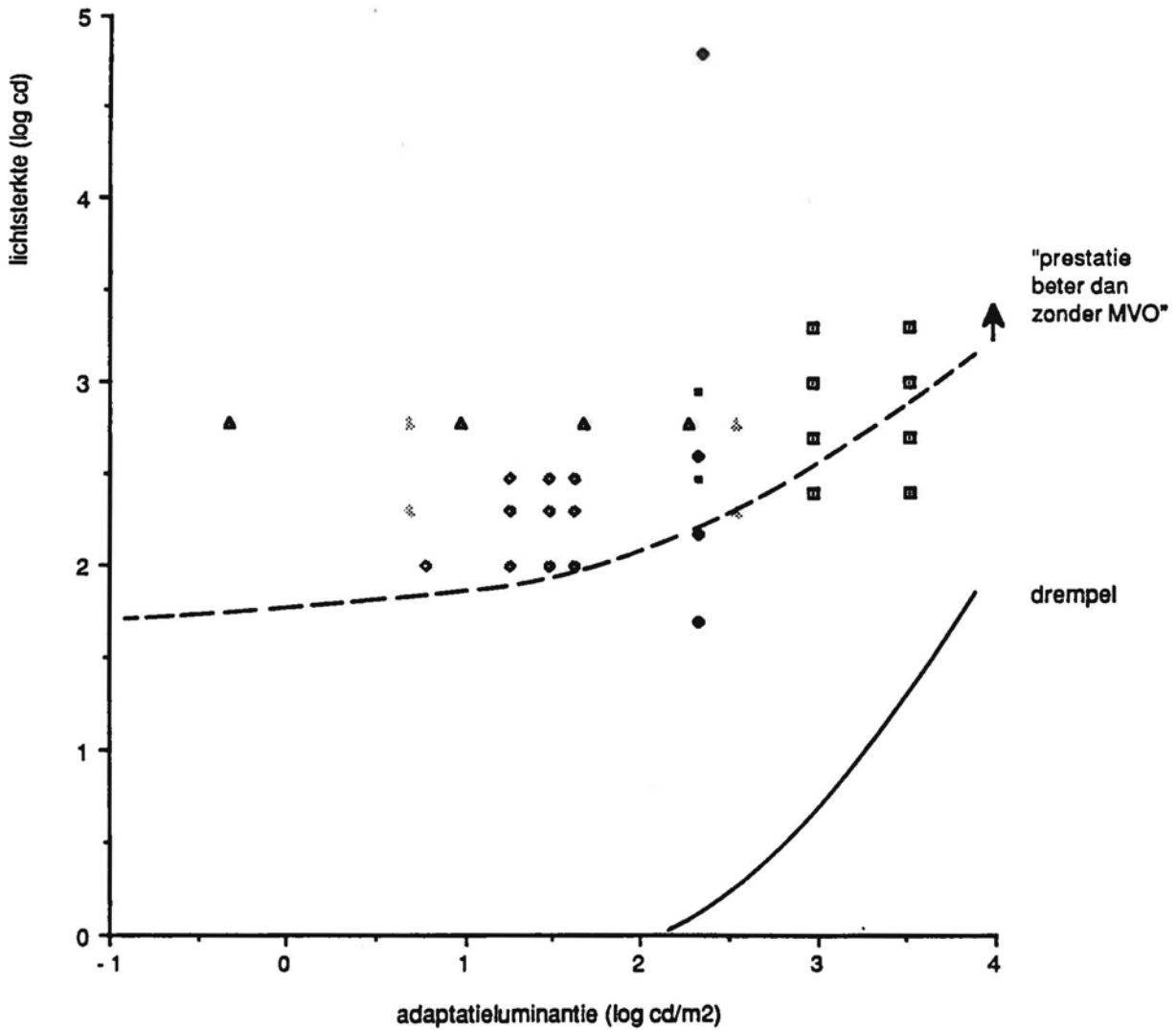
Afbeelding 1. Percentages personenauto's met MVO bij nat weer en/of nat wegdek (Bron: Lindeijer & Bijleveld, 1990).



Afbeelding 2. Percentages personenauto's met MVO bij droog weer en droog wegdek (Bron: Lindeijer & Bijleveld, 1990).

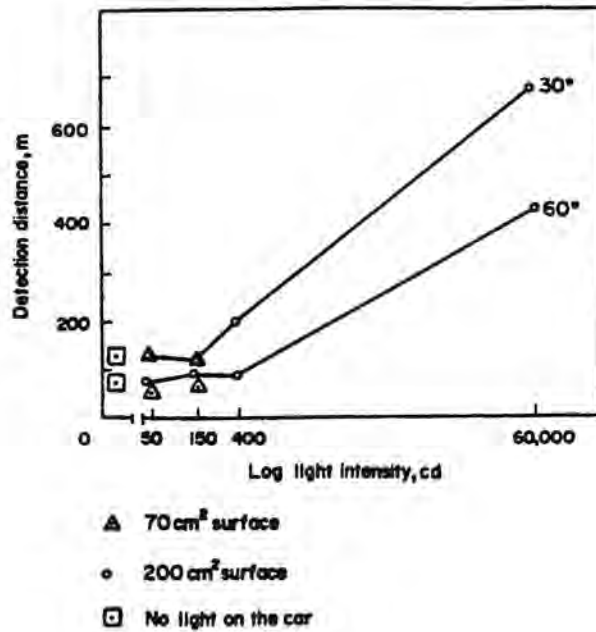


Afbeelding 3. Schematische weergave van het kwalitatief model.

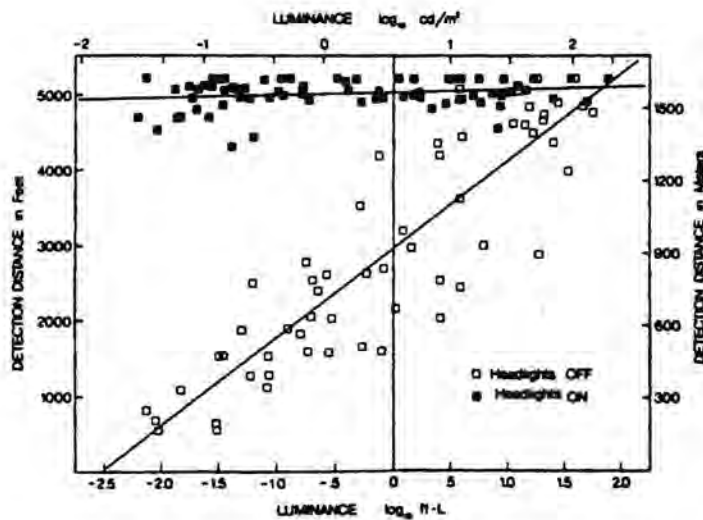


- Kirkpatrick et al. '87 (detectie)
- Horberg en Rumar '79a (detectie)
- ◆ Horberg en Rumar '79c (detectie)
- × Attwood '81 (gap acceptance)
- ▲ Attwood '81 (detectie)
- Horberg '77 (afstand schatten)

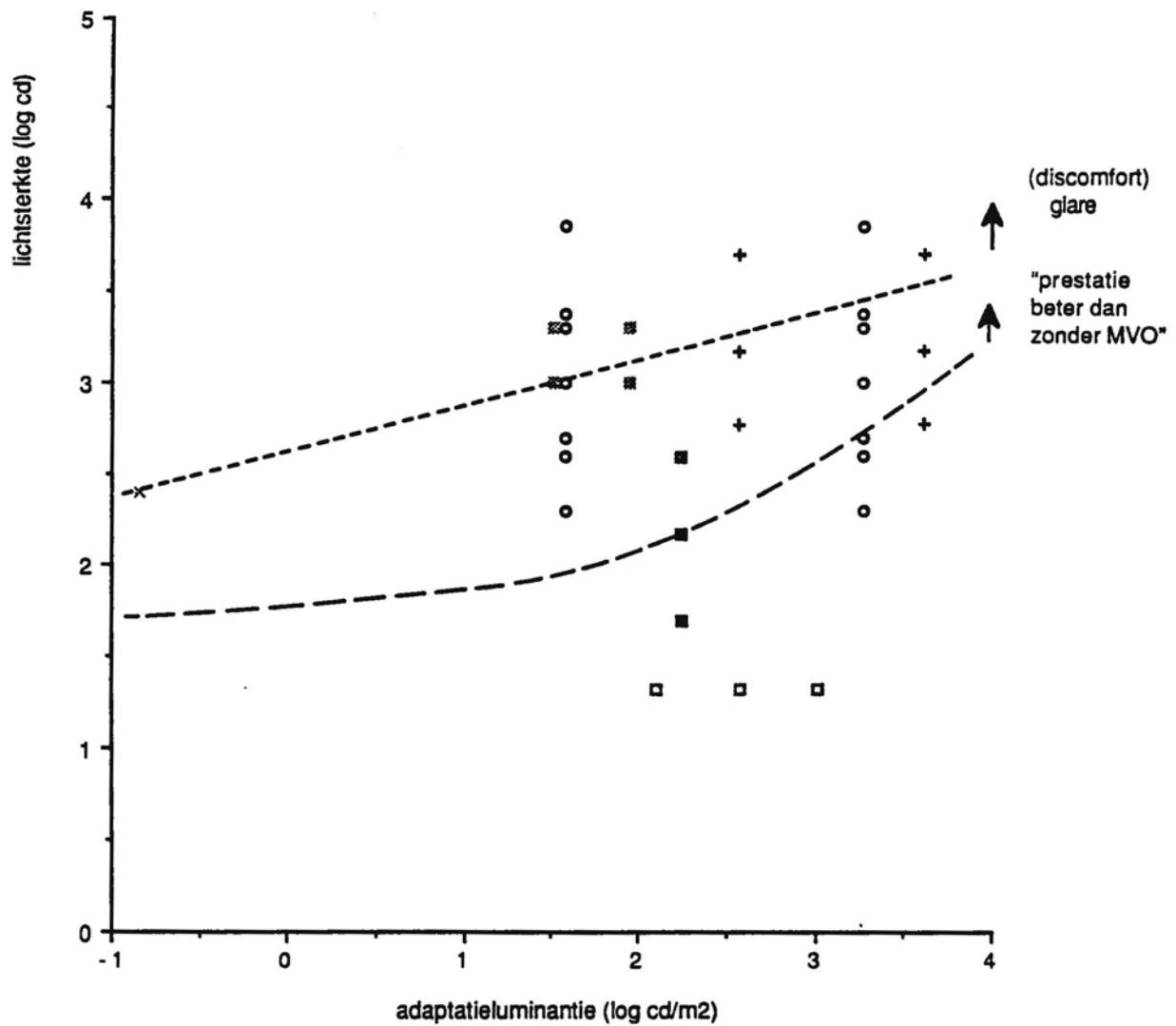
**Afbeelding 4.** Detectie en gap-acceptance experimenten. Op de x-as staat de adaptatieluminantie (van de achtergrond) aangegeven; op de y-as de lichtsterkte (van een (kop)lamp met een oppervlakte van ongeveer 100 cm<sup>2</sup>). De punten boven de onderbroken lijn geven aan dat de "prestatie" (detectie; gap-acceptance; afstand schatten) "beter is" in vergelijking tot een situatie zonder MVO.



Afbeelding 5. Detectie-afstand bij daglicht voor twee zichthoeken in relatie tot lichtsterkte en koplampgrootte (Bron: Rumar, 1980).

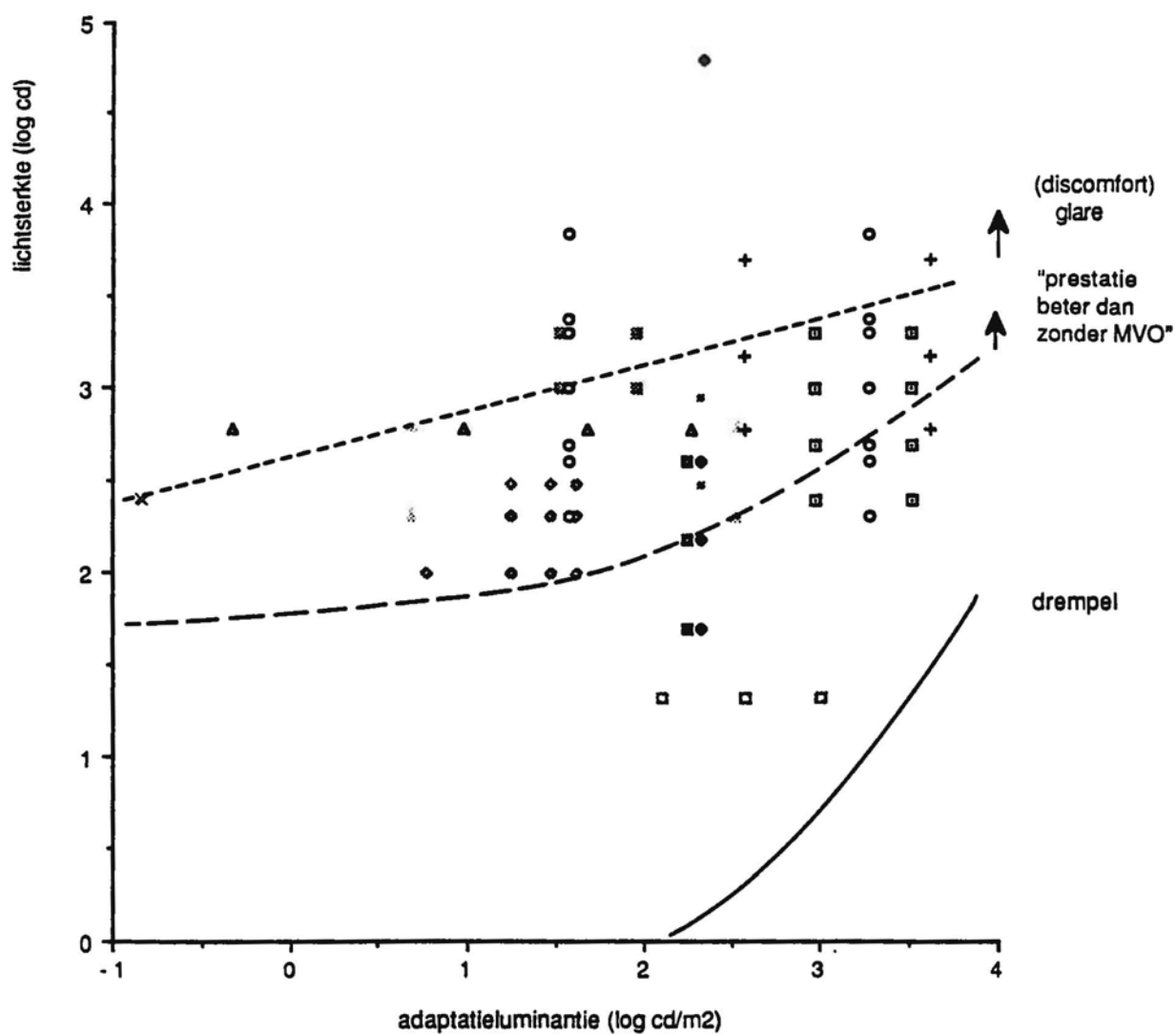


Afbeelding 6. Detectie-afstand versus omgevingsluminantie met en zonder MVO (Bron: Attwood, 1981).



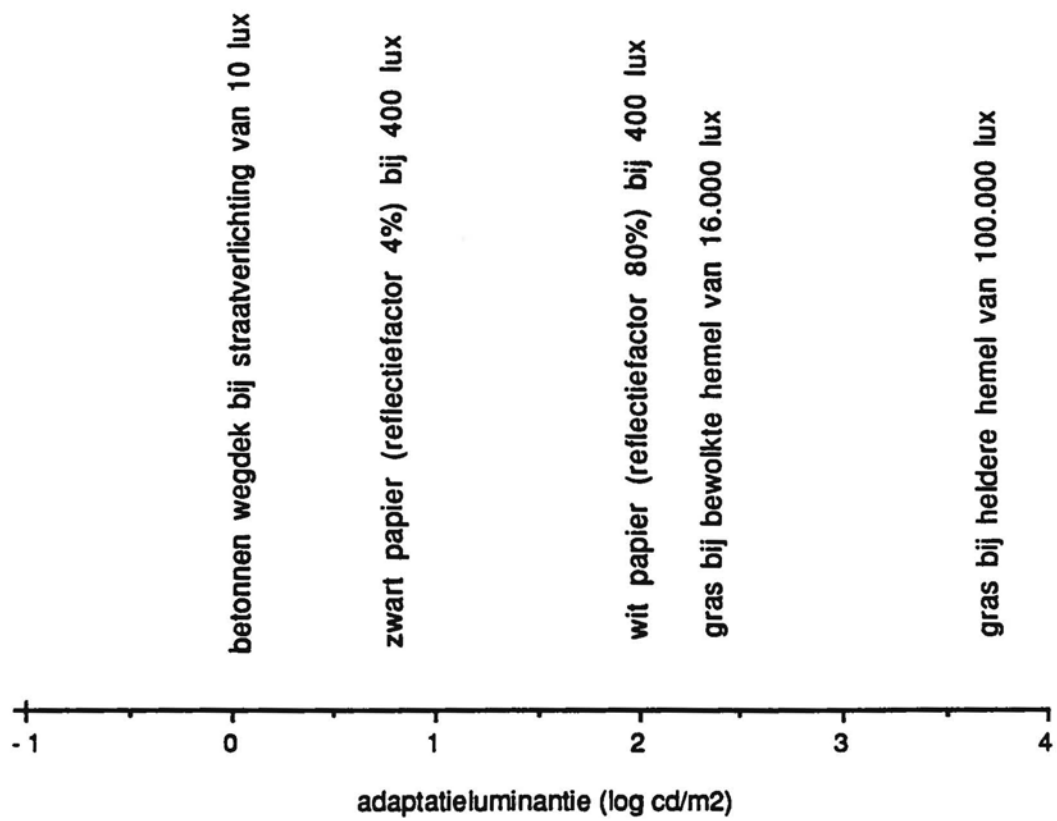
- Horberg en Rumar '79b (subj.verbetering)
- \* Kirkpatrick en Marshall '89 (glare)
- Allen en Clark '64 (subj.beoordeling)
- SAE '89 (glare)
- + SAE '87 (glare)
- × norm toegestane verblindingslichtsterkte

Afbeelding 7. Glare en subjectieve beoordelingsexperimenten. De punten boven de onderbroken lijn geven aan dat de "prestatie" (subjectieve verbetering/ beoordeling) "beter is" in vergelijking tot een situatie zonder MVO. De punten boven de stippellijn geven aan dat sprake is van (discomfort) glare.



- ▣ Kirkpatrick et al. '87 (detectie)
- ◆ Horberg en Rumar '79a (detectie)
- Horberg en Rumar '79b (subj.verbetering)
- Horberg en Rumar '79c (detectie)
- ⊠ Kirkpatrick en Marshall '89 (glare)
- Allen en Clark '64 (subj.beoordeling)
- ⊛ Attwood '81 (gap acceptance)
- ▲ Attwood '81 (detectie)
- SAE '89 (glare)
- + SAE '87 (glare)
- Horberg '77 (afstand schatten)
- \* norm toegestane verblindingslichtsterkte

Afbeelding 8. Samenvatting MVO-experimenten.



Afbeelding 9. Voorbeelden van luminantiewaarden van praktijksituaties (bij benadering; zie ook Bijlage).



BIJLAGEN 1 EN 2

Bijlage 1. "Licht"

Bijlage 2. Samenvatting SAE DRL-tests (1990)



## BIJLAGE 1

### "LICHT"

Enige begrippen met betrekking tot "licht" en het meten ervan worden kort toegelicht.

De begrippen "licht" en "zien" zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden: die vorm van elektromagnetische straling die "gezien" kan worden, wordt "licht" genoemd. Het elektromagnetische spectrum omvat een groot aantal verschillende soorten straling, d.w.z. trillingsverschijnselen die alle dezelfde voortplantingssnelheid bezitten, maar van elkaar verschillen in de frequentie en de golflengte.

Zeer korte golflengten zijn niet zichtbaar, zeer lange ook niet. De golflengte van radiogolven varieert van enkele meters tot verscheidene kilometers, de golflengte van infrarode straling wordt uitgedrukt in microns, terwijl de golflengte van zichtbare straling en ultra-violette straling wordt uitgedrukt in nanometers (ook wel: millimicron, oftewel  $10^{-9}$  meter). Het gebied van de "zichtbare straling" ligt in het smalle golflengtegebied van ongeveer 380-760 nanometer (nm); het wordt begrensd door aan de ene kant de ultra-violette straling (met kortere golflengte) en aan de andere kant de infra-rode straling (met langere golflengte). Deze twee stralingssoorten zijn dus niet "zichtbaar".

Meestal worden kleurnamen geassocieerd met de verschillende golflengten in het zichtbare stralingsgebied. Golflengten van ongeveer 400 nm worden als violet gezien, die van 500 nm als blauw-groen, die van 600 nm als geel-oranje, en die van 700 nm als rood. Kleur is echter geen eigenschap van het licht, maar van het visuele systeem: het waarnemen van kleuren hangt van veel meer af dan van golflengte alleen.

Het visuele systeem is niet even gevoelig voor licht van verschillende golflengten. Voor licht dat verschilt in golflengte geldt niet dat een even groot aantal quanta ('lichtdeeltjes') dezelfde helderheidsimpressie geeft of even goed gedetecteerd wordt. En het is ook niet zo dat deze verschillen constant zijn onder verschillende lichtomstandigheden waaraan het oog geadapteerd is. Het specificeren van de hoeveelheid radiomagneti-

sche energie in een bepaalde stimulus geeft dus in feite geen informatie over de visuele reactie die zo'n stimulus al dan niet opwekt. Daarom is een meetsysteem ontwikkeld dat elektromagnetische energie uitdrukt in termen die relevant zijn voor "zien". Dit is de fotometrie. De zogenaamde spectrale gevoeligheidscurven zoals de CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) die hanteert specificeren de relatieve gevoeligheid van 'het oog' voor verschillende golflengten en onder verschillende lichtomstandigheden. Er bestaat namelijk geen spectrale gevoeligheidscurve voor het visuele systeem dat toepasbaar is op alle mensen onder alle omstandigheden. Zo is bijvoorbeeld onder relatief "lichte" omstandigheden, waarin het kegeltjessysteem actief is ("fotopisch zien"), het oog het meest gevoelig voor golflengten van ongeveer 555 nm; onder relatief "donkere" omstandigheden, waarin slechts het staafjessysteem actief is ("scotopisch zien"), is het oog het gevoeligst voor golflengten van ongeveer 505 nm.

Het meten van licht is dus gebaseerd op de visuele effecten die zichtbare straling teweeg brengt. Fotometrische eenheden worden gebruikt om de stimulus te beschrijven. Elk aspect van licht wordt op afzonderlijke wijze gemeten en in een eigen maat uitgedrukt. Door de jaren heen is een oerwoud van fotometrische eenheden ontstaan, elke wetenschappelijke of technische discipline ontwierp z'n eigen eenheden. Het is ondoenlijk al deze eenheden hier te behandelen. In het kort zullen enige lichtmaten worden beschreven, en wel die in internationaal verband zijn afgesproken: die volgens het Système International d'Unités (het SI-systeem).

De totale hoeveelheid licht die een lichtbron per seconde uitstraalt wordt lichtstroom genoemd, en wordt uitgedrukt in lumen (lm).

De lichtsterkte (Eng.: luminous intensity) is de lichtstroom die in een bepaalde richting uitgestraald wordt, en wordt uitgedrukt in candela (cd). De verlichtingssterkte of illuminantie is de hoeveelheid licht die op een vlak valt, en wordt uitgedrukt in lux (= 1 lumen/m<sup>2</sup>).

Een oppervlak dat licht uitstraalt kan een lichtbron zijn (een lamp, "primaire lichtbron"), of een oppervlak dat opvallend licht weerkaatst ("secundaire lichtbron"). In beide gevallen veroorzaakt de lichtbron een helderheidsindruk. De fotometrische maat daarvan is de luminantie (uitgedrukt in cd/m<sup>2</sup>). Vroeger werd de luminantie ook wel oppervlaktehelderheid genoemd. Het percentage licht dat gereflecteerd wordt van een

verlicht vlak heet de reflectie, en wordt uitgedrukt met de reflectiefactor (in procenten). Als een oppervlak erg glad is, worden de fotonen ('lichtdeeltjes') niet naar alle richtingen maar in een smalle bundel gereflecteerd. In het meest extreme geval van een perfect spiegelend oppervlak, worden fotonen in slechts één richting gereflecteerd: namelijk die tegenovergesteld aan waar ze vandaan kwamen. Voorwerpen met hoge reflectiewaarden lijken heel helder, omdat vrijwel al het licht dat op het voorwerp valt ook in het oog valt. Voorwerpen met lage reflectiewaarden daarentegen lijken donker, omdat er relatief weinig licht van gereflecteerd wordt richting oog. Daarom zien zwarte oppervlakken er altijd donker uit, ongeacht hoeveel licht er op valt, omdat vrijwel alle licht geabsorbeerd wordt. Helderheid is derhalve de impressie die waarnemers krijgen van een bepaalde lichtstimulus.

Dus, stel een autokoplamp schijnt op een verkeersbord; de hoeveelheid lichtenergie die de lamp verlaat bepaalt de lichtstroom; de hoeveelheid licht die op het bord valt is de illuminantie; de hoeveelheid licht die gereflecteerd wordt van het bord is de luminantie en wat de waarnemer 'ervaart' als hij naar het bord kijkt is de helderheid.

Helderheid hangt niet alleen af van de hoeveelheid licht die in het oog valt. Als de helderheid afgezet wordt tegen de (fotometrische) luminantie dan ontstaat een niet-lineair verband. De helderheid houdt verband met veel verschillende factoren: bijvoorbeeld, met de golflengte van het licht, de adaptatietoestand van de waarnemer, de grootte van het object, het contrast met de achtergrond, de duur van de expositie, de vorm, of het voorwerp centraal of perifeer wordt waargenomen, etc. Zonder hierop verder op in te gaan, moge duidelijk zijn dat "zien" weliswaar niet kan zonder "licht", maar dat "licht" niet de enige factor is die erbij een rol speelt.

Het volgende overzicht geeft enkele voorbeelden van eenheden en hun waarden voor bekende praktijksituaties: (alle waarden zijn bij benadering)\*

---

\* Gedeeltelijk ontleend aan Favie et al. (1967) en Boyce (1981).

<u>Lichtstroom</u>	lumen
fietslampje	10 lm
'gewone' gloeilamp van 150 W	2.000 lm
kwiklamp van 400 W	21.000 lm

<u>Verlichtingssterkte (illuminantie)</u>	lux
volle maan bij heldere hemel	0,25 lux
straatverlichting in woonstraat	1-5 lux
straatverlichting op hoofdweg	10-20 lux
bij zonsop- en ondergang	500 lux
zomermiddag, onder een balkon of in de schaduw van een boom	7.500 lux
wintermiddag (vrije veld)	10.000 lux
zwaar bewolkte lucht op een zomermiddag	20.000 lux
onbewolkte lucht op heldere zomermiddag (in het vrije veld, horizontaal)	100.000 lux

<u>Lichtsterkte</u>	candela
achterlicht van auto	4-60 cd
koplamp van fiets (recht vooruit - hart van de bundel)	250 cd
attentielicht (recht vooruit - hart van de bundel)	400-800 cd
dimlicht in de richting van tegenligger	300 cd
dimlicht in de richting van de stoeprand	10.000 cd
groot licht (recht vooruit - hart van de bundel)	50.000-100.000 cd

<u>Luminantie</u>	candela per m <sup>2</sup>
asfalt wegdek bij maanlicht van 0,5 lux	0,01 cd/m <sup>2</sup>
betonnen wegdek bij straatverlichting van 10 lux	1 cd/m <sup>2</sup>
zwart papier (reflectiefactor 4%) bij 400 lux	5 cd/m <sup>2</sup>
wit papier (reflectiefactor 80%) bij 400 lux	100 cd/m <sup>2</sup>
gras bij bewolkte hemel van 16.000 lux	300 cd/m <sup>2</sup>
gras bij heldere hemel van 100.000 lux	6.400 cd/m <sup>2</sup>

BIJLAGE 2Samenvatting SAE DRL-tests (1990)

<u>DATE</u>	<u>LOCATION</u>	<u>COMMENTS</u>
JANUARY, 1974	CHANDLER, ARIZONA	TYPE 1C ROUND, TYPE 2C ROUND UPPER BEAM, TYPE 1A RECTANGULAR UPPER BEAM; REDUCED CD OUTPUT; IDENTIFICATION DISTANCE; GLARE TEST; MIRROR GLARE TEST; EVALUATION OF DRL INTENSITY TO DRIVE AT DUSK; AFTERNOON AND DUSK.
OCTOBER, 1982	OTTAWA, CANADA	BOTH SPECIFIC EUROPEAN DRL AND REDUCED UPPER BEAM; STRAIGHT AHEAD AND PERIPHERAL EVALUATION OF INTENSITY TO IMPROVE CONSPICUITY; DAYTIME, SUNNY.
SEPTEMBER, 1984	DETROIT, MICHIGAN	REDUCED UPPER BEAM; IDENTIFICATION DISTANCE FOR IMPROVED CONSPICUITY; STRAIGHT AHEAD EVALUATION FOR GLARE; PARTIALLY SUNNY.
APRIL, 1985	SCOTTSDALE, ARIZONA	FULL AND REDUCED UPPER BEAM; YELLOW AND WHITE UNIFORM BEAM PATTERN; STRAIGHT AHEAD AND PERIPHERAL EVALUATION AT A SIMULATED INTERSECTION; BRIGHT SUN AND DUSK.
OCTOBER, 1985	INDIANAPOLIS, INDIANA	UPPER BEAM, LOW BEAM, FOG, TURN SIGNAL PATTERN AT SEVERAL INTENSITIES; STRAIGHT AHEAD AND OFFSET; STATIC AND DYNAMIC TESTING; BRIGHT SUN ONLY.
APRIL, 1986	SAN DIEGO, CALIFORNIA	UPPER BEAM, SEVERAL INTENSITIES; TURN SIGNAL, YELLOW AND WHITE; STRAIGHT AHEAD AND OFFSET; STATIC AND DYNAMIC TESTING; BRIGHT SUN ONLY.
MAY, 1987	ORLANDO, FLORIDA	AMBER TURN SIGNAL, REDUCED UPPER BEAM, FULL AND REDUCED LOW BEAM, FOG; SEVERAL INTENSITIES; ALL TESTS WERE STATIC; BRIGHT SUN AND DUSK.
OCTOBER, 1988	KANSAS CITY, MISSOURI	STRAIGHT AHEAD AND OFFSET AT INTERSECTION; CIE DRL BEAM PATTERN; 500 TO 2000CD; BRIGHT SUN AND DUSK.
SEPTEMBER 1989	WASHINGTON, DC	STRAIGHT AHEAD AND OFFSET AT INTERSECTION: 200-7000 CD; ALL WHITE; ALL TESTS WERE STATIC; BRIGHT SUN AND DUSK.

DATE: JANUARY 29, 1974

SITE: CHANDLER, ARIZONA

VIEWING TIMES: DAYTIME, DUSK. AMBIENT CONDITIONS: CLOUDY, SUNNY, TEMPERATURE.	LAMPS AND BEAM PATTERNS USED IN TEST. INTENSITIES, COLORS.	OBSERVATION DISTANCES: SECONDARY TASK; STATIC, DYNAMIC; STRAIGHT AHEAD, OFFSET, PERIPHERAL.	SUMMARY OF RESULTS
<p>DAYTIME: AFTERNOON</p> <p>DUSK: 10 MINUTES BEFORE SUNSET, AT SUNSET, JUST AFTER SUNSET</p>	<p>REDUCED UPPER BEAM; ALL WHITE; 5 3/4" ROUND, TYPE 1 AND TYPE 2 UPPER BEAM FILAMENT;</p> <p>300 cd TO 10000 cd</p>	<p>NO SECONDARY TASKS - A. VEHICLE RECOGNITION DISTANCE, STRAIGHT AHEAD, STATIC, DAYTIME 300 cd to 2000 cd 0 cd</p> <p>B. ACCEPTABLE CLARE TEST CAR MOVING, OBSERVERS STATIC IN CARS, 6000 cd TO 10000 cd DUSK -</p> <p>C. WILL YOU DRIVE AFTER DUSK WITH DRL LIGHTED? STATIC, 6000 cd AND 8000 cd TYPE 1 UPPER BEAM.</p> <p>D. IS INSIDE REARVIEW MIRROR CLARE OBJECTIONABLE AT DUSK? 6000 cd AND 8000 cd TYPE 1 UPPER BEAM, TEST CAR 60' BEHIND OBSERVERS, STATIC.</p>	<p>A - 4950 FT. AVERAGE</p> <p>2100 FT. AVERAGE</p> <p>B. 80% ACCEPTED 7800 cd</p> <p>C - 50% OBSERVERS WOULD HAVE TURNED ON REGULAR LOW BEAM BY SIX MINUTES AFTER SUNSET.</p> <p>D. 80% ACCEPTED 7700 cd</p>



DATE: OCTOBER 5, 1982

SITE: OTTAWA, ONTARIO, CANADA

VIEWING TIMES: DAYTIME, DUSK. AMBIENT CONDITIONS: CLOUDY, SUNNY, TEMPERATURE.	LAMPS AND BEAM PATTERNS USED IN TEST. INTENSITIES, COLORS.	OBSERVATION DISTANCES: SECONDARY TASK; STATIC, DYNAMIC; STRAIGHT AHEAD, OFFSET, PERIPHERAL.	SUMMARY OF RESULTS
<p>DAYTIME: AFTERNOON 14:30 TO 15:40; CLEAR SKY, NO CLOUDS, SUNNY.  FACING NORTH</p>	<p>REDUCED UPPER BEAM, TYPE 2B1; 1000 cd TO 16000 cd. SPECIAL EUROPEAN DRL: 50 cd TO 700 cd.</p>	<p>ALL STATIC 50m TO 400m</p> <p>A. COMPARISON CAR HAD NO LIGHTS OR PARKING LIGHTS OR LOW BEAM OPERATING.</p> <p>B. GLARE EVALUATION, STRAIGHT AHEAD.</p> <p>C. STRAIGHT AHEAD WITH SECONDARY TASK OF TURN SIGNAL FLASHING. 15° AND 30° OFF AXIS AT 50m AND 100m.</p>	<p>A. OBSERVERS CONSIDERED 100 cd TO BE MORE CONSPICUOUS THAN CAR WITH ZERO OR PARKING LAMPS ON.  LOW BEAM MORE CONSPICUOUS THAN DRL INTENSITY 50 cd TO 700 cd.</p> <p>B. 1000 cd, NO GLARE BY BBL OF OBSERVERS AT 400m, NO GLARE BY 69% OF OBSERVERS AT 50m.  1600 cd, EXCESSIVE GLARE BY 35% OF OBSERVERS AT 400m, EXCESSIVE GLARE BY 63.5% OF OBSERVERS AT 50m.</p> <p>C. MOST INTENSITIES (50 cd TO 700 cd) NOT NOTICEABLE AT 15° OFFSET. SLIGHT INCREASE IN NOTICEABILITY AT 30° OFFSET. (PERIPHERAL VISION NOT VERY GOOD) ANY INTENSITY INCREASES CONSPICUITY OVER ZERO.</p>

DATE: SEPTEMBER 26, 1984

SITE: DETROIT, MICHIGAN

VIEWING TIMES: DAYTIME, DUSK. AMBIENT CONDITIONS: CLOUDY, SUNNY, TEMPERATURE.	LAMPS AND BEAM PATTERNS USED IN TEST. INTENSITIES, COLORS.	OBSERVATION DISTANCES: SECONDARY TASK; STATIC, DYNAMIC; STRAIGHT AHEAD, OFFSET, PERIPHERAL.	SUMMARY OF RESULTS
<p>DAYTIME: AFTERNOON 14:05; MOSTLY SUNNY, SOME CLOUDS. TEMPERATURE: 54°F</p> <p>OBSERVERS FACING WEST</p>	<p>UPPER BEAM PATTERN AT REDUCED INTENSITIES.  ALL WHITE</p> <p>INTENSITIES: 0 TO 5000 cd.</p>	<p>NO SECONDARY TASKS.</p> <p>A. STATIC TESTING: STRAIGHT AHEAD 0.2 MILE TO 0.9 MILE.</p> <p>B. DYNAMIC TEST: GLARE EVALUATION DRL CAR DROVE BY OBSERVERS IN ADJACENT LANE WITH DRL AT 5000 cd.</p>	<p>A. 80% OF OBSERVERS COULD CLEARLY SEE 600 cd AT 0.5 MILE, ONLY 24% COULD SEE 200 cd.</p> <p>B. NO COMMENTS MADE THAT DRL'S WERE "TOO BRIGHT", "GLARING", OR "BLINDING".</p>

DATE: APRIL 25, 1985

SITE: MESA, ARIZONA

VIEWING TIMES: DAYTIME, DUSK. AMBIENT CONDITIONS: CLOUDY, SUNNY, TEMPERATURE.	LAMPS AND BEAM PATTERNS USED IN TEST. INTENSITIES, COLORS.	OBSERVATION DISTANCES: SECONDARY TASK; STATIC, DYNAMIC; STRAIGHT AHEAD, OFFSET, PERIPHERAL.	SUMMARY OF RESULTS
<p>14:10 TO 14:30 BRIGHT, SUNNY DAY CLEAR SKY VERY WINDY, OBSERVERS FACED EAST AND NORTH</p> <p>DUSK: BEFORE SUNDOWN 18:25 18:45 SUNDOWN AT 19:05 CLEAR SKY. NOT AS WINDY.</p> <p>OBSERVERS FACED EAST AND NORTH. SUN DIRECTLY BEHIND OBSERVERS</p>	<p>PATTERN 0, 1500, 65000 cd.</p> <p>ALL WHITE FOR TEST A.</p> <p>UNIFORM SIGNAL LAMP BEAM PATTERN 200, 600, 1500 cd. BOTH WHITE AND AMBER. FOR TEST B LAMPS POSITIONED TO POINT TOWARD OBSERVER GROUP AS DISTANCE CHANGED.</p>	<p>OBSERVERS OFFSET 100' BACK FROM CENTERLINE OF ROAD (SIMULATING APPROACHING AN INTERSECTION.)</p> <p>A. TEST WAS FOR PERIPHERAL VISION EVALUATION SECONDARY TASKS OF COUNTING NUMBER OF TURN SIGNAL FLASHES. DISTANCES OF 100', 300', 500'.</p> <p>B. DRL SIGNAL EFFECTIVENESS. DISTANCES OF 100' 300', 500', 800'.</p>	<p>A. DURING DAYTIME MOST OBSERVERS DID NOT SEE FULL UPPER BEAM (65000 cd) OUT OF PERIPHERAL VISION, EVEN AT 100', (45°).</p> <p>AT DUSK, 50% OF OBSERVERS SAW FULL UPPER BEAM AT 100' IN PERIPHERAL VISION.</p> <p>B. DURING DAYTIME 80% OBSERVERS JUDGED 1500 cd TO BE EFFECTIVE AT 150'. ONLY 25% JUDGED 600 cd TO BE EFFECTIVE. NO SIGNIFICANT DIFFERENCE WHITE OR AMBER.</p> <p>AT DUSK, 1500 cd WAS EFFECTIVE AT ALL DISTANCES. 80% OF OBSERVERS JUDGED 600 cd EFFECTIVE AT 300'.</p>

DATE: OCTOBER 2, 1985

SITE: INDIANAPOLIS, INDIANA

VIEWING TIMES: DAYTIME, DUSK. AMBIENT CONDITIONS: CLOUDY, SUNNY, TEMPERATURE.	LAMPS AND BEAM PATTERNS USED IN TEST. INTENSITIES, COLORS.	OBSERVATION DISTANCES: SECONDARY TASK; STATIC, DYNAMIC; STRAIGHT AHEAD, OFFSET, PERIPHERAL.	SUMMARY OF RESULTS
<p>DAYTIME: AFTERNOON 14:15 TO 15:30 BRIGHT SUNNY DAY, CLEAR BLUE SKY</p>	<p>LOW BEAM 600, 1500, 5000 cd AT H-V.</p> <p>TURN SIGNAL 600 cd AT H-V.</p> <p>FOG LAMP 600, 1500 cd AT H-V.</p> <p>ALL WHITE EXCEPT AMBER TURN SIGNAL.</p>	<p>NO SECONDARY TASK. LAMPS ON EACH SIDE OF CAR WERE LIGHTED. OBSERVERS TO JUDGE MOST EFFECTIVE DRL. LAMPS ALWAYS HAD INTENSITY, SOMETIMES DIFFERENT BEAM PATTERN.</p> <p>A. DYNAMIC TEST. OBSERVERS WERE OFFSET APPROX. 25' FROM CENTERLINE OF PATH OF DRL CAR. OBSERVATIONS MADE 500' TO 250' WHEN DRL CAR WAS DRIVEN AT 30 MPH TOWARD OBSERVERS. DRL CAR ALTERNATED APPROACHING FROM LEFT AND RIGHT.</p> <p>B. STATIC TEST OBSERVER STRAIGHT AHEAD OF DRL CAR AT .45 MILES (APPROX. 2400').</p>	<p>A. AMBER TURN SIGNAL JUDGED MOST EFFECTIVE AT 600 cd.</p> <p>FOG LAMP JUDGED MOST EFFECTIVE AT 1500 cd.</p> <p>B. AMBER TURN SIGNAL JUDGED MOST EFFECTIVE AT 600 cd.</p> <p>LOW BEAM JUDGED MOST EFFECTIVE AT 1500 cd.</p> <p>WHEN LAMPS ON BOTH SIDES OF VEHICLE WERE EXACTLY THE SAME THERE WAS A SIGNIFICANT BIAS TO JUDGE THE RIGHT LAMP MORE EFFECTIVE.</p>

DATE: APRIL 9, 1986 (PAGE 1 of 2)

SITE: SAN DIEGO, CALIFORNIA

VIEWING TIMES: DAYTIME, DUSK. AMBIENT CONDITIONS: CLOUDY, SUNNY, TEMPERATURE.	LAMPS AND BEAM PATTERNS USED IN TEST. INTENSITIES, COLORS.	OBSERVATION DISTANCES: SECONDARY TASK; STATIC, DYNAMIC; STRAIGHT AHEAD, OFFSET, PERIPHERAL.	SUMMARY OF RESULTS
<p>DAYTIME: AFTERNOON 14:00 TO 15:30 BRIGHT SUNNY DAY - CLEAR BLUE SKY. TEMPERATURE: 67°F</p>	<p>UPPER BEAM: 600, 1500, AND 5000 cd. AT H-V. WHITE TURN SIGNAL: 600 cd AT H-V AMBER AND WHITE.</p> <p>DURING SOME OBSERVATIONS A FLASHING AMBER TURN SIGNAL WAS USED. THEN THE INTENSITY WAS 250 cd.</p>	<p>NO SECONDARY TASK. LAMPS ON EACH SIDE OF CAR WERE LIGHTED. OBSERVERS TO JUDGE MOST EFFECTIVE DRL. LAMPS ALWAYS HAD SAME INTENSITY, SOMETIMES DIFFERENT BEAM PATTERNS.</p> <p>A. DYNAMIC TEST. OBSERVERS WERE OFFSET APPROX. 25' FROM CENTERLINE OF PATH OF DRL CAR. OBSERVATIONS MADE 500' TO 250', WHEN DRL CAR WAS DRIVEN AT 30 MPH TOWARD OBSERVERS.</p> <p>B. STATIC TEST OBSERVERS, OFFSET 25' DISTANCE OF 250' AND 500'.</p> <p>C. STATIC TEST STRAIGHT AHEAD DISTANCE .3 MILES.</p>	<p>A - 5000 cd UPPER BEAM JUDGED MOST EFFECTIVE. 600 cd AMBER TURN SIGNAL NEXT.</p> <p>B. 5000 cd UPPER BEAM AND 600 cd AMBER TURN SIGNAL WERE JUDGED MOST EFFECTIVE.</p> <p>C. 5000 cd AND 1500 cd UPPER BEAM JUDGED TO BE MOST EFFECTIVE.</p>

DATE: APRIL 9, 1986 (PAGE 2 of 2)

SITE: SAN DIEGO, CALIFORNIA

VIEWING TIMES: DAYTIME, DUSK. AMBIENT CONDITIONS: CLOUDY, SUNNY, TEMPERATURE.	LAMPS AND BEAM PATTERNS USED IN TEST. INTENSITIES, COLORS.	OBSERVATION DISTANCES: SECONDARY TASK; STATIC, DYNAMIC; STRAIGHT AHEAD, OFFSET, PERIPHERAL.	SUMMARY OF RESULTS
		<p>D. STATIC TEST. DISTANCE 500' AND .3 MILES. WILL DRL OVERPOWER A FLASHING AMBER TURN SIGNAL?</p>	<p>D. AT .3 MILES MOST OBSERVERS COULD NOT SEE FLASHING AMBER TURN SIGNAL OF 250 cd FOR ANY REASONABLE DRL INTENSITY.</p> <p>AT 500' 49% OF OBSERVERS COULD SEE 250 cd FLASHING AMBER TURN SIGNAL ADJACENT TO 5000 cd DRL. 80% OF OBSERVERS COULD SEE 250 cd FLASHING AMBER TURN SIGNAL ADJACENT TO 2500 cd DRL.</p>

DATE: MAY 6, 1987

SITE: ORLANDO, FLORIDA

VIEWING TIMES: DAYTIME, DUSK. AMBIENT CONDITIONS: CLOUDY, SUNNY, TEMPERATURE.	LAMPS AND BEAM PATTERNS USED IN TEST. INTENSITIES, COLORS.	OBSERVATION DISTANCES: SECONDARY TASK; STATIC, DYNAMIC; STRAIGHT AHEAD, OFFSET, PERIPHERAL.	SUMMARY OF RESULTS
<p>DAYTIME: AFTERNOON 13:35 TO 14:30 BRIGHT SUN, SOME BROKEN CLOUDS TEMPERATURE: 90°F APPROX. 100000 LUX IN BRIGHT SUN. APPROX. 40000 LUX WHEN CLOUDS COVERED THE SUN.</p> <p>DUSK: EVENING BEFORE SUNSET. 18:45 TO 19:35 SUNNY, FEW CLOUDS TEMPERATURE: 80°F APPROX. 18000 LUX AT START OF TEST, 3000 LUX AT END OF TEST. SUNSET AT 20:03</p>	<p>AMBER TURN SIGNAL, 200, 400, 600, cd AT H-V.</p> <p>FOLLOWING LAMPS WHITE: UPPER BEAM 600, 1500, 5000 cd AT H-V. LOW BEAM 75% VOLTAGE AND 100% VOLTAGE FOG LAMP APPROX. 200 cd AT H-V.</p> <p>ZERO INTENSITY.</p>	<p>ALL TESTS STATIC.</p> <p>A. OBSERVERS OFFSET 20' FROM CENTERLINE OF DRL TEST CAR. TEST TO SIMULATE BEING STOPPED AT AN INTERSECTION. SECONDARY TASK OF LOOKING AT ONE CAR AND JUDGING EFFECTIVENESS OF DRL ON A SECOND CAR IN PERIPHERAL VISION.</p> <p>SECONDARY TASK CAR 34' TO 114' DRL CAR 200' TO 500' PERIPHERAL VISION ANGLES 8°, 9°, 24°, 28°.</p> <p>B. OBSERVERS, STRAIGHT AHEAD. NO SECONDARY TASK</p> <p>DISTANCES OF 500' AND 1000'. JUDGE EFFECTIVENESS OF DRL COMPARED TO NO LIGHTS ILLUMINATED.</p>	<p>A. AT SMALLER PERIPHERAL VISION ANGLES (8° and 9°) THE DRL'S WERE JUDGED TO BE MORE EFFECTIVE THAN AT LARGE ANGLES (24° AND 28°).</p> <p>THE DRL'S WERE JUDGED TO BE EFFECTIVE AT SHORTER DISTANCES THAN LARGER DISTANCES. THE FOG LAMP WAS NOT ALWAYS THE LEAST EFFECTIVE DRL.</p> <p>5000 cd UPPER BEAM AND FULL LOW BEAM WERE JUDGED "TOO BRIGHT" BY MORE OBSERVERS THAN ANY OTHER DRL</p> <p>ALL DRL'S TESTED WERE MORE EFFECTIVE THAN ZERO INTENSITY.</p>

DATE: OCTOBER 4, 1988

SITE: KANSAS CITY, MISSOURI

VIEWING TIMES: DAYTIME, DUSK. AMBIENT CONDITIONS: CLOUDY, SUNNY, TEMPERATURE.	LAMPS AND BEAM PATTERNS USED IN TEST. INTENSITIES, COLORS.	OBSERVATION DISTANCES: SECONDARY TASK; STATIC, DYNAMIC; STRAIGHT AHEAD, OFFSET, PERIPHERAL.	SUMMARY OF RESULTS
<p>DAYTIME: AFTERNOON 15:35 to 15:57 BRIGHT SUN, CLEAR BLUE SKY. GUSTY WINDS. TEMPERATURE: 52°F OBSERVERS LOOKING SOUTH WEST.</p> <p>DUSK: EARLY EVENING 18:35 TO 18:56.</p> <p>SUNNY AT BEGINNING CLOUDY AT END OF TEST.</p> <p>SUN TOUCHED HORIZON AT END OF TESTS.</p>	<p>CIE TC4.13 BEAM PATTERN 500 cd TO 2000 cd AT H-V. WHITE</p> <p>ZERO INTENSITY</p>	<p>NO SECONDARY TASK. ALL TESTS STATIC.</p> <p>A. OBSERVERS OFFSET AT 20' FROM CENTERLINE OF DRL CAR. DISTANCE 50' TO 500'.</p> <p>B. OBSERVERS STRAIGHT AHEAD.</p> <p>DISTANCES 100' TO 2000'.</p>	<p>A. DAYTIME: 2000 cd JUDGED EFFECTIVE BY MORE THAN 90% OF OBSERVERS. 500 cd JUDGED EFFECTIVE BY MORE THAN 70%.</p> <p>DUSK: BOTH CANDLEPOWER LIMITS GIVEN HIGHER EFFECTIVENESS AT DUSK AT ALL DISTANCES.</p> <p>B. DAYTIME: 2000 cd JUDGED EFFECTIVE BY MORE THAN 80% OF OBSERVERS AT ALL DISTANCES. 500 cd JUDGED EFFECTIVE BY 7% AT 2000 FEET AND 88% AT 100 FEET. EFFECTIVENESS LINEARLY INCREASES AS DISTANCE GETS CLOSER.</p> <p>DUSK: 2000 cd JUDGED EFFECTIVE BY 100% AT ALL DISTANCES. 500 cd JUDGED EFFECTIVE BY MORE THAN 88% OF OBSERVERS AT ALL DISTANCES.</p>

DATE: SEPTEMBER 26-27, 1989

SITE: WASHINGTON, D.C.

VIEWING TIMES: DAYTIME, DUSK. AMBIENT CONDITIONS: CLOUDY, SUNNY, TEMPERATURE.	LAMPS AND BEAM PATTERNS USED IN TEST. INTENSITIES, COLORS.	OBSERVATION DISTANCES: SECONDARY TASK; STATIC, DYNAMIC; STRAIGHT AHEAD, OFFSET, PERIPHERAL.	SUMMARY OF RESULTS
<p>DAYTIME: AFTERNOON 15:25 TO 15:45; BROKEN CLOUDS AND BLUE SKY; AMBIENT LIGHT, 20,000 LUX WITH CLOUDS, 55,000 - 77,000 LUX IN SUN. OBSERVERS FACED EAST AND SOUTH.</p> <p>DUSK: 18:48 TO 19:03; SUNDOWN AT 18:58; CLEAR BLUE SKY; AMBIENT LIGHT START- ED AT 1450 LUX AND ENDED AT 280 LUX. OBSERVERS FACED EAST AND SOUTH.</p>	<p>ONLY WHITE. H-V VALUES OF 200, 400, 500, 1000, 2000, 2400 AND 7000 cd. UNIFORM PATTERN OVER <math>\pm 5^\circ</math> ZONE U-D AND L-R.</p>	<p>NO SECONDARY TASK. ALL TESTS STATIC. A. OBSERVERS OFF- SET AT 20' FROM CENTERLINE OF DRL CAR. DISTANCE WAS 200'.</p> <p>B. OBSERVERS STRAIGHT AHEAD. DISTANCE WAS 500'</p> <p>A. AND B. WERE BOTH DONE IN THE AFTERNOON AND AT DUSK.</p>	<p>A. ALL INTENSITIES JUDGED EFFECTIVE BY BY MORE THAN 80% OF OBSERVERS, AFTERNOON AND DUSK.</p> <p>B. ACCEPTABLE MAXIMUM VALUE WAS HIGHER IN AFTERNOON THAN AT DUSK.</p>

