

HET GEBRUIK VAN RETROREFLECTERENDE MATERIALEN IN HET WEGVERKEER

Bijdrage voor de Congresdag van de Nederlandse Stichting voor Verlichtingskunde NSvV "Signalering en verlichting van wegen", ter gelegenheid van Intertraffic 1988, Internationaal Congrescentrum RAI, Amsterdam, 26 april 1988

R-88-29

Dr. ir. D.A. Schreuder

Leidschendam, 1988

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

1. Inleiding
2. De waarneembaarheid in het wegverkeer
3. Retroreflecterende materialen
4. Toepassing van retroreflecterende materialen
 - 4.1. Gebruik op vervoermiddelen
 - 4.2. Gebruik op en bij de weg
5. Conclusies en aanbevelingen

Literatuur

Bijlage I. Gegevens over retroreflecterende materialen.

Bijlage II. Noodzakelijke lichtsterkte voor signaallichten.

Bijlage III. Reflecterend vermogen van spaakreflectoren en reflecterende fietsbanden.

1. INLEIDING

Deelnemen aan het gemotoriseerde wegverkeer brengt risico's met zich mee. Het is bekend dat de risico's bij ongunstige zichtomstandigheden groter zijn dan bij droog helder weer overdag (OECD, 1976, 1980). Uitgedrukt in letselongevallen per afgelegde voertuigkilometer is het risico om als automobilist betrokken te raken in een ongeval bij duisternis tussen anderhalf en vier maal zo hoog als het risico bij dag (Harris, 1985).

Er is veel onderzoek uitgevoerd omtrent de relatie tussen het zicht en het verkeersrisico; de rol van de visuele waarnemingen is daarbij duidelijk naar voren gekomen. Het is daarbij mogelijk gebleken om bepaalde objecten aan te wijzen waarvan de waarneming kritisch is in de zin dat het risico om in ongevallen betrokken te raken groot is wanneer deze "visueel kritische elementen" niet - of niet tijdig - worden waargenomen (Padmos, 1984). Het hangt af van de manoeuvre die nodig is om ongevallen te voorkomen ("ontwijkmanoeuvres") welke voorwerpen gezien moeten kunnen worden (Schreuder, 1985).

2. DE WAARNEEMBAARHEID IN HET WEGVERKEER

Bij de waarneming van objecten in het verkeer dient men onderscheid te maken tussen de zichtbaarheid (het detecteren van de aanwezigheid van het object), de opvallendheid (het kunnen ontwaren van het object bij aanwezigheid van andere - storende - objecten) en de herkenbaarheid (het aan de juiste klasse van objecten kunnen toerekenen van het object; zie Schreuder, 1985a). De eisen te stellen aan de waarneembaarheid van het object hangt sterk af van de vraag welke van deze vormen van waarneembaarheid nodig is om de relevante manoeuvre te kunnen uitvoeren. Tenslotte moet bedacht worden dat er meestal geen tijd is om alle aanwezige voorwerpen ook daadwerkelijk waar te nemen; dat is ook meestal niet nodig. Men kan van een waarnemingsprioriteit spreken; het komt erop aan dat voorwerpen die "hoog" staan op de prioriteitenlijst ook inderdaad het eerst (of het best) worden waargenomen.

Wanneer men denkt aan het doen van waarnemingen vanuit een rijdende auto kunnen alle eisen van waarneembaarheid worden uitgedrukt in de minimale afstand waarop het object moet kunnen worden waargenomen (de zgn. previewafstand of -tijd; wanneer de rijsnelheid kent, zijn deze twee in elkaar om te rekenen; zie Schreuder, 1985). De minimale previewafstand kan zeer sterk uiteenlopen. Voor verkeersborden die dienen voor het geven van aanwijzingen betreffende de route op autosnelwegen en betreffende eventuele veranderingen in die route, is een preview van enige tientallen seconden of soms nog meer noodzakelijk; voorwaarschuwingsborden worden soms op drie kilometer voor het afslagpunt geplaatst (Schreuder, 1985; Van Norren, 1981). Voor wegmarkeringen die vooral dienen om de dwarspositie binnen de rijstrook te kunnen handhaven, blijkt dat de previewtijd niet meer dan anderhalf à drie seconden behoeft te zijn (CIE, 1988; Godthelp & Riemersma, 1982; Riemersma, 1983; Schreuder, 1985). Bij het rijden op een autosnelweg correspondeert dit met een afstand van ca. 50 tot 100 m. Voor andere objecten - waarbij andere manoeuvres nodig zijn - en voor andere wegtypen gelden andere previewwaarden.

Er is een aparte klasse van voorwerpen aan te wijzen waarvoor de waarneembaarheid voor het wegverkeer van speciaal belang is: de hulpmiddelen voor signalering en markering. Signalering dient om een specifieke boodschap aan de weggebruikers/verkeersdeelnemers over te brengen; markering is een speciaal geval waarbij de boodschap beperkt is tot "aanwezigheid".

De hulpmiddelen worden gekenmerkt door het feit dat ze met opzet worden aangebracht en wel met het uitsluitende doel om te worden waargenomen. De waarneembaarheid betreft de boodschap; veelal is er sprake van een in letters en/of tekens gecodeerde boodschap die derhalve "gelezen" moet worden. Er is veel onderzoek gedaan over de eigenschappen waaraan signaleringsmiddelen moeten voldoen om optimaal te kunnen functioneren; zie bijvoorbeeld Van Norren (1981) en Schreuder (1976, 1985a). De waarneembaarheid kan worden verbeterd door speciale uitvoeringsvormen: verlichting, uitvoering met fluorescerend materiaal en uitvoering met retro-reflecterend materiaal.

Voorwerpen kunnen alleen worden waargenomen wanneer ze een voldoende groot contrast vormen tegenover de achtergrond. In het wegverkeer blijkt vooral het contrast wat betreft de luminantie (de "helderheid") van belang te zijn; kleur en kleurverschillen spelen meestal slechts een ondergeschikte rol (De Boer (ed.), 1967; Schreuder, 1967). Zo lang er sprake is van licht dat van verscheidene kanten tegelijk op het betreffende voorwerp valt, hangt de luminantie van dat voorwerp in hoofdzaak - en meestal uitsluitend - af van de verlichtingssterkte op dat voorwerp en de (diffuse) reflectiefactor van het oppervlak. Wanneer de voorwerpen aan elkaar grenzen - zoals bijvoorbeeld letters en cijfers op een verkeersbord - hangt het contrast tussen de letters en de achtergrond uitsluitend af van het verschil in de diffuse reflectiefactoren; de verlichtingssterkte is immers gelijk.

3. RETROREFLECTERENDE MATERIALEN

Retroreflectie is een speciale categorie van lichtreflectie, en wel in die zin dat het licht precies wordt teruggekaatst in de richting waar het vandaan kwam: terug dus naar de lichtbron. Dit houdt in dat retroreflectie alleen nuttig is in die gevallen waar de lichtbron en de waarnemer samenvallen - of tenminste bijna samenvallen. Dit doet zich in het wegverkeer voor in die gevallen waar de omgeving verlicht wordt door auto-koplantaarns. Onder alle andere omstandigheden heeft het toepassen van retroreflecterende materialen geen zin. Soms zelfs heeft het een zeker nadeel wanneer men bedenkt dat het invallende licht in hoofdzaak wordt teruggekaatst in de richting van de lichtbron; overdag of bij openbare verlichting zijn voorwerpen die retroreflecterend zijn uitgevoerd, soms slechter waarneembaar dan "gewone" voorwerpen die een diffuse reflectie vertonen.

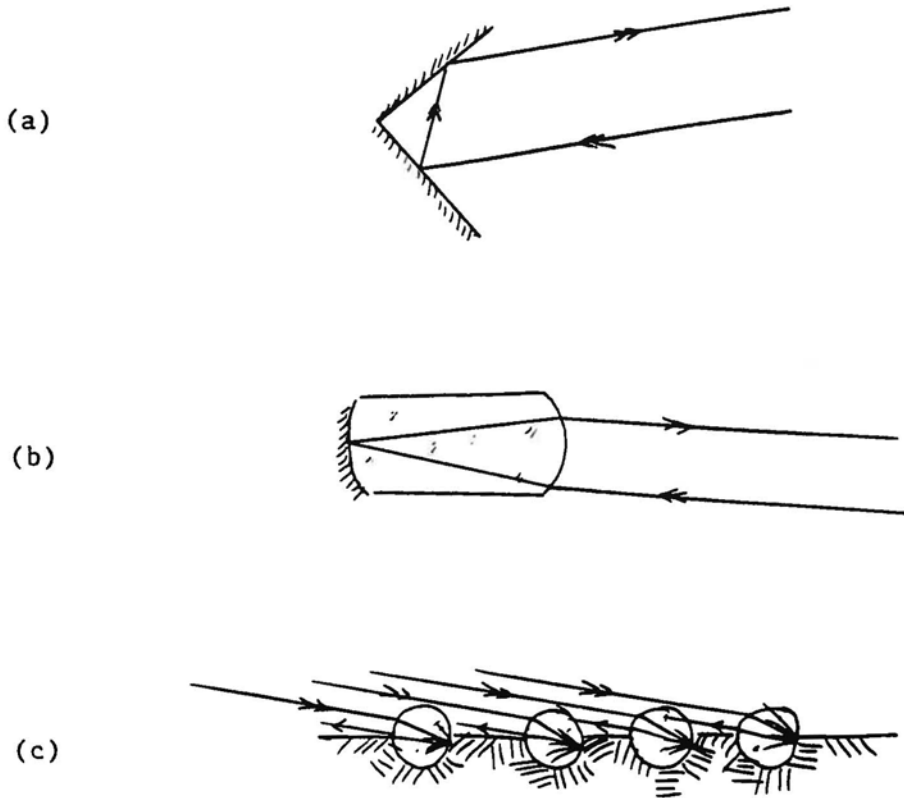
Voor het bereiken van retroreflectie worden in hoofdzaak twee optische principes toegepast. Bij het eerste wordt gebruik gemaakt van het feit dat een lichtstraal na drie opeenvolgende reflecties aan loodrecht op elkaar staande vlakken steeds in de richting wordt teruggekaatst waar het vandaan kwam, ongeacht de positie van deze vlakken. Omdat deze drie vlakken kunnen worden beschreven als de hoek van een kubus, wordt dit optische systeem als "hoekspiegel" of als "corner-cube reflector" aangeduid. Bij het tweede optische principe wordt gebruik gemaakt van het feit dat bij een concentrisch systeem waarbij de voorzijde als collectorlens en de achterzijde als reflector is uitgerust, de stralengang precies wordt omgekeerd, zodat ook hier het licht wordt teruggekaatst in de richting waar het vandaan kwam. Voorwaarde is dat het brandpunt van het voorste vlak op het achterste (spiegelende) vlak ligt. Aangezien het voorste vlak als lens fungeert, spreekt men van "lensreflectoren"; gezien het feit dat dergelijke reflectoren bij duisternis lijken op de ogen van een kat, spreekt men ook wel van "cat's eyes". In beide gevallen is de hoek die de, op de spiegels invallende, lichtstraal maakt met de normaal op de spiegel kleiner dan de grenshoek, zodat totale reflectie niet kan optreden. De vlakken moeten derhalve van een spiegel laag worden voorzien. Soms rekent men een derde optische principe ook tot de retroreflectie: het toepassen van bolvormige lenzen in een witte, diffuus reflecterende matrix, en wel in de vorm van glasparels in verf of in plastic. Het invallende licht wordt aan de achterzijde op deze matrix geconcentreerd; deze

"brandvlek" fungeert als secundaire lichtbron die een aanzienlijk deel van het invallende licht terugzendt in de richting waar het vandaan kwam. Het effect lijkt dus op retroreflectie; optisch gesproken is het echter een kwestie van diffuse reflectie met collimatie van licht. Dit laatste principe wordt op grote schaal toegepast bij wegmarkeringen. In Afbeelding 1 zijn deze verschillende optische principes nader toegelicht. Voor nadere gegevens over de optische werking en de opbouw zij verwezen naar de literatuur (Anon, 1984; CIE, 1982, 1987; Dutruit, 1976; Morren, 1980; Schreuder, 1980, 1985, 1985a, 1986).

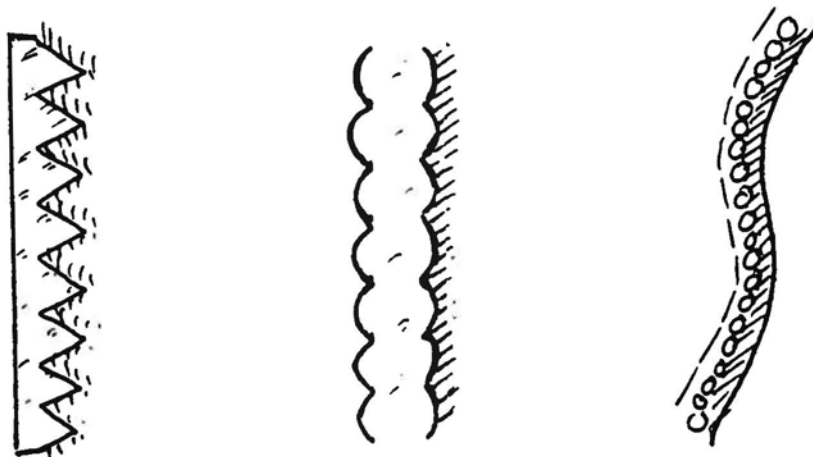
Retroreflectoren worden op grote schaal toegepast ten behoeve van de markering en signalering in het wegverkeer. Men komt ze tegen op voertuigen, op informatiedragers naast of bij de weg, en als wegmarkeringen op de weg zelf. Daarbij worden zowel hoekspiegels als lensreflectoren gebruikt; zoals gezegd komen de glasparels alleen voor in wegmarkeringen. Wat betreft de afmetingen en constructievorm komen zowel de hoekspiegels als de lensreflectoren voor als elementen van enige mm groot in glazen of plastic eenheden, en ook - als elementen van ten hoogste enige tienden van mm - in foliematerialen. In Afbeelding 2 zijn deze constructievormen schetsmatig aangegeven.

De glazen of plastic eenheden zijn meestal enige cm tot ten hoogste tien à twintig cm groot; ze worden gewoonlijk met bouten op de te markeren voorwerpen aangebracht. De uitvoeringsvorm en het retroreflecterend vermogen hangt vooral af van de zuiverheid van het te gebruiken materiaal en van de nauwkeurigheid van de fabricage (meestal spuitgietwerk). Voor details zie bijv. CIE (1987), OECD (1975) en Schreuder (1985a). De foliematerialen zijn meestal enige tienden mm dik en vaak van zelfklevende lagen voorzien.

Wat betreft het retroreflecterend vermogen zijn er twee klassen onderscheiden (CIE, 1982). Klasse I zijn de oudere materialen waarbij de glazen kogels (glasparels) in een binder zijn aangebracht, en al-dan-niet van een vlakke voorlaag zijn voorzien. Bij Klasse II zijn de glazen kogels aan de voorzijde vrij; om beschadiging en vervuiling te voorkomen is een aparte beschermingsfolie aangebracht (zie Afbeelding 3). Deze twee typen worden wel aangeduid als "Sheetings with enclosed glass-spheres" en "Sheetings with encapsulated spheres" (CIE, 1987). Ook zijn ze vaak bekend onder de handelsbenamingen van 3M - een belangrijke leverancier van deze materialen namelijk "Scotchlite" Engineer Grade <R> en "Scotchlite" High Intensity Grade <R> (Anon, 1984).



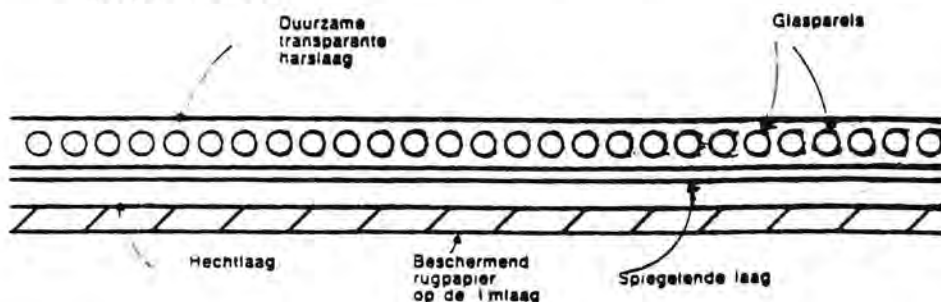
Afbeelding 1. Drie principes van retroreflectie: (a) hoekspiegel of corner-cube reflector; (b) lensreflector of cat's eye; (c) glasparels in verf of plastic.



Afbeelding 2. Constructievormen van retroreflectoren.

**Folies met ingesloten
glasparelsysteem**

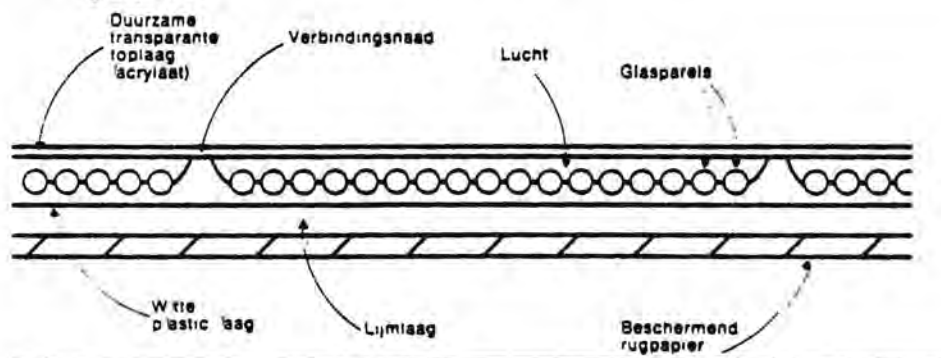
Fig. 15



N.B.
De tekening in doorsnede hierboven
dient als voorbeeld en heeft als enig doel
het functionele principe van deze folie
voor te stellen.

**Folies met ingekapselde
glasparels**

Fig. 16



N.B.
De tekening in doorsnede hierboven
dient als voorbeeld en heeft als enig doel
het functionele principe van deze folie
voor te stellen.

Afbeelding 3. Glasparels met folie klasse I en II (volgens Anon, 1984).

	R'	Invalshoek	Observatietechniek	Bron
<u>Hoekspiegels</u>				
wit	700	5°	20'	A
geel	420	5°	20'	A
oranje	280	5°	20'	A
rood	175	5°	20'	A
groen	105	5°	20'	A
blauw	35	5°	20'	A
<u>Microprismas</u>				
wit	550	5°	20'	A
wit	1100	4°	0,2°	B
<u>Folie klasse I</u>				
wit	120	4°	0,2°	B
<u>Folie klasse II</u>				
wit	310	4°	0,2°	B

A: naar CIE (1987) B: naar Erickson & Woltman (1988)

Tabel 1. De retroreflectiecoëfficiënt (R') van een aantal gangbare materialen (in cd/m² per lux). Zie voor de meetgeometrie Bijlage I.

Recentelijk is een derde type foliemateriaal ter beschikking gekomen: het gaat daarbij om een zeer kleine versie van de hoekspiegels. Het wordt wel als "Microprism" aangeduid (Erickson & Woltman, 1988). Omdat het hier om een recent materiaal gaat, is de door de CIE gehanteerde type-aanduiding nog niet aangepast.

De lichttechnische kenmerken van de verschillende materialen en uitvoeringsvormen verschillen onderling. In Tabel 1 is het reflecterend vermogen van een aantal materialen gegeven. De gegevens zijn o.a. ontleend aan Erickson & Woltman (1988). In beginsel kunnen retroreflecterende materialen in iedere gewenste kleur worden uitgevoerd - voor zover er kleurfilters beschikbaar zijn.

De colorimetrie van retroreflecterende materialen kan problemen opleveren omdat de kleur van de gebruikte lichtbron niet in alle gevallen in dezelfde wijze in de waargenomen kleur tot uitdrukking komt. Dit kan een probleem opleveren bijvoorbeeld bij verkeersborden waarvan men vereist dat het aspect bij dag gelijk is aan dat bij nacht, en waarbij bovendien wordt geëist dat het aspect van retroreflecterende en van (diffuus) reflecterende materialen zowel overdag als bij duisternis hetzelfde is. Dit punt levert bijvoorbeeld in Frankrijk problemen op met autokoplampen die geel licht uitstralen (Schreuder, 1975). De CIE heeft veel aandacht aan deze materie besteed (zie CIE, 1983a, 1987a). Aangezien het hier om verfijningen gaat die in de meeste gevallen voor het wegverkeer van ondergeschikt belang zijn, zullen we er verder geen aandacht aan besteden. In Bijlage I is een aantal gegevens over retroreflecterende materialen bijeen gebracht.

Nog een algemene opmerking, deze betreft de levensduur (de houdbaarheid) van de materialen. De recente uitvoeringsvormen hebben steeds een zeer aanzienlijke gebruikslevensduur. Glas heeft uiteraard - behoudens de breekbaarheid - een langere levensduur dan plastic; het zwakke punt is meestal gelegen in de spiegel lagen die in of op de materialen worden aangebracht. Keuringseisen aangaande de levensduur en de houdbaarheid zijn in vrijwel alle landen en voor vrijwel alle toepassingsgebieden van kracht (zie bijvoorbeeld CIE, 1987). Veelal is de bruikbare levensduur van het retroreflecterende materiaal aanzienlijk langer dan die van het voorwerp waar het materiaal op wordt aangebracht. Toch blijkt vaak de levensduur onvoldoende te zijn, bijvoorbeeld bij sommige materialen die gebruikt worden voor de zijreflectie van fietsen.

Retroreflecterende materialen zijn alleen functioneel wanneer ze worden beschenen door een sterke lichtbron die zich vlak bij de waarnemer bevindt. In de praktijk van het wegverkeer betekent dit de koplantaarns van motorvoertuigen - vooral auto's - en dan speciaal bij gebruik van de dimbundel daarvan (Schreuder, 1976; Schreuder & Lindeijer, 1987; Krochmann & Terstiege, 1980).

Het dimlicht van een motorvoertuig is door een aantal mechanische hulpmiddelen (schermplaten) en optische hulpmiddelen (prisma's) zodanig ingericht dat er zo weinig mogelijk licht - dat immers tegenliggers zou kunnen verblinden - boven de horizon wordt uitgestraald, en zoveel mogelijk licht - dat immers eventuele obstakels moet verlichten - onder de horizon. Er moet dus een meer of minder scherpe overgang van donker naar licht (de zgn. coupure) in de bundel aanwezig zijn, die ongeveer ter hoogte van de horizon moet liggen. Bovendien wordt extra licht naar de rechter weghelft gericht: de zgn. asymmetrische dimbundel. Veel van de retroreflecterende materialen zijn op een zodanige plaats aangebracht dat ze verlicht worden door licht boven de coupure (tamelijk zwak dus), terwijl ze in andere gevallen worden verlicht door licht onder de coupure (tamelijk sterk dus). Bij het opstellen van eisen omtrent het retroreflecterend vermogen van retroreflecterende materialen moet met deze omstandigheden rekening worden gehouden (CIE, 1988). In dit verband kan nog melding worden gemaakt van nieuwe ontwikkelingen waarbij in theorie de lichtuitstraling boven de coupure zeer gering zou kunnen worden, waardoor het nut van retroreflecterende materialen zou kunnen afnemen. Zoals door Schreuder & Lindeijer (1987) is aangetoond zal het wat dat betreft wel meevallen: veeleer moet worden gevreesd dat door deze nieuwe ontwikkelingen eerder de verblinding zou toenemen in plaats van dat het nut van retroreflectoren zou afnemen.

4. TOEPASSING VAN RETROREFLECTERENDE MATERIALEN

Zoals gezegd, worden retroreflecterende materialen in het wegverkeer op grote schaal en voor zeer uiteenlopende doelen toegepast. In het volgende overzicht van deze toepassingsgebieden wordt aangegeven aan welke functionele vereisten de materialen dienen te voldoen om optimaal te kunnen functioneren. Daarbij zal nadruk komen te liggen op twee factoren: de fotometrie (het reflectievermogen) en het gemak van aanbrengen. Op de levensduur (de houdbaarheid) zullen we slechts in een enkel geval de aandacht vestigen.

Eerst wordt onderscheid gemaakt tussen gebruik op vervoermiddelen (voetgangers daarbij inbegrepen) en gebruik op of bij de weg. De reden is dat voor het eerste over het algemeen de verkeersdeelnemers verantwoordelijk zijn, en voor het tweede de wegbeheerders.

4.1. Gebruik op vervoermiddelen

Het oogmerk van het aanbrengen van retroreflecterende materialen op voertuigen is in hoofdzaak het verhogen van de waarneembaarheid van het vervoermiddel. Daarbij zijn twee toepassingsgebieden te onderscheiden. De eerste is het verhogen van de opvallendheid, dit met het doel om naderende automobilisten - die met hun koplantaarns de reflectoren beschijnen - betere gelegenheid te bieden om het vervoermiddel te ontwijken. De tweede is het verhogen van de herkenbaarheid van de situatie, meer in het bijzonder van het vervoermiddel waaraan de retroreflecterende voorzieningen zijn bevestigd. Het gaat er daarbij niet alleen om het waargenomen vervoermiddel bij de juiste klasse van vervoermiddelen te kunnen indelen, maar ook om de gehele verkeerssituatie te kunnen overzien om daarmee tot betere waarnemingsprioriteiten te kunnen komen. We zullen deze twee toepassingsgebieden achtereenvolgens bespreken.

Bij de opvallendheid is het steeds de (naderende) automobilist (de motorrijder daaronder begrepen) die de informatie moet ontvangen en gebruik ervan moet maken. Wanneer het gaat om de opvallendheid kunnen de lichttechnische vereisten op eenvoudige wijze worden uitgedrukt in de (totale) lichtsterkte en de kleur; de totale lichtsterkte hangt weer af van de grootte en het retroreflecterend vermogen van de reflector, en van de afstand tussen reflector en lamp. De afstand op haar beurt hangt weer af

van de rijsnelheid en van de afstand (de tijd; de preview) die nodig is voor het uitvoeren van de ontwijkmanoeuvre, zoals reeds eerder is toegelicht.

Op verscheidene plaatsen is onderzoek naar deze materie uitgevoerd. Ten behoeve van het opstellen van eisen aan gevarendriehoeken is destijds een uitgebreid praktijkonderzoek uitgevoerd (Lazet et al., 1967; SWOV, 1969). Voor gebruik op autosnelwegen is een minimale zichtbaarheidafstand van 210 m aangehouden. Uit het praktijkonderzoek volgt daarbij een minimale waarde van de retroreflectiecoëfficiënt van 90 cd/m^2 per lux. De in Duitsland geldende norm is 125 cd/m^2 per lux (SWOV, 1969).

Uit een onderzoek naar de eisen te stellen aan retroreflecterende kentekenplaten is gebleken dat voor een voldoende opvallendheid het reflecterend vermogen tenminste 35 cd/m^2 per lux moet bedragen (SWOV, 1969a, blz. 56). Met een materiaal met een retroreflectiecoëfficiënt van 55 cd/m^2 per lux kan zelfs bij verblinding door tegenliggers een zichtbaarheidsafstand van 145 tot 225 m worden bereikt (ibid., p. 53).

Bij veel van dit onderzoek worden de te bereiken waarden vergeleken met de minimaal noodzakelijke lichtsterkte van signaallichten. Deze aanpak is in detail beschreven in Blokpoel et al. (1982). Een deel van de gegevens uit dat rapport is hier overgenomen in Bijlage II. Dergelijke resultaten zijn reeds eerder gebruikt voor het opstellen van eisen te stellen aan achterreflectoren voor fietsen (SWOV, 1973). Uit de literatuur en uit eigen onderzoek is geconcludeerd dat voor de situaties die voor dit geval het meest kritisch zijn (dimlicht; smalle wegen; middelmatig hoge snelheden) de lichtsterktecoëfficiënt tenminste $2,25 \text{ cd/lux}$ moet zijn. Voor afmetingen die op een fiets realiseerbaar zijn, leidde dit tot een minimale eis voor de retroreflectiecoëfficiënt van het materiaal van 55 cd/m^2 per lux.

De eisen voor tamelijk analoge toepassingsgebieden blijken nogal uiteen te lopen. Dit kan deels het gevolg zijn van de vrij snelle technische ontwikkelingen in het ontwerp van retroreflecterende middelen, maar ook van de onzekerheid omtrent de relevante omgevingsituaties. Daarbij is vooral van belang dat de invloed van verblinding door koplampen van tegenliggers moeilijk ingeschat kan worden.

Voor andere toepassingsgebieden zijn analoge overwegingen opgesteld, die voor een aanzienlijk deel afgeleid zijn van de hierboven aangegeven eisen voor de achterreflectoren van fietsen.

Het lijkt gerechtvaardigd om de hier genoemde eisen ook als een minimum te beschouwen voor het retroreflecterend vermogen voor andere toepassingen op vervoermiddelen. Dit stemt overeen met hetgeen men in de praktijk kan vinden: het zijn steeds (ongeveer) dezelfde materialen die men aantreft als achterreflectoren op fietsen en auto's, als gevarendriehoeken, als waarschuwingstekens op langzaam verkeer, als pedaalreflectoren voor fietsen, en als waarschuwingmiddelen voor voetgangers (zie ook Schreuder, 1985a).

De wettelijke eisen zijn afgeleid uit de resultaten van uit genoemde onderzoeken. Bij het opstellen van deze eisen is echter ook rekening gehouden met de mogelijkheden van de industrie ten tijde van het opstellen van de wettelijke eisen, en tevens met de op dat moment in de handel zijnde producten. Opgemerkt dient te worden dat het merendeel van de genoemde reflectoren rood is, met uitzondering van kentekenplaten, pedaalreflectoren en voetgangervoorzieningen. De kleuren en de toegelaten kleurgebieden liggen vast bij wettelijke maatregelen.

Bij de eisen die gesteld worden aan de zijreflectie van fietsen hebben naast eisen aan de opvallendheid vooral eisen wat betreft de herkenbaarheid een doorslaggevende rol gespeeld.

Voor de zijreflectie van fietsen geldt dat voor een invalshoek van 5° en een observatiehoek van $20'$ de lichtsterktecoëfficiënt (uitgedrukt in millicandela per lux) $16 D$ moet bedragen waarbij D de binnendiameter is van de wielcirkel ($D \geq 420$ mm) (Anon, 1971, CIII-w; Anon, 1986). Voor het fietsachterlicht geldt een lichtsterktecoëfficiënt van 15 mcd per lux (Anon, 1971, CIII-o) en voor de achterreflector van de fiets bij een observatiehoek van $20'$ en een invalshoek van 0° : 1000 mcd per lux (Anon, 1971, CIII-u). Voor de pedaalreflectoren voor fietsen geldt bij dezelfde geometrie 15 mcd per lux (Anon, 1971, CIII-w). Voor de achterreflectoren van motorvoertuigen geldt voor een invalshoek van 5° en een observatiehoek van $20'$ een minimum voor de retroreflectiecoëfficiënt van 122 en een maximum van 200 cd/m^2 per lux (in nieuwe toestand).

Aangezien de afmetingen niet zijn opgegeven of (binnen bepaalde grenzen) vrij gekozen kunnen worden, is het niet mogelijk deze eisen op nauwkeu-

rige wijze om te zetten in de retroreflectiecoëfficiënt. Globaal echter komen de wettelijke eisen overeen met de volgende waarden van de retroreflectiecoëfficiënt (R')

- zijreflectie fiets ($D = 42 \text{ cm}$): $R' = 102 \text{ cd/m}^2$ per lux
- achterlicht fiets ($A = 10 \text{ cm}^2$): $R' = 15 \text{ cd/m}^2$ per lux
- achterreflector fiets ($A = 225 \text{ cm}^2$): $R' = 44 \text{ cd/m}^2$ per lux
- pedaalreflectoren fiets ($A = 10 \text{ cm}^2$): $R' = 15 \text{ cd/m}^2$ per lux
- achterreflectoren motorvoertuigen: $R' = 122 \text{ cd/m}^2$ per lux

Uit de gegevens van Tabel I blijkt dat met hoekspiegels en lenzen, en met foliemateriaal Type II en ook met het nieuwe prismafoliemateriaal gemakkelijk aan de genoemde eisen kan worden voldaan. Ook met foliemateriaal Type I kan aan de meeste eisen worden voldaan.

De zijreflectie van fietsen is een bij uitstek Nederlandse zaak, ofschoon sommige andere landen voorschriften dienaangaande hebben. In Nederland heeft op grond van onderzoek en van nadere overwegingen de mening postgevat dat zijreflectie twee functies kan hebben: ten eerste het verhogen van de opvallendheid van de fiets, en ten tweede het verbeteren van de herkenbaarheid ervan. De overwegingen zijn in detail besproken in de literatuur. Zie hiervoor Anon (1987, 1988); Blokpoel (1987); Blokpoel & Varkevisser (1988); Blokpoel et al. (1982); Ebell et al. (1984); Ebell-Vonck et al. (1983); IWACC (1983, 1984); Schreuder (1985b); Stoovelaar (1987); Stoovelaar & Groot (1976). De overwegingen hebben geleid tot een aantal aanbevelingen. Het blijkt dat de aanbevolen waarden sterk afhangen van de rijsnelheid en van de daarmee samenhangende stopafstand. In Blokpoel et al. (1982) zijn berekeningen gegeven op basis waarvan voor kleine reflectoren (spaaReflectoren) een minimaal noodzakelijke waarde van de retroreflectiecoëfficiënt R' tussen $6,3$ en 235 cd/m^2 per lux (in afhankelijkheid van de afstand) is aanbevolen. Hierbij staat de opvallendheid voorop. Voor de wielcirkels is de herkenbaarheid vooropgesteld; voor de luminantie wordt daarbij in overeenstemming met de opgaven van Van Norren (1974) 100 cd/m^2 aanbevolen. Hieruit volgt voor verschillende snelheden een aanbevolen minimale waarde van de retroreflectiecoëfficiënt R' tussen 16 en 906 cd/m^2 per lux. De berekeningen zijn weergegeven in Bijlage III.

De lichttechnische vereisten die aan de zijreflectoren voor fietsen worden gesteld, zijn hierboven reeds beschreven (Anon, 1971, CIII-w). Wat

betreft de vorm zijn alleen "wielcirkels" die geheel of bijna geheel de omtrek van het wiel volgen, toegelaten (Anon, 1986). Dit laatste kan op een aantal wijzen worden bereikt, maar de meest geschikte methode lijkt te zijn het aanbrengen van een strook retroreflecterend materiaal op de fietsband zelf. Daarmee wordt een bijna perfecte wielcirkel verkregen, en voorts wordt bereikt dat de "retroreflector" regelmatig wordt vernieuwd - steeds wanneer de band wordt vervangen. Ondanks dat lijkt het erop dat de houdbaarheid van vele strips nog niet voldoende is. Er wordt aangedrongen op het opstellen en verplicht invoeren van keuringseisen dienaangaande (Blokpoel, 1987).

Bij retroreflecterende kentekenplaten op auto's speelt, naast een voldoende opvallendheid van de plaat, de overstraling een rol. Dit laatste is vooral van belang in die gevallen waarbij de kentekenplaat voor redenen van registratie of controle moet worden gefotografeerd. Als regel vindt men een minimumeis van 35 cd/m^2 per lux en een maximum van 55 cd/m^2 per lux (SWOV, 1969a). Het is vooral met Type I-materiaal dat aan deze eisen kan worden voldaan (zie Tabel 1). Overigens is wel betoogd dat de herkenbaarheid van auto's en meer speciaal de mogelijkheid om vervoermiddelen van verschillende categorieën te kunnen onderscheiden, niet perse met behulp van kentekenplaten behoeft te gebeuren: wanneer men andere retroreflecterende middelen daarvoor zou gebruiken, kan men de eis om de platen te kunnen fotograferen, los koppelen van de eisen betreffende de waarneembaarheid. Deze discussie is zeer recentelijk weer hervat, mede door de verlangens die van verschillende zijden zijn geuit om de kentekenplaat aan de voorzijde weg te laten of tenminste veel kleiner te maken en ook door de wens om binnen de Europese Gemeenschap tot een harmonisatie van kentekenplaten te komen. Deze zaak is nog ver van een oplossing verwijderd (zie ook Zwahlen, 1988).

4.2. Gebruik op en bij de weg

Retroreflecterende materialen worden op de weg zelf gebruikt (wegmarkeringen), bij de weg (verkeerstekens en bewegwijzering) of naast de weg (bermmarkering).

A. Wegmarkeringen

Voor het handhaven van de koers en van de (dwars)positie binnen de rijstrook spelen wegmarkeringen vaak een kritische rol. Auto's kunnen van de

weg raken maar ook botsen tegen andere auto's of obstakels wanneer wegmarkeringen niet (tijdig) waarneembaar zijn (Jackson, 1983). Wegmarkeringen dienen niet alleen detecteerbaar te zijn; ook de opvallendheid is van belang. De herkenbaarheid stelt echter mindere eisen omdat de vorm en de plaats van wegmarkeringen zeer sterk zijn gestandaardiseerd. Ze staan meestal niet "bovenaan" op de prioriteitenlijst: het is meestal niet fataal wanneer een enkele wegmarkeringsstreep wordt gemist (Schreuder, 1985, 1986; OECD, 1975).

Voor wegmarkeringen die vooral dienen om de koers te kunnen ontwaren en de dwarspositie binnen de rijstrook te kunnen handhaven, blijkt dat de previewtijd niet meer dan anderhalf à drie seconden behoeft te zijn (Riemersma, 1983; Schreuder, 1985). Bij het rijden op een autosnelweg correspondeert dit met een afstand van ca. 50 tot 100 m. Voor andere typen wegmarkeringen - waarbij andere manoeuvres nodig zijn - en voor andere wegtypen gelden andere previewwaarden. Dit is het geval bij de waarneming van wegmarkeringen die aangebracht zijn met een andere functie in het verkeer. Te denken valt aan stopstrepen, en aan de markering van bochten of van gebieden waar een inhaalverbod geldt. De previewafstand van dergelijke markeringen dient vaak honderd meter te zijn of meer; wanneer de previewafstand aanzienlijk meer moet zijn dan 200 m blijkt dat - door de perspectivische verkorting - de horizontale wegmarkeringen onvoldoende waarneembaar zijn, en moeten worden aangevuld met verticale elementen (bermplanken e.d.; zie hiervoor bijv. CIE, 1987, 1988; OECD, 1975). Wegmarkeringen zijn meestal geen "echte" retroreflectoren: glasparels worden in een witte diffuus reflecterende matrix ingebed.

De glasparels die voor wegmarkeringen worden gebruikt zijn meestal zeer klein: ten hoogste enige tienden van een mm. Groot ten opzichte van de golflengte van het licht, zodat de breking overgeheerst. Maar klein ten opzichte van de dikte van waterlagen die zich tijdens of kort na regen op de weg kunnen bevinden. Deze waterlagen nu verhinderen dat het strijkende licht dat van de autoschijnwerpers afkomstig is in het lichaam van de glasparels kan doordringen; het licht wordt aan de bovenkant van de waterlaag van de waarnemer af weggekaatst, zodat de retroreflecterende werking van de wegmarkering vrijwel geheel teniet wordt gedaan, met het gevolg dat de wegmarkering vrijwel onzichtbaar is (zie Afbeelding 2; zie ook Schreuder, 1980, 1986, 1988).

In beginsel is het zeer eenvoudig om dit ongewenste effect tegen te gaan: men moet zorgen dat het licht ondanks de aanwezigheid van de waterlaag in het lichaam van de glasparels kan binnendringen, zodat het op de gebruikelijke wijze wordt weerkaatst, waarmee de retroreflecterende werking van de wegmarkering gehandhaafd blijft. Dit kan worden bereikt door grote glasparels ("knikkers" van 5 à 8 mm diameter) te gebruiken, of door de wegmarkering met glasparels en al te kantelen. Voorbeelden zijn beschreven door Schreuder (1978, 1980). Uit de praktijk is gebleken dat het eerste niet al te zeer voldoet: de vrij grote knikkers worden gemakkelijk beschadigd of door het verkeer losgerukt. De tweede methode - het kantelen van de markering - is beter uitvoerbaar.

Opgemerkt wordt dat de retroreflecterende markeerknoppen (wegdekreflectoren) van hetzelfde beginsel gebruik maken. Ook zij vertonen een voorvlak dat bijna haaks staat op de richting van het invallende licht. De praktijk leert dat wegdekreflectoren ook in natte toestand zeer goed zichtbaar blijven. Vergelijkende metingen hebben uitgewezen dat wat waarneembaarheid betreft de wegdekreflectoren met hoekspiegels zelfs meestal de beste resultaten van alle wegmarkeringsmaterialen opleveren (CROW, 1987; Domhan & Serres, 1987; SCW, 1982; Neis, 1985; Schreuder, 1985; Tooke & Hurst, 1975).

B. Verkeerstekens en bewegwijzering

Functioneel bestaat er tussen verkeerstekens en wegwijzers het volgende onderscheid: de verkeerstekens betreffen meestal geboden en verboden, en hebben dus een rechtstreekse invloed op het rijgedrag. Wegwijzers daarentegen geven informatie over de route; ze hebben dus geen verbods- of gebiedskracht, en ze betreffen vooral de beslissingen op het niveau van de routekeuze en -handhaving.

Verkeerstekens kunnen in twee hoofdgroepen worden ingedeeld. Sommige borden (bijv. stopborden of voorrangsborden) hebben in eerste instantie een verkeersveiligheidsfunctie. Hiermee wordt bedoeld dat het negeren van de aanwijzingen die de borden bevatten rechtstreeks gevaar voor het verkeer oplevert: niet stoppen of geen voorrang verlenen betreft handelingen (of nalaten van handelingen) die rechtstreeks tot botsingen kunnen leiden. Andere borden echter (bijv. wachtverbodborden en waarschuwborden) hebben een andere functie in het verkeerssysteem: ze dienen er allereerst voor om het verkeer op een vlotte en ordelijke wijze te laten

verlopen. Het is tot nu toe niet gebruikelijk om een dergelijk onderscheid te maken. Zo'n onderscheid is echter van belang omdat te verwachten is dat - gezien het verschil in functionele vereisten - ook de geometrische en fotometrische eisen te stellen aan borden behorende tot deze twee groepen, verschillend zijn. Meer in het bijzonder is te verwachten dat de eisen te stellen aan het reflecterend vermogen voor verkeerstekens bij wegen binnen de bebouwde kom voor die twee groepen zullen blijken te verschillen.

Verkeerstekens bevatten vrijwel steeds gecodeerde informatie. Deze gecodeerde informatie is in symbolen neergelegd, hetzij pictogrammen of letters en/of cijfers. Wat betreft de waarneembaarheid zijn al deze symbolen goed vergelijkbaar; men spreekt in alle gevallen van leesbaarheid.

Een overzicht van de verschillende aspecten die bij de leesbaarheid aan de orde komen is gegeven door Van Norren (1974, 1981; CIE, 1987a); een theoretische beschouwing dienaangaande door Godthelp (1977) (zie ook Forbes, 1969) en Forbes & Holmes, 1939).

Het blijkt dat de leesbaarheid in hoofdzaak wordt bepaald door:

- de waarnemer (leeftijd van de waarnemer, de waarnemingsomstandigheden en de visuele omgeving; zie Sivak et al., 1979; Sivak & Olson, 1982);
- de luminantie van het bord;
- het contrast tussen symbool en achtergrond (luminantiecontrast, maar ook kleurcontrast);
- de kleur;
- vorm en afmeting van de symbolen.

De leesbaarheid van verkeerstekens wordt mede (meestal nadelig) beïnvloed door de structuur van de achtergrond (Jenkins & Cole, 1982). Gallagher & Lerner (1984) hebben een op de theorieën van patroonherkenning en "artificial intelligence" gebaseerde methode ontwikkeld waarmee het in beginsel mogelijk is de complexiteit van de visuele scene te kwantificeren. De methode moet echter nog wel verder worden uitgewerkt. Overigens is het te verwachten dat de leesbaarheid in veel mindere mate negatief wordt beïnvloed door een onrustige visuele achtergrond ("visual clutter"), dan door de opvallendheid van het verkeersteken zelf. De luminantie die een verkeersteken moet hebben voor optimale leesbaarheid (maximale leesafstand) is onderwerp geweest van veel onderzoek. Samenvattingen zijn gegeven door Van Norren (1981) en CIE (1987, 1987a). Meestal komt men uit op een lumi-

nantie van de achtergrond van enige cd/m^2 en een luminantie van de symbolen (letters of figuren) in de orde van 50-100 cd/m^2 . Zie verder bijvoorbeeld Allen, 1958; Cole, 1980; Cole & Jenkins, 1978; Dahlstedt & Svenson, 1977; Gordon, 1982; Olson & Bernstein, 1979; Hills, 1972.

Sivak & Olson (1983) geven aan dat voor witte of gele letters op een achtergrond met minder dan $0,4 \text{ cd/m}^2$ de optimale leesbaarheid werd bereikt bij 75 cd/m^2 . De 85-percentielwaarde lag bij $16,8 \text{ cd/m}^2$, de 75-percentielwaarde bij $7,2 \text{ cd/m}^2$ en de 50-percentielwaarde bij $2,4 \text{ cd/m}^2$. Ze vonden ook dat deze waarden blijven gelden voor het "omgekeerde" geval: zwarte letters op een witte of gele achtergrond, waar de genoemde luminanties op de achtergrond slaan. Youngblood & Woltman (1978) geven aan hoe de luminantie afhangt van het reflecterend vermogen van het teken. Ze geven de volgende vuistregel: voor 600 ft (183 m) afstand en één auto geldt: $L = 0,04 R' - 0,25$ waarin L de luminantie van het schild (cd/m^2) is en R' de retroreflectiecoëfficiënt (in cd/m^2 per lux). Volgens Olson et al. (1983) moet het contrast tussen symbool en achtergrond ca. 30 : 1 à 50 : 1 bedragen (zie ook Olson et al., 1979 en Schmidt-Clausen, 1984).

Een interessante vraag is of verkeerstekens en wegwijzers een eigen verlichting moeten hebben of de voorkeur moet worden gegeven aan een retroreflecterende uitvoering. Schreuder (1985a) heeft deze kwestie in detail besproken. Moderne studies leiden tot de conclusie dat retroreflecterende uitvoering veelal goedkoper is. Als voorbeeld dienen Emde et al. (1981). Daar is gevonden dat per jaar een transparant bord van 4 m^2 met een interne verlichting in totaal 995,90 DM kost, maar uitgerust met retroreflecterend materiaal Type I 378,50 DM en met Type II 285,-- DM. Hierbij is geen rekening gehouden met een eventueel verschil in waarneembaarheid. Volgens Jainski & Gerdes (1980) is dat ook niet nodig: eigen verlichting en reflectie zijn wat dat betreft gelijkwaardig. Tenslotte is er uiteraard nog de geringe gevoeligheid voor storingen van de retroreflecterende uitvoering (Giesa, 1981; Stein & Allen, 1984 en Anon, 1982).

De volgende vraag is aan welk type retroreflecterend materiaal de voorkeur moet worden gegeven. We vermeldden reeds de kostenvergelijking van Emde et al. (1981) die duidelijk in het voordeel van Type II uitviel. Een dergelijke voorkeur blijkt ook uit het onderzoek van Dahlstedt & Svenson (1977) die een optimale reflectie vinden van 40-100 cd/m^2 per lux, waarden die met Type I alleen in wit zijn te bereiken (zie Tabel 1). Dit vin-

den ook Huigen (1981), Krochmann & Terstiege (1980) en Schmidt-Clausen (1983), ofschoon de laatste wel opmerkt dat in vele gevallen (alle gevallen die bij zijn onderzoek waren betrokken) ook met Type I aan de te stellen eisen kon worden voldaan.

Een apart probleem vormen de verkeerstekens binnen de bebouwde kom. In Nederland gaat men er veelal van uit dat verkeerstekens binnen de bebouwde kom niet retroreflecterend behoeven te worden uitgevoerd. Ze kunnen dus gemoffeld zijn. Deze mening is gebaseerd op de aanname dat binnen de bebouwde kom steeds openbare verlichting van voldoende kwaliteit aanwezig is, en dat vele auto's niet dimlicht maar stadslicht gebruiken. Beide aannamen berusten op reeds zeer lang achterhaalde zaken: de openbare verlichting wordt binnen de bebouwde kom overal sterk verminderd en plaatselijk zelfs gedoofd met het oogmerk de bedrijfskosten te drukken, en sinds 1974 zijn alle bestuurders van motorvoertuigen verplicht bij duisternis dimlicht te voeren; binnen de bebouwde kom is stadslicht niet meer toegestaan. Dit betekent dat het urgent nodig is te onderzoeken of verkeerstekens binnen de bebouwde kom in gemoffelde (dus niet-retroreflecterende) uitvoering gehandhaafd kunnen blijven, of dat retroreflecterende uitvoering vereist is. Daarbij moet dan tevens worden onderzocht welke reflectieverdeling optimaal is voor het gebruik binnen de bebouwde kom, waar immers de waarnemingsafstanden vaak vrij gering zijn en de hoek tussen oog en lamp (gezien vanuit de reflector) dienovereenkomstig groot. Wellicht komt de zogenaamde "long tail"-verdeling in aanmerking (Moerman, 1978, 1982). Een nieuw materiaal met een verdeling die daarop lijkt is recentelijk op de markt gebracht (zie Erikson & Woltman, 1988).

C. Bermmarkering

In het OECD-rapport (OECD, 1975) is een overzicht opgenomen van bermmarkeringen (post delineators). Voor hoofdwegen zijn ze voorzien van retroreflectoren. Er zijn codes vastgelegd waarmee de rechter- en linkerzijde van de weg kunnen worden onderscheiden. De code verschilt nogal van land tot land (Anon, 1984). In sommige landen wordt een kleurcode gebruikt, in andere een vormcode. Uit verscheidene studies is gebleken dat bermmarkeringen een nuttige bijdrage kunnen leveren tot de verkeersveiligheid (Brenning, 1973; Godthelp, 1979; Niessner, 1983; zie OECD, 1975, 1980).

Een variant van de bermmarkering is de markering van verkeersgeleiders en vluchtheuvels. In het verleden werden deze veelal gemarkeerd door ver-

keerszuilen met binnenverlichting. Uit kostenoverwegingen werden deze vervangen door retroreflecterende pijlen op blauwe achtergrond. Om de localiseerbaarheid bij nacht te verhogen worden deze op gele retroreflecterende zuilen geplaatst (Janssen et al., 1984; Anon, 1984a). De nachtzichtbaarheid is daarmee gewaarborgd; de dagzichtbaarheid is echter niet steeds geheel bevredigend. Ook blijkt de localiseerbaarheid soms te wensen over te laten, terwijl de vervuiling een probleem blijft.

In Nederland is een uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar de bebakening zoals die nodig is bij werk in uitvoering. Een overzicht daarvan is gegeven door Van Norren (1981) en Brevoord (1984) (zie ook Alferdinck, 1984 en Godthelp & Riemersma, 1978, 1980). De belangrijkste conclusie is dat de markeringen, vooral bij de rijbaanverleggingen zoals ze bij werk in uitvoering vaak voorkomen, aanzienlijk onder of juist boven ooghoogte moeten worden aangebracht, zodat het wegverloop duidelijk te zien is. In de praktijk worden reflectoren en flitslampen echter juist op ongeveer de ooghoogte van bestuurders van personenauto's aangebracht. Dit levert een ongewenste situatie op. Davis (1981) wijst op het nut van wegdekreflectoren en plakstroken op de weg - onder ooghoogte dus!

D. Conclusies

Uit het voorgaande kan het volgende worden geconcludeerd.

- De zichtbaarheid bij nacht van wegmarkeringen onder natte omstandigheden kan als een opgelost probleem worden beschouwd. Zowel met retroreflecterende markeerknoppen als met geprofileerde wegmarkeringen kan de zichtbaarheid ook bij nacht op natte wegen worden gewaarborgd.
- De functie en de uitvoeringsvormen van wegmarkeringen op wegen binnen de bebouwde kom dient te worden onderzocht. Daarbij dient aandacht te worden besteed aan de mogelijke toepassing van (permanente) plakstroken.
- Bij werk in uitvoering dient de markering onder of juist boven ooghoogte te worden aangebracht.
- De leesbaarheid van verkeerstekens wordt door een aantal factoren bepaald, waarbij vooral luminantie en contrast van belang zijn.
- De luminantie moet optimaal ca. 40-100 cd/m² bedragen.
- Het contrast tussen symbolen en achtergrond moet optimaal ca. 30 : 1 à 50 : 1 zijn.
- Wegwijzers aan portalen kunnen beter retroreflecterend dan met eigen verlichting worden uitgevoerd.
- In dat geval verdient toepassing van retroreflecterend materiaal van Type II de voorkeur.

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Uit het voorgaande kan worden geconcludeerd dat retroreflecterende materialen van belang zijn voor de waarneembaarheid van objecten in het (gemotoriseerde) wegverkeer, en daarmee een bijdrage kunnen leveren tot de verkeersveiligheid. Voorts blijkt dat er een grote verscheidenheid van retroreflecterende materialen beschikbaar is waaruit voor de meeste toepassingen een redelijke keuze kan worden gemaakt. Maar ook blijkt dat er nog aanzienlijke lacunes in de kennis bestaan. Hierdoor, en bovendien door de technische ontwikkelingen in het ontwerp en de vervaardiging van retroreflecterende materialen, komt het voor dat voor zeer analoge toepassingen sterk verschillende eisen worden geformuleerd. Tenslotte zijn veel van de (wettelijke) eisen zeer veel lager dan hetgeen met de gangbare moderne materialen bereikt kan worden. Op grond van deze conclusies kan het volgende worden aanbevolen:

1. Het opstellen van functionele vereisten voor de retroreflecterende materialen voor verschillende toepassingsgebieden. Naast de verkeersveiligheid die daarbij centraal dient te staan kan aan andere aspecten van het verkeer aandacht worden besteed. Zoals bijvoorbeeld aan de houdbaarheid van retroreflecterende materialen of aan het gemak van waarnemen. Voorrang dient te worden verleend aan de kentekenplaten van auto's, aan bewegwijzering, aan verkeerstekens binnen bebouwde kommen, en aan reflectoren voor fietsen.
2. Het rubriceren van retroreflecterende materialen om na te gaan of voor al deze toepassingen geschikte materialen bestaan.
3. Het ontwikkelen van materialen voor toepassingsgebieden waarvoor momenteel geen geschikte materialen bestaan. Naast de lichttechnische kenmerken dienen de houdbaarheid en de bevestiging in de beschouwingen te worden betrokken. Speciaal valt te denken aan verkeerstekens binnen de bebouwde kom en aan reflectoren voor fietsen.
4. Het opzetten van (internationaal geaccepteerde) normen voor de lichttechnische kenmerken van retroreflectoren en retroreflecterende materialen. Hierbij kan uitgegaan worden van de reeds bestaande (nationale en internationale) standaards, bijvoorbeeld die van NNI en van ISO, en van de (nationale en internationale) richtlijnen, zoals die van de EG en de ECE (Weense conventie enz.). Bij het voorbereiden en het opstellen van de bedoelde normen kunnen de nationale en de internationale lichttechnische organisaties (NSvV en CIE) een belangrijke rol spelen.

LITERATUUR

- Alferdinck, J.W.A.M. (1984). Achteruitgang van de retroreflecterende eigenschappen van borden en pilonen bij gebruik voor werk in uitvoering. Rapport IZF 1984 C-2. IZF-TNO, Soesterberg, 1984.
- Allen, T.N. (1958). Night legibility distance of highway signs. Highway Research Board Bulletin 191 (1958) 33-40. (Cit.: Dahlstedt & Svenson, 1977).
- Anon (1971). Wegenverkeerswet. Uitgave Vermande vanaf 1971 (losbladig; verschillende jaren).
- Anon (1978). "Scotchlite" Brand Reflective Tire Sheeting 8150 p. 351. Safety Systems Product Bulletin.
- Anon (1982). Traffic signs manual; Chapter I: Introduction. Second edition. HMSO, London, 1982.
- Anon (1984). Meer zekerheid in het donker; Licht, verkeerstekens en retroreflectie. 3M Nederland, Leiden, 1984 (jaartal geschat).
- Anon (1984a). Alternatieven voor de verkeerszuil. Mededeling 28. SVT, Driebergen, 1984.
- Anon (1985). Symposium "Rijden bij nacht en ontij". 18 april 1985. IZF-TNO, Soesterberg, 1985.
- Anon (1986). Vaststelling keuringseisen en goedkeuringsmerk voor reflecterende voorzieningen aan zijkanten van fietsen. Staatscourant (1986) 252 (31 december) : 10, 11.
- Anon (1987). Acceptatie zijreflectie door publiek is goed. 3M Reflex (1987) 6 (aug.) : 2-3.
- Anon (1988). Zijreflectie aanwezig bij 70% van de fietsen. SWOV schrift 34 (1988) : 1-2.
- Blokpoel, A. (1987). Zijreflectie bij fietsen. R-87-24. SWOV, Leidschendam, 1987.
- Blokpoel, A.; Schreuder, D.A. & Wegman, F.C.M. (1982). De waarneembaarheid bij duisternis van de zijkant van fietsen. R-82-36. SWOV, Leidschendam, 1982.
- Blokpoel, A.; (1988). Zijreflectie bij fietsen in 1986 en 1987. R-88-14. SWOV, Leidschendam, 1988.
- Brenning, E.D. (1973). Evaluation of reflectorized traffic sign materials under controlled rainfall conditions. Research Rep. 7. Univ. of Illinois, 1973. (Cit.: Hutchinson & Pullen, 1978).
- Brevoord, G.A. (1984). Preadvies. Het Nederlandse Wegencongres, Den Haag, 1984.

- Bryant, J.F.M. (1981). Cyclist visibility. State Bicycle Committee, Melbourne, 1981.
- CIE (1982). Retroreflection; definition and measurement. Publication No. 54. CIE, Paris, 1982.
- CIE (1983). International symposium: Visual aspects of road markings, Paris, 2-3 May, 1983. CIE, Paris, 1983.
- CIE (1983a). Recommendations for surface colours for visual signalling. Publication No. 39/2. CIE, Paris, 1983.
- CIE (1987). Guide to the properties and uses of retroreflectors at night. Publication CIE No. 72. CIE, Vienna, 1987.
- CIE (1987a). Roadsigns. Draft Technical Report. CIE, Paris, 1987.
- CIE (1988). Visual aspects of road markings. Joint technical report CIE/PIARC. Publication CIE No. 73. CIE, Vienna, 1988.
- Cole, B.L. (1980). Conspicuity of road traffic signs. In: Bryant (1980).
- Cole, B.L. & Jenkins, S.E. (1978). Visual conspicuity of road traffic devices. Internal Report AIR 218-1. Australian Road Research Board, 1978. (Cit.: Jenkins & Cole, 1982).
- CROW (1987). Zicht op wegmarkeringen. Publicatie 2. Stichting CROW, Ede, 1987.
- Dahlstedt, S. & Svenson, O. (1977). Detection and reading distances of retroreflective road signs during night driving. Applied Ergonomics 8 (1977) (March) : 7-14.
- Davis, T.D. (1982). Construction zone safety and delineation study. FHWA/NJ-83/005. New Jersey Department of Transportation, Trenton, N.J., 1982.
- De Boer, J.B. (1973). Quality criteria for the passing beam of motorcar headlights. Report to CIE/TC 4.7. Meeting 25-27 Sept. 1973. CIE, Walldorf, 1973.
- De Boer, J.B. (ed.) (1967). Public lighting. Centrex, Eindhoven, 1967.
- Domhan, M. & Serres, A.M. (1987). Des marquages visibles la nuit par temps de pluie. Revue Générale des Routes et des Aérodrômes 61 (1987) 644 (Sept.) 61-78.
- Douglas, C.A. & Booker, R.L. (1977). Visual range: concepts, instrumental determination, and aviation application. NBS Monograph 159. National Bureau of Standards, Washington D.C., 1977.
- Dutruit, M. (1976). Retro-reflective sheeting, an effective help to road traffic in darkness.
- Ebell-Vonk, E.M. et al. (1983). Inventarisatie: Visuele waarneembaarheid van tweewielers. IWACC 1983-I. IWACC, Oudendijk, 1983.

- Ebell, R.J.E.V.; Groot, R.E.; Schreuder, D.A. & Theewis, S.R. (1984). Probleemanalyse visuele waarneembaarheid van kruisende fietsers en bromfietsers bij duisternis in relatie tot een RVLV-maatregel. IWACC 1984-1. IWACC, Oudendijk, 1984.
- Emde, W.; Everts, K. & Kunze, W. (1981). Wirtschaftliche Aspekte bei den Wahl zwischen innenbeleuchteten und reflektierenden Verkehrsschildern. Strassen- und Tiefbau (1981) 12.
- Erickson, R.L. & Woltman, H.L. (1988). Sign luminance as a methodology for matching driver needs, roadway variables and traffic signing materials. In: SWOV (1988).
- Forbes, T.W. (1969). Factors in highway sign visibility. Traffic Engineering (1969) (September). (Cit.: Woltman, 1979).
- Forbes, T.W. & Holmes, R.S. (1939). Legibility distances of highway destination signs in relation to letter height, letter width, and reflectorization. Proc. Highway Research Board 19 (1939) (Cit.: Havens & Peed, 1951).
- Gallagher, V.P. & Lerner, N.D. (1984). Measuring the visual complexity of nighttime roadways. In: TRB (1984).
- Giesa, S. (1980). Hinweise für das Anbringen von Verkehrszeichen und Verkehrseinrichtungen. 6. Auflage. Kirschbaum Verlag, Bonn-Bad Godesberg, 1980.
- Godthelp, J. (1977). De waarneembaarheid van verkeersborden bij nacht; Een theoretische beschouwing. Rapport IZF 1977-C4. IZF-TNO, Soesterberg, 1977.
- Godthelp, J. (1979). The perceptibility of traffic control signs at night; a field study on the effect of a new type of retroreflective material. Report IZF 1979-C1. IZF-TNO, Soesterberg, 1979.
- Godthelp, J. & Riemersma, J.P.J. (1978). Werk in uitvoering op niet-autosnelwegen I : Het effect van verlichting bij nadering van het werk. Rapport IZF 1978-C24. IZF-TNO, Soesterberg, 1978.
- Godthelp, J. & Riemersma, J.B.J. (1980). Werk in uitvoering op niet-autosnelwegen; deel II. Rapport IZF 1980-C 20. IZF-TNO, Soesterberg, 1980.
- Godthelp, J. & Riemersma, J.B.J. (1982). Perception of delineation devices in road work zones during nighttime. SAE paper 820413. SAE, Detroit, 1982.
- Gordon, D.A. (1982). Legibility of highway guide signs. Transp. Res. Rec. 855 : 1-6. Trans. Research Board, Washington, D.C., 1982.
- Harris, S. (1985). Een verschil van dag en nacht: De analyse van de ongevallencijfers. In: Anon (1985).

- Havens, J.H. & Peed, A.C. (1951). Field and laboratory evaluation of roadside sign surfacing materials. In: H.R.B. Bulletin No. 43, p. 32-44. Highway Research Board, Washington, D.C., 1951.
- Hills, B.L. (1972). Measurements of the night-time visibility of signs and delineators on an Australian rural road. Journ. ARRB 4 (1972) 38-57. (Cit.: Dahlstedt & Svenson, 1977).
- Huigen, A. (1981). Opvallendheid van militaire richtingborden bij nacht. Rapport no. 19. IZF-TNO, Soesterberg, 1981.
- Hutchinson, J.W. & Pullen, T.A. (1978). Performance of signs under dew and post condition (abridgement). Transp. Res. Rec. 681, pp. 16-20. Transp. Research Board, Washington, D.C., 1978.
- IES (1972). Lighting handbook (5th ed.). IES, New York, 1972. (Cit.: Douglas & Booker, 1977).
- IWACC (1983). Mengverkeer, visuele waarneming en beleid. IWACC 1983-V. Bijlage bij Ebell-Vonk et al. (1983). IWACC, Oudendijk, 1983.
- IWACC (1984). Middelen voor het visueel waarnemen van bij duisternis van rechts kruisende fietsers en bromfietzers. Cummulatief verslag, deel I. IWACC 1984-III. IWACC, Oudendijk, 1984.
- Jackson, J. (1983). Reflectorized road markings: their contribution to traffic safety. In: CIE (1983).
- Jałnski, P. & Gerdes, H.R. (1980). Über die Beleuchtung der Verkehrszeichen. Strassenverkehrstechnik 24 (1980) 191-197.
- Janssen, W.H.; Blaauw, G.J. & Buist, M. (1984). Onderzoek van alternatieven voor de verkeerszuil. Rapport IZF 1984-C8. IZF-TNO, Soesterberg, 1984.
- Jenkins, S.E. & Cole, B.L. (1982). The effect of the density of background elements on the conspicuity of objects. Vision Research 22 (1982) 1241-1252.
- Krochmann, J. & Terstiege, H. (1980). Retroreflektierende Verkehrszeichen. 3M Reflexe (1980) 1: 7-10.
- Lazet, A.; Leebeek, H.J. & Van Meeteren, A. (1967). Zichtbaarheid van gevarendriehoeken. Rapport IZF 1967-C6. IZF-TNO, Soesterberg, 1967.
- Moerman, J.J.B. (1978). Philosophies about the signalling effect of corner-cube retroreflectors. (Niet gepubliceerd rapport). 1978 (jaartal geschat).
- Moerman, J.J.B. (1982). Design and application of red cornercube retroreflectors. Elektrotechniek 80 (1982) 182-187.
- Morren, L. (1980). Peculiarities of the photometry of retroreflective road markings. CIE Bulletin (1980) 38 : 28-30.

- Neis, H. (1985). Zur Problematik der Erfassung und Beurteilung von profilierten Fahrbahnmarkierungen in trockenem und nassem Zustand. Dissertation D17. Technische Hochschule, Darmstadt, 1985.
- NEVAM (1988). Geen sluitpost maar noodzaak! Symposium 28 maart 1988. NEVAM/VVVF, Utrecht, 1988.
- Niessner, C.W. (1982). Epoxy thermoplastic marking material. FHWA-IP-82-14. Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1982.
- OECD (1975). Road marking and delineation. OECD, Paris, 1975.
- OECD (1976). Adverse weather, reduced visibility and road safety. OECD, Paris, 1976.
- OECD (1980). Road safety at night. OECD, Paris, 1980.
- Olson, P.L. & Bernstein, A. (1979). The nighttime legibility of highway signs as a function of their luminance characteristics. *Human Factors* 21 (1979) 145-161.
- Olson, P.L.; Sivak, M. & Egan, J. (1979). Variables affecting the nighttime legibility of traffic signs. ARRB, 1979.
- Olson, P.L.; Sivak, M. & Egan, J. (1983). Laboratory study of variables affecting the nighttime legibility of highway signs. University of Michigan, 1983.
- Padmos, P. (1984). Visually critical elements in night driving in relation to public lighting. In: TRB (1984).
- Riemersma, J.B.J. (1983). Visual processes in vehicle guidance. In: CIE (1983).
- Schmidt-Clausen, H.J. (1983). Leuchtdichten von Verkehrszeichen und Schilderbrücken bei Beleuchtung durch Kraftfahrzeug-Scheinwerfer. *Strassenverkehrstechnik* 27 (1983) 117-123.
- Schmidt-Clausen, H.J. (1984). Luminance of traffic signs at night. In: TRB (1984).
- Schreuder, D.A. (1967). Theoretical basis of road lighting design. Chapter III. In: De Boer, J.B. (ed.) (1967).
- Schreuder, D.A. (1975). Wit of geel licht voor autokoplantaarns? Argumenten bij de discussie omtrent de lichtkleur van autokoplantaarns. Publikatie 1975-3N. SWOV, 1975.
- Schreuder, D.A. (1976). Vehicle lighting within built-up areas. R-76-43. SWOV, 1976.
- Schreuder, D.A. (1978). Zichtbaarheid van wegmarkeringen op natte wegen. SCW, Arnhem, 1978.
- Schreuder, D.A. (1980). Geprofileerde wegmarkeringen. R-80-51. SWOV, 1980.

- Schreuder, D.A. (1985). Visuele en verlichtingskundige aspecten van de verkeersveiligheid; Een conceptuele studie. R-85-61. SWOV, Leidschendam, 1985.
- Schreuder, D.A. (1985a). Toepassing en gebruiksmogelijkheden van retro-reflecterende materialen in het wegverkeer. R-85-62. SWOV, Leidschendam, 1985.
- Schreuder, D.A. (1985b). Kwaliteitsverbetering aan de verlichting van fietsen. R-85-6. SWOV, Leidschendam, 1985.
- Schreuder, D.A. (1985c). De zichtbaarheid van wegmarkeringen op natte wegen; Een aanvullende literatuurstudie. R-85-23. SWOV, Leidschendam, 1985.
- Schreuder, D.A. (1986). The function of road markings in relation to drivers' visual needs. R-86-29. SWOV, Leidschendam, 1986.
- Schreuder, D.A. (1988). Wegmarkering en verkeersveiligheid. In: NEVAM (1988).
- Schreuder, D.A. & Lindeijer, J.E. (1987). Verlichting en markering van motorvoertuigen. R-87-7. SWOV, Leidschendam, 1987.
- SCW (1982). Zichtbaarheid 's nachts van wegmarkeringen op droge en natte wegen. SCW, Arnhem, 1982.
- Sivak, M. & Olson, P.L. (1982). Nighttime legibility of traffic signs: Conditions eliminating the effects of driver age and disability glare. Acc. Anal. & Prev. 14 (1982) 87-94.
- Sivak, M. & Olson, P.L. (1983). Optimal and replacement luminances of traffic signs: A review of applied legibility research. UMTRI-83-43. UMTRI, Ann Arbor, Michigan, 1983. (Cit.: Nelson & Woltman, 1984).
- Sivak, M.; Olson, P.L. & Pastalan, L.A. (1979). Effect of drivers' age on nighttime legibility of highway signs. UM-HSRI-79-52. University of Michigan, 1979.
- Stein, A.C. & Allen, R.W. (1984). Visibility requirements for overhead guide signs. In: TRB (1984).
- Stoovelaar, F. (1987). Keuringseisen snel herzien. 3M Reflex (1987) 6 (aug.) : 14-16.
- Stoovelaar, F. & Groot, R.E. (1976). Een zichtbare fiets. Verkeerskunde 27 (1976) 115-119; 169-174.
- SWOV (1969). Gevarendriehoeken; Functie, vormgeving en toepassing. Rapport 1969-8. SWOV, 1969.
- SWOV (1969a). Retroreflecterende kentekenplaten en alternatieve middelen. Rapport 1969-5. SWOV, 1969.
- SWOV (1973). Fietsen bij schemer/duisternis. Publikatie 1973-3N. SWOV, 1973.

- SWOV (1988). International Symposium on Traffic safety theory and research methods. Amsterdam, April 26-28, 1988. SWOV, 1988.
- Tooke, W.R. & Hurst, D.R. (1975). Wet night visibility study. GDOT Res. Proj. No. 6701. Dept. of Transportation, Georgia, 1975.
- Tousey, R. & Koomen, M.J. (1953). Visibility of stars and planets during twilight. J. Opt. Soc. Amer. 43 (1953) 177. (Cit.: Douglas & Booker, 1977).
- TRB (1984). Providing visibility and visual guidance to the road user. Symposium, July 30 - August 1, 1984. Transportation Research Board, Washington, D.C., 1984.
- Van Norren, D. (1974). Leesbaarheid van bewegwijzering langs autosnelwegen; Een literatuur-evaluatie. Rapport 1974-C15. IZF-TNO, Soesterberg, 1974.
- Van Norren, D. (1981). Informatiedragers langs de weg: Een overzicht van zichtbaarheidsproblemen. Rapport IZF 1981 C-25. IZF-TNO, Soesterberg, 1981.
- Youngblood, W.P. & Woltman, H.L. (1978). Relation between sign luminance and specific intensity of reflective materials. Transp. Res. Rec. 681, pp. 20-24. Transportation Research Board, Washington, D.C., 1978.
- Woltman, H.L. (1979). Improving conspicuity at night. 3M Company, 1979.
- Zwahlen, H.T. (1988). Research methodology to asses the importance of peripheral visual detection at night. In: SWOV (1988).

BIJLAGEN 1 T/M III

Bijlage I. Gegevens over retroreflecterende materialen.

Bijlage II. Noodzakelijke lichtsterkte van signaallichten.

Bijlage III. Reflecterend vermogen van spaakrelectoren en reflecterende fietsbanden.

BIJLAGE I

GEGEVENS OVER RETROREFLECTERENDE MATERIALEN

1. Fotometrische begrippen

Licht is elektromagnetische straling. Niet iedere straling levert evenveel licht op, maar wordt gewogen volgens de ooggevoeligheidskromme. Dit is de relatie tussen de (relatieve) gevoeligheid van het oog en de golflengte van het licht.

De hoeveelheid licht (de lichtstroom) is de elektromagnetische straling gewogen door het oog.

De lichtstroom wordt uitgedrukt in lumen (lm).

Lichtbronnen stralen niet naar alle richtingen even sterk. Om dit aan te geven is de lichtsterkte I ingevoerd. Dit is de lichtstroom per ruimtehoek. De lichtsterkte wordt uitgedrukt in kaars of candela (cd).

De lichtsterkte is alleen te definiëren voor een puntvormige lichtbron. Wanneer de lichtbron niet puntvormig is, kan men de helderheid of de luminantie ervan aangeven. De luminantie wordt uitgedrukt in cd/m^2 .

Wanneer licht op een oppervlak valt, wordt dit vlak verlicht. Deze verlichting wordt gekwantificeerd door de verlichtingssterkte E in te voeren. De verlichtingssterkte, uit te drukken in lux, is dus eigenlijk lichtstroomdichtheid. De dimensie is lm/m^2 .

Het oppervlak op dergelijke wijze verlicht zal het licht in de regel deels absorberen, deels reflecteren en deels doorlaten.

In het verkeer is vooral het gereflecteerde licht van belang. Het licht kan ten dele weer in het oog van een waarnemer terecht komen zodat het betreffende oppervlak eigenlijk als een lichtbron gaat fungeren. Ook dan kan men spreken van luminantie van het oppervlak.

Dus:

lichtstroom	Φ	lumen	lm
lichtsterkte	I	candela	cd
luminantie	L		cd/m^2
verlichtingssterkte E		lux	lm/m^2

2. Retroreflectie

Onder retroreflectie wordt verstaan die wijze van lichtweerkaatsing waarbij de richting van het teruggekaatste licht in tegengestelde richting (vrijwel) samenvalt met de invalrichting van het licht, onafhankelijk van de positie van de retroreflector ten opzichte van de invallende en teruggekaatste lichtstralen.

Bij de meting van retroreflectie wordt een speciale meetgeometrie gebruikt (zie Afbeelding I.1). Bij deze geometrie zijn twee hoeken van belang:

- de invalshoek (α); dit is de hoek tussen de invallende lichtstraal en de normaal op het oppervlak van de retroreflector;
- de observatiehoek (β); dit is de hoek tussen de invallende lichtstraal en de meetrichting.

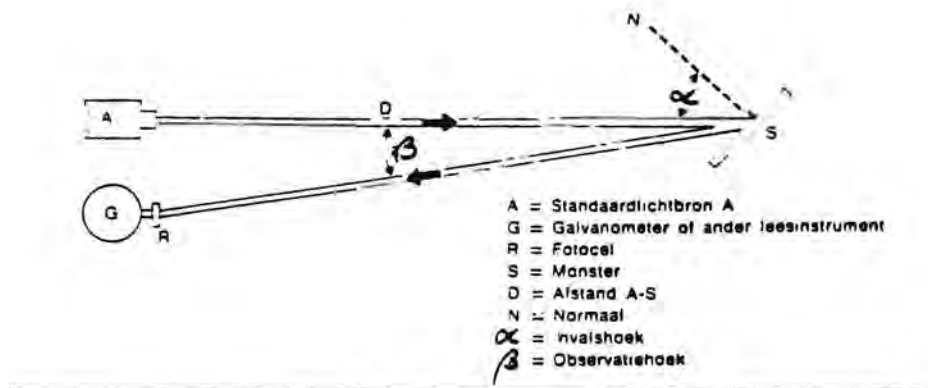
Het reflecterende vermogen van retroreflectoren wordt uitgedrukt in:

- de lichtsterktecoëfficiënt (R , uitgedrukt in cd per lux). Dit is de lichtsterkte per eenheid van verlichtingssterkte van het loodrecht invallende licht. Deze grootte is vooral van belang voor het karakteriseren van complete retroreflectoren.
- de retroreflectiecoëfficiënt (R' , uitgedrukt in cd/m^2 per lux) $R' = R/A$ waarbij A het oppervlak is van de beschouwde retroreflector. Deze grootte is vooral van belang voor het karakteriseren van retroreflecterende materialen.

3. Kenmerken van retroreflecterende materialen

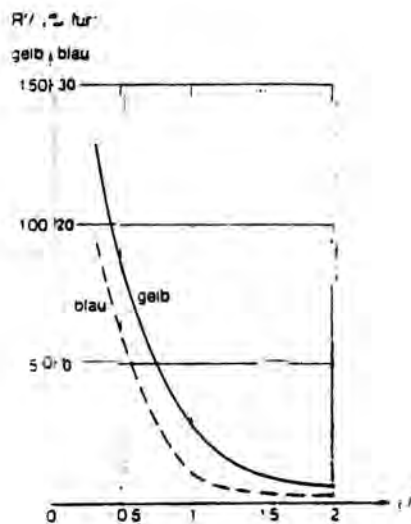
Het reflecterend vermogen van retroreflecterende materialen hangt sterk af van de observatiehoek β . Een paar voorbeelden zijn gegeven in Afbeelding I.2 en I.3. Ook hangt het reflecterend vermogen af van de invalshoek α .

Gezien de kenmerken van retroreflecterende materialen is te verwachten dat deze afhankelijkheid niet al te groot is. Enige voorbeelden zijn gegeven in Afbeelding I.4. Uit Afbeelding I.5 blijkt dat er een interactie bestaat tussen α en β .

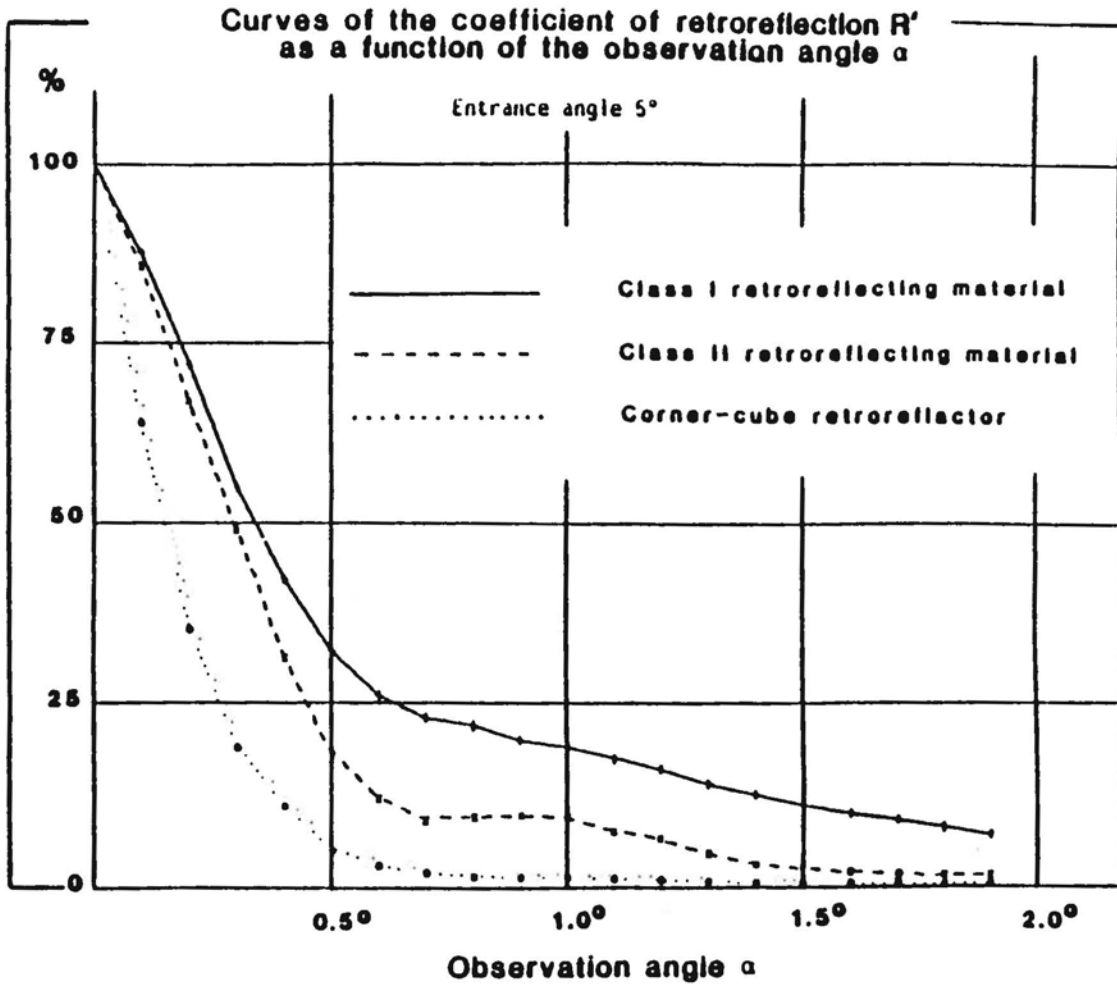


Afbeelding I.1. (naar Anon, 1984).

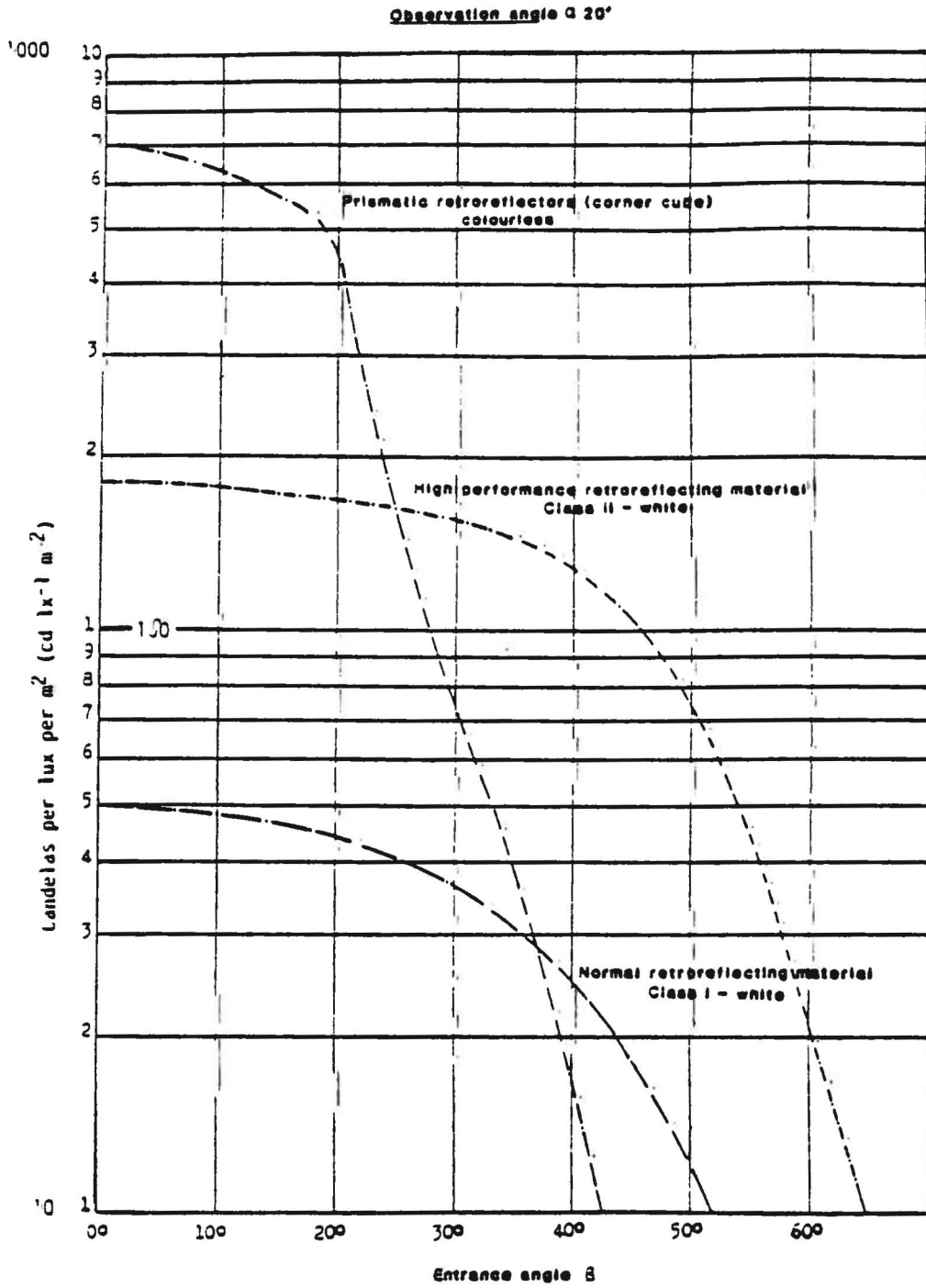
Specifieke Rückstrahlwert R' bei $i = 5^\circ$
als Funktion des Beobachtungswinkels
 α für einen gelben und blauen Reflexstoff
Typ 2



Afbeelding I.2. (Bron: Krochmann & Terstiege, 1980).



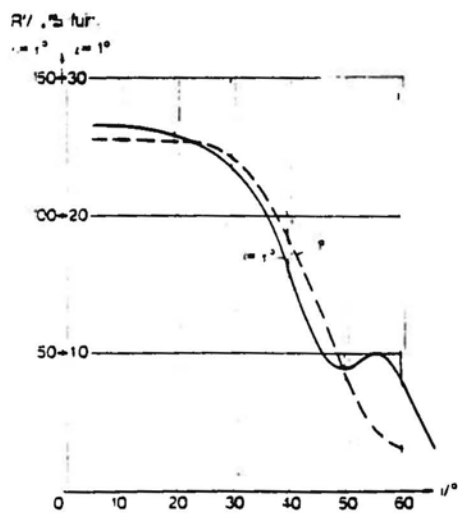
NOTE: 100 % is normalized to the maximum of individual reflection



**Coefficient of retroreflection R' of retroreflectors
as a function of the entrance angle**

Afbeelding I.4. (Bron: CIE, 1987).

Spezifischer Rückstrahlwert R' als Funktion des Anleuchtungswinkels i für einen gelben Reflexstoff Typ 2



Afbeelding I.5. (Bron: Krochmann & Terstiege, 1980).

BIJLAGE II

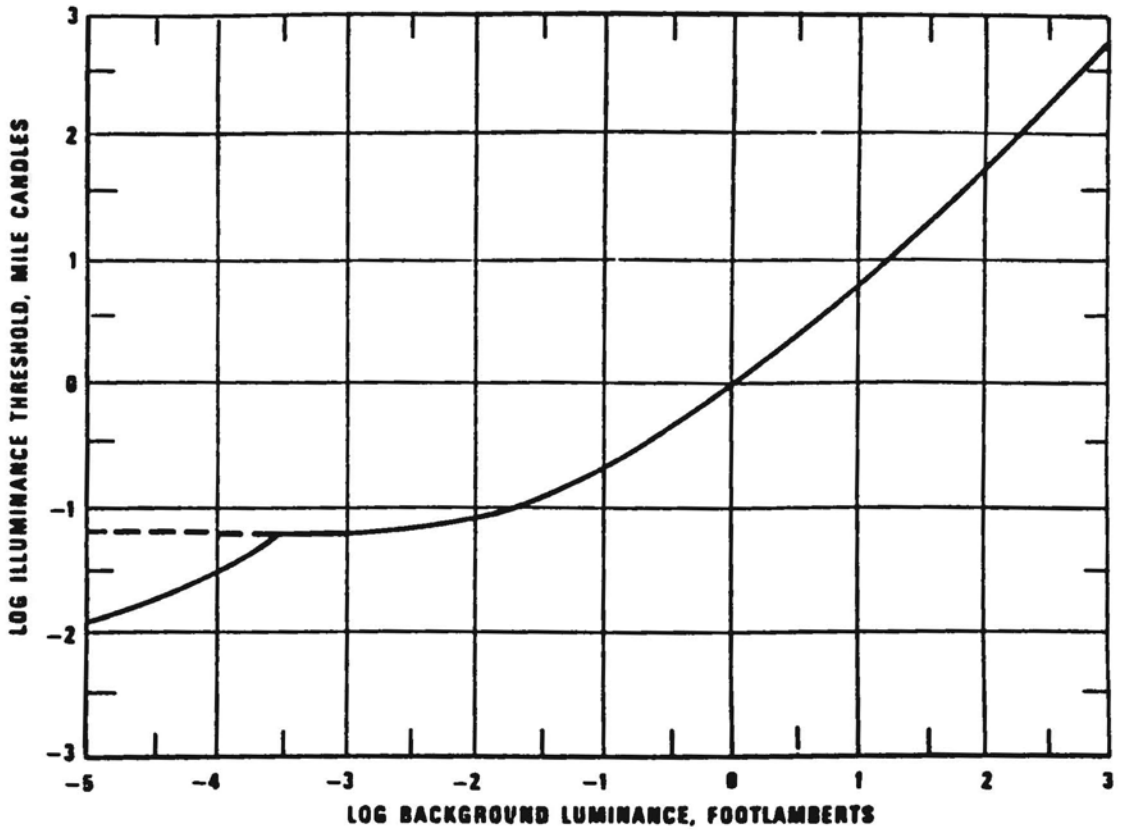
NOODZAKELIJKE LICHTSTERKTE VOOR SIGNAALLICHTEN

De noodzakelijke waarden van de lichtsterkte van signaallichten kan worden bepaald aan de hand van de gegevens gepresenteerd door Douglas & Booker (1977). De basis is weergegeven in Afbeelding II.1. Deze geeft de relatie tussen de verlichtingssterkte op het oog voor een wit licht en de achtergrondluminantie. De curve geldt voor 98% waarschijnlijkheid van waarneming onder de voorwaarde dat de waarnemer precies weet waar het licht zich bevindt. Dubbele lichtsterkte maakt het waarnemen slechts nauwelijks gemakkelijker. Wanneer geëist wordt dat het licht gemakkelijk gevonden kan worden, dan moet de waarde met een factor 5 à 10 verhoogd worden (Tousey & Koomen, 1953). Een zeer veel grotere toename is nodig "if the light signal is to attract the attention of an observer who is not searching for it. Factors of 100 and 1000 are not excessive" (IES, 1972). Dit laatste is bij waarneming van signaallichten en retroreflectoren in het verkeer waarschijnlijk wel het geval.

Na omrekenen tot meer gebruikelijke eenheden is uit Afbeelding II.2 af te leiden dat de drempelwaarde voor $L = 0,2 \text{ cd/m}^2$, ongeveer $0,4 \cdot 10^{-7} \text{ lux}$ op het vlak van het oog bedraagt. Voor verschillende afstanden komt dit overeen met de lichtsterkte volgens onderstaande tabel. In deze tabel zijn de lichtsterkten uitgedrukt in milli-candela (mcd).

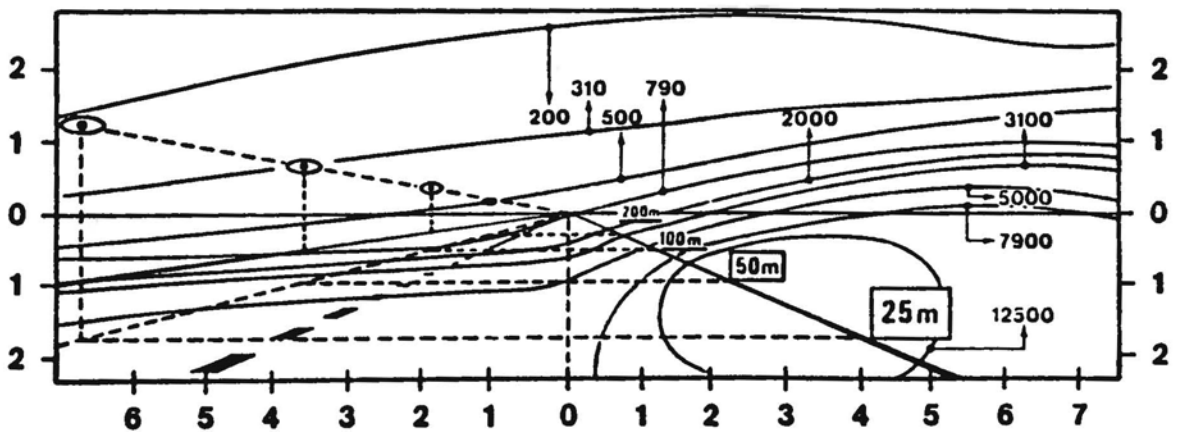
Afstand	I drempel (mcd)	I aanbevolen (mcd)
25 meter	0,025 mcd	25 mcd
50 meter	0,1 mcd	100 mcd
75 meter	0,23 mcd	225 mcd
100 meter	0,4 mcd	400 mcd
200 meter	1,6 mcd	1600 mcd

De waarden in deze tabel gelden bij stationaire waarneming en heldere atmosfeer.



Minimum illuminance at the eye from an achromatic (white) point source for about 98 per cent probability of detection as a function of the background.

Afbeelding II.1. (Bron: Douglas & Booker, 1977).



Afbeelding II.2. Dimbundel asymmetrische Europese lantaarn met normale gloeilamp (naar De Boer, 1973).

BIJLAGE III

REFLECTEREND VERMOGEN VAN SPAAKREFLECTOREN EN REFLECTERENDE FIETSBANDEN

Vergeleken wordt het benodigde reflecterend vermogen van reflecterend materiaal en het reflecterend vermogen dat door een aantal bestaande producten in de praktijk wordt bereikt. Hierbij is een criterium voor zichtbaarheid gekozen (zie Bijlage II) en voor de reflecterende banden bovendien een criterium voor herkenbaarheid (zie ook Blokpoel et al., 1982).

1. Schattingen van de geëiste waarden

Bij de berekening van waarden voor voldoende zichtbaarheid wordt uitgegaan van de volgende veronderstellingen:

- de waarneembaarheidsafstand is 50-75-100 meter;
- de reflector bevindt zich aan de rechter wegrand;
- zowel de reflector als de lamp bevinden zich op 60 cm hoogte;
- de twee koplampen van de auto (die de retroreflector bestralen) vallen samen;
- de lichtbundels zijn normale asymmetrische dimbundels (E-type);
- de lichtsterkten naar de reflector voor twee lantaarns te zamen zijn 8000 cd; 4200 cd; 3400 cd (zie ook Afbeelding 2 van Bijlage II);
- de reflector heeft een werkzaam oppervlak van 0,005 m²;
- als eis voor lichtsterkte wordt de aanbevolen waarde uit Bijlage II genomen.

Onderstaande tabel geeft de minimaal benodigde waarden van het reflecterend vermogen van een complete reflector (R) en van het materiaal (R').

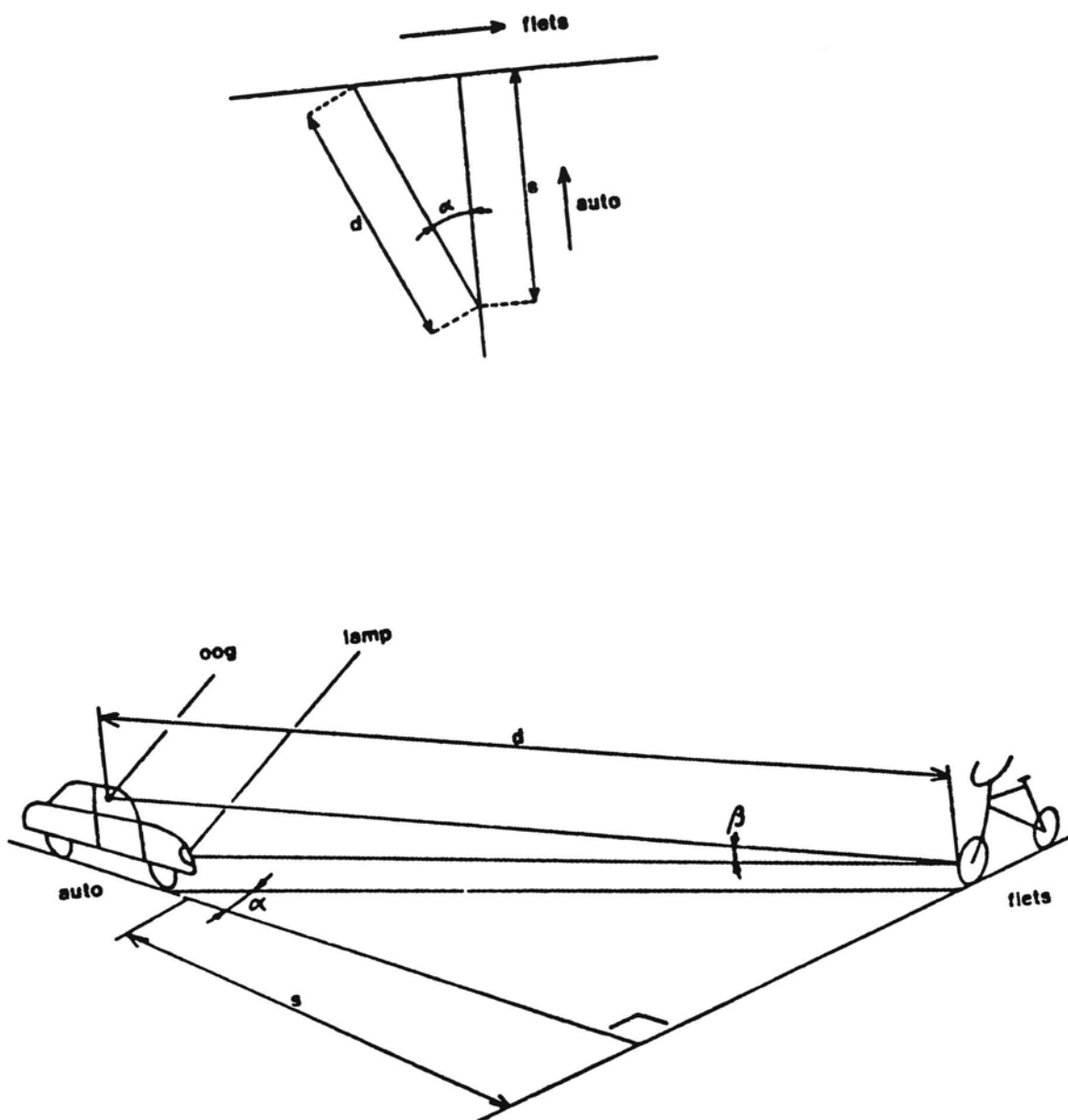
Afstand d (m)	50	75	100
d ²	2500	5625	10000
I (cd) (lampen)	8000	4200	3400
E (lux) (refl)	3,2	0,75	0,34
I (cd) (refl) (Bijlage II)	0,1	0,225	0,4
R (cd/lux)	0,031	0,3	1,18
R' (cd/m ² per lux)	6,3	60	235

Voor de berekening van het benodigde reflecterend vermogen voor voldoende herkenbaarheid zijn de volgende veronderstellingen gedaan:

- de snelheid van de fiets is 20 km/uur;
- de fiets komt van links;
- de snelheid van de auto is 30, 50, 70 of 80 km/uur;
(uit ongevalanalyses blijkt dat op wegen waar een limiet van 100 km/uur geldt weinig ongevallen met fietsen plaatsvinden);
- de banen van de fiets en auto staan loodrecht op elkaar;
- er wordt met een "noodstop" gerekend; daarvoor is een "reactietijd" $t = 2$ s aangenomen en een remvertraging $a = 5 \text{ m/s}^2$ (wettelijk minimum); dit correspondeert met een stopafstand van 30 m; 50 m; 80 m; 100 m (naar boven afgeronde waarden, dus "veilig");
- ter vereenvoudiging wordt aangenomen dat de twee autolantaarns ruimtelijk samenvallen en dat het oog van de waarnemer/autobestuurder zich 0,5 m recht boven die lantaarn(s) bevindt;
- de lichtsterkte van de lantaarns is op 300 cd per stuk gesteld (het strooilicht buiten de bundel naar links);
- de geometrie is geschetst in Afbeelding III.1.

Onderstaande tabel geeft de minimaal benodigde waarden voor R en R'.

Snelheid (km/uur	30	50	70	80
Stopafstand s (m)	30	50	80	100
tg α	0,67	0,40	0,286	0,25
α (graden)	34	22	16	14
afstand d (m)	36	53,8	83,2	103
d^2	1300	2900	6923	10625
I twee lantaarns (cd)	600	600	600	600
E (I/d^2)	0,46	0,21	0,087	0,056
R' voor 100 cd/m^2 (cd/m^2 per lux)	217	483	1154	1770
observation angle (boogminuten)	43	31	21	17
I reflector (Bijlage II) (cd)	0,036	0,100	0,196	0,256
R (cd per lux)	0,078	0,483	2,26	4,53
R' voor opp 0,005 m^2 (cd/m^2 per lux)	16	97	452	906



Afbeelding III.1. Schets van de geometrie.

2. Praktijkwaarden van bestaande producten

De volgende tabel geeft het retroreflectiecoëfficiënt R' van een aantal reflecterende materialen weer.

Materiaal	Kleur	R' (cd/m ² per lux)	Bron
Cornercube	rood	ca. 225	SWOV 1973
Cornercube	rood	ca. 450	SWOV 1973
Lensreflector	geen opg.	100-150	SWOV 1973
Folie	wit	70-80	SWOV 1973
Engineering grade	wit	70	*
High-intensity	wit	250	*

* produktdocumentatie 3M

Het reflecterend vermogen van een reflecterende band is volgens Anon (1978):

Observation angle	0,2° = 12'			1,5° = 90'		
Entrance angle	-4°	20°	40°	-4°	20°	40°
Candlepower per fc per 50 lineal inch (0,00604 m ²)	21,5	19,5	4,5	1,0	1,0	0,45
cd/m ² per lux	356	322	74	16,5	16,5	7,4