

wit of geel licht  
voor  
autokoplantaarns?

## WIT OF GEEL LICHT VOOR AUTOKOPLANTAARNS?

De Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV is in 1962 opgericht. Zij heeft tot taak, op grond van wetenschappelijk onderzoek, aan de overheid gegevens te leveren voor maatregelen die tot doel hebben de verkeersveiligheid te bevorderen. De uit dit wetenschappelijk onderzoek verkregen kennis wordt door de SWOV verspreid, hetzij in de vorm van afzonderlijke publikaties, hetzij in de vorm van artikelen in tijdschriften of door middel van andere communicatiemedia.

Het bestuur van de SWOV wordt gevormd door vertegenwoordigers van verschillende ministeries, van het bedrijfsleven en van belangrijke maatschappelijke instellingen.

Het bureau van de SWOV wordt geleid door ir. E. Asmussen, directeur. Het bestaat o.a. uit de afdelingen: Wetenschapsbeleid, Onderzoekcoördinatie, Projectvoorbereiding en -begeleiding, Theorievormend onderzoek Pre-crash projecten, Praktijkonderzoek Pre-crash projecten, Crash- en Post-crash onderzoek en Voorlichting.

# wit of geel licht voor autokoplantaarns?

*Argumenten bij de discussie omtrent de lichtkleur van autokoplantaarns*



STICHTING WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK VERKEERSVEILIGHEID

POSTBUS 71 DEERNSSTRAAT 1 VOORBURG 2119

# Inhoud

<b>Voorwoord</b>	5
<b>Samenvatting</b>	6
<b>Conclusies</b>	7
<b>1. Algemene aspecten</b>	8
1. Inleiding	8
2. Gloeilampen	8
3. De „gele” gloeilamp	9
4. Het gebruik van gele lantaarns	10
5. Effecten op de verkeersveiligheid	10
Literatuur	11
<b>2. Fysische aspecten</b>	12
1. Inleiding	12
2. Het oog als afbeeldingsinstrument	12
3. Lichtverstrooiing	14
4. Conclusies	16
Literatuur	17
<b>3. Fysiologische aspecten</b>	18
1. Inleiding	18
2. Aspecten van de bouw van het oog	18
2.1. Enige algemeenheden	18
2.2. Het netvlies	18
2.3. De dupliciteitstheorie	19
2.4. De oogpupil	20
3. Functionele aspecten	21
3.1. De contrastgevoeligheid	21
3.2. Gezichtsscherpte	22
Literatuur	25
3.3. Waarneembaarheid van signaallichten	27
3.4. Waarnemingssnelheid	27
3.5. Verblinding	27
3.6. Readaptatie	29
4. Leeftijdseffecten	30
Literatuur	31
<b>4. Psychologische aspecten</b>	33
1. Inleiding	33
2. De psychologische verblinding	33
3. De waarneembaarheid van signaallichten	36
3.1. Herkenbaarheid	36
3.2. Opvallendheid	37
4. Vermoeidheid	37
5. Conclusies	38
Literatuur	38

# Voorwoord

Degene die argeloos de vraag stelt welke autokoplampen beter zijn, gele of witte, moet zich voorbereiden op meningen die zachtjes gezegd nogal uiteen kunnen lopen. Er zijn immers nogal wat voor- en tegenstanders van geel licht, die elkaar al jaren in uitputtende discussies bestrijden. Meestal voeren deze voorstanders als voordelen aan dat geel licht beter door mist dringt en dat het minder verblindt.

Om nu een poging te doen de steeds weer opkomende discussie over de voor- en nadelen van gele lampen voor autokoplantaarns te beëindigen is een zo volledig mogelijk onderzoek ingesteld naar de houdbaarheid van alle argumenten die in de loop der jaren in de bekende literatuur over dit onderwerp naar voren zijn gebracht.

De inhoud van deze brochure verscheen in de maanden december 1974 tot en met april 1975 als een serie artikelen gepubliceerd in Verkeerskunde, maandblad van de Koninklijke Nederlandse Toeristenbond ANWB, onder de naam van de auteur dr. ir. D. A. Schreuder, wetenschappelijk medewerker bij de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV.

De navraag naar deze artikelenserie deed ons besluiten de tekst hiervan in de vorm van de voorliggende brochure te bundelen. Hierbij konden tevens enige onvolkomenheden worden vermeden.

Ir. E. Asmussen  
Directeur Stichting Wetenschappelijk Onderzoek  
Verkeersveiligheid SWOV

# Samenvatting

Vanuit verschillende benaderingen wordt de problematiek behandeld m.b.t. het gebruik van gefilterd (geel) gloeilampen-licht of niet-gefilterd (wit) licht voor koplampen van voertuigen.

Het uiteren van het blauwe, door de gloeilamp uitgezonden licht, om geel licht te verkrijgen, resulteert in een lichtverlies van ca. 15%.

In de zomer van 1971 was ongeveer 15% van de auto's in Nederland uitgerust met gele koplampen.

Er zijn gronden om aan te nemen, dat de aanwezigheid van gele koplampen meer afhangt van de door de fabriek geleverde uitrusting dan van de persoonlijke voorkeur van de gebruiker.

Voorts komt een aantal natuurkundige aspecten, die te maken hebben met de vraag of aan geel of aan wit licht voor autokoplampen de voorkeur moet worden gegeven, aan de orde.

Aandacht wordt besteed aan het menselijke oog als afbeeldingsinstrument. De bouw van het oog heeft tot gevolg, dat de afbeelding verre van ideaal is. Verder treedt een aantal verschijnselen op, zoals lichtverstrooiing in de oogmedia, afbeeldingsfouten van de lens en buiging aan de pupil, die een kleurafhankelijkheid van de waarneming zouden doen verwachten. Deze afwijking blijkt evenwel zeer gering te zijn, mede doordat een aantal van deze afwijkingen elkaar compenseren. Op grond van de fysische eigenschappen van het oog is geen voorkeur van geel of wit licht aan te geven. De lichtverstrooiing in de atmosfeer, zoals die optreedt bij nevel en heiligheid, hangt af van de golflengte. Langgolvig (rood) licht wordt minder verstrooid dan kortgolvig (blauw) licht. Dit verschijnsel kan van belang zijn voor de luchtvaart. Voor het wegverkeer is geen merkbare invloed te verwachten omdat het verschil tussen (gefilterd) geel licht en wit licht zeer gering is. Bovendien is bij nevel en heiligheid het „zicht” steeds zo groot dat het wegverkeer niet wordt gehinderd. Bij mist, die zo dicht is dat het wegverkeer wordt gestoord, treedt echter geen kleurafhankelijkheid van de verstrooiing op. De conclusie is dat aan de fysische verschijnselen geen argumenten ten gunste van geel licht of ten gunste van wit licht kunnen worden ontleend.

Vervolgens wordt een korte samenvatting gegeven betreffende de bouw en de werking van het menselijke gezichtsorgaan. De anatomie en fysiologie van het netvlies wordt besproken, met name de dupliciteitstheorie en de verdeling van staafjes en kegeltjes over het netvlies. Het blijkt dat ook voor het nachtelijk wegverkeer het fotopisch (en tot zekere hoogte het „hoogmesopisch”) zien van belang is. Aandacht wordt besteed aan de oog-

pupil. Er zijn echter geen gronden naar voren gekomen waarvan aan één van de twee lichtkleuren de voorkeur kan worden gegeven.

De contrastgevoeligheid en de gezichtsscherpte worden in detail behandeld. Hoewel enige verschillen bij de twee kleuren zijn aan te geven, is er geen consistente voorkeur voor één van deze twee kleuren aan te geven. Bovendien zijn alle verschillen te klein om voor het nachtelijk wegverkeer van enig belang te zijn.

Tenslotte wordt de waarneembaarheid van signaallichten besproken. Onder extreme, voor het wegverkeer onbelangrijke, omstandigheden wordt een aanzienlijke kleurafhankelijkheid van de drempelwaarde van zichtbaarheid gevonden. Over de kleurafhankelijkheid van de waarnemingssnelheid zijn weinig bruikbare gegevens bekend.

De verblinding en de daarmee nauw samenhangende readaptatie worden in detail behandeld. Ook hier zijn enige geringe, niet consistente verschillen tussen de twee kleuren gevonden, die bovendien voor het wegverkeer geen betekenis hebben.

Tenslotte wordt aandacht besteed aan leeftijdseffecten. De visuele prestaties nemen in het algemeen af bij toenemende leeftijd; van een kleurafhankelijkheid van deze afname is echter niets van betekenis gevonden.

Uit de waarnemingspsychologie in de meer strikte zin is niets van belang af te leiden over de voorkeur van enige kleur van licht voor de aard van waarnemingen zoals die in het wegverkeer voorkomen. Bij enige randeffecten, met name bij de psychologische verblinding (discomfort glare), is enige voorkeur voor geel licht te constateren. Er is echter weinig reden om aan te nemen dat dit kleine verschil in psychologische verblinding van belang is voor de verkeersveiligheid. Het is opvallend dat dit (geringe) voordeel voor geel licht zelden wordt vermeld, ook niet door de overtuigde voorstanders van geel licht.

Zo er bij de herkenbaarheid en de opvallendheid van signaallichten een kleurinvloed kan worden bespeurd, is deze veel te klein om dat kleurverschil te gebruiken als coderingsdimensie.

Tenslotte is er geen reden om aan te nemen dat de vermoeidheid van de lichtkleur afhangt.

# Conclusies

In de hier gepresenteerde artikelenreeks is de vraag of het gebruik van gefilterd (geel) gloeilampenlicht voor toepassing in autokoplantaarns de voorkeur verdient boven ongefilterd (wit) licht, benaderd vanuit een aantal gezichtspunten. Deze artikelen zijn voor het grootste gedeelte gebaseerd op gepubliceerde gegevens. De belangrijkste conclusies worden hier vermeld. Hierbij zal korthedshalve alleen maar van „geel” en „wit” licht worden gesproken. De argumentatie voor de conclusies is uiteraard deels in de hierna volgende artikelen van deze reeks gebaseerd.

1. In de zomer van 1971 was ca 13% van het Nederlandse personenauto-park uitgerust met gele koplampen.
2. Er zijn redenen om aan te nemen dat de aanwezigheid van gele koplantaarns meer afhangt van de door de autofabriek geleverde uitrusting dan van de persoonlijke voorkeur van de gebruiker.
3. Het wegfilteren van een deel van de blauw-bijdrage van gloeilampenlicht om daarmee een gele lichtkleur te verkrijgen, gaat gepaard met een lichtverlies van ca 15%.
4. Monochromatische kleurfouten in de afbeeldende oogmedia, en buiging aan de pupilrand hangen van de golflengte af. Mede doordat deze twee verschijnselen tegengestelde effecten hebben, resulteert hieruit geen merkbare invloed op de visuele waarneming.
5. Uit de verdeling en de werking van de lichtgevoelige elementen in het netvlies kunnen geen argumenten ten gunste van geel of wit licht worden ontleend.
6. De contrastgevoeligheid van geel en wit licht is gelijk.
7. De statische gezichtsscherpte bij geel en wit licht is vrijwel gelijk.
8. Omtrent de invloed van de lichtkleur op de verblinding en op de hersteltijd na verblinding bestaat enig verschil van opvatting. De meeste onderzoekers geven aan dat deze invloed afwezig is. Van een belangrijke invloed is echter zeker geen sprake.
9. Uit de bekende leeftijdseffecten en hun invloed op het visuele systeem kunnen geen argumenten ten gunste van geel of wit licht worden afgeleid.
10. De kleine en moeilijk interpreteerbare verschillen in zichtbaarheidsafstanden die gevonden zijn bij vergelijking van geel en wit licht hebben voor de praktijk geen belang.
11. In nevel wordt geel licht minder verstrooid dan blauw licht. Het voordeel dat geel licht hier biedt is voor het wegverkeer van geen belang.
12. De verstrooiing van licht in mist hangt niet af van de golflengte. Dit geldt voor alle mistsoorten waarbij het wegverkeer beïnvloed zou kunnen worden.

Voor alle waarnemingsaspecten die voor het gemotoriseerde wegverkeer van belang zijn, is de lichtkleur onbelangrijk. Geel en wit licht zijn gelijkwaardig.



# 1. Algemene aspecten

## 1. Inleiding

Reeds tientallen jaren is er een discussie aan de gang over de vraag of auto's gele of witte koplantaarns dienen te hebben. Aanvankelijk werd het dispuut vooral gevoerd tussen vakgenoten in de wetenschappelijke pers. Nadat de wetenschappelijke argumenten grotendeels waren uitgeput, is de discussie verder in de algemene pers voortgezet, ondanks het feit dat wetenschappelijk onderzoek had aangetoond dat, zo er al verschillen tussen gele en witte koplantaarns bestaan, deze verschillen voor de praktijk van het wegverkeer niet ter zake doen en verwaarloosd kunnen worden.

Momenteel is de situatie zo, dat alleen in Frankrijk gele koplantaarns (en van een nauwkeurig omschreven soort geel) verplicht zijn. In een aantal landen, o.a. Duitsland zijn gele koplantaarns verboden, terwijl in een aantal landen waaronder Nederland, België en Groot-Brittanie, beide kleuren mogen worden gebruikt.

In Nederland geldt wel de verplichting dat beide lampen dezelfde kleur moeten hebben (WVR 1950). Op basis van een onderzoek van de SWOV kan worden geschat dat in Nederland ongeveer 13% van de auto's gele lantaarns heeft. Wellicht speelt deze verdeling in een grote meerderheid wit en een kleine, maar toch nog aanzienlijke, minderheid geel een rol bij het feit dat de vraag of geel licht beter is dan wit licht, juist in Nederland zoveel aandacht krijgt.

Kenmerkend voor het niveau van de van tijd tot tijd weer opblaiende discussie is, dat ten eerste de argumentaties nogal eens emotioneel worden, en dat ten tweede — kennelijk meestal uit onbekendheid met de materie — allerlei factoren worden verward. Zo wordt vaak het gele licht van koplantaarns vergeleken met het gele licht van natriumlampen. En tenslotte komt steeds weer een aantal zeer hardnekkige fabels naar voren, zoals het nut van (gele) zonnebrillen ter vermindering van verblinding, en het voordeel van geel licht wat betreft het door de mist heendringen.

Het doel is een bijdrage te leveren tot de opheldering van de situatie. Daartoe is aan de hand van de bekende literatuur de

houdbaarheid getoetst van de argumenten voor en tegen geel licht die in de loop der jaren naar voren zijn gebracht.

Deze toetsing leidt tot een bevestiging van wat hierboven reeds is gezegd: voor het verkeer, en met name voor de verkeersveiligheid zijn geel licht en wit licht van autokoplantaarns gelijkwaardig, ook al bestaan er mensen die het tegendeel hardnekkig verdedigen.

## 2. Gloeilampen

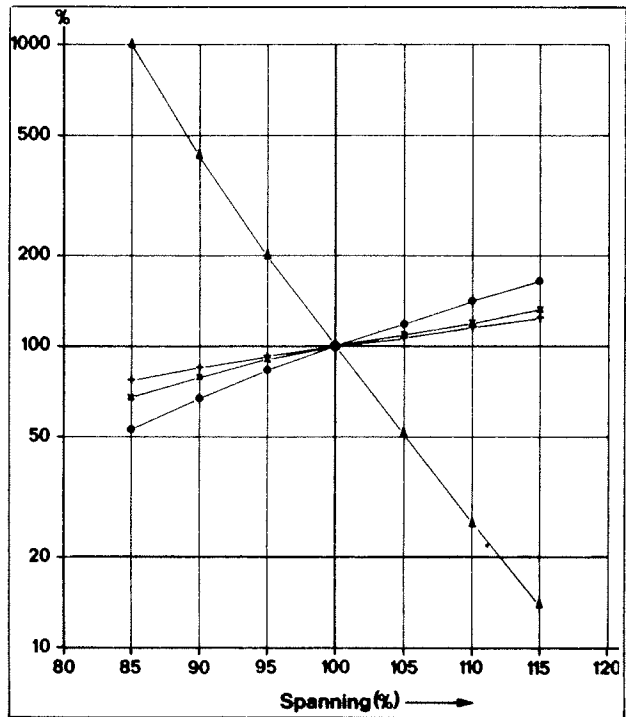
Gloeilampen behoren tot de zgn. temperatuurstralers. Hierbij wordt een gloeilichaam verhit en wel tot een zodanig hoge temperatuur dat zichtbare straling wordt uitgezonden. Bij elektrische gloeilampen wordt door de omzetting van elektrisch vermogen naar thermisch vermogen een draad van wolfram tot gloeien gebracht.

Bij gloeilampen leidt een verandering van de elektrische spanning tot een temperatuurverandering. Als voorbeeld is in afb. 1 het verband gegeven tussen de relatieve waarden van lichtstroom, opgenomen vermogen, enz. en de elektrische spanning voor een normaal type gloeilamp. Opvallend is een sterke afname van de levensduur bij toenemende spanning. Dit is een gevolg van de sterke toename van de dampspanning van wolfram in de buurt van het smeltpunt.

In laatste instantie wordt bij gloeilampen de grens van het rendement gesteld door het smeltpunt van wolfram. Het rendement hangt van de constructie af, maar dat bedraagt nooit meer dan enige percenten. Uitgedrukt in de specifieke lichtstroom ligt het rendement bij ca. 10-25 lumen/watt, waarbij het theoretisch maximum ongeveer 630 lumen/watt bedraagt.

Bij autolampen wordt een lage spanning toegepast, meestal 12 volt, soms ook 6 of 24. Dit heeft tot gevolg dat de windingen van de spiraal dicht bij elkaar kunnen liggen, en dat de gloeidraad zelf kort en dik is. Het gevolg is dat de gloeilichamen van autokoplantaarns klein kunnen zijn, hetgeen grote voordelen biedt voor de lichtbundeling met behulp van lenzen en/of spiegels.

1. Invloed van variatie van de elektrische spanning  
 o lichtstroom  
 x lichtopbrengst  
 + opgenomen vermogen  
 Δ levensduur



### 3. De „gele” gloeilamp

Van essentieel belang is, dat men met gloeilampen van „wit” licht uitsluitend geel licht kan maken door een gedeelte van het kortgolfige licht uit te filteren.

Dit houdt derhalve in dat een gele gloeilamp een gewone gloeilamp is waarbij een uitwendig filter is aangebracht (los, in de vorm van een gele laag op de ballon of bestaande uit een ballon van geel glas). Alle eigenschappen betreffende lichtbronafmetingen, schakelbaarheid, enz. zijn verder identiek.

De filters die worden toegepast om een gele lichtuitstraling te bereiken, zijn vrijwel steeds zgn. kantfilters (cut-off filters). Deze filters hebben de eigenschap dat ze bij lange golflengten zeer goed licht doorlaten (dicht bij 100%) en bij korte golflengten weinig of geheel niet. De overgang kan vrij plotseling zijn, en de golflengte waar de absorptie een rol gaat spelen kan binnen ruime grenzen door een geschikt fabricageproces willekeurig worden gekozen.

Het gele licht wordt dus verkregen door

het blauwe, door de gloeispiraal uitgezonden licht te absorberen in het filter. Dit licht kan zodoende niet bijdragen tot de verlichting, zodat noodzakelijkerwijs de totale lichtstroom van een lamp met filter geringer is dan van dezelfde lamp zonder filter, een lamp dus met een heldere ballon. Dit verlies kan het beste worden weergegeven door dezelfde gloeispiraafwisselend in een heldere en in een gele ballon geplaatst te denken en de totale lichtstroom te bepalen. Wanneer de ballon van de lamp zelf uit geel glas bestaat, is het niet juist om de reductie van de lichtstroom zonder meer in overeenstemming met de spectrale doorlating van het filterglas berekenen, omdat ook een heldere ballon niet al het licht doorlaat.

Over dit lichtverlies in de gele ballon zijn in de literatuur verschillende waarden te vinden. Reading (1966) geeft als resultaat van laboratoriummetingen op een verhouding van de lichtstromen (fotopisch) van gele en witte ballons  $\varnothing_g / \varnothing_w = 0,82$  voor dezelfde nominale wattages. Devaux (1970) geeft totale transmissiefactoren voor twee gevallen van 0,75 en 0,83. Hart-

mann (1959) geeft voor een gewoon geelfilter een verschil in doorlating van 1% ten opzichte van ongekleurd glas, maar tenminste 10-20% voor kantfilters.

Als conclusie kan men stellen dat het gebruik van gele ballons voor autokoplantaarns ca. 15% lichtverlies oplevert. Dit verlies moet niet alleen op een of andere wijze worden gecompenseerd maar zelfs worden overgecompenseerd om tot een positief resultaat van het gebruik van geel licht te kunnen besluiten. Het hierna volgende zal voornamelijk bestaan uit een onderzoek naar de mogelijkheden om dergelijke overcompenserende effecten te kunnen aantonen.

#### 4. Het gebruik van gele lantaarns

In de zomer van 1971 is in het kader van een grotere enquête tevens nagegaan in welke mate het gebruik van gele koplampen in Nederland is ingeburgerd. De enquête is gehouden door het gehele land verspreid en bovendien in een paar steden. Aan het voorlopige verslag van deze enquête is het volgende ontleend. Van de 1774 geënuquêteerden hadden 234 (13%) gele lantaarns, met een waarschijnlijkheid dat de waarde tussen 11 en 15% ligt (marge: 2). Een leeftijdsafhankelijkheid van de bestuurders is niet te constateren; wel een afhankelijkheid van het bouwjaar van de auto, en wel in die zin dat bij nieuwe auto's relatief meer gele lampen voorkomen. Betreffende het auto-merk zijn een aantal opmerkingen te maken. Ten eerste blijkt dat bij Simca een groot deel gele lampen voert; andere Franse merken als Renault en Citroën voeren echter weinig gele lampen. Dit is te meer interessant omdat van het eerste merk de overgrote meerderheid, maar van de andere twee merken slechts een beperkte minderheid van de auto's compleet afgevoerd uit Frankrijk naar Nederland wordt vervoerd. Als voorlopige conclusie lijkt de uitspraak gerechtvaardigd dat de aanwezigheid van gele of witte lampen meer van de door de fabriek geleverde uitrusting afhangt dan van de persoonlijke voorkeur van de gebruiker.

Duidelijk blijkt uit dit onderzoek dat, zoals in de inleiding reeds is gezegd, in Nederland de overgrote meerderheid witte lampen gebruikt, maar dat gele lampen toch nog tamelijk veel voorkomen.

#### 5. Effecten op de verkeersveiligheid

In deze artikelenreeks komt een aantal aspecten van fysische, fysiologische en psychologische aard aan de orde, aspecten die te maken hebben met de voor- en nadelen van geel licht ten opzichte van wit licht voor autokoplantaarns. Op grond van de meeste theoretische overwegingen die worden aangesneden blijkt dat gefilterd geel gloeilampenlicht een aantal geringe, maar wel aantoonbare voordelen biedt boven ongefilterd (wit) licht; het omgekeerde komt echter ook voor. We zullen nu nagaan in hoeverre deze verschillen enige merkbare invloed kunnen uitoefenen op de verkeersveiligheid. Daartoe zullen resultaten van praktijkproeven worden besproken, die kunnen worden beschouwd als de „proof of the pudding is in the eating“, namelijk de metingen van zichtbaarheidsafstanden.

Metingen van de zichtbaarheid worden veelvuldig gebruikt om verschillende systemen van voertuigverlichting onderling te vergelijken. Het beginsel van deze proeven is steeds het volgende: een of meer waarnemers zitten in een auto die met één van de te onderzoeken verlichtingssystemen is uitgerust. Deze auto rijdt op een tegenligger af die ook één van de te onderzoeken systemen voert. Op of bij de weg zijn op plaatsen die aan de waarnemers niet bekend zijn, voorwerpen geplaatst. De waarnemer geeft aan wanneer hij het betreffende voorwerp heeft gezien. Hieruit wordt afgeleid op welke afstand hij het voorwerp heeft gezien; deze afstand wordt zichtbaarheidsafstand genoemd. Behalve van de te onderzoeken verlichtingssystemen hangt de zichtbaarheidsafstand af van de laterale positie, de afmetingen, de vorm en de reflectie van de voorwerpen, van de afstand tot de „tegenligger“ op het moment van ontwaren, van het feit of de „tegenligger“ rijdt of stilstaat, van een aantal omgevingsfactoren, en niet in de laatste plaats, van het criterium „zichtbaar“. Op grond van dit alles zijn de resultaten van verschillende proefseries niet direct met elkaar vergelijkbaar. Wel kan men de resultaten van verschillende verlichtingssystemen vergelijken die binnen één proefserie zijn onderzocht.

Metingen van zichtbaarheidsafstanden, waarbij geel met wit licht is vergeleken, zijn echter slechts zelden uitgevoerd. De enige bruikbare gegevens zijn gepubliceerd door Jehu (1954). Deze vindt dat de zichtbaarheidsafstand bij geel licht ca. 2 à 3 meter meer is dan bij wit licht.

In de door Reading (1966) beschreven proefnemingen, die kunnen worden beschouwd als een laboratorium-variant van

het meten van zichtbaarheidsafstanden, bleek wit licht beter te zijn dan geel licht (bij gelijke fopische intensiteiten). Het verschil is echter niet statistisch significant.

Monnier & Mouton (1939, p. 184) beschrijven enige stationnair uitgevoerde zichtbaarheidsmetingen. Er zijn daarbij slechts weinig details gegeven. Zo is niet duidelijk wat nu werkelijk is gemeten, en wat het resultaat is van berekeningen op basis van andere metingen. Als resultaat wordt gegeven (van 10 mannelijke waarnemers van verschillende leeftijd) een zichtbaarheidsafstand die in een absoluut heldere atmosfeer bij geel licht 10 à 15% groter is dan bij wit licht.

Men kan wel concluderen dat metingen van zichtbaarheidsafstanden onder omstandigheden die de praktijk dicht benaderen, tot tegenstrijdige resultaten leiden. Enerzijds is een merkbaar en wel significant voordeel van geel licht gevonden, anderzijds is een klein en niet significant voordeel voor wit licht gevonden, overigens onder minder realistische omstandigheden. Verder worden voordelen voor geel licht genoemd op basis van summier beschreven en vermoedelijk methodologisch onacceptabel uitgevoerde onderzoeken. Al deze verschillen zijn echter klein, en hebben, zelfs al zouden ze correct zijn, weinig of geen betekenis voor de verkeersveiligheid.

## Literatuur

- Devaux, P. (1970), State of the Art: Signalling and Lighting. Paper presented at the 13th FISITA Congress. Brussels (1970)
- Hartmann, E. (1959), Untersuchungen zur Gelblichtblendung. Intern. Kolloquium der Hochschule für Elektrotechnik, Ilmenau (1959)
- Jehu, V. J. (1954), A comparison of yellow and white headlamp beams. *Light & Lighting* **47** (1954) 287-291
- Monnier, A. & Mouton, M. (1939), La technique de l'éclairage des automobiles. Paris (1939) Dunod
- Reading, V. (1966), Yellow and white headlamp glare and age. *Trans. IES (London)* **31** (1966) 108-114
- WVVR (1950), Wegenverkeersreglement
- Zijl, H. (1955), Illuminating Engineering Course, Eindhoven (1955)

## 2. Fysische aspecten

### 1. Inleiding

In het eerste artikel is een overzicht gegeven van de problemen m.b.t. witte of gele autoverlichting. Voorts is een aantal algemene opmerkingen gemaakt met name over gebruikte gloeilampen en de manier waarop daarmee „geel“ licht kan worden verkregen. Het is van belang, ook voor het volgende, dat gele gloeilampen in niets van gewone „witte“ gloeilampen verschillen, behalve dat een gedeelte van het blauwe licht in een gekleurd filter wordt geabsorbeerd. Dit leidt uiteraard tot lichtverlies. Globaal wordt dit geschat op slechts 15%. Dit geringe verlies behoeft geen verwondering te wekken, omdat immers een gloeilamp — van wolfram — geen zeer hoge temperatuur kan hebben en daarom slechts weinig blauw licht uitstraalt. In het overige deel van het spectrum gebeurt niet veel, zodat een gele gloeilamp toch een temperatuurstraler blijft. Dit ter onderscheid van gasontladinglampen die een spectrum uitzenden dat geheel of grotendeels uit emissielijnen bestaat. Het is evenwel mogelijk dat het „kleurpunt“ van de gasontladinglamp gelijk is aan dat van de temperatuurstraler, zodat de twee lichtbronnen er gelijk gekleurd uitzien.

### 2. Het oog als afbeeldingsinstrument

Essentieel bij alle beschouwingen over visuele waarneming is het feit dat het menselijk oog een optisch afbeeldingsinstrument is. Een gedetailleerde beschrijving van het oog als afbeeldingsinstrument is gegeven door Duke-Elder en Abrams (1970, hoofdstuk III). We zullen hier volstaan met enige aanvullende opmerkingen.

Vaak is in de populaire literatuur de oversimplificatie te vinden dat het oog op een fotocamera lijkt, waarbij de ooglenzen met de fotolens, en het netvlies met de film te vergelijken is. Deze vergelijking is echter misleidend; ten gevolge van het kleine verschil in brekingsindex tussen de lens en de aangrenzende vloeistoffen is de „effectieve“ sterkte van de lens gering. De afbeelding wordt voor het grootste ge-

deelte tot stand gebracht door de cornea, het voorste oppervlak van het oog. In tegenstelling tot de lens is het gedeelte van het oppervlak van de cornea dat bij de afbeelding is betrokken redelijk sferisch. De lens speelt vooral een rol bij de accommodatie. Voor de optische afbeelding zijn in eerste instantie van belang: a) cornea, b) pupil en c) netvlies.

De afbeeldingsfouten die bij een enkel brekend oppervlak te verwachten zijn op grond van de gebruikelijke geometrische-optische theorieën zijn monochromatische afbeeldingsfouten (beeldkromming, askring, coma, astigmatisme) en chromatische afbeeldingsfouten.

Beeldkromming en askring spelen geen grote rol bij het menselijk oog omdat het netvlies niet vlak, maar ongeveer bolvormig is. Coma en astigmatisme zijn van minder belang zolang van foveale waarneming wordt gesproken. De invloed van deze fouten kan dan ook verwaarloosd worden.

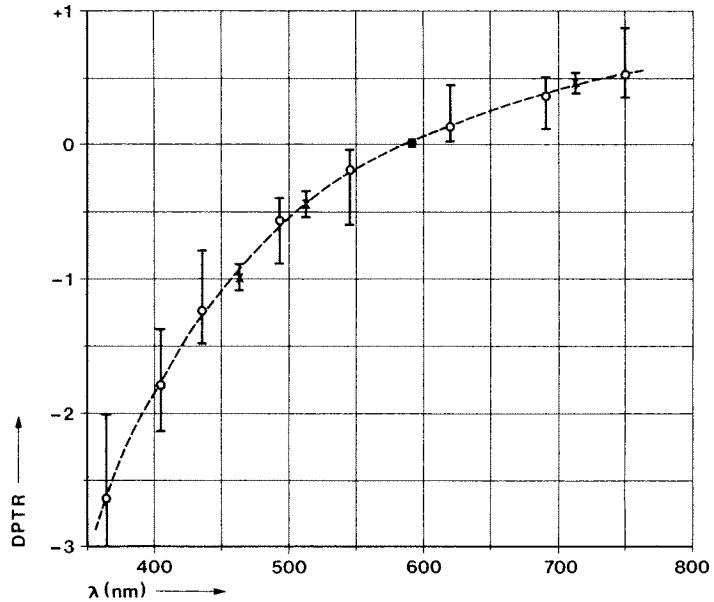
Een enkelvoudige lens levert bij wit licht twee soorten chromatische afbeeldingsfouten. Ten eerste is de brandpuntsafstand niet voor alle kleuren even groot zodat slechts voor één kleur tegelijk een scherpe afbeelding afkomstig van een puntvormige, wit licht uitstralende lichtbron mogelijk is. (Zie Van Heel, 1950). De tweede is de zgn. vergrotingskleurfout: de afmetingen van afbeeldingen van hetzelfde voorwerp verschillen voor verschillende kleuren (Van Heel, 1950).

Over de invloed van de kleurfout van de eerste soort op de menselijke waarneming is tamelijk veel bekend.

Samenvattend kan men stellen dat er een goede overeenkomst is tussen de in de literatuur te vinden waarden. Als voorbeeld is afbeelding 2 overgenomen uit Le Grand (1956). Het is gerechtvaardigd om aan te nemen dat een normaal menselijk oog in het blauw ca. 1 dioptrie verziend is, en in het rood ongeveer 0,5 dioptrie bijziend. Het is overigens de vraag of dit effect veel invloed heeft wanneer alleen het blauwe licht uit gloeilampenlicht wordt gefilterd. Bij een aanzienlijke invloed zou de gezichtsscherpte bij wit licht geringer moeten zijn dan bij geel licht. Hierop komen we verderop terug.

2. Kleurafwijking van het menselijk oog (in dioptrie) in afhankelijkheid van de golflengte van het licht.

o: metingen van Wald en Griffin;  
x: metingen van Ivanoff;  
(naar Le Grand (1956), figuur 1).



De vergrotingskleurfout (kleurfout van de tweede soort) is in de meeste gevallen te gering om waargenomen te kunnen worden. Le Grand (1956, pag. 23) geeft aan dat zelfs bij een voorwerp van  $5^\circ$  de schijnbare breedte van het spectrum dat hierbij ontstaat nog geen 3 boogminuten bedraagt.

Een tweede golflengteafhankelijk effect dat de visuele waarneming kan beïnvloeden, is de buiging of diffractie. Wanneer licht door een opening valt die groter maar niet zeer veel groter is dan de golflengte, wordt de overigens rechtlijnige voortplanting verstoord, en wel zodanig dat een gedeelte van het licht afgebogen wordt. Het resultaat is in plaats van een scherp begrensde lichtpunt, een vaag begrensde lichtvlek waarvan de grootte toeneemt bij afnemende pupildiameter en toenemende golflengte. De afleiding zoals gegeven door Moon (1961, pag. 425), is gegeven in een aanhangsel. De Waart (1946, pag. 22) geeft op dat de diameter van de verstrooiingsschijf van een puntvormige lichtbron voor  $\lambda = 500$  nm en een pupildiameter van 4 mm 0,0061 mm bedraagt. Gezien de lineaire afhankelijkheid tussen  $r_0$  en  $\lambda$  volgt dat voor  $\lambda = 400$  nm:  $r_0 = 0,0048$  mm en voor  $\lambda = 700$  nm:  $r_0 = 0,0084$  mm. Dit betekent een aanzienlijke invloed

van de golflengte. Ook lijkt het erop dat de diameter van de verstrooiingscirkel niet kan worden verwaarloosd. Het is echter te verwachten dat de invloed van de buiging toch niet groot is.

Het is immers bekend dat bij afnemende pupil-diameter de gezichtsscherpte stijgt. Dit betekent dat de toename van de buigingsinvloed blijkbaar meer dan gecompenseerd wordt door de vermindering van de afbeeldingsfouten. De relatief betrekkelijk kleine verandering in de buiging ten gevolge van kleurinvloeden zal dus in het totaal waarschijnlijk geen grote rol spelen.

### 3. Lichtverstrooiing

Wanneer elektromagnetische golven een medium treffen, treedt een verzwakking ervan op. Deze verzwakking heeft de volgende oorzaken: reflectie aan de grensvlakken, absorptie in het medium zelf en verstrooiing aan de deeltjes in het medium. Voor het onderwerp van deze studie is eigenlijk alleen het laatste van belang. Het belangrijkste is de bekende verstrooiingswet van Rayleigh. Voor deeltjes die zeer veel kleiner zijn dan de golflengte  $\lambda$  geldt:

$$S = 24 \pi^3 \left( \frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} \right)^2 \cdot \frac{N v^2}{\lambda^4}$$

waarin

S = de verstrooiing per volume-eenheid

N = het aantal deeltjes per volume-eenheid,

n = brekingsindex

v = het volume van de deeltjes.

Deze vorm van de wet is afkomstig van Monnier & Mouton (1939, pag. 90). Dit betekent dus dat voor gelijke n en N, de verstrooiing en blauw licht aanzienlijk sterker is dan voor langgolvig licht. Wanneer de deeltjes echter niet zeer klein zijn ten opzichte van de golflengte, is de dispersie van de verstrooiing minder.

Vaak wordt hiervoor de benaderingsformule van Angström gegeven

$$S = C/\lambda^a$$

Voor  $a = 4$  hebben we weer de oorspronkelijke formule van Rayleigh. Voor toenemende afmetingen van de deeltjes neemt a af. Voor deeltjes van dezelfde orde van grootte als de golflengte is a ongeveer nul, zodat er geen golflengteafhankelijkheid van de verstrooiing meer bestaat. Voor deeltjes groter dan de golflengte nadert a tot -1; het grensgeval voor grote schijven. Dit is het zuivere buigingsgeval.

De voor de praktijk van belang zijnde deeltjesgrootten zullen verderop aan de orde komen. Eerst zal hier nog in het kort worden weer gegeven waarom de visuele waarneming door verstrooiing wordt verminderd.

In laatste instantie komt het erop neer dat bij zeer sterke verstrooiing alle voorwerpen dezelfde kleur en luminantie hebben. De lichtverstrooiing speelt hierbij de volgende rol. Het licht van een helder voorwerp (bijv. een lichtbron) dat zonder verstrooiing het oog zou treffen, wordt gedeeltelijk verstrooid en komt dus niet in het oog. Dit veroorzaakt een vermindering van de „schijnbare luminantie“ van het voorwerp. De vermindering van de „schijn-

bare luminantie“ kan zover doorgaan tot dat de lichtbron onzichtbaar is geworden. Het licht wordt in het geval van zuivere verstrooiing niet geabsorbeerd. Een gedeelte kan (na een of meer keer verstrooid te zijn) in het oog komen vanuit een richting waar zich enig donker voorwerp bevindt. Dit voorwerp wordt schijnbaar lichter. Deze twee effecten kunnen zover doorgaan tot een volledige gelijkheid is bereikt. Van meer belang is voor de praktijk het geval waarin deze gelijkheid nog niet is bereikt. Dan treedt steeds een vermindering van het contrast op.

In het volgende zullen we nagaan onder welke omstandigheden deze negatieve invloed van de lichtkleur afhangt. Het gaat hier vooral om twee gebieden waarbij de lichtverstrooiing van belang, en vaak van zeer groot belang is, te weten verstrooiing in de oogmedia en in de atmosfeer.

Het belang van lichtverstrooiing in de oogmedia is daarom aanzienlijk omdat deze een belangrijke rol speelt bij de fysiologische verblindings. Het is bekend dat fysiologische verblindings voor een groot deel veroorzaakt wordt door lichtverstrooiing in de verschillende oogmedia. (Het ware wellicht juist om te spreken van fysische verblindings!).

De eerste vraag die we ons stellen is, welke delen van het oog vooral deze verstrooiing veroorzaken. Volgens Vos (1963, pag. 77) komen hiervoor in aanmerking de cornea, de lens en de oogbodem (fundus). Globaal genomen dragen deze drie even veel bij tot de lichtverstrooiing. Volgens Wolf en Gardiner (1965) is de bijdrage tot het strooiligte beperkt tot de lens: het is voor een beoordeling van de verblindingsgevoeligheid voldoende om de lichtverstrooiing in de lens te bepalen. Het is voor ons echter vooral van belang om te weten of de verstrooiing afhangt van de golflengte van het licht. Zoals reeds is aangegeven hangt dit deels af van de grootte van de verstrooiende deeltjes maar verder ook van hun aard. Nu is anatomisch niet veel bekend noch over de afmetingen noch over de aard van de deeltjes, zodat op theoretische gronden weinig is te zeggen. Een uitzondering is gelegen in de inhomogeniteiten in het glasachtige lichaam. Deze zijn als „mouches volantes“ (zie Le Grand (1956, pag. 161, 162) zichtbaar, maar dragen bij gezonde ogen weinig bij tot de lichtverstrooiing (Wolf en Gardiner (1965)).

Een eventuele golflengteafhankelijkheid is dan ook niet interessant.

Ook over de golflengteafhankelijkheid van de lichtverstrooiing van afzonderlijke ooggedeelten is niet veel bekend. Vos

(1963, pag. 77) geeft aan dat de resulterende sluier vrijwel onafhankelijk is van de golflengte.

Deze uitspraak is echter ontleend aan psycho-fysische meetmethoden, en betreffen dus het gehele verblindingsverschijnsel (Vos 1963, pag. 18).

Ditzelfde geldt voor een aantal andere gegevens, zodat het meer zin heeft eventuele kleurafhankelijkheden van de lichtverstrooiing te bespreken zoals ze zich voordoen bij verschillen in gezichtsscherpte en verblindingsverschijnsel. De uit de literatuur bekende gegevens omtrent de lichtverstrooiing aan de oogmedia kunnen weinig steun geven noch aan de argumenten voor geel licht noch aan die voor wit licht. Omtrent de lichtverstrooiing in de atmosfeer bestaat veel grotere gelijkheid van opvatting dan betreffende de verstrooiing in de oogmedia. Ten aanzien van de voordelen van geel licht voor autolantaarns in nevel en mist zijn het dan ook niet de fysische grondslagen, maar de mate waarin deze toepasbaar geacht kunnen worden in verschillende praktijkomstandigheden, die de discussie op gang houden.

De aardatmosfeer is nooit geheel helder. Afgezien van de gasmoleculen zelf zijn er steeds stofdeeltjes en op de meeste plaatsen waterdamp. Op plaatsen waar veel met motorvoertuigen wordt gereden komen daar nog de verontreinigingen bij, afkomstig van de uitlaatgassen en slijtage van voertuig en weg.

Speciale aandacht als verontreiniging verdienen silicium (zand) en koolstof (roet). Deze absorberen licht en verstrooien het ook. Slechts zelden, en dan nog zeer plaatselijk, is de concentratie zo hoog dat de automobilisten in hun rijtaak worden gehinderd door een te geringe zichtbaarheid. De betreffende deeltjes zijn vaak klein. Magill et al; ed (1956) geeft op dat deeltjes in uitlaatgassen afmetingen hebben van rond  $0,1 \mu$  (aangehaald door Schreuder, 1964).

Voor landen met een gematigd klimaat, zoals Nederland, is dit alles voor de open weg van ondergeschikt belang. De wolken van dergelijke deeltjes worden vrijwel nooit zo dicht dat het verkeer wordt gehinderd.

Op grond van de theorie en de door Middleton (1952) aangehaalde overtuigende bewijzen ervan, is te verwachten dat bij uit kleine deeltjes bestaande heiligheid blauw licht meer wordt verstrooid dan rood licht. Deze opvatting wordt ondersteund door Monnier en Mouton (1939) die ten eerste veel literatuurgegevens verwerken (pag. 113) en ten tweede eigen

metingen aanhalen (op cit. pag. 129). Twee opmerkingen dienen te worden gemaakt: ten eerste is niet zonder meer aangegeven hoeveel van dit voordeel overblijft wanneer het geringe verschil tussen gloeilampenlicht al dan niet met een geelfilter wordt beschouwd. Ten tweede is niet opgegeven dat onder de door hen weergegeven omstandigheden het meteorologisch zicht zodanig groot is dat het wegverkeer er in het geheel niet door wordt gehinderd. Zelfs de op het eerste gezicht zeer streng uitgevoerde bewijsvoering van Monnier en Mouton (1939) gaat hieraan mank. Bij nader inzien blijken vele resultaten behorende bij doorschijnende atmosfeer („limpide“) te zijn opgegeven alsof ze maatgevend waren voor nevel of zelfs mist. Betreffende de zichtbaarheid in nevel kan worden geconcludeerd dat zowel op theoretische als op praktische gronden de voordelen van geel licht nauwelijks aantoonbaar en bovendien voor het wegverkeer van zeer geringe betekenis zijn.

Wat betreft de lichtverstrooiing is er een groot verschil tussen heiligheid (en nevel) enerzijds, en mist anderzijds.

Het proces van condensatie is tamelijk gecompliceerd. Wanneer de vochtigheid en de concentratie van condensatiekernen een bepaalde grens hebben overschreden, zullen de resulterende druppels alle een bepaalde minimale grootte hebben. Het hangt af van de absolute waarde van vochtigheid, temperatuur en concentratie van kernen hoeveel druppels er zullen zijn; hun afmetingen echter zijn steeds van dezelfde orde van grootte. De hierbij aan de orde komende processen zijn in detail beschreven door Byers (1965 pag. 32-35).

De relatieve frequentie van voorkomen van druppels met verschillende diameter kan dus sterk verschillend zijn; kleine druppels komen echter niet voor zolang er grote druppels aanwezig zijn. Groot betekent hier: een diameter van tenminste  $2 \text{ à } 5 \mu$ . Dit stemt uitstekend overeen met de in de praktijk gevonden waarden van frequentie van deeltjesgrootte in mist. Uit metingen kan met vertrouwen worden geconcludeerd dat in mist druppeltjes met een diameter minder dan  $1 \text{ à } 2 \mu$  niet voorkomen.

Dit betekent dus dat de exponent van de benaderingsformule van Angström steeds negatief is. Wanneer er derhalve een golflengte-afhankelijkheid van de verstrooiing op zou treden, zou dit betekenen dat rood meer wordt verstrooid dan blauw. Deze selectiviteit in de verstrooiing is echter in de praktijk niet merkbaar.



Op grond van de theoretische overwegingen, die reeds eerder zijn vermeld kan derhalve worden aangenomen dat de mist, gezien de daarbij voorkomende druppelgrootten, het licht ongeveer aselekt verstrooit. Dit wordt nog eens bevestigd door een aantal in de praktijk uitgevoerde onderzoeken. Zo stelt Devaux (1956) dat dichte mist alle kleuren evenzeer verspreid. Ook Luckiesh (1953) spreekt twijfel uit over het nut van gele mistlampen. Schober (1967) vermeldt dat geel licht geen verbetering oplevert. Dit is ook geconstateerd in CIE (1948) waarbij Boelter en Ryder (1940) worden geciteerd. Middleton (1952) tenslotte haalt nog eens een aantal onderzoekers aan die geen verschil van betekenis vonden n.l. Luckiesh en Holladay (1941), Born et al (1933). Ook Kocmond en Perchonok (1970) besluiten tot een golflengte-onafhankelijkheid op basis van publicaties van Arnulf en Brizard (1957). In de diepgaande studie van Harris (1951) wordt niet over een invloed van de lichtkleur gerept.

Monnier en Mouton (1939, pag. 113 vv.) citeren een aantal onderzoeken betreffende natuurlijke mist. Volgens Granath en Hulbert (1929) is in een dichte mist licht met een golflengte van 450 nm (blauw) na 800 m op 1/100 van zijn waarde teruggebracht en na 1200 m op 1/1000. Voor rood (650 nm) gebeurt dit na 925 resp. 1400 m. Niet nader gespecificeerde metingen van Foitzik worden geciteerd, waarbij is opgegeven, dat bij mist met een zicht minder dan 800 m de doorlating niet van de lichtkleur afhangt, maar dat bij een zicht van meer dan 1000 m de doorlating voor blauw licht steeds groter is dan voor rood licht, tot zelfs 30% groter. Direct hierna volgt een uitspraak van Foitzik dat bij nevel het blauw meer wordt verstrooid dan het rood! Tenslotte wordt Born et al (1933) geciteerd die aangeven dat bij mist met zicht van 300 m de doorlating voor licht van 483 nm 5 à 6% hoger is dan voor 657 nm. (groenig geel resp. diep rood).

#### *Buiging van licht aan een cirkelvormige opening.*

Bij buiging geldt dat de verlichtingssterkte  $E$  in een punt  $P$  op een afstand  $r_0$  van de optische as:

$$E = E_0 \left[ \frac{J_1(2m)}{m} \right]^2$$

$$\text{Hierin is } m = \frac{\pi \delta}{2 \lambda} \cdot \frac{r_0}{Z_0}$$

$$E_0 = E \text{ voor } r_0 = 0$$

$Z_0$  = de afstand van de opening tot het opvangvlak

$\delta$  = de diameter van de opening

$\lambda$  = de golflengte van het licht

$J_1(2m)$  = de Besselfunctie van de eerste orde

Dit betekent dat op het opvangvlak (hier dus het netvlies, om een centraal helder punt heen, een opeenvolging van heldere en donkere ringen te zien is. Voor de eerste donkere ring geldt

$$m = \frac{\pi \delta}{2 \lambda} \cdot \frac{r_0}{Z_0} = 1,916$$

Vrijwel al het vermogen is in de binnenste ring geconcentreerd.

De maximale verlichtingssterkte in de eerste heldere ring is slechts 1,7% van de verlichtingssterkte in het centrum van de lichte vlek. De tweede ring is nog zwakker. Men heeft dus in eerste instantie te maken met de binnenste lichtvlek. Uit de hierboven gegeven formule kan worden afgeleid dat de „breedte“ van deze vlek toeneemt bij toenemende golflengte en afnemende opening.

## 4. Conclusies

Uit het voorgaande kunnen een aantal conclusies worden getrokken.

- De monochromatische afbeeldingsfouten zijn uit de aard der zaak niet afhankelijk van de kleur van het licht.
- De longitudinale chromatische afbeeldingsfouten vertonen een aanzienlijke afhankelijkheid van de golflengte. Voor monochromatisch licht bedraagt, bij een optimale scherpstelling bij geel licht, de afwijking in blauw licht -1 dpt (het oog is dus verziend) en bij rood +0,5 dpt (het oog is dus bijziend). Waarneming bij monochromatisch licht zou dus de voorkeur verdienen. Het is echter de vraag of het wegfilteren van het (weinig) blauw uit gloeilampenlicht veel uitmaakt.
- De transversale chromatische afbeeldingsfout (aberraties van de tweede soort) zijn nauwelijks van invloed.
- Buiging van het licht heeft invloed op de afbeeldingskwaliteit van het oog, en deze invloed is golflengte-afhankelijkheid. Het is echter niet duidelijk in welke mate de waarneming wordt beïnvloed door de buigingseffecten; een kleurinvloed is dus niet te verwachten.
- Verstrooiing in de oogmedia is zeer aanzienlijk. Het betreft een van de meest ernstige bronnen van verstoring van de waarneming wegens de verblindingseffecten. Of deze verstrooiing zelf van de kleur van het licht afhangt is niet bekend. Alle onderzoeken omtrent de kleurafhankelijkheid betreffen de verblinding

als geheel, en geven dus geen direct uitsluitend over de verstrooiing. Aangezien de verblinding als totaalverschijnsel weinig of niet van de lichtkleur afhangt, is het gerechtvaardigd om te verwachten dat de verstrooiing in de oogmedia ook niet van de golflengte afhangt.

f. Verstrooiing in nevel is golflengte-afhankelijk en wel in die zin dat rood licht minder wordt verstrooid dan blauw licht. Deze afhankelijkheid is echter alleen geconstateerd bij nevel of heigheid waarbij het zicht aanzienlijk meer dan 1000 meter bedroeg. Voor het wegverkeer is dit dus van geen enkel belang.

g. De verstrooiing van licht in mist hangt niet af van de golflengte. Dit geldt voor alle mistsoorten waarbij het wegverkeer beïnvloed zou kunnen worden.

Samenvattend kan worden gesteld dat op grond van fysische verschijnselen geen argumenten gevonden kunnen worden ten gunste van het gebruik van gefilterd (geel) gloeilampenlicht in plaats van ongefilderd (wit) gloeilampenlicht voor auto-koplantaarns.

## Literatuur

- Arnulf, A., Bricard, J. (1957). Transmission by Haze and Fog in the spectral region 0,35 to 10 microns. *Josa* **47** (1957) 491.
- Boelter, L. M. K., Ryder, F. A. (1940). Notes on the Behaviour of a Beam of Light in Fog. *Illum. Engng.* **35** (1940) 223.
- Born, F., et al (1935). Untersuchungen über die Lichtdurchlässigkeit des Nebels. *Z. für Techn. Phys.* **14** (1933) 289-293.
- Byers, H. R. (1965) Elements of cloud physics. Chicago, Univ. of Chicago Press.
- CIE (1948) Comité d'études sur l'éclairage des automobiles (23b). In: CIE (1950) 378-387.
- CIE (1950) Onzième session Paris 1948. Commission Internationale de l'éclairage. London, Clowes.
- Devaux, P. (1956). Unified European passing beam and yellow light. *Int. Road Safety and Traffic Rev.* **4** (1956) 33.
- Duke-Elder, S. ed. (1970). System of Ophthalmology. London Kimpton.
- Duke-Elder, S., Abrams, D. (1970) Ophthalmic Optics and Refraction. vol. V in: Duke-Elder, ed. (1970)
- Granath, L. P., E. V. Hulburt (1929) *Physical Rev.* (geciteerd door Monnier & Mouton, 1939).
- Harris, A. J. (1951) Visibility in thick fog from the point of view of road transport. CIE (1951) Stockholm.
- Heel, A. C. S. van (1950) Inleiding in de Optica (3e druk). Den Haag Nijhoff.
- Kocmond, W. C., Perchonok, K. (1970) Highway fog. Highway Res. Board (1970). NCHRP report 95.
- Le Grand, Y. (1956) *Optique physiologique* tome III. Paris Ed. Revue d'Optique.
- Luckiesh, M. (1953) The effectiveness of so-called fog lamps. *Consumers' Res. Bull.* (1953) March 30.
- Luckiesh, M., Holladay, L. L. (1941). Penetration of fog by light from sodium and tungsten lamps. *Josa* **31** (1941) 528-530.
- Magill, P. L. et al (eds) (1956). *Air Pollution Handbook*. New York McGraw Hill.
- Middleton, W. E. K. (1952) *Vision through the atmosphere*. Toronto Univ. Press.
- Monnier, A., Mouton, M. (1939) *La Technique de l'éclairage des Automobiles*. Paris Dunod.
- Moon, P. (1961) *The Scientific Basis of illuminating engineering* (revised edition) New York Dover.
- Rijnberk, G. van (ed) (1946). *Nederlands leerboek der Physiologie*. Deel VI: de Zintuigen (tweede druk). Amsterdam Swets & Zeitlinger.
- Schober, H. A. W. (1967) The reduction of disability and discomfort glare in traffic. In: *The prevention of highway injury* (1967).
- Schreuder, D. A. (1964) *The lighting of vehicular traffic tunnels*. Eindhoven Centrex.
- Vos, J. J. (1963) On mechanism of glare. Diss. Utrecht
- Waart, A. de (1946) *Het gezichts-zintuig*. Van Rijnberk ed. (1946) Deel VI.
- Wolf, E., Gardiner, J. S. (1965) Studies on the Scatter of Light in the dioptric Media of the Eye as a Basis of Visual Glare. *Arch. Ophthal* **74** (1965) 338-345.

# 3. Fysiologische aspecten

## 1. Inleiding

In het voorafgaande is een overzicht gegeven van een aantal algemene aspecten, die te maken hebben met de vraag of, voor het wegverkeer, het de voorkeur verdient om gele of witte lantaarns te gebruiken. In het eerste artikel is behandeld op welke wijze men „geel” licht kan verkrijgen bij gloeilampen, hoe gele lantaarns worden gebruikt in Nederland, en welke effecten men kan verwachten op de verkeersveiligheid. In het tweede artikel is een aantal natuurkundige aspecten besproken. De optische afbeelding in het menselijke oog is behandeld, waarbij aandacht is besteed aan de mate waarin de — bij ieder optisch afbeeldingsinstrument te verwachten afbeeldingsfouten — aanleiding kunnen geven tot argumenten ten voordele of ten nadele van geel licht ten opzichte van wit licht. Vervolgens is meer in detail de lichtverstrooiing besproken, allereerst zoals die optreedt binnen het oog, en voorts de verstrooiing in de atmosfeer. Het blijkt dat een groot aantal onderzoeken is uitgevoerd, maar dat het eindresultaat niet pleit voor één van de twee besproken lichtkleuren. In dit artikel komen een aantal fysiologische aspecten aan de orde. Daarbij worden achtereenvolgens besproken: de effecten die te maken hebben met de (anatomische) bouw van het oog maar ook effecten die samenhangen met de verschillende functies van de gezichtszin binnen het totaal van de visuele waarneming zoals de contrastgevoeligheid, de gezichtsscherpte en de verblinding. Tenslotte zullen nog enige specifieke leeftijdsafhankelijke effecten worden besproken.

Over de bouw en functie van het gezichtszintuig bestaat een uitgebreide literatuur. Dit is deels het gevolg van het feit dat het een uiterst gecompliceerde materie betreft, en deels van het feit dat gedurende enige eeuwen veel onderzoek op dit gebied is verricht.

Aangezien het hier gaat om een antwoord op een zeer gerichte vraag (de invloed van de kleur van autokoplantaarns) zullen we iedere poging tot volledigheid achterwege laten. In dit artikel zullen uitsluitend enige gezichtspunten aan de orde komen waarbij op fysiologische gronden verschillen in prestaties van het visuele systeem onder

omstandigheden, zoals die bij het nachtelijk wegverkeer zich kunnen voordoen, kunnen worden verwacht wanneer gefilterd (geel) gloeilampenlicht vergeleken wordt met ongefilterd (wit) licht.

## 2. Aspecten van de bouw van het oog

### 2.1. Enige algemeenheden

Zeer in het kort zal de bouw van het oog worden beschreven. Het oog bestaat uit een doorzichtig voorvlies (hoornvlies, cornea), de lens, het regenboogvlies (iris), de harde oogrok (sclera en choroïde), het netvlies (retina) en het glaslichaam. Globaal gesproken is de functie als volgt: door de cornea en in mindere mate ook door de lens wordt een afbeelding van de buitenwereld op het netvlies geprojecteerd. Daar ter plaatse wordt het optische beeld omgezet in elektrische impulsen, die door de oogzenuw (nervus opticus) naar de hersenen worden geleid. Het eindresultaat is meestal een bewust waargenomen beeld van de buitenwereld. De oogrok dient ter bescherming, de lens, waarvan de brandpuntsafstand kan worden gevarieerd door spierbewegingen, meer voor accommodatie (scherp stellen op verschillende afstanden) dan voor de eigenlijke afbeelding. Het regenboogvlies laat in het midden een opening vrij (de pupil) die eveneens door spierbewegingen kan variëren. De tussenruimten zijn met vocht gevuld. Samenvattend: het optische beeld wordt door de cornea gevormd, door lens en de iris aangepast, door het netvlies opgevangen en in elektrische signalen omgezet, en door de oogzenuw naar de hersenen gevoerd. Tenslotte zijn nog te vermelden: de oogleden, die de ogen beschermen, en de spieren waarmee de ogen in de oogkassen kunnen worden bewogen.

### 2.2. Het netvlies

Een deel van het oog dat ons speciaal zal bezighouden is het netvlies. Pirenne (1967) geeft een duidelijk overzicht van de hoofdzaken van de opbouw, waaruit hier een en ander wordt ontleend. Kenmerkend voor het netvlies is de aanwezigheid van twee soorten fotoreceptoren, de staafjes en de kegeltjes. De kegeltjes

zijn vooral in het middengedeelte van het netvlies geconcentreerd; de fovea centralis die een hoek van ongeveer  $2^\circ$  beslaat, bestaat uitsluitend uit kegeltjes.

De kegeltjes hebben de volgende hoofdeigenschappen:

- a. ieder is met een aparte zenuwcel verbonden;
- b. ze zijn werkzaam in gebieden van relatief hoge luminantie;
- c. met het kegeltjes-systeem kunnen kleuren worden waargenomen;
- d. de grootste gevoeligheid is bij geel-groen licht (555 nm).

De staafjes daarentegen zijn meer in de periferie gelegen; in de fovea ontbreken ze. Ze hebben de volgende eigenschappen:

- a. ze zijn in variabele aantallen aan een enkele zenuwvezel gekoppeld (tot ca. 100, Delay en Pichot (1968, p. 31));
- b. ze zijn werkzaam in het gebied van lage luminanties;
- c. met het staafjes-systeem kunnen alleen grijstinten worden waargenomen;
- d. de grootste gevoeligheid ligt in het groene licht (500 nm.).

Dit alles geldt voor het menselijke oog. De ogen van de gewervelde dieren hebben een vergelijkbare opbouw, behalve dat zeer veel dieren alleen staafjes of alleen kegeltjes bezitten. Zo hebben hoefdieren, waartoe onder andere al het groot wild behoort, alleen staafjes zodat ze geen kleuren kunnen onderscheiden. Het soms gehoorde argument dat wild en speciaal reeën uitsluitend door auto's met wit licht worden aangerezen, en dat dit dus een van de voordelen van geel licht zou zijn, kan dus wel naar het rijk der fabelen worden verwezen.

Volgens Devaux (1970) is door de verdeling van staafjes en kegeltjes over het netvlies de betere zichtbaarheid bij geel licht ten opzichte van wit licht verklaard: het door de gele koplantaarns verlichte gedeelte komt op de fovea, die daarvoor extra gevoelig is terwijl de wegganten, die door het blauwige schemerlicht worden beschenen, door de daarvoor gevoelige periferie worden waargenomen. Dit argument is nauwelijks houdbaar, want het zou zo alleen kunnen zijn wanneer foveaal fotopisch en perifeer scotopisch of tenminste mesopisch zou worden waargenomen. Dit is gewoonlijk niet het geval. Overigens blijft de vraag of een gering verschil in spectrale emissie een zo groot verschil in waarneming zou kunnen veroorzaken. De verminderde gevoeligheid voor geel is wel aangevoerd om als verklaring te dienen voor een ander verschijnsel: Natriumlampen geven minder verblindingshinder (psychologi-

sche verblinding) dan witte lampen zoals bijv. kwiklampen (zie Stiles (1954) en Schreuder (1962)) onder de geometrische omstandigheden welke men bij straatverlichting vindt.

Over dit geheel is een en ander op te merken. Ten eerste is het twijfelachtig of het zinvol is voor het mesopische bereik de fotopische luminanties te blijven gebruiken. Ten tweede blijkt er onder andere uit onderzoeken van Adrian (1965) en Adrian en Kokoschka (1965) dat de kleurgevoeligheid van de staafjesloze fovea op een nog niet nader verklaarde manier door het staafjes-systeem mede wordt beïnvloed. En tenslotte is er de pigmentatie van de macula, het gebied van de fovea centralis. Hier is een gele kleurstof aanwezig die als een filter kan werken waarmee de kleurafwijkingen worden gecorrigeerd. (Walls (1943) aangehaald door Riggs (1965a)). In tegenstelling tot de pigmentering van de lens neemt het macula-pigment niet toe bij toenemende leeftijd; zie hiervoor Ruddock (1965a, 1965b), Mann en Pirie (1950, p. 89), Said en Weale (1959).

Hoe men zich de invloed van het maculapigment op de visuele waarneming voorstelt, is niet erg duidelijk. Aangezien het blijkbaar gedurende het leven niet verandert is het moeilijk voor te stellen dat het voor het onderhavige probleem van belang zal zijn. Ditzelfde geldt voor vele hier aangehaalde feiten: verreweg het belangrijkste gedeelte van de visuele waarneming in het (nachtelijk) wegverkeer speelt zich af in het foveale en parafoveale gebied; de verdere periferie heeft in het verkeer nauwelijks meer dan een waarschuwendende functie voor bewegende, bovendrempelige objecten.

### 2.3. De dupliciteitstheorie

Een essentiële rol in de visuele waarneming speelt de dupliciteitstheorie. Deze theorie komt globaal op het volgende neer: Bij lage luminanties in de buitenwereld ( $<0,01 \text{ cd/m}^2$ ) functioneren alleen de staafjes. De visuele perceptie is beperkt tot het flauw waarnemen van vormen en vooral van bewegingen; kleuren ontbreken; de fovea is buiten werking (scotopisch zien).

Bij hoge luminanties ( $>10 \text{ cd/m}^2$ ) zijn de kegeltjes in werking, hoewel de staafjes toch blijkbaar nog enige niet geheel begrepen actie vertonen (Adrian 1965). De gezichtsscherpte, vooral in het foveale gebied, is groot, kleurzien is mogelijk, terwijl het zien van beweging toch voor een belangrijk gedeelte tot de periferie beperkt blijft (fotopisch zien).

In het tussengebied zijn beide systemen werkzaam. Bij relatief hoge luminanties

overheerst het kegeltjes-systeem; bij relatief lage luminanties echter het staafjes-systeem. Aangezien zowel de kegeltjes als de staafjes ieder hun eigen „ooggevoelheidskromme“ hebben, is het verleidelijk om aan te nemen dat in het tussengebied (het mesopisch zien) een lineaire combinatie bestaat van deze twee, gerelateerd aan de ligging van de luminantie ten opzichte van de waarden behorend bij zuiver kegeltjes en zuiver staafjes zien. Deze Purkinje-verschuiving (genoemd naar de ontdekker, Jan Purkinje) is als lineair weergegeven door bijv. Cakir en Krochmann (1971). Volgens Walters en Wright (1943) en Koschka (1971) is dit echter niet het geval. Ondanks dit verschil van opvatting hebben we de duidelijke figuur van Cakir en Krochmann (1971) overgenomen (afbeelding 3). Het is algemeen aanvaard dat iedere kleur beschreven kan worden door een menging van drie geschikt gekozen grondkleuren (Bergmans (1960)). Het is echter nog de vraag of fysiologisch gezien de kleurwaarneming ook drie soorten receptoren betreft. Anatomisch en chemisch is nog geen onomstotelijk bewijs geleverd voor het bestaan van drie soorten kegeltjes. Een methode om aan te tonen dat er inderdaad drie soorten kegeltjes bestaan, ieder met zijn eigen gevoeligheidskromme, zou zijn: het afzonderlijk belichten van aparte receptoren. Cornsweet (1970, p. 214 vv.) beschrijft een dergelijke methode, en vermeldt erbij dat er inderdaad drie soorten kegeltjes, ieder met een eigen absorptiekromme, zijn gevonden, daarbij het onderzoek citerend van Wald en Brown (1965). Aangezien de absorptiekrommen niet volledig overeenstemmen met de op andere wijzen bepaalde absorptiekrommen, en ook niet met de gevoeligheidskrommen bepaald bij kleurenblinden, lijkt de uitspraak van Cornsweet echter nog wat voorbarig. Typerend voor deze verschijnselen is dat, voor de luminantieniveaus die bij nachtelijk verkeer gebruikelijk zijn, de discrepanties tussen fotopisch zien en mesopisch zien nog slechts gering zijn. De verschillen wijzen er echter op dat bij afnemende luminantie het oog voor kortgolvlige straling steeds gevoeliger wordt en voor langgolvlige licht meer ongevoelig. Dit alles komt voor ons probleem op het volgende neer.

1. In het „hoog-mesopisch“ zien heeft het oog relatief een ietwat hogere blauwgevoeligheid dan in het fotopisch zien. Dit verschil is zo gering dat er van een nadeel van gele gloeilampen (gezien de geringe blauwbijdrage ook van ongefiltreerd gloeilicht) geen sprake is. De term „hoog mesopisch“ is hier ingevoerd als een globale aanduiding van het gebied dat aan het fotopisch gebied aansluit.

2. In het „hoog-mesopisch“ gebied is de gezichtsscherpte, de contrastgevoeligheid enz. nog nauwelijks minder dan in het fotopisch gebied. Het is nauwelijks te verwachten dat de geringe verandering in de spectrale samenstelling van het licht enige invloed zal hebben. Het is derhalve gerechtvaardigd om de lichtkleurafhankelijkheid uitsluitend voor het fotopisch gebied te onderzoeken.

3. In het „hoog-mesopisch“ gebied is de mogelijkheid om kleuren te zien nog weinig afgenomen.

Blijft over de vraag of het gerechtvaardigd is om ook voor het nachtelijke wegverkeer te stellen dat de waarnemingen grotendeels plaatsvinden in het fotopisch, resp. het hoog-mesopisch gebied.

Men gaat er meestal vanuit dat de adaptietoestand van het netvliesgedeelte waarop het voor de automobilist belangrijke omgevingsgebied wordt afgebeeld (vrijwel steeds het foveale en parafoveale gebied) bepaald wordt door de luminantie van het wegdek. Uit praktijkmetingen blijkt dat bij openbare verlichting voor de wegdek-luminantie niet met waarden lager dan  $0,1 \text{ cd/m}^2$  hoeft te worden gerekend (Westermann (1967) en De Grijis (1972)).

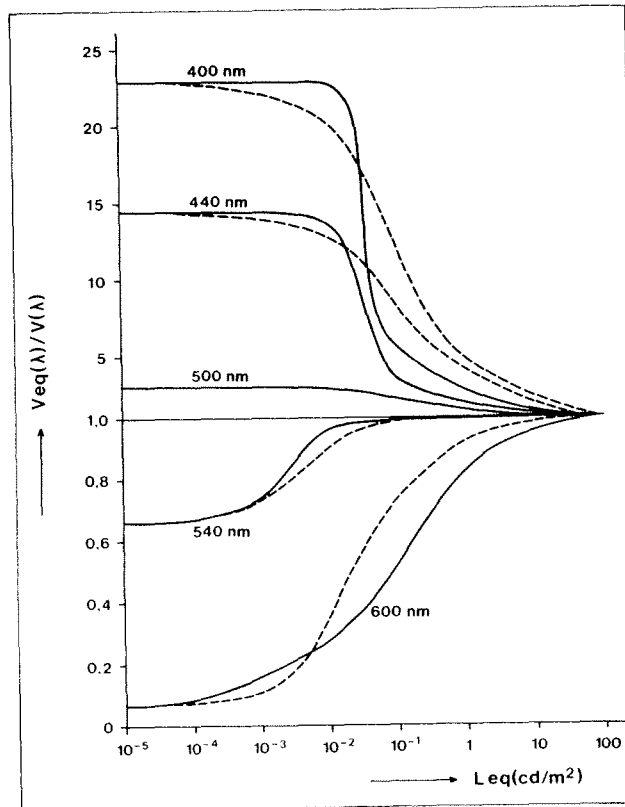
Wanneer de weg uitsluitend door autolantaarns wordt verlicht, is de situatie minder eenvoudig te beschrijven. Hoewel er weinig betrouwbare gegevens bestaan, kan men wel aannemen dat de wegdek-luminantie (op droge wegen tenminste) de eerste tientallen meters als regel hoger is dan  $0,1 \text{ cd/m}^2$  (SWOV (1969) afb. 3). Hoewel waarneming van details op de weg vaak op grotere afstanden moet plaatsvinden, is het eerste gedeelte, door de relatief grote ruimtethek in het perspectivische wegbeeld, waarschijnlijk voor een belangrijk deel bepalend voor de adaptietoestand. Het lijkt dan ook gerechtvaardigd om te stellen dat ook bij autolantaarnverlichting de foveale adaptatie meestal boven  $0,1 \text{ cd/m}^2$  ligt.

#### 2.4. De oogpupil

De pupil is een cirkelvormige opening in het regenboogvlies. Dit regenboogvlies ligt vlak voor de ooglenzen. De grootte van de opening wordt bepaald door een (dynamisch) evenwicht tussen de sluitspier (sphincter) en de openingsspier (dilator pupillae). Het proces dat de opening en sluiting van de pupil bewerkt, is niet geheel bekend. H. Bouma (1965, p. 74) concludeert dat de „gevoeligheidskromme“ die de stationaire pupilreactie bepaalt, noch die van het fotopisch zien is, noch die van het scotopisch zien. De golflengte waarbij een maximale reactie optreedt is voor fotopisch zien, scotopisch zien en de pupilre-

3. Relatieve efficiëntie ( $V_{eq}/V$ ) bij verschillende golflengten als een functie van de equivalente luminantie ( $L_{eq}$ ).

— CIE  
 - - - - - simulatie  
 (naar Cakir en Krochmann, 1971, fig. 1)



actie resp. 555 nm, 510 nm en 490 nm. Dit betekent dat blauw licht meer effectief is om de pupil te vernauwen dan rood licht in hetzelfde gebied van luminanties. Volgens H. Bouma (op cit., p. 74) gaat deze contractie nog door bij luminantiegebieden waar bij de waarneming „puur” fotopisch is. Dit zou dus betekenen dat ook in het mesopisch gebied, blauw licht meer effectief is om de pupil te doen verkleinen dan rood licht. Het is echter niet juist om uit het bovenstaande af te leiden dat er in het totale visuele systeem, ten gevolge van deze kleurafhankelijke pupilreactie, een kleurafhankelijk effect optreedt. Bij een toenemend lichtniveau neemt de pupildiameter af; dit leidt tot twee effecten die elkaar blijkbaar ongeveer compenseren. Aan de ene kant neemt de kwaliteit van de optische afbeelding toe doordat de chromatische en de mono-chromatische afbeeldingsfouten in het oog bij verkleining van de pupil afnemen. Anderzijds neemt de in-

vloed van de buiging toe zodat de lichtkleur niet via de pupilreactie de visuele prestatie kan beïnvloeden.

### 3. Functionele aspecten

#### 3.1. De contrastgevoeligheid

Een van de meest fundamentele functies van het menselijke visuele systeem is de eigenschap om (bijvoorbeeld aan elkaar grenzende) gebieden met verschillende luminanties gescheiden te zien. Dit wordt meestal met „contrastgevoeligheid” aangeduid. Op dit gebied is zeer veel onderzoek uitgevoerd. Dit onderzoek, begonnen door Fechner en Weber, is op redelijke wijze niet geheel systematische en volledige, wijze samengevat door Brown en Mueller (1965). We zullen ons hier echter beperken tot de kleureffecten.

Jainski (1960b) vindt dat over een gebied van ca.  $10^{-3}$  tot  $10^2$   $cd/m^2$  de verschillen in

contrastgevoeligheid tussen gloeilampen, natriumlampen en hogedruk kwiklampen verwaarloosbaar zijn. Merkwaardigerwijze vindt hij dat de contrastgevoeligheid voor fluorescentiebuizen bij lage luminanties hoger is dan voor de andere drie lamptypen; bij luminanties boven ca 0,3 cd/m<sup>2</sup> is het verschil weer te verwaarlozen. Dit doet het vermoeden opkomen dat hier eerder sprake is van een fout in de jiking dan in een fysiologisch verschijnsel. Voor de praktijk van de wegverlichting is het van ondergeschikt belang. Bij deze metingen zijn gefilterd (geel) en ongefiterd (wit) gloeilampenlicht niet apart onderzocht. Een verschil tussen deze twee lichtsoorten is echter niet te verwachten, gezien het feit dat tussen de onderzochte vier zeer verschillende lichtsoorten al geen systematisch verschil bestaat. Jainski (op.cit.) besluit zijn artikel met de vermelding (zonder nadere gegevens te verschaffen) dat de door hem gepubliceerde metingen goed overeenkomen met die van Luckiesch en Taylor, Klein en Weigel. Ook Eastman en McNelis (1963) vinden geen verschil in contrastgevoeligheid bij een vergelijking van natrium- en kwiklampen, en gloeilampen. Een dergelijk resultaat is door Hartmann (1959) gevonden. Hij vindt geen verschil tussen de contrastgevoeligheid bij gefilterd (geel) en ongefiterd (wit) licht van gloeilampen.

Monnier en Mouton (1939, p. 177 w.) vinden wel enig verschil tussen geel en wit licht. Voor vijf waarnemers is de drempel van de contrastgevoeligheid bepaald. Bij ca. 15 cd/m<sup>2</sup> is het verschil tussen geel en wit gering. Bij lagere luminanties is het verschil groter en bij 0,003 cd/m<sup>2</sup> is de gevoeligheid bij geel licht ongeveer tweemaal zo groot als bij wit licht. Aangezien weinig details zijn gegeven over de meetmethode en de apparatuur, is het wellicht beter niet te veel waarde aan de resultaten te hechten, vooral ook omdat een dergelijke grote invloed van de lichtkleur bij geen andere onderzoeker is gevonden. Overigens dient men zich de consequenties van een dergelijke uitspraak terdege te realiseren: het zijn vooral de onderzoekingen van Monnier en Mouton die het materiaal leveren voor de steeds weer terugkerende argumenten ten gunste van geel (gefiterd) gloeilampenlicht voor autolantaarns!

Bouman (1952) geeft aan dat voor hoge luminanties de contrastgevoeligheid onafhankelijk is van de golf!engte. Hoog betekent hierbij meer dan 3 cd/m<sup>2</sup>. Voor lage waarden, scotopisch zien, en perifere waarneming blijkt echter het rode licht te domineren

Tot nu toe is in deze paragraaf de gevoelig-

heid voor luminantie-verschillen aangeduid met contrastgevoeligheid. Er wordt echter nogal eens aangevoerd dat bij de „contrasten“ ook effecten een rol spelen ten gunste van geel licht, die eerder tot de psychologische effecten kunnen worden gerekend. Een nauwkeurige beschouwing van de effecten leert echter, dat de vaak geciteerde uitspraak dat bij geel licht de contrasten beter zijn, ten dele schijn is, en ten dele in feite teruggaat op reeds bekende, maar andere verschijnselen (Schreuder, (1975))

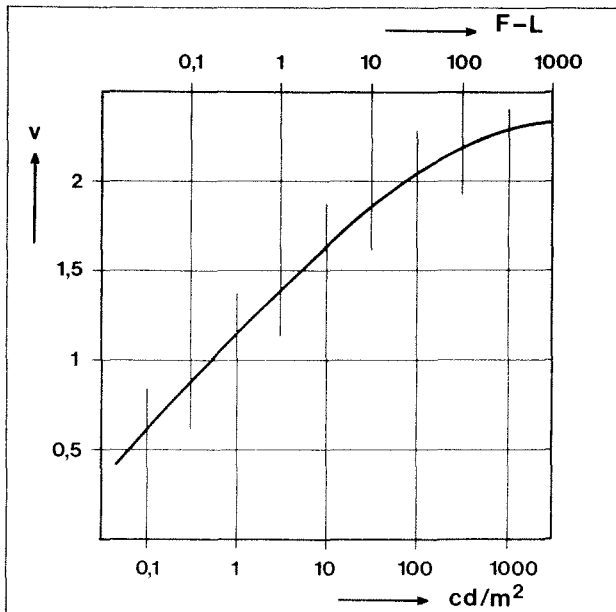
### 3.2. Gezichtsscherpte

De tweede belangrijke fysiologische functie die we zullen bespreken is de gezichtsscherpte. Er is in een vorig artikel reeds aangegeven dat de theoretische maximale gezichtsscherpte in de praktijk niet bereikt wordt door afbeeldingsfouten in het oog, en door buiging en verstrooiing van het licht; maar ook dat de gezichtsscherpte soms beter is dan men op basis van deze afwijkingen en verstrooiingen zou verwachten. We zullen nu een aantal onderzoekingen bespreken, waarbij de gezichtsscherpte van het oog direct is bepaald, om na te gaan in hoeverre onze conclusie die uit de fysische en optische beschouwingen resulteerde, gehandhaafd kan blijven.

Was de contrastgevoeligheid één van de eerste oogeigenschappen die aan een systematisch onderzoek is onderworpen, de gezichtsscherpte is waarschijnlijk wel de meest intensief bestudeerde oogeigenschap. Deze belangstelling is verklaarbaar door het feit dat de gezichtsscherptebepalingen zowel voor theoretische beschouwingen van belang zijn, als ook voor praktische doeleinden. Zo is gezichtsscherptemeting de basis voor alle „ogentesten“ voor automobilisten en piloten; zo worden brillen in eerste instantie op basis van een gezichtsscherptebepaling aangemeten. Vooral de keuringen voor automobilisten worden aan kritiek onderworpen. Deze kritiek betreft deels het feit dat dergelijke gezichtsscherptemetingen gewoonlijk op een vrij primitieve en wetenschappelijk niet goed verdedigbare wijze worden uitgevoerd (Vos (1969)). Van meer belang voor de praktijk is echter de kritiek van Burg (1968, 1971) op basis van het zeer duidelijke feit dat de (statische) gezichtsscherpte kennelijk geen invloed heeft op de verkeersveiligheid.

Aangezien echter in het hier aan de orde zijnde probleem de gezichtsscherpte steeds naar voren wordt gebracht, als zijnde een factor die ten gunste van geel licht pleit, zullen we er nader op ingaan, hoewel dus twijfelachtig is of de uitkomst — welke die ook moge zijn — van veel be-

4. De relatie tussen de gezichtsscherpte  $v$  en de luminantie (in  $\text{cd}/\text{m}^2$  en in Foot-Lamberts). (naar Walsh, 1965, fig. 39)



lang is voor de verkeersveiligheid. De gezichtsscherpte wordt gewoonlijk aangegeven als de hoek waaronder een als criterium gesteld detail nog juist zichtbaar is. Dit geeft aanleiding tot een aantal opmerkingen:

1. Het eindresultaat hangt sterk af van de vorm, de plaats, de omgeving van het detail en van de wijze waarop het deel uitmaakt van een groter geheel. Zo geeft de klassieke leeskaart eerder een maat voor de vormherkenning dan voor de gezichtsscherpte.
2. Het juist zichtbaar zijn kan op een aantal verschillende wijzen worden gedefinieerd.
3. Het testobject zelf heeft aanzienlijke invloed; lichte objecten op een donkere achtergrond worden anders waargenomen dan donkere objecten op een lichte achtergrond. Afwijking van symmetrie is beter te ontwaren dan afwijking van vorm enz.

Dit alles leidt tot een aantal onderling verschillende definities van de gezichtsscherpte. In feite betekent dit, dat de indeling in contrastgevoeligheid, gezichtsscherpte, vormherkenning enz. tot op zekere hoogte willekeurig is, en dat al deze criteria op dezelfde grondeigenschap teruggaan, of tenminste onderling nauw samenhangen.

Het is algemeen gebruikelijk om de aandacht grotendeels te richten op de foveale gezichtsscherpte. Immers, vrijwel alle waarneming van details wordt foveaal gedaan.

Klassiek zijn de gezichtsscherptemetingen van Lythgoe (1932). Ze beslaan een gebied van ca. 0,03 tot 3000  $\text{cd}/\text{m}^2$  en zijn uitgevoerd bij wit licht, natuurlijke pupil en Landoltringen als testobject. De door Walsh (1965) p. 64 gegeven weergave is overgenomen in afbeelding 4.

Gezichtsscherptemetingen bij andere kleuren zijn al evenzeer veelvuldig uitgevoerd. Over het algemeen blijkt dat monochromatisch licht een hogere gezichtsscherpte oplevert dan wit licht. Dit is natuurlijk te verwachten naar aanleiding van hetgeen eerder is gezegd over de optische en fysische storingen. We zullen hiervan een aantal voorbeelden aanhalen.

Luckiesh (1921, p. 133 e.v.) beschrijft eigen metingen. Het blijkt dat geel monochromatisch licht bij gelijke helderheid (orde van grootte 10  $\text{cd}/\text{m}^2$ ) een hogere gezichtsscherpte oplevert dan alle andere monochromatische lichtkleuren. Opgemerkt moet worden dat de metingen zijn uitgevoerd met de mogelijkheid van scherpstellen, d.w.z. zo dat de kleurfout van de eerste orde geen invloed heeft.



Luckiesh (op. cit.) citeert bovendien een aantal andere onderzoeken. Steeds bleek dat gekleurd licht met een smalle spectrale band hogere gezichtsscherpten opleverde dan wit licht.

Hassel (1951) beschrijft enige experimenten waarbij de gezichtsscherpte bepaald met Landoltringen vergeleken is voor daglicht-fluorescentielampen en gloeilampen. Wanneer de invloed van vermoeidheid werd geëlimineerd was er geen verschil meer tussen de twee lichtsoorten te constateren.

Oranje (1942, p. 135) geeft aan dat voor monochromatisch licht (Na) de gezichtsscherpte hoger is dan voor gloeilampenlicht.

Schober en Wittman (1938), geciteerd door Riggs (1965, p. 331) hebben gevonden dat voor lage en middelmatige lichtniveaus de lichtbronnen met lijnspectrum (natrium en kwik) een hogere gezichtsscherpte opleveren dan gloeilampenlicht. Monochromatisch blauw en rood waren slechter dan monochromatisch groen of geel. Geen gegevens zijn verschaft omtrent de pupil en de accommodatie bij de metingen.

Monnier en Mouton (1934) geven aan dat bij gefilterd (geel) gloeilampenlicht de gezichtsscherpte 10% beter is dan met ongefilterd (wit) licht. Als reden hiervoor wordt de vermindering van de kleurfout van het oog genoemd, die resulteert in een betere gezichtsscherpte van monochromatisch licht. Zonder enige nadere motivering wordt vervolgens medegedeeld dat deze verbetering vooral bij geel licht van 560 nm belangrijk is. Er wordt niet aangegeven hoe de absorptie van het geringe blauw-aandeel tot een dergelijk verschil aanleiding geeft. Trouwens, verdere gegevens ontbreken; zo is niet aangegeven wat als 100% is aangenomen, bij welke helderheidsniveaus, of door wie de experimenten zijn uitgevoerd.

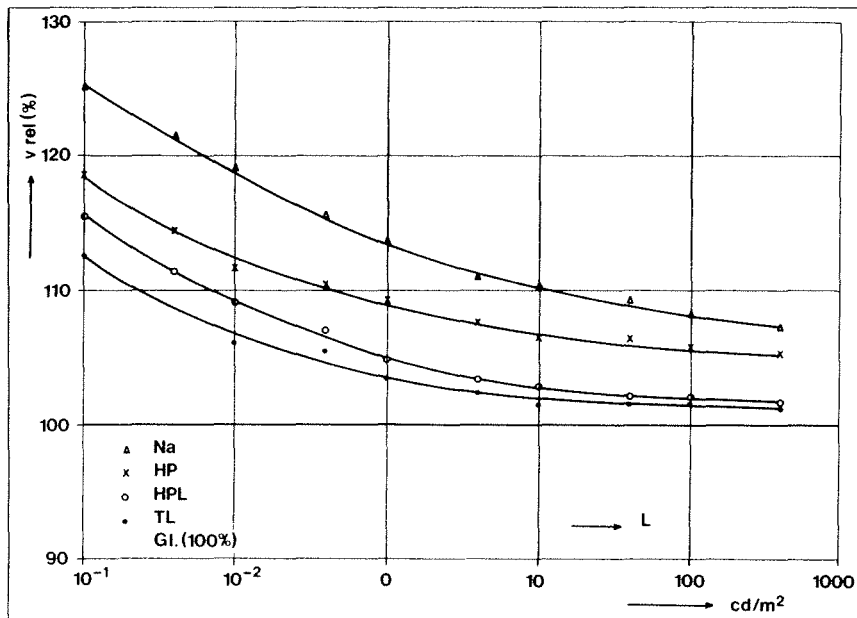
Devaux (1970, p. 571) herhaalt deze uitspraken, en gaat evenzeer aan het feit voorbij dat gefilterd (geel) licht geen monochromatisch geel licht is. Devaux (1956) citeert Pagès en Fleury (1956) die voor geel licht een 8% hogere gezichtsscherpte gevonden hebben, terwijl de extra absorptie van de gele ballon niet in rekening is gebracht. In hun latere werk verwijzen Monnier en Mouton (1939, p. 166) naar een onderzoek van Mouton (1935) waar gezichtsscherptemetingen bij geel en wit licht zijn beschreven. Daaruit is gebleken dat voor acht van de tien waarnemers de gezichtsscherpte bij geel licht groter is dan bij wit licht. Gemiddeld is het verschil echter gering: tussen de ca. 5% en 8% voor het gehele gebied van 0,03 lux tot 100 lux.

P. Bouma (1934) heeft de gezichtsscherpte bij (monochromatisch) natriumlicht vergeleken met die bij ongefilterd (wit) gloeilampenlicht. De metingen zijn moeilijk interpreteerbaar omdat de gezichtsscherpte is gemeten door de afstand te variëren (waarbij dus accommodatieverschijnselen worden geïntroduceerd). De „gereduceerde afstand“ waarin Bouma zijn gegevens uitdrukt, is eigenlijk de herkenbaarheidsafstand, zodat de vraag kan worden gesteld of eigenlijk wel de gezichtsscherpte en niet een andere oogeigenschap is gemeten.

Jainski (1960a) heeft gezichtsscherptemetingen gepubliceerd uitgevoerd in een gebied van 0,01 tot 400 cd/m<sup>2</sup>. Daarbij zijn de volgende lichtsoorten vergeleken: gloeilampen, natriumlampen (lage druk), hoge druk kwiklampen (helder), hoge druk kwiklampen (met fluorescerende ballon), en fluorescentiebuizen (kleur „wit“). Over het gehele gebied blijkt de gezichtsscherpte van gloeilampen het laagste te liggen. De resultaten zijn samengevat in afbeelding 5. Adrian en Kokoschka (1965) hebben voor luminanties in het mesopische gebied de gezichtsscherpte in afhankelijkheid van de golflengte gemeten. Hierbij zijn interferentiefilters gebruikt, zodat het licht niet zuiver monochromatisch was. Bij een luminantie van 3 cd/m<sup>2</sup> is duidelijk aan te tonen dat geel en geel/groen de grootste gezichtsscherpte opleveren, rood en groen wat lager en blauw nog eens aanzienlijk lager. Wit licht (ongefilterd gloeilampenlicht) komt uit op het niveau van rood en groen. Bij een luminantie van 0,03 cd/m<sup>2</sup> is dit effect niet meer te constateren.

Volgens Arndt en Dressler (1933) wordt dit effect bij lage luminantie geringer, hetwelk Adrian en Kokoschka bevestigd hebben. Van belang is echter hier dat het effect, voor de praktijk tenminste, gering is: monochromatisch geel geeft een gezichtsscherpte die maar 6% hoger is dan die van ongefilterd (wit) gloeilampenlicht. Te verwachten is derhalve dat het verschil met gefilterd (geel) gloeilampenlicht door de invloed van het rode licht nog kleiner zal zijn. Fisher (1965, p. 6) concludeert grotendeels op grond van de reeds hierboven geciteerde literatuur dat de gezichtsscherpte bij (monochromatisch) natriumlicht ongeveer 10 tot 20% groter is dan bij gloeilampenlicht.

Tenslotte vermelden we hier de opvatting van Le Grand (1956, p. 104). Volgens hem wordt de gezichtsscherpte niet verbeterd door het blauw uit het spectrum weg te filteren, ondanks de schijnbare verbetering door vermindering van de kleurfouten van het oog. Hij citeert daarbij Richards (1953) en Blackwell (1953 a en b). Daarentegen schijnt Pagès (1954) een gering voordeel



5. De relatie tussen de relatieve gezichtscherpte ( $v$  cd) en de luminantie  $L$  voor verschillende lichtsterkten. Gloeilampenlicht = 100%. (naar Jainski, 1960a, afb. 4)

van geel licht te hebben geconstateerd. Het bovenstaande betreft steeds de statische gezichtsscherpte. Vaak wordt een oogeigenschap beschreven die gewoonlijk met dynamische gezichtsscherpte wordt aangeduid. Deze aanduiding is slechts in zoverre juist dat de afmetingen van het waar te nemen testobject net als bij de statische gezichtsscherpte in hoekmaat kunnen worden uitgedrukt.

De dynamische gezichtsscherpte is moeilijk te meten. Er bestaan dan ook weinig wetenschappelijk betrouwbare publicaties

op dit gebied. Alle bevestigen ze het door Burg (1968, 1971) gevonden feit dat er weinig relatie bestaat tussen de dynamische en de statische gezichtsscherpte. De metingen over de dynamische gezichtsscherpte die zijn beschreven, zijn uitsluitend met wit licht uitgevoerd. Derhalve geven ze over de invloed van de lichtkleur geen nadere informatie. Dit is een gemis, want algemeen wordt aangenomen dat de dynamische gezichtsscherpte van aanzienlijk belang is voor het wegverkeer (Griep en Noordzij, 1972).

## Literatuur

- Adrian, W. (1965). Neuere Untersuchungen der spektralen Sehschärfe und ihre Bedeutung für das Farbsehen. Tagungsband Luzern.  
 Adrian, W. & Kokoschka, S. (1965). Zur Abhängigkeit der fovealen Sehschärfe von der Wellenlänge des Lichtes. *Lichttechnik* **17** (1965) 32A-38A.  
 Arndt, W. & Dresler, A. (1933). Über das Sehen bei monochromatischem Licht. *Das Licht* **3** (1933) 231

- Bergmans, J. (1960). Seeing Colours. Eindhoven, Philips' Technical Library.  
 Blackwell, H. R. (1953a) *JOSA* **43** (1953) 456.  
 Blackwell, H. R. (1953b) *JOSA* **43** (1953) 815.  
 Bouma, H. (1965). Receptive systems; mediating certain light reactions of the pupil of the human eye. Diss. TH Eindhoven.  
 Bouma, P. J. (1934). Gezichtsscherpte en waarnemingsnelheid bij wit licht en natriumlicht. *De Ingenieur* **49** (1934) A 31-34.

- Bouman, M. A. (1952). Peripheral Contrast Thresholds for Various and Different Wavelengths for Adapting Field and Test Stimulus. *JOSA* **42** (1952) 820-831.
- Brown, J. L. & Mueller, C. G. (1965). Brightness Discrimination and Brightness Contrast. Chapter 9 in: Graham (ed) (1965).
- Burg, A. (1968). Vision and driving: A summary of research findings. *Highway Research Record* 216. Washington.
- Burg, A. (1971) Vision and driving: A report on research. *Human Factors* **13** (1971) 79-87.
- Cakir, A. & Korchmann, J. (1971). A note on the equivalent luminance and spectral luminous efficiency of the human eye within the mesopic range. *Lighting Res. & Technol.* **3** (1971) 152-157.
- Cornsweet, T. N. (1970). *Visual Perception*. New York, London Academic Press.
- Delay, J. & Pichot, P. (1968). *Medizinische Psychologie*. Stuttgart, Thieme.
- Devaux, P. (1956). Unified European passing beam and yellow light. *Int. Road Safety, Traffic Rev.* **4** (1956) 33.
- Devaux, P. (1970). State of the art: Signalling and lighting. Paper presented at the 13th FISITA congress. Brussels (1970).
- Eastman, A. A. & McNelis, J. F. (1963). An Evaluation of Sodium, Mercury and Filament Lighting for Roadways. *Illum. Engng.* **58** (1963) 28-33.
- Fisher, A. J. (1965). A survey of the evidence as to whether visual performance may be improved by the use of coloured street and vehicle lighting. *RRL* (1965) LN (1748).
- Graham, C. H. (ed.) (1965). *Vision and visual perception*. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- Griep, D. J. & Noordzij, P. C. (1972). Enquête „oog en bril“ kritisch bekeken. *Arts en Auto* **38** (1972) 142-143.
- Grijs, J. C. de (1971). Visuele beoordeling van verlichtingscriteria in Den Haag en Amsterdam. *Elektrotechniek* **50** (1972) 515-521.
- Hartmann, E. (1959). Untersuchungen zur Gelblichtblendung. Internationales Kolloquium der Hochschule für Elektrotechnik. Ilmenau.
- Hassel, G. (1951). The effect of the colour of light on the ability and the effort of seeing. *CIE* (1951), Stockholm.
- Jainski, P. (1960a). Die Sehschärfe des menschlichen Auges bei verschiedenen Lichtarten. *Lichttechnik* **12** (1960) 402-405.
- Jainski, P. (1960b). Die Unterschiedsempfindlichkeit des menschlichen Auges bei verschiedenen Lichtarten. *Lichttechnik* **12** (1960) 355-359.
- Kokoschka, S. (1971). Spektrale Hellempfindlichkeit und äquivalente Leuchtdichte zentraler Gesichtsfelder im mesopischen Bereich. *CIE* (1971), Barcelona.
- Le Grand, Y. (1956). *Optique physiologique*. Tome III. Paris, Ed. Revue d'Optique.
- Luckiesh, M. (1921). *Color and its applications* (Second edition). New York, Van Nostrand Company.
- Lythgoe, R. J. (1932). The measurement of visual acuity. Medical Council Special Report No. 175. London, H.M. Stationary Office.
- Mann, I. Pirie, A. (1950). *The science of seeing*. (Revised edition). Pelican A 157. Harmondsworth, Penguin Books.
- Monnier, A. & Mouton, M. (1934). L'éclairage des automobiles (suite). *Lux* (1934) 10: 144-149.
- Monnier, A. & Mouton, M. (1939). La technique de l'éclairage des automobiles. Paris, Dunod.
- Mouton, M. (1935). Recherches sur les propriétés physiques et les effets physiologiques d'une lumière colorée. Paris, Sauvion et Lebrévie.
- Oranje, P. J. (1942). *Gasontladingslampen*. Amsterdam, Meulenhoff.
- Pagès, R. (1954). (geen verdere opgave).
- Pagès, R. & Fleury, D. (1956). Essais de vision crépusculaire et d'éblouissement, en lumière blanche et en lumière jaune, sur un groupe 115 conducteurs. *Ann. d'Optique oculaire* **4** (1956) 1.
- Pirenne, M. H. (1967). Vision and the eye. (Second ed.) London, Chapman and Hall.
- Richards, O. W. (1953). *JOSA* **43** (1953) 331.
- Riggs, L. A. (1965). Visual Acuity. Chapter 11 in: Graham (ed.) (1965).
- Ruddock, K. H. (1965a). The effect of age upon colour vision (I), Response in the receptor system of the human eye. *Vision Res.* **5** (1965) 37-45.
- Ruddock, K. H. (1965b). The effect of age upon colour vision (II), Changes with age in light transmission of the ocular media. *Vision Res.* **5** (1965) 47-58.
- Said, F. S. & Weale, R. A. (1959). The variation with age of the spectral transmissivity of the living human crystalline lens. *Gerontologia* **3** (1959) 213-231.
- Schober, H. & Wittmann, K. (1938). Untersuchungen über die Sehschärfe bei verschiedenem farbigem Licht. *Das Licht* **8** (1938) 199-201.
- Schreuder, D. A. (1962). Warum Beleuchtung mit Natriumdampflampen? *Elektrizitätverwertung* **37** (1962) 191-195.
- Schreuder, D. A. (1975). Photometric and experienced contrasts in light of different colours. *Lighting Res. Technol.* (1975) (in voorbereiding).
- Stiles, W. S. (1954). Visual factors in lighting. *Illum. Engng.* (1954) 77-92.
- SWOV (1969) (Carlquist, J. C. A. & Schreuder, D. A.). Stads- en dimlichten binnen de bebouwde kom. (Waarneembaarheid van voertuigen). Rapport 1969-6. Voorburg, Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV.
- Vos, J. J. (1969). Kwaliteitsverbetering van de leeskaart bij de oogarts. *TNO-Nieuws* **24** (1969) 337-340.
- Wald, G. & Brown, P. K. (1965). Human colour vision and colour blindness. *Symposia on quantitative biology* **30** (1965) 345-359.
- Walls, G. L. (1943). Factors in human visual resolution. *JOSA* **33** (1943) 487-505.
- Walsh, J. W. T. (1965). *Photometry* (3rd ed.). New York, Dover.
- Walters, H. V. & Wright, W. D. (1943). The spectral sensitivity of the fovea and the extra-fovea in the Purkinje range. *Proc. R. Soc. B* 131.
- Westermann, H. O. (1967). Het ontwerpen van de openbare verlichting van de stad. *Pol. Techn. Tijdschr.* (1967) 854-859.

### 3. Functionele aspecten

#### 3.3. Waarneembaarheid van signaallichten

De invloed van de kleur van flitsende signaallichten op de zichtbaarheid is onderzocht door Schmidt-Clausen (1971) op basis van de wet van Blondel & Rey (1911):  $I_0/I = (a + t)/t$ .

Daarin wordt aangegeven de relatie tussen de lichtsterkte  $I$  en de flitsduur  $t$  waarbij de zichtbaarheid gelijk is aan een continu licht met lichtsterkte  $I_0$ . Het blijkt dat de „constante”  $a$  van Blondel & Rey nogal kan variëren: steeds is  $a$  voor rood het grootste en voor geel en wit het kleinste. Dit betekent dat rood flitslicht minder „effectief” is dan blauw, groen, geel of wit (in deze volgorde).

Dit alles betreft de chromatische drempelwaarden, d.w.z. die intensiteit waar de kleur kan worden herkend. De achromatische drempel, d.w.z. de drempel waar het licht zichtbaar wordt, ligt lager. Volgens Middleton (1952) is de verhouding tussen de achromatische en de chromatische drempel (de fotochromatische verhouding  $p$ ) ongeveer 1 voor rood licht, en neemt geleidelijk toe tot 2,5 voor blauw licht. Het verloop is anders dan dat wat Schmidt Clausen (op. cit.) aangeeft. Walsh (1965, p. 78) geeft veel grotere waarden voor  $p$  op: van 2 voor rood tot 100 à 150 voor alle golflengten van ca 550 nm tot aan het diepe blauw!

Het verschil tussen deze opgaven is waarschijnlijk het gevolg van een verschillend luminantiegebied. Middleton geeft waarden aan voor signaallichten, terwijl Walsh in feite de Purkinje-verschuiving aangeeft. Het betekent overigens wel dat we weinig gegevens hebben over de effectiviteit van gekleurde signaallichten.

#### 3.4. Waarnemingsnelheid

Onder waarnemingsnelheid worden door P. Bouma (1934) twee verschillende grootheden verstaan:

- „1e. de tijd die nodig is om één bepaald voorwerp te herkennen;
- 2e. de snelheid waarmee men een lange reeks van voorwerpen (bijv. letters) kan ontcijferen”.

Hier wreekt zich een fout die in veel van het werk van Bouma te vinden is: onzorgvuldige definiëring. Het is bij dergelijke problemen noodzakelijk om het begrip „waarnemen” zorgvuldig te definiëren en niet losweg identiek te stellen met herkennen.

De door Bouma (op. cit.) gegeven resultaten doen vermoeden dat de statistische verwerking van de resultaten te wensen heeft overgelaten. Aangezien geen meet-

nauwkeurigheden, geen spreidingen, en geen betrouwbaarheidsintervallen zijn opgegeven, is het onmogelijk om na te gaan in hoeverre de resultaten enige betekenis hebben. Het mag wel een wonder worden genoemd dat gegevens die op een dergelijke slordige wijze zijn weergegeven, welhaast de status van klassiek hebben weten te bereiken. Het is een teken van enerzijds de geringe hoeveelheid werkelijk betrouwbare meetresultaten en anderzijds van de naïviteit van diegenen die dergelijke gegevens als relevant hebben geciteerd.

Volledigheidshalve zullen we de resultaten nog vermelden. Deze zijn: a. bij middelmatige luminanties (ca. 1 cd/m<sup>2</sup>) moet voor wit licht de luminantie ca. 2,5 keer die van natriumlicht zijn; het verschil in waarnemingsnelheid bedraagt daarbij tussen 0,1 en 3 cd/m<sup>2</sup>, gemiddeld ca. 30%; b. bij hoge luminantie verdwijnt dit verschil. Reading (1966) citeert metingen van De Boer (1959) en Dunbar (1939) betreffende de waarnemingsnelheid (speed of seeing) waarbij geen verschil tussen gefilterd (geel) en ongefilterd (wit) gloeilampenlicht is geconstateerd. De aanhaling is echter niet duidelijk geformuleerd; het is dan ook niet duidelijk of het werkelijk over de waarnemingsnelheid of over de hersteltijd na verblinding gaat; vermoedelijk het laatste want dat is hetgene dat door De Boer wordt beschreven!

Fisher (1965) geeft een overzicht van de verschillende experimentele gegevens. De resultaten worden door Fisher als volgt geïnterpreteerd: P. Bouma (1934) vond voor natriumlicht een hogere waarnemingsnelheid dan voor wit licht; maar Luckiesh & Moss (1935) niet. De Boer (1959) vindt geen verschil voor gefilterd (geel) en ongefilterd (wit) gloeilampenlicht. Dunbar (1939) vindt geen verschil tussen natrium- en kwiklicht, hoewel daar experimentele onvolkomenheden een rol zouden kunnen spelen. Tenslotte concludeert Fisher dat de 0,1 seconde winst in de waarnemingsnelheid die door sommige auteurs is gesuggereerd niet meer dan ca. 6% verschil maakt in de remafstand (4½ feet op 75 feet bij 30 m.p.h.).

#### 3.5. Verblinding

Bij de bespreking van de verstrooiing van het licht aan de oogmedia is reeds een en ander over verblinding opgemerkt. Het is gebruikelijk een equivalente sluieluminantie in te voeren ( $L_{seq}$ ). Het is de verdienste van Stiles (1929) en Holladay (1927) dat zij een eenvoudige relatie betreffende deze  $L_{seq}$  hebben afgeleid, en wel:

$$L_{\text{seq}} = k.E.\theta^{-n}$$

Hierin is  $k$  een factor (die ten onrechte soms als constant wordt aangeduid),  $E$  is de verlichtingssterkte op het vlak waar het oog van de waarnemer zich bevindt,  $\theta$  is de hoek tussen de verbindingslijnen oog-verblindingslichtbron enerzijds en oog-object van waarneming anderzijds, en  $n$  is een constante. Deze relatie geldt alleen voor puntvormige lichtbronnen, anders is  $\theta$  niet gedefinieerd. De relatie van Stiles en Holladay is door vele onderzoekers in detail nader onderzocht. Deze onderzoeken betreffen voornamelijk de „constanten”  $k$  en  $n$ . Een overzicht van de in de literatuur opgegeven waarden van  $n$  is gegeven door Fisher & Christie (1964). Voor vele praktijkgevallen neemt men gewoonlijk — ondanks de aanwezige onzekerheden — een enkele waarde, en wel  $n = 2$  (zie bijv. SWOV, 1969; Adrian & Schreuder, 1968, 1970 en 1971).

Ook de factor  $k$  is aan uitgebreid onderzoek onderworpen (Fisher & Christie, 1965). Het blijkt dat  $k$  zeer sterk van persoon tot persoon kan variëren. Een groot gedeelte van de waarnemingen kan echter worden beschreven met de relatie  $k = d + 0,2A$ .  $A$  is de leeftijd in jaren, en  $d$  is een factor die afhangt van de luminantieverdeling in het gezichtsveld. De leeftijdseffecten zijn zeer belangrijk. Deze relatie is niet erg hanteerbaar, en het is gebruikelijk om voor  $k$  een gemiddelde waarde te nemen zoals  $k = 10$  (CIE, 1975) of soms ook  $k = 9,2$  (Adrian, 1961). Deze waarden gelden wanneer  $L_{\text{seq}}$  in  $\text{cd}/\text{m}^2$ ,  $E$  in lux en  $\theta$  in graden wordt opgegeven. Bij gebruik van andere eenheden moet uiteraard een correctiefactor worden gebruikt.

Uiteraard interesseert ons hier in de eerste plaats de mate waarin de spectrale verdeling van het licht invloed heeft. De invloed op het strooilicht is reeds besproken. Onderzoekingen omtrent de invloed op  $n$  of  $k$  apart zijn niet bekend; zoals reeds gezegd bestaat het onderzoek vrijwel steeds uit psychofysische metingen. We zullen hieronder een overzicht van een aantal metingen geven.

Vos (1963, p. 20) concludeert: „de invloed van de golflengte van het verblindende licht is klein of zelfs afwezig”.

Vos & Bouman (1959) geven aan dat de fysiologische verblindings niet van de lichtkleur afhangt.

Le Grand (1937) vindt dat wit en groen licht even sterk worden verstrooid, maar dat rood meer en blauw minder wordt verstrooid dan wit licht.

Wanderer (1955) vindt daarentegen dat blauw steeds een sterkere fysiologische

verblindings oplevert.

P. Bouma (1936) vermeldt dat de verblindings voor gloeilampenlicht en natriumlampen voor jonge waarnemers precies, en voor oude waarnemers bijna gelijk is.

Arndt (1933) vindt voor witte en natriumlampenlichtbronnen een gelijke verblindings. Dit zelfde resultaat is ook vermeld door Luckiesh & Moss (1935), Reid & Chanon (1936) en Jainski (1962).

Het feit dat de fysiologische verblindings niet afhangt van de lichtkleur, wordt voorts vermeld door Schober (1967) die daarbij Luckiesh & Moss (1937) citeert.

Ostrovsky (1970) vindt wel een afhankelijkheid van de lichtkleur op de verblindings. Hij introduceert een kleurfactor in de relatie van Stiles en Holladay, die 1,0 voor gloeilampen, 1,3 voor kwiklampen en 0,85 voor natriumlampen. Dit betekent dus dat kwiklicht haast tweemaal zoveel verblindt als natriumlucht!

Monnier & Mouton (1939, p. 162 v.v.) bespreken enige proefnemingen van Faillie et al (1933). Nadere experimentele gegevens ontbreken, maar als resultaat wordt opgegeven dat bij verblindings met wit licht de reactietijd met 20% toeneemt, maar bij verblindings met geel licht niet, beide ten opzichte van de verblindingsvrije situatie. Ook wordt onderzoek van Le Grand (1934) geciteerd waarbij geen verschil tussen geel en wit licht wordt gevonden. Volgens Monnier & Mouton (op. cit., p. 165) hoeft met dit resultaat geen rekening te worden gehouden omdat de lichtbron die door Le Grand is gebruikt, ongeveer de luminantie heeft van een „verblindingsvrij dimlicht” (ca.  $1,5 \text{ cd}/\text{cm}^2$  un projecteur non éblouissant). Van belang is volgens genoemde auteurs **alleen** maar de verblindings door hoofdlicht (... le seul dont il faille en fait se protéger). Hieruit wordt geconcludeerd dat het werk van Le Grand de resultaten van Faillie et al niet ontkracht, en dat *du*s Faillie et al gelijk hebben. Deze redenering van Monnier & Mouton is niet steekhoudend omdat ten eerste het ook toen reeds gepubliceerde niet-Franse onderzoek hetwelk Le Grand in het gelijk stelt, is genegeerd, en ten tweede omdat verblindings door dimlichten veel belangrijker voor de praktijk is dan verblindings door hoofdlicht. Bij de modernere onderzoeken worden door Fisher (1965) Pagès & Fleury (1956) geciteerd. Deze vonden wat betreft de verblindings geen verschil tussen geel en wit licht. Deze conclusie wordt eveneens geciteerd door Devaux (1956). Dezelfde auteur geeft echter later aan (1970, p. 569) dat licht met een blauwe component meer verblindt dan licht zonder een blauwe com-

ponent. Hierbij worden geen kwantitatieve gegevens verschaft; de uitspraak is gebaseerd op de overwegingen dat vooral blauw licht de adaptatietoestand van de staafjes beïnvloedt. Dit is tot zekere hoogte wel waar. Daarom gebruiken röntgenologen en radarwaarnemers rode brillen om de donkeradaptatie te bewaren wanneer ze in daglicht komen. Hiervoor moet echter een *rood* filter worden gebruikt en geen geelfilter zoals Devaux suggereert. Bovendien is het scotopisch waarnemen in het verkeer van ondergeschikt belang. Overigens is deze redenering afkomstig van Monnier & Mouton (1934). Dit is door Devaux, zonder verwijzing, overgenomen.

Smart (1969) concludeert dat op grond van zijn metingen niet van een voordeel voor wit noch geel licht gesproken kan worden wat betreft fysiologische verblinding.

Een dergelijk resultaat is ook weergegeven door De Boer (1959) en Jehu (1954) (geciteerd door Fisher, 1965). Ook Hartmann (1959) vindt een dergelijk resultaat, zo ook Willemsen (1970).

### 3.6. Readaptatie

In het hier aan de orde zijnde verband wordt onder readaptatie gewoonlijk verstaan de tijd die verloopt nadat een verblindingslichtbron uit het gezichtsveld is verdwenen, totdat de adaptatietoestand weer overeenkomt met die welke bestond voordat de verblindingslichtbron verscheen. Het belang van dit effect voor het nachtelijk wegverkeer is evident. Bij het naderen van een tegenligger neemt de verblinding geleidelijk toe om dan bij het passeren heel plotseling te verdwijnen. Het is bekend dat dit een moeilijk moment is voor de waarneming van objecten. Het is dus zeer gewenst om alle maatregelen te nemen, waarmee deze moeilijke periode kan worden bekort. Het is nogal eens naar voren gebracht dat deze readaptatie bij geel licht een kortere tijd dan bij wit licht zou beslaan.

Monnier & Mouton (1934) beschrijven enige metingen uitgevoerd door Faillie (steeds zonder nadere bibliografische gegevens). Uit deze metingen blijkt dat na een verblinding van 15 tot 25 seconden bij een oogverlichtingssterkte van 3,7 lux de adaptatietijd bij geel (selectiva) licht 15% korter is dan bij verblinding door wit licht. Monnier & Mouton (1939, p. 187 vv.) beschrijven voorts enige door henzelf uitgevoerde metingen. Daarbij is niet gemeten de hersteltijd na verblinding, maar de tijd van donkeradaptatie na het doven van de verlichting. Gemiddeld bleek de readaptatietijd na wit licht ongeveer 15% hoger te zijn dan na geel licht. Aangezien alleen

gemiddelde waarden zijn opgegeven, is niet na te gaan of dit verschil significant is. Belangrijker is echter dat deze proefnemingen niet veel te maken hebben met de praktijk van het wegverkeer.

Monnier & Mouton (op. cit.) geven als argument voor het belang van dit resultaat de noodzaak, wanneer de autoverlichting plotseling geheel uitvalt, de auto veilig en wel tot stilstand te brengen met alleen de hulp van het „nachtelijk licht”. Het vermoeden bestaat echter dat door andere auteurs de 15% winst is beschouwd als behorende bij de readaptatie na verblinding.

Devaux (1956 en 1970) citeert de onderzoeken van Pagès & Fleury (1956) waaruit bleek dat bij geel licht 24,4% minder adaptatietijd nodig is dan bij wit licht.

Biegel (1937, zie ook 1936) beschrijft een aantal experimenten, waarbij werd nagegaan of chauffeurs sneller readapteerden na verblind te zijn door geel of wit licht. Het resultaat van deze onderzoeken, die meer het karakter van een keuring hadden, was dat bij de personen die geringe last van de verblinding hadden geen verschil tussen geel en wit licht viel te constateren. Bij een andere groep personen die sterke hinder hadden van verblinding, was er vaak een verschil te constateren tussen geel en wit licht. Merkwaardigerwijs is bij sommigen een voorkeur voor geel en bij anderen een voorkeur voor wit licht te constateren.

Reading (1966) heeft dynamische proeven beschreven waarbij de readaptatie van geel en wit licht is vergeleken. De conclusie is dat de hersteltijd sterk afhangt van de leeftijd van de proefpersonen. Voorts bleek dat wit licht een snellere readaptatie mogelijk maakte dan geel licht. De verhouding hangt niet af van de leeftijd. De readaptatietijd bij geel (selectiva) licht is steeds 2 à 3 seconden groter dan bij wit licht (hierbij is een correctie aangebracht door de met de leeftijd toenemende reactietijd). Reading citeert tenslotte onder meer P. Bouma (1947) en Arnulf (1963) die beiden hebben aangegeven dat bij geel licht de readaptatie vlugger gaat dan bij wit licht.

De Boer (1960) beschrijft zeer in detail een aantal interessante proefnemingen waarbij natriumlucht, kwiklicht en gefilterd en ongefilderd gloeilampenlicht zijn vergeleken. Waarnemingsresultaten zijn echter nauwelijks gegeven, alleen een paar waarden die uitdrukkelijk als voorbeeld zijn gegeven. Allereerst valt op dat direct na het wegvallen van de verblindingslichtbron een stijging optreedt van de drempelwaarde van de waarneming. Voor

het door De Boer als voorbeeld aangehaalde resultaat blijkt dat voor geel en wit gloeilampenlicht deze verhoging gelijk is; voor natriumlicht is het kleiner en voor kwiklicht groter. De belangrijkste conclusie is echter dat wanneer de readaptatietijd wordt gedefinieerd als die tijd waarbinnen de noodzakelijke luminantieverhoging tussen testobject en achtergrond teruggebracht is tot 10% boven de waarde voordat de verblindings is begonnen — een alleszins redelijke waarde — dat dan geen verschil tussen de verschillende kleuren is te constateren („... ergibt sich dass ein signifikanter Unterschied in Wiederherstellzeit für die verschiedenen Farben nicht festgestellt werden kann“). Deze tijd is voor het door De Boer (op. cit.) gegeven voorbeeld ongeveer een halve seconde. In het licht van deze conclusie is echter onbegrijpelijk hoe De Boer tot de volgende zinsnede in de samenvatting komt „B) Die Readaptationszeit nach Blendung ist unter Einwirkung gelber Lichten ... bedeutend kürzer als bei farblosen Lichter. Es wurden Verkürzungen dieser Wiederherstellzeit der Sehfähigkeit nach Blendung bis zu ein Drittel der Vergleichswerte festgestellt“.

Deze twee uitspraken zijn lijnrecht met elkaar in tegenspraak. Aangezien behalve een kleine groep waarnemingen die ter illustratie zijn opgenomen, geen experimentele gegevens zijn gepubliceerd, is het niet mogelijk om te onderzoeken welke van de twee uitspraken juist is.

Een rapport van de GTB (1955) verschaft het volgende:

Proefnemingen zijn niet beschreven, maar als resultaat is opgegeven: bij een verblindende verlichtingssterkte van 0,2 lux was er geen verschil in readaptatietijd te vinden voor geel of wit licht. Bij een verblindings van 2,2 lux konden de acht waarnemers in drie groepjes worden onderverdeeld. Drie waarnemers gaven voor geel en voor wit dezelfde readaptatietijd aan van ca. 3 seconden. Voor twee andere was de readaptatietijd bij wit licht ca. 9 seconden en ca. een derde daarvan bij geel licht. Voor weer drie anderen was de readaptatietijd bij wit licht 4 à 6 seconden en de winst voor geel licht ca. 30%. Eenvoudiger uitgedrukt betekent dit dat bij wit licht de readapatatietijd gemiddeld ca. 5,2 seconde was en bij geel licht ca. 3,1 seconde, een winst voor geel licht van ca. 40%.

Smart (1969) constateert dat het verloop van de readaptatie zeer sterk van de waarnemer afhangt. Wel blijkt dat de hersteltijd tot een niveau 3 dB onder het donkergeadapteerde niveau voor wit licht voor negen van de tien waarnemers significant

korter was dan voor geel licht. De slotconclusie is: alle verschillen zijn klein en zouden in andere omstandigheden best anders kunnen uitvallen.

Hartmann (1968) beschrijft gelijksoortige metingen. Hij heeft echter geen verschil tussen wit licht en geel licht kunnen constateren wat betreft de hersteltijd na verblindings van enige seconden; evenmin trouwens vond hij bij natriumlicht een verschil.

#### 4. Leefijdseffecten

We zijn hiervoor reeds op verschillende plaatsen leeftijdsafhankelijke effecten tegenkomen. Zo treedt er een toenemende verkleuring op van verschillende oogmedia, vooral van de lens, waardoor in toenemende mate blauw licht wordt geabsorbeerd. Mann & Pirie (1950, p. 89) geven op dat de lens van een kind ca. 90% van het blauwe licht doorlaat, maar de lens van een 78-jarige maar 15%. Dit wordt bevestigd door Coren & Girius (1972) die voor  $\lambda = 490$  nm opgeven: de absorptie (density) van de lens voor 10-jarigen bedraagt 15%, bij 40 jaar 20%, bij 60 jaar 30% en bij 80 jaar 50%. Dit effect is niet in overeenstemming met de uitlating van Devaux (1970) dat juist de mensen met de zwakste ogen het meeste baat hebben bij gele koplantaarns. Immers, het blauwe licht dat eventueel nog uit een witte lantaarn komt, wordt in de ooglens geabsorbeerd (niet verstrooid!) en doet dus verder geen kwaad. Voorts blijkt dat het maculapigment, dat blauw licht absorbeert, geen leeftijdsafhankelijkheid vertoont (Ruddock, 1965b). Dit wordt bevestigd door Bone & Sparrock (1971). Ruddock (1965a) geeft aan, dat de receptoren zelf geen veroudering vertonen en dat de toenemende blauwabsorptie uitsluitend het gevolg is van de vergeling van de lens. Deze conclusie trekt hij uit zijn eigen metingen (Ruddock, 1965b) en hij citeert daarbij tevens Said & Weale (1959).

Het is algemeen bekend dat de visuele prestaties in hun totaliteit afnemen bij toenemende leeftijd. Een overzicht van een aantal gegevens is samengevat door Le Grand (1956, p. 108). Fortuin (1951) heeft een sterke afhankelijkheid gevonden van de gezichtsscherpte. Op dit gebied bestaat een uitgebreide literatuur, die hier niet aan de orde is, want alle metingen zijn met wit licht uitgevoerd, zodat daaruit geen conclusies kunnen worden getrokken over de kleurafhankelijkheid.

Eén merkwaardigheid moet echter worden opgemerkt. Gewoonlijk wordt als oorzaak van de teruggang in de gezichtsscherpte

opgegeven de verharding van de ooglens en de verstijving van de iris, (Le Grand, op. cit., p. 108) en de toenemende verkleuring van de oogmedia (Ruddock, op. cit.). De merkwaardigheid ligt hierin dat alle drie de veranderingen, tenminste fysisch gezien, de afbeeldingsfouten van het oog zouden verkleinen of tenminste niet zouden beïnvloeden. Men mag hieruit wel de voorzichtige conclusie trekken dat er bij de verouderingsprocessen ook nog wel andere effecten een rol spelen.

Aangezien we nu nog niet kunnen aangeven welke effecten dit zouden kunnen zijn, is een kleurafhankelijkheid niet à priori uit te sluiten.

Vrij veel onderzoek is uitgevoerd naar de invloed van de leeftijd op de verblindings (Fisher & Christie, 1965). Volgens Said & Weale (1959) en Weale (1961) blijkt de transmissie van de ooglens constant te blijven tussen 4 en 20 jaar en daarna volgens een logaritmisch verband te dalen tot 63 jaar. Deze afname van de doorlating is golflengte-afhankelijk: de sterke daling wordt gevonden bij  $\lambda = 430$  nm. Volgens Boettner & Reimer Wolter (1962) moet deze afname vooral op rekening worden geschreven van de toenemende lichtverstrooiing in de lens. Over de fysische achtergronden van deze toename van de verstrooiing is echter nog weinig bekend.

Ook de hersteltijd na verblindings wordt groter bij toenemende leeftijd. Over dit effect zijn enige gegevens verschaft door Tiburtius (1969) en Aulhorn & Harms (1970). Tiburtius (op. cit.) geeft aan dat de hersteltijd na verblindings ongeveer lineair verloopt van 15 seconden bij 10 jaar tot ca. 65 seconden bij 80 jaar. Deze verlangzaming van de readaptatie hangt volgens Tiburtius samen met de algemene verlangzaming van de stofwisseling en het daarmee verbonden herstel van het „Sehpurpur“. Merkwaardigerwijs wordt ook de leeftijdsafhankelijke verstrooiing van het licht in de oogmedia als medeoorzaak voor de toename van de readaptatietijd genoemd!

Bij Aulhorn & Harms (op. cit.) zijn de omstandigheden aan het nachtelijk verkeer aangepast: verblindings als van een hoofdlicht, omgevingsluminantie  $0,1 \text{ cd/m}^2$ , verblindingsduur 10 sec. De readaptatie blijkt van de leeftijd af te hangen. De gemiddelde tijd neemt toe van ca. 3,5 sec. voor 20-30 jarigen tot ca. 7 sec. bij 70-80 jarigen. Het leeftijdseffect uit zich vooral in een sterke toename van de lange readaptatietijden. Over de lichtkleur is bij deze laatste twee onderzoeken niet gesproken: aangenomen kan dus worden dat alles bij wit licht is uitgevoerd.

## Literatuur

- Adrian, W. (1961). Der Einfluss störender Lichter auf die Extrafoveale Wahrnehmung des menschlichen Auges. *Lichttechnik* **13** (1961) 450-454; 508-511; 558-562.
- Adrian, W. & Schreuder, D. A. (1968). The assessment of glare in street-lighting. *Light and Lighting* **61** (1968) 360-361.
- Adrian, W. & Schreuder, D. A. (1970). A simple method for the appraisal of glare in street-lighting. *Lighting Res. Technol.* **2** (1970) 61-73.
- Adrian, W. & Schreuder, D. A. (1971). A modification of the method for the appraisal of glare in street-lighting. Paper CIE (1971) Barcelona.
- Anon (1971). The perception and application of flashing lights. Symposium 19-22 April 1971, London, Imperial College. Hilger, London (1971).
- Arndt, W. (1933). Ueber das Sehen bei Natriumdampf und Glühlampenlicht. *Das Licht* (1933) 213-215.
- Arnulf, A. (1963). Wenner-Gren Centre International Symposium Series **2** (1963) 15.
- Aulhorn, E. & Harms, H. (1970). Ueber die Untersuchung der Nachtfahreignung von Kraftfahren mit dem Mesoptometer. *Klin. Monatsbl. Augenheilkunde.* **157** (1970) 843-873.
- Biegel, R. A. (1936). *Wegen* **12** (1936) no. 24.
- Biegel, R. A. (1937). Psychologische proeven

over de invloed van geelfilters op de verblindings door autokoplampen.

- Blondel, A. & Rey, R. (1911). Sur la perception des lumières brèves à la limite de leur portée. *J. Physique* **1** (1911) 530-551.
- Boer, J. B. de (1959). La couleur de la lumière dans l'éclairage pour la circulation routière. *Lux* (1959) Mars-Juin.
- Boer, J. B. de (1960). Untersuchungen über den Einfluss der Lichtfarbe auf das Sehen im Strassenverkehr. *Zbl. für Verkehrsmedizin und Verkehrs-Psychologie* **6** (1960) no. 1.
- Boettner, E. A. & Reimer Wolter, J. (1962). Transmission of the ocular media. *Invest. Ophthalm.* **1** (1962) 776.
- Bone, R. A. & Sparrock, J. M. B. (1971). Comparison of macular pigment densities in human eyes. *Vision Res.* **11** (1971) 1057-1064.
- Bouma, P. J. (1934). Gezichtsscherpte en waarnemingsnelheid bij wit licht en natriumlicht. *De Ingenieur* **49** (1934) A 31-34.
- Bouma, P. J. (1936). The problem of glare in highway lighting. *Philips Techn. Rev.* **1** (1936) 225-229.
- Bouma, P. J. (1947). Perception on the road when visibility is low. *Philips. Techn. Rev.* **9** (1947-1948) 149.
- CIE. (1975). Recommendations for public lighting. (In voorbereiding).



- Coren, S. & Girius, J. S. (1972). Density of human lens pigmentation. *Vision Res.* **12** (1972) 343-346.
- Devaux, P. (1956). Unified European passing beam and yellow light. *Int. Road Safety Traffic Rev.* **4** (1956) 33.
- Devaux, P. (1970). State of the art: Signalling and lighting. Paper presented at the 13th FISITA Congress, Brussel (1970).
- Dunbar, C. (1939). Visual efficiency in coloured light. *Trans. IES (London)* **4** (1939) 137-151.
- Faillie et al (1933). *C. R. Acad. Sciences*, 25 sept. 1933.
- Fisher, A. J. (1965). A survey of the evidence as to whether visual performance may be improved by the use of coloured street and vehicle lighting. Lab. note LN 1748. RRL (1965).
- Fisher, A. J. & Christie, A. W. (1964). An examination of the applicability of disability glare formulae to street lighting conditions. Lab. note LN 619. RRL (1964).
- Fisher, A. J. & Christie, A. W. (1965). A note on disability glare. *Vision res.* **5** (1965) 565-571.
- Fortuin, G. J. (1951). Visual Power and Visibility. *Philips Res. Rep.* **6** (1951) 251-287, 347-371.
- G. T. B. (1955). Essais comparatifs internationaux de faisceau-croisement de projecteurs automobiles. *G. T. B.* **182** (1955).
- Hartmann, E. (1959). Untersuchungen zur Gelbblendung. Internationales Kolloquium der Hochschule für Elektrotechnik, Ilmenau.
- Hartmann, E. (1968). Untersuchungen zur Frage der Lichtfarbe bei Kraftfahrzeug-Scheinwerfern. Düsseldorf (1968) VDI Heft 192.
- Holladay, L. L. (1927). Action of a lightsource in the field of view in lowering visibility. *JOSA* **14** (1927) 1-9.
- Jainski, P. (1962). Das Verhalten des Unterschiedsempfindlichkeit bei Blendung mit verschiedenen Lichtarten. *Lichttechnik* **14** (1962) 60-65.
- Jehu, V. J. (1954). A comparison of yellow and white headlamp beams. *Light and Lighting* **47** (1954) 287-291.
- Le Grand, Y. (1934). Sur l'éblouissement en lumière jaune. *C. R. Acad. Sci. Paris* **198** (1934) 1075-1077.
- Le Grand, Y. (1937). Diffusion de la lumière dans l'oeil. *Revue Optique* **16** (1937) 201.
- Le Grand, Y. (1956). *Optique physiologique*. Tome III. Paris, Ed. Revue d'Optique (1956).
- Luckiesh, M. & Moss, F. K. (1935). Glare from sodium Light. *Trans I.E.S.* **30** (1935) 602-610.
- Luckiesh, M. & Moss, F. K. (1937). The science of seeing. New York. Van Nostrand Company.
- Mann, I. & Pirie, A. (1950). *The science of seeing* (Revised edition). Penguin Books Pelican A 157. Harmondsworth.
- Middleton, W. E. K. (1952). *Vision through the atmosphere*. Toronto Univ. Press. (1952).
- Monnier, A. & Mouton, M. (1934). L'éclairage des automobiles (suite). *Lux* (1934) **10**: 144-149.
- Monnier, A. & Mouton, M. (1939). *La technique de l'éclairage des automobiles*. Paris, Dunod.
- Ostrovsky, M. (1970). Glare effect of street lighting installations. *Sveto-technika* (1970) **7**: 1-4 (Russisch).
- Pages, R. & Fleury, D. (1956). Essais de vision crépusculaire et d'éblouissement, en lumière blanche et en lumière jaune, sur un groupe de 115 conducteurs. *Ann. d'Optique oculaire* **4** (1956) no. 1.
- Reading, V. (1966). Yellow and white headlamp glare and age. *Trans. I.E.S. (London)* **31** (1966) 108-114.
- Reid, K. M. & Chanon, H. J. (1936). Studies in fundamentals of highway lighting. *Trans I.E.S.* **31** (1936) 119-162.
- Ruddock, K. H. (1965a). The effect of age upon colour vision I. Response in the receptor system of the human eye. *Vision Res.* **5** (1965) 37-45.
- Ruddock, K. H. (1965b). The effect of age upon colour vision II. Changes with age in light transmission of the ocular media. *Vision Res.* **5** (1965) 47-58.
- Said, F. S. & Weale, R. A. (1959). The variation with age of the spectral transmissivity of the living human crystalline lens. *Gerontologica* **3** (1959) 213-231.
- Schmidt-Clausen, H. J. (1971). The influence of the angular size, adaptation luminantie, pulse shape and light colour on the Blondel-Rey constant a. In: Anon (1971).
- Schober, H. A. W. (1967). The reduction of disability and discomfort glare in traffic. In: *The prevention of highway injury*. (1967).
- Smart, A. E. (1969). An investigation of glare from white and yellow sources. *Lighting Res. Technol.* **1** (1969) 106-109.
- Stiles, W. S. (1929). The effect of glare on the brightness difference threshold. *Proc. Roy. Soc. B* **104** (1929) 322-350.
- SWOV (1969). (Carlquist, J. C. A. & Schreuder, D. A.). Stads- en dimlichten binnen de bebouwde kom. (Waarneembaarheid van voertuigen). Rapport 1969-6. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Voorburg.
- Tiburcius, H. F. (1969). Ueber die Erholungszeit des menschlichen Auges nach zentraler Blendung. *Fortschr. Med.* **87** (1969) 173-174.
- Vos, J. J. (1963). On mechanisms of glare. Diss. Utrecht, 1963.
- Vos, J. J. & Bouman, M. A. (1959). Disability glare; Theory and practice. CIE, Brussels (1959).
- Wals, J. W. T. (1965). *Photometry* (3rd ed). Dover, New York, (1965).
- Wanderer, E. (1955). Blendung mit farbigen Lichtern. *Z. Physiol. Arbeitsphysiol.* **16** (1955) 2-19.
- Weale, R. A. (1961). Notes on the photometric significance of the human crystalline lens. *Vision Res.* **1** (1961) 183.
- Willemsen, W. (1970). De invloed van de grootte van een verblindingsbron, de kleur van het verblindende licht en het aantal verblindingsbronnen op de contrastgevoeligheid van het menselijk oog. T. H. Eindhoven. (Niet gepubliceerd).

## 4. Psychologische aspecten

### 1. Inleiding

De psychologie van de waarneming is een belangrijk onderdeel van de wetenschappelijke psychologie. Waarnemen wordt gerekend tot de vier menselijke grondfuncties (waarnemen, denken, voelen, willen) en is er de eerste en wellicht de belangrijkste van (Duijker et al, 1968, p. 99). In alle moderne hand- en leerboeken van de psychologie is veel plaats ingeruimd voor de zgn. functieleer, die deze functies en dan speciaal de waarneming omvat. In de zgn. behavioristische opvatting waarin de mens wordt beschouwd als een samenstel van chemisch gereguleerde voorwaardelijke reflexen (Guthrie, geciteerd door Thomson, 1968, p. 229) en waarin vele van de concepties die voor de leek als specifiek menselijke worden beschouwd, (zoals de vrije wil) tot bijgeloof worden verklaard (Skinner, 1965) komt de nadruk wel zeer sterk op de waarneming te liggen. Het is boven elke twijfel verheven dat de visuele waarneming een essentiële rol speelt in het verkeersgebeuren. Voorts is het zeer wel mogelijk dat de waarneming en de psychologische aspecten ervan worden beïnvloed door de kleur van het licht. In het onderhavige artikel wordt echter nauwelijks aandacht aan de eigenlijke waarnemingspsychologie besteed omdat, tegen de verwachtingen in, er geen direct toepasbare literatuur ter beschikking staat die nadere gegevens verschaft over een dergelijke kleurafhankelijkheid. Op grond hiervan wordt aan de meeste psychologische verschijnselen voorbijgegaan. In feite wordt de bespreking beperkt tot de zgn. psychologische verblinding, en wel omdat juist op dit gebied vaak wordt beweerd dat veel licht voordelen biedt. We zullen dan ook aan dit aspect de nodige aandacht besteden. Verder zullen nog enige punten omtrent de waarneembaarheid van gekleurde lichten en van vermoeidheid worden besproken.

### 2. De psychologische verblinding

Zoals reeds eerder is beschreven kunnen twee verblindingssoorten worden onderscheiden, namelijk fysiologische en psychologische verblinding. De eerste wordt

gekenmerkt door het feit dat de waarneming (voornamelijk door strooilicht binnen het oog) wordt bemoeilijkt. De tweede uit zich in een gevoel van hinder dat zich kan voordoen ook wanneer een teruggang van de waarnemingsmogelijkheden nog niet is vast te stellen.

Een belangrijke vraag is of het nodig is dit verschil in te voeren. Een dergelijk onderscheid is zinvol, wanneer aangetoond kan worden dat er twee wezenlijke verschillende, fundamentele (bijv. fysiologische) processen bestaan.

Voorts is dit onderscheid gewenst wanneer het voor de praktijk relevant is. Nu doet zich het merkwaardige feit voor, dat het verschil inderdaad relevant is, dat de samenhang van de twee verschijnselen met de omgeving verschillend is, maar dat er eigenlijk geen fysiologische of fysische gronden bestaan op grond waarvan een dergelijk verschil te verwachten is.

Het belangrijkste theoretische argument ten gunste van de zin van de opsplitsing is gelegen in de afhankelijkheid van de omgevingsluminantie. Wanneer men bij gelijkblijvende omstandigheden de luminantie van verblindingslichtbron en omgeving in dezelfde verhouding laat toenemen, zal het strooilicht eveneens in die verhouding toenemen; zo ook dus de  $L_{seq}$ . In eerste benadering zal de fysiologische verblinding niet veranderen.

Een subjectieve beoordeling wijst echter uit dat de hinder ten gevolge van de verblinding, de psychologische verblinding dus, toeneemt. Anders gezegd, bij een gelijkblijvende graad van hinder en toenemende omgevingsluminantie mag de luminantie van de verblindingslichtbron ook toenemen, maar aanzienlijk minder dan evenredig; dus  $(L_b)^a = cL_g$  waar  $L_b$  en  $L_g$  de luminanties zijn van resp. achtergrond en verblindingslichtbron,  $a$  geeft de bedoelde relatie weer en  $c$  is een constante afhankelijk van o.a. de geometrische omstandigheden.

Omtrent de waarde van  $a$  is veel onderzoek gepubliceerd. Een groot aantal oudere onderzoeken zijn samengevat door Millard & MckGray (1928). Het blijkt dat de resultaten van Blanchard, Reeves, Nutting en Luckiesh & Holladay alle zeer goed kunnen worden beschreven met

$a = 0,3$ . De Boer en Van Heemskerck Veeckens (1955) geven  $a \approx 0,33$ ; Hopkinson (1940) geeft  $a \approx 0,45$ ; De Boer & Schreuder (1967) geven  $a = 0,3$ ; Adrian & Eberbach (1967) geven  $a = 0,314$ .

Voorts kan volgens Hopkinson (1952) al het toenmalige materiaal worden samengevat met  $a = 0,5$ .

Hoewel er dus nog enige onzekerheid is over de exacte waarde van  $a$ , is het duidelijk dat globaal a tussen  $\frac{1}{3}$  en  $\frac{1}{2}$  ligt: zeer veel lager dan de eenheid (of zelfs iets meer) die bij de fysiologische verblinding is gevonden.

We zullen dienen te besluiten tot het feit dat we naast elkaar met fysiologische en psychologische verblinding moeten rekenen.

Een tweede punt van verschil tussen de twee verblindingsoorten is te vinden in de additiviteit. De fysiologische verblinding door meer dan een lichtbron is zonder meer additief. Bij de psychologische verblinding is dit niet het geval. Er heerst nogal verwarring op dit gebied, die vooral blijkt uit het feit dat voor binnenverlichtingsinstallaties andere somwetten worden gevonden als voor buitenverlichting (Arndt et al, 1959).

Tenslotte blijft de vraag nog over, of het verschil voor de praktijk van voldoende belang is om er aandacht aan te besteden. Hierop kan uiteraard alleen de praktijk antwoord geven. Deze leert inderdaad dat dit onderscheid zinvol is en wel vooral omdat vele verlichtingsinstallaties te vinden zijn waar een duidelijke psychologische verblinding bestaat terwijl geen fysiologische verblinding kan worden geconstateerd. (Overigens kan het omgekeerde ook voorkomen! Adrian & Schreuder, 1970.) Het is dan ook terecht dat in de lichttechnische literatuur een verschil tussen psychologische en fysiologische verblinding wordt aangehouden. Een uitspraak over de aard van de verschijnselen waar het hier om gaat is daarmee natuurlijk niet gemaakt. Dit is voor sommigen reden om over te hellen tot de opvatting dat het om echt verschillende effecten gaat (Hartmann, 1959, Adrian & Eberbach, 1965). Het feit dat dezelfde verlichting er de oorzaak van is wordt echter weer vaak als argument aangehaald voor het feit dat het in wezen gaat om een en hetzelfde effect met twee verschijningsvormen (Adrian, 1961; Schmidt-Clausen, 1971).

Vervolgens zullen we bekijken wat eigenlijk de nadelige invloed van psychologische verblinding uitmaakt. Volgens Christie & Moore (1970) en Fisher et al (1970) is het niet meer dan enige storing van het esthetische gevoel. Zij menen dat beperking van de psychologische verblinding een

luxie is die in hun ogen te duur is. Deze mening wordt wel meer aangetroffen in Angelsaksische landen.

Anderen zijn van mening dat het noodzakelijk is om dit onbehagen te beperken of zelfs weg te nemen omdat dit gevoel van onbehagen de aandacht van de bestuurder kan afleiden. Dit klinkt plausibel, maar kan niet door feiten worden gesteund, mede omdat nauwelijks bekend is wat aandacht precies is, zodat niet aan te geven is wat het effect is van het afleiden van een gedeelte van de aandacht. De opvatting, dat ook het gevoel van onbehagen bestreden dient te worden, wordt vooral op het Europese vasteland verdedigd (De Boer 1957 en 1967; Devaux, 1956; Bouma, 1936; NSVV, 1974). Voorts vermelden we Benz (1966) die een samenhang vond tussen psychologische verblinding en veranderingen in het E.E.G. Stone & Groves (1968) vonden geen verband tussen psychologische verblinding en visuele prestaties — dit was gezien de definities dan ook niet te verwachten. Fry & King (1971) tenslotte schrijven de hinder van psychologische verblinding toe aan prikkeling van de pijnvezels die in de iris eindigen.

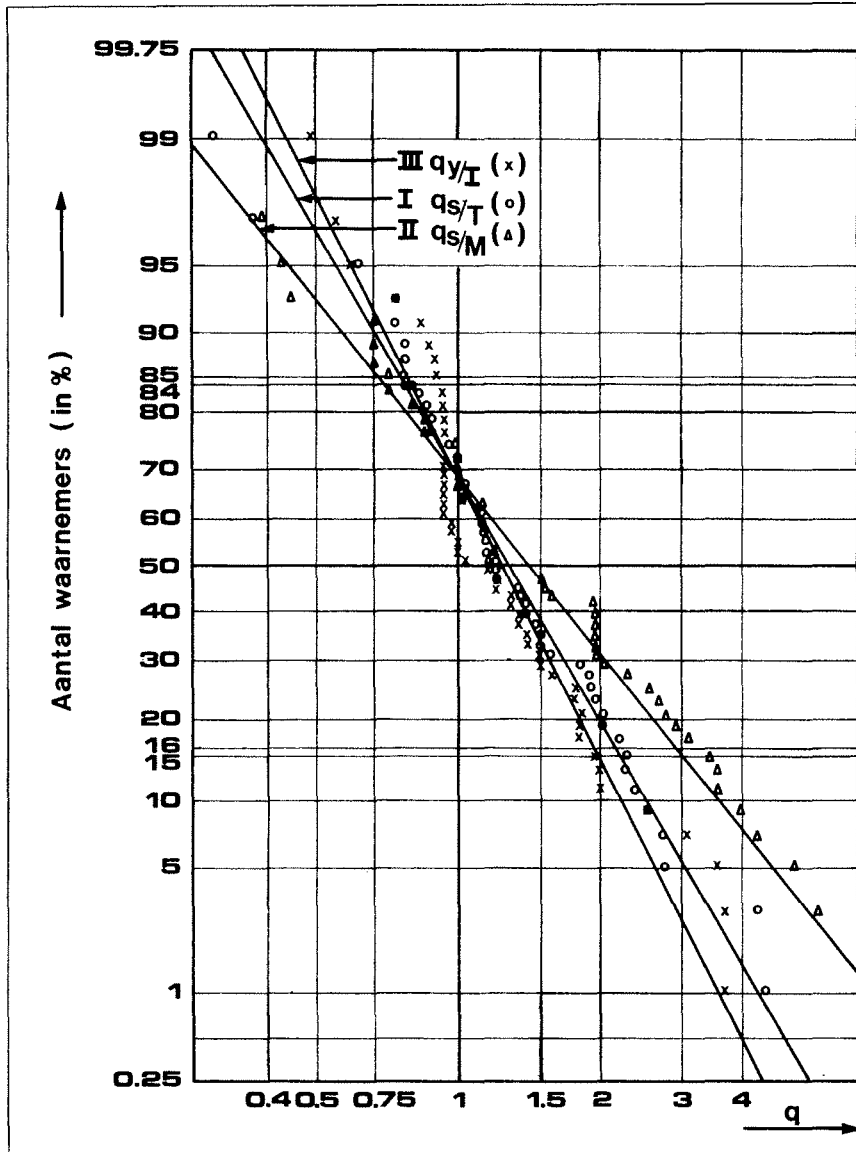
Doorlaggevende argumenten voor de noodzaak van begrenzing van de psychologische verblinding kunnen kennelijk nog niet worden gegeven. Desondanks zullen we hierna nagaan in hoeverre de psychologische verblinding van de lichtkleur afhangt, vooral omdat, zoals reeds aangegeven, juist deze afhankelijkheid veelal als het belangrijkste voordeel van gele koplantaarns wordt vermeld.

Bij de bespreking van de experimenten op dit gebied moet er echter weer voor worden gewaakt om de voor- en nadelen van geel (gefilterd) gloeilampenlicht niet te verwarren met de voor- en nadelen van geel (monochromatisch) natriumlicht tegenover wit licht.

Een belangrijk experiment is beschreven door De Boer en Van Heemskerck Veeckens (1955). Hier zijn voor twee beoordelingscriteria (juist toelaatbaar en bevredigend) de toelaatbare luminantie van de lichtbronnen van een straatverlichtingsinstallatie onderzocht in afhankelijkheid van de wegdek-luminantie.

De significantie van de verschillen tussen de lichtkleuren is echter aan enige twijfel onderhevig. De metingen zijn vervolgens herhaald voor een enkele waarde van de wegdek-luminantie ( $L = 1 \text{ cd/m}^2$  en vermoedelijk voor een klein aantal waarden van de luminantie van de lichtbronnen, maar daarover worden geen gegevens verschaft).

De resultaten zijn uitgedrukt in de verhouding  $q_{1/2}$  tussen de toelaatbare luminanties



6. Cumulatieve frequentieverdeling van  $q$ , de verhouding tussen de luminantie van twee soorten lichtbronnen met verschillende lichtkleuren die dezelfde psychologische verblinding teweeg brengen. Daarbij betekent S: lagedruk natriumlampen, M hoge druk kwiklampen, T: fluorescentiebuizen, I: ongefilderte gloeilampen en Y: gloeilampen met (gefilterd) geel licht. Het feit dat de drie getekende lijnen door één punt gaan, is toeval. (Figuur afkomstig van De Boer en Van Heemskerck Veeckens, 1955.)

van de lichtbronnen bij lichtkleuren 1 en 2.

Drie combinaties zijn onderzocht, namelijk:

- a. natriumlicht ten opzichte van fluorescentiebuizen S/T
- b. natriumlicht ten opzichte van hogedruk kwiklampen S/M
- c. gefilterd (geel) ten opzichte van ongefilterd (wit) gloeilampenlicht Y/I

De resultaten kunnen als volgt worden samengevat: de gemiddelde waarde  $\bar{q}$  ligt in deze drie gevallen met 95% betrouwbaarheid tussen de volgende grenzen:

$$a. 1,1 < \bar{q}_{S/T} < 1,5$$

$$b. 1,2 < \bar{q}_{S/M} < 1,8$$

$$c. 1,1 < \bar{q}_{Y/I} < 1,4$$

Gemiddeld blijkt dus dat geel licht een ca 1,25 maal hogere luminantie mag hebben, zie ook afbeelding 6. Hierbij wordt Ferguson et al (1953) geciteerd, waarbij vergelijkbare resultaten zijn opgegeven.

Over deze metingen kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt.

De geometrie is die van de straatverlichting waarbij de lantaarns op de kegeltjes-arme periferie, maar het wegdek op de kegeltjes-rijke fovea worden afgebeeld. Het is door Stiles (1954) en Schreuder (1962) geopperd dat dit mede bepalend zou zijn voor het gunstige effect van geel licht wat betreft de verblinding. Als dit zo is, kan men verwachten dat het effect bij autoverlichting, waarbij de „verblindingshoek” veel kleiner is, minder uitgesproken zal zijn.

Merkwaardig is, dat Monnier & Mouton (1939) in hun overzichtswerk over automobielerverlichting de psychologische verblinding niet aanroeren. Dit is des te opvallender omdat ten eerste de psychologische verblinding een van de weinige gebieden is waar geel licht een gering voordeel lijkt te bieden, en ten tweede omdat momenteel vooral in de niet-wetenschappelijke pers juist dit effect het meeste naar voren worden gebracht.

Het rapport van de GTB (1955) geeft enige indicatie over de relatieve hinder van geel en wit licht. Bij een situatie zonder verblinding van tegenliggers was er een significante voorkeur voor wit licht, zowel bij natte als bij droge weg. Met verblinding bleken de meningen uiteen te liggen, zodat geen significant resultaat verkregen kan worden. Een kleine meerderheid beschouwde het gele licht als minder verblindend, maar betreffende het algemene aspect werd aan het witte licht toch de voorkeur gegeven.

Devaux (1970) geeft slechts aan dat „the influence of the yellow lens on sick eyes [is] ... a sensation of calm”. Ook in een eerdere publicatie wordt het aspect van comfort slechts in het voorbijgaan vermeld (Devaux, 1956, p. 39).

Samenvattend kan men concluderen dat over het algemeen natriumlicht als minder verblindend wordt beschouwd dan kwiklicht en ook gefilterd (geel) licht als minder verblindend dan ongefilterd (wit) gloeilampenlicht.

### 3. De waarneembaarheid van signaallichten

#### 3.1. Herkenbaarheid

In de hierna volgende paragraaf worden enige opmerkingen gemaakt omtrent de waarneembaarheid, waarbij uitgegaan wordt van de definities zoals gegeven in SWOV (1969).

Een aspect dat in verband met de vraag omtrent de lichtkleur van koplantaarns nog maar weinig aandacht heeft gekregen, is de mogelijkheid om deze lichtkleur te gebruiken als codeermogelijkheid van verschillende categorieën wegvoertuigen. Wel is onderzocht of de kleur gebruikt kan worden om bewegingskenmerken te coderen. Daar wordt verschillend over geoordeeld.

Projector et al (1969) verwerpen het op grond van het feit dat er te veel variabelen zijn.

Anon (1968) geeft aan dat de kleur als secundaire code kan worden gebruikt, maar niet geschikt is voor alle bestuurders en alle rijomstandigheden.

De noodzaak om tot een duidelijke, ook in het donker waarneembare categorie-aanduiding te komen is beschreven door Roszbach (1971). Hierbij heeft de achterzijde van de voertuigen tot nu toe de meeste aandacht gekregen. We zullen hier enige punten aanroeren die met de voorzijde te maken hebben, en wat meer speciaal betreffende de herkenbaarheid van de kleur, waarbij we ons zullen beperken tot geel en wit.

Allereerst is de constatering van Bouma (1946) van belang dat voor lichtbronnen die het licht direct in ons oog sturen, de spectrale verdeling bijna geen rol speelt. Het opgeven van het kleurpunt is over het algemeen voldoende om de lichtsoort te karakteriseren (op.cit., p. 276).

Een tweede punt van belang is het feit dat, als drempelwaarde, het normale menselijke gezichtsorgaan een zeer groot aantal kleurnuances kan onderscheiden (zie Judd, 1936 bij Nimeroff, 1968).

Voor informatie op kaarten (bijv. ten be-

hoeve van vliegverkeer) blijken 28 verschillende kleuren nog bruikbaar te zijn (Shontz et al, 1971). Wel dient ermee rekening te worden gehouden dat kleuren zowel wat betreft kleurwaarde als verzadiging „wegschuiven” van hun achtergrond (Ishak et al, 1970). Het aantal kleuren dat voor verschillende coderingen van signaallichten in aanmerking komt, is echter veel geringer. Immers, bij het waarnemen van een signaallicht ontbreekt de mogelijkheid van directe vergelijking; voorts moet de decoding plaatsvinden terwijl veel aandacht wordt besteed aan andere bezigheden als bijv. autorijden. De signalen moeten ook door kleurenzwakken en bij voorkeur zelfs door kleurenblinden onderscheiden kunnen worden. Dit reduceert het aantal mogelijke kleuren tot ca. zeven (McCor-mick, 1964).

Voor de dagelijkse praktijk bleven er eigenlijk maar vijf over, te weten blauw, groen, rood, geel en wit. Geel en oranje beiden is reeds te veel. Enige gegevens hierover zijn verschaft door Walraven (1972).

Op grond van de gegevens die hierboven reeds zijn verschaft, kan worden verwacht dat het verschil tussen het gangbare „selectiva” geel en „witte” gloeilampen te gering is voor een goede onderscheiding. In de praktijk zou dit betekenen dat gele koplantaarns ongeveer de kleur zouden moeten hebben die nu voor verkeerslichten is genormaliseerd. Dit betekent een drastische vermindering van de lichtsterkte van de gele lamp, zodat de aanname die in de gehele serie artikelen is aangehouden omtrent een gering of zelfs verwaarloosbaar lichtverlies, niet meer geldt.

Tenslotte nog dit: het wegfilteren van het blauwe licht zoals dat bij gele lampen gebeurt, vermindert uiteraard de mogelijkheid van kleuronderscheiding van wegmarkeringen. Voor de wegdekken zelf maakt dat niet veel uit, omdat die gewoonlijk neutraal grijs zijn. De aanduiding van bepaalde routes en van andere wegkenmerken zoals op sommige plaatsen als experiment is uitgevoerd (Sparten, 1971) kan dan minder effectief plaatsvinden. Van meer belang is echter de mogelijkheid om gele en witte wegmarkeringen te onderscheiden. Dat kan een probleem worden, wanneer dit onderscheid gebruikt wordt om een verkeerstechnisch en/of juridisch onderscheid te maken.

### 3.2. Opvallendheid

Zoals uit de in SWOV (1969) gegeven definities volgt, overlappen de begrippen herkenbaarheid en opvallendheid elkaar tot zekere hoogte. De overeenkomst is dat aanzienlijk meer informatie dient te wor-

den overgebracht dan voor de zuivere „detecteerbaarheid”.

Connors (1969) beschrijft een aantal experimenten waarbij van kleine, kort zichtbare gekleurde voorwerpen de kleur moest worden aangegeven. Ook hier is een achromatische zone gevonden. Verder bleek dat onder de hierboven beschreven experimentele omstandigheden, rood duidelijk het meest als rood werd gezien. Tenslotte werden de vondsten van Boynton & Gordon (1965) en Weitzman & Kinney (1967) gedeeltelijk bevestigd en wel dat geel en oranje bij korte expositietijden vaak voor rood werden aangezien. Dit effect, dat bij knipperende verkeerslichten soms kan worden waargenomen, betekent dat geel knipperend licht gemakkelijker met rood kan worden verward dan wit knipperend licht. (Men moet natuurlijk bij deze opmerking rekening houden met een kleurverschuiving naar rood ten gevolge van het feit dat een knipperende gloeilamp niet steeds de normale bedrijfstemperatuur bereikt.)

## 4. Vermoeidheid

Tenslotte zullen we enige opmerkingen maken die worden samengevat onder „vermoeidheid”. Het ligt niet in de bedoeling het begrip vermoeidheid te definiëren, haar zeer vele en gecompliceerde vormen en uitwerking te beschrijven, of zelfs maar aan te geven hoe het verkeer en de verkeersveiligheid door vermoeidheid kunnen worden beïnvloed. We zullen ons hier beperken tot het bespreken van een paar punten die nogal eens naar voren worden gebracht in verband met de vraag die ons hier bezighoudt. Een ervan is de psychologische verblinding en de daarvan wellicht afkomstige vermoeidheid. Ook zou er iets te zeggen zijn over de vermoeidheid die kan optreden na lange blootstelling aan fysiologische verblinding. Een aantal experimenten is uitgevoerd door Hartmann (1963). Het is overigens de vraag of de teruggang van een bepaalde vaardigheid die wellicht een relatie heeft met het besturen van een auto, inderdaad het gevolg is van de fysiologische verblinding. Voor ons is dat hier niet zo belangrijk, omdat immers duidelijk is gebleken dat de fysiologische verblinding niet van de lichtkleur afhangt. Een interessant experiment waaruit blijkt dat vaardigheden selectief afnemen door lange onderwerping aan storingen is beschreven door Bartlett (1943). Voor het wegverkeer is dit resultaat, gezien de experimentele omstandigheden, echter nauwelijks van belang. Devaux (1970) vermeldt dat de vermoeid-

heid afhangt van de lichtkleur. Zo is bij geel-groen licht de vermoeidheid gering en bij ultraviolet licht (op grond van het gevaar dat door dit licht teweeg wordt gebracht) de vermoeidheid groot.

Voorts deelt hij mede dat niet alleen ultraviolet maar ook blauw licht gevaarlijk is, om te besluiten met de opmerking dat gele lampen de voorkeur verdienen gezien de grote hoeveelheid U.V.-licht dat door gewone gloeilampen wordt uitgezonden. („U.V. rays harmful to the retina, are those which induce the phenomena of eye fatigue. These rays exist in large quantities in the light produced by the incandescent lights presently in use . . .” Devaux, op.cit., p. 569).

Over de zeer categorisch gestelde uitspraken kan het volgende worden opgemerkt. Ten eerste ontbreekt iedere kwantitatieve of zelfs nadere kwalitatieve toelichting op de uitspraak dat geel-groen licht minder vermoeiend is dan blauw licht. De schadelijke werking van blauw licht is verder onbekend. Ultraviolet licht kan bij hoge intensiteit schade aanrichten, maar niet aan de retina want voordien is het allang geabsorbeerd. De schade treedt op aan de slijmvliezen van de ogen (de zgn. „lasogen”) en in de extreme gevallen aan de lens en de cornea. Dit alles is uitsluitend van toepassing op kortgolvig ultraviolet licht dat in normaal glas volledig

wordt geabsorbeerd. Deze uitspraak van Devaux kan zonder meer naar het rijk der labels worden verwezen. Tenslotte is de samenhang tussen gevaar en vermoeidheid door geen enkel feit ondersteund. Samenvattend: de door Devaux naar voren gebrachte voordelen van gele lantaarns als zouden ze vermoeidheid verminderen hebben geen enkele wetenschappelijke waarde.

## 5. Conclusies

1. Het is mogelijk dat de codering van wegen door het gebruik van gele resp. witte wegmarkeringen ongunstig wordt beïnvloed door het eventuele gebruik van gele koplantaarns.
2. Geel licht veroorzaakt minder psychologische verblinding dan wit licht. De significantie van dit verschil is onduidelijk. Een invloed op de verkeersveiligheid is niet te constateren.
3. Er zijn geen redenen om aan te nemen dat de vermoeidheid afhangt van de lichtkleur.
4. De lichtkleur komt alleen voor secundaire (redundante) codering in aanmerking.
5. Het kleurverschil tussen de hier besproken lichtkleuren is ook voor secundaire (redundante) codering te gering.

## Literatuur

- Adrian, W. (1961), Der Einfluss störender Lichter auf die Extrafoveale Wahrnehmung des menschlichen Auges. *Lichttechnik* **13** (1961) 450-454; 508-511; 558-562.
- Adrian, W. & Eberbach, K. (1965), Zur Frage der psychologischen Blendung in der Strassenbeleuchtung. *Lichttechnik* **17** (1965) 137A-142A.
- Adrian, W. & Eberbach, K. (1967), Ueber den Einfluss der Leuchtenausdehnung bei der psychologischen Blendung in der Strassenbeleuchtung. *Lichttechnik* **19** (1967) 67A-70A.
- Adrian, W. & Schreuder, D. A. (1970), A simple method for the appraisal of glare in street lighting. *Lighting Res. Technol.* **2** (1970) 61-73.
- Anon (1968), Motor vehicle rear lighting and signalling. Institute of Transportation, Berkeley (Cal.).
- Arndt, W.; Bodmann H. W. & Muck E. (1959), Untersuchungen über die psychologische Blendung durch mehrere Lichtquellen. In: *Compte Rendu Quatorzième Session CIE, 1959, Brussels, CIE, Paris, 1960.*
- Bartlett, F. C. (1943), Fatigue following highly skilled work. *Proc. Roy. Soc. B* **131** (1943) 247.
- Benz, C. (1966), Untersuchungen über die psychologische Blendung bei Umfelfeuchtdichten im mesopischen Bereich. Diss. Karlsruhe.

- Boer, J. B. de (1951), *Fundamental experiments on visibility and admissible glare in road lighting.* CIE, Stockholm.
- Boer, J. B. de (1957), *Blendung beim nächtlichen Strassenverkehr.* *Zb. für Verkehrsmedizin.* **3** (1957) No. 4.
- Boer, J. B. de (1967), *Visual perception in road traffic and the field of vision of the motorist.* Chapter 2 in: De Boer (ed) (1967).
- Boer, J. B. de (ed) (1967), *Public Lighting.* Philips Technical Library, Eindhoven.
- Boer, J. B. de & Heemskerck Veeckens, J. F. T. van (1955), Observations on discomfort glare in street lighting. Influence of the colour of the light. CIE, Zurich.
- Boer, J. B. de & Schreuder, D. A. (1967), Glare as a criterion for quality in street lighting. *Trans. I.E.S. (London)* **32** (1967) 117-128.
- Bouma, P. J. (1936), The problem of glare in highway lighting. *Philips Techn. Rev.* **1** (1936) 225-229.
- Bouma, P. J. (1946), *Kleuren en kleurendrukken.* Meulenhof, Amsterdam.
- Boynton, T. M. & Gorden, J. (1965), *J.O.S.A.* **55** (1965). In: Connors (1969).
- Christie, A. W. & Moore, R. L. (1970), Some current views in the United Kingdom of problems of night visibility. OTA, Rotterdam.
- Connors, M. M. (1969), *Luminance requirements*

- for hue identification in small targets. *J.O.S.A.* **59** (1969) 91-97.
- Devaux, P. (1956), Unified European passing beam and yellow light. *Int. Road Safety Traffic Rev.* **4** (1956) 33.
- Devaux, P. (1970), State of the art: Signalling and lighting. Paper presented at the 13th FISITA congress, Brussels, 1970.
- Duijker, H. C. J.; Palland, B. G. & Vuyk R. (1968), *Leerboek der psychologie*. (Vierde druk). Wolters-Noordhoff, Groningen.
- Ferguson, H. M.; Reeves, J. & Stevens, W. R. (1953), A note on the relative discomfort glare from mercury, sodium and tungsten light sources. *G.E.C. Journal* (1953) July 1.
- Fisher, A. J.; Hall, R. R. & Halfacree, R. S. (1970), Control of disability glare from street lighting lanterns. *ARRB Proceedings* **5** (1970) Part 3, 234
- Fry, G. A. & King, V. M. (1971), The role of the pupil in discomfort glare. *CIE, Barcelona*.
- G. T. B. (1955), *Essais comparatifs internationaux de faisceau-croisement de projecteurs automobiles* G.T.B. **182** (1955) avril.
- Hartmann, E. (1959), *Untersuchungen zur Gelblichtblendung*. Internationales Kolloquium der Hochschule für Elektrotechnik, Ilmenau.
- Hartmann, E. (1963), Die Schwelle der physiologischen Blendung. *Lichttechnik* **15** (1963) 503-505.
- Hopkinson, R. G. (1940), Discomfort glare in lighted streets. *Trans. Illum. Engng. Soc.* (London) **5** (1940) 1-30.
- Hopkinson, R. G. (1952), Paper A.S.E.-conference, Toulouse.
- Ishak, I. G. H.; Bouma, H. & Van Bussel, H. J. J. (1970), Subjective estimates of colour attributes for surface colours. *Vision Res.* **10** (1970) 489-500.
- Judd, D. B. (1936), *J.O.S.A.* **26** (1936) 421. In: Nimeroff (1968).
- McCormick E. J. (1964), *Human factors engineering*. McGraw Hill, New York.
- Millar, P. S. & McGrays. (1928), Glare — its manifestations and the status of knowledge thereof. In: *Recueil des travaux et Compte Rendu des Sceances Septième Session CIE, 1928*. National Physical Laboratory, Teddington, 1929.
- Monnier, A. & Mouton, M. (1939), *La technique de l'éclairage des automobiles*. Dunod, Paris.
- NSvV (1974), Richtlijnen voor openbare verlichting. *Elektrotechniek* **52** (1974) 862-887.
- Nimeroff, I. (1968), *Colorimetry*. Monograph 104. National Bureau of Standards, Washington D.C.
- Projector, T. H., Cook, K. G. & Peterson, L. O. (1969), *Analytic assessment of motor vehicle rear signal systems*. Century Res. Corp., Arlington.
- Roszbach, R. (1971), Informatieoverdracht door middel van achterlichtenconfiguraties. (Niet gepubliceerd).
- Schmidt-Clausen, H. J. (1971), Paper Symposium „Verblindung“. Karlsruhe, 1971. (Niet gepubliceerd).
- Schreuder, D. A. (1962), Warum Beleuchtung mit Natriumdampflampen? *Elektrizitätsverwertung* **37** (1962) 191-195.
- Schreuder, D. A. (1967), The theoretical basis of road-lighting design. Chapter 3 in: De Boer (ed) (1967).
- Shontz, W. D.; Trumm G. A. & Williams L. G. (1971), Colorcoding for information location. *Human Factors* **13** (1971) 237-246.
- Skinner, B. F. (1965), *Science and human behaviour*. Free Press, New York.
- Sparten, A. (1971), Bunte Strassen sind sicher. *Welt am Sonntag* nr. **31** (1971) p. 14.
- Stiles, W. S. (1954), Visual factors in lighting *Illum. Engng.* (1954) 77-92.
- Stone, P. T. & Groves, S. D. P. (1968), Discomfort glare and visual performance. *Trans. I.E.S.* (London) **33** (1968) 9-15.
- SWOV (Carlquist, J. C. A. & Schreuder, D. A.), (1969), *Stads- en dimlichten binnen de bebouwde kom*. (Waarneembaarheid van voertuigen). Rapport 1969-6. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Voorburg.
- Thomson, R. (1968), *The pelican history of psychology*. Penguin, Harmondsworth.
- Walraven, P. L. (1972), Perceptieve aspecten bij de normalisering van verkeerslichten. *TNO-nieuws* **27** (1972) 209-212.
- Weitzmann, D. O. & Kinney, J. S. (1967), *J.O.S.A.* **57** (1967) 5. In: Connors (1969).