

# Visuele waarneming en verkeersveiligheid

Drs. P.C. Noordzij, drs. M.P. Hagenzieker (SWOV) & dr. J. Theeuwes (IZF-TNO)



# Visuele waarneming en verkeersveiligheid

*Een overzicht van theorie en praktijk*

R-93-12

Drs. P.C. Noordzij, drs. M.P. Hagenzieker (SWOV) & dr. J. Theeuwes (IZF-TNO)

Leidschendam, 1993

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV  
Postbus 170  
2260 AD Leidschendam  
Telefoon 070-3209323  
Telefax 070-3201261

## Samenvatting

Omdat bij deelname aan het verkeer visuele waarneming een belangrijke rol speelt, is er veel en zeer divers onderzoek naar gedaan. Het is daarom moeilijk de kennis uit al dat, veelal erg specialistische, onderzoek met elkaar in verband te brengen. In dit rapport wordt de stand van zaken opgemaakt op het gebied van visuele waarneming en verkeersveiligheid, waarbij de verschillende typen onderzoek met elkaar in verband gebracht worden. Het rapport geeft een overzicht hoe over visuele waarneming gedacht wordt in relatie tot verkeersveiligheid, van de meer fundamentele kennis over visuele waarneming, en van de kennis uit praktijkonderzoek. Zo wordt onder meer aandacht besteed aan waar de waarneming in het verkeer toe dient en welke kenmerken van belang zijn. Op meer fundamenteel gebied passeren onderwerpen als het oog, oogbewegingen, en de rol van aandacht en visuele selectie de revue. Ook wordt voor een aantal onderwerpen toegepast onderzoek - naar belijning en markeringen op het wegdek, openbare verlichting, borden en andere informatiedragers langs de weg, en het waarnemen van andere weggebruikers - samengevat. Het rapport besluit met aan te geven hoe praktijkproblemen, gegeven de beschikbare kennis, kunnen worden aangepakt en geeft een opsomming van gewenst onderzoek met behulp waarvan het in de toekomst mogelijk is praktijkproblemen beter en sneller op te lossen.

# Summary

## **Visual perception and road safety**

*An overview of theory and practice*

Because visual perception plays an important role in participation in traffic, it has been the subject of much and very diverse research. This makes it difficult to put all the knowledge gathered from these, often very specialist, studies into perspective. This report reviews the current information about visual perception and road safety, where the various types of research are related to each other. The report offers an overview of the relevance of visual perception in connection with road safety, of the more fundamental knowledge about visual perception and of knowledge obtained from practical study. For example, attention is focused on the purpose of perception in traffic and which characteristics are relevant. In a more fundamental sense, subjects such as the eye, eye movements and the role of attention and visual selection are discussed. In addition, information on applied research into a number of subjects - lines and markings on the road surface, public lighting, signs and other information carriers along the road and the perception of other road users - is summarised. The report concludes by indicating how, given the available knowledge, practical problems can be approached and offers a summary of recommended research which can assist in solving practical problems more effectively and more rapidly in the future.

# Inhoud

1.	<i>Inleiding</i>	6
2.	<i>Plaatsbepaling van visuele waarneming in het verkeer</i>	8
2.1.	Gedragkeuzen	8
2.2.	Onderdelen van de verkeersomgeving	9
2.3.	Weten en zien	10
2.4.	Het menselijk oog en de hersenen in relatie tot de verkeerstaak	12
2.5.	Verkeersveiligheid	14
3.	<i>Theoretische basisprincipes van de visuele waarneming</i>	16
3.1.	Het oog	16
3.2.	Visuele selectie	18
3.2.1.	Visuele selectie en oogbewegingen	19
3.2.2.	Preattentieve en attentieve verwerking	20
3.2.3.	Selectie: gerichte en getrokken aandacht	21
3.3.	Identificatie	27
3.4.	Beslissing en handeling	28
4.	<i>Onderzoek naar visuele waarneming in het verkeer</i>	32
4.1.	Inleiding	32
4.2.	Belijning en markeringen op het wegdek	32
4.2.1.	Functie en functionele eisen	32
4.2.2.	Onderzoek naar aspecten van visuele waarneming	33
4.2.3.	Relatie met verkeersveiligheid	35
4.2.4.	Discussie	35
4.3.	Openbare verlichting	37
4.3.1.	Functie en functionele eisen	37
4.3.2.	Onderzoek naar aspecten van visuele waarneming	37
4.3.3.	Relatie met verkeersveiligheid	39
4.3.4.	Discussie	40
4.4.	Borden en andere informatiedragers langs de weg	41
4.4.1.	Functie en functionele eisen	41
4.4.2.	Onderzoek naar aspecten van visuele waarneming	42
4.4.3.	Relatie met verkeersveiligheid	46
4.4.4.	Discussie	47
4.5.	Weggebruikers	48
4.5.1.	Algemeen	48
4.5.2.	Functie en functionele eisen	48
4.5.3.	Onderzoek naar aspecten van visuele waarneming	49
4.5.4.	Relatie met verkeersveiligheid	57
4.5.5.	Discussie	58
5.	<i>Stand van zaken</i>	60
5.1.	Overzicht van kennis	60
5.2.	Aanpak van praktijkvragen	62
5.3.	Gewenst onderzoek	68
5.4.	Ten slotte	71
	<i>Literatuur</i>	72
	<i>Bijlage Verklaring van gebruikte begrippen in hoofdstuk 3</i>	83

# 1. Inleiding

Bij deelname aan het verkeer speelt visuele waarneming een belangrijke rol. Daarom zijn er veel vragen naar aanleiding van problemen die in de praktijk ervaren worden of zijn te voorzien. Daarom is er ook veel onderzoek naar gedaan. Het probleem met dat onderzoek is dat er zoveel soorten zijn, met uiteenlopende vragen en naar verschillende onderwerpen. Bovendien wordt dat onderzoek uitgevoerd door onderzoekers uit verschillende vakgebieden, met hun eigen vaktaal. Daarom is het moeilijk de kennis uit al dat onderzoek met elkaar in verband te brengen.

Zo is er zuiver wetenschappelijk onderzoek, waarbij weer onderscheid te maken is in de fysiologische werking van het oog (eventueel uit te breiden met de werking van de bijbehorende delen van het zenuwstelsel en de hersenen) en de psychologische aspecten van de waarneming. Ook kan onderscheid gemaakt worden in eenvoudige waarneming, het opmerken van prikkels van buiten en meer omvattende waarneming, het herkennen en beoordelen van onderdelen van de buitenwereld. Het meeste van dit onderzoek wordt gedaan in het laboratorium en houdt geen rechtstreeks verband met verkeer of verkeersveiligheid.

Verder is er toegepast onderzoek, dat meestal gericht is op afzonderlijke onderdelen van de verkeersomgeving, zoals openbare verlichting of verkeersborden. Behalve naar onderwerp is daarbij verschil te maken naar de gestelde vragen, zoals de vraag naar de gevolgen voor de kans op ongevallen, de uitwerking op het gedrag of het wel of niet kunnen zien of herkennen van voorwerpen. Ook is er onderzoek naar de technische uitvoering van materialen en middelen om de waarneming te verbeteren. Ten slotte is er ook toegepast onderzoek naar visuele waarneming in andere omgevingen dan verkeer, waarvan geleerd kan worden.

Dit rapport is in opdracht van DVK-RWS opgesteld, in de verwachting dat toekomstige praktijkvragen beter en sneller kunnen worden beantwoord en dat gekozen kan worden welk onderzoek bij voorkeur moet worden uitgevoerd. Met dit doel wordt de stand van zaken opgemaakt op het gebied van visuele waarneming en verkeersveiligheid. Belangrijk is dat al het onderzoek met elkaar in verband gebracht wordt. Er is niet uitputtend gezocht naar alle onderzoek dat in aanmerking komt, maar zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande publikaties met overzichten. In plaats ervan is veel aandacht besteed aan de wijze van behandelen van de beschikbare kennis. Het resultaat ervan blijkt uit de opbouw van het rapport.

In het volgende hoofdstuk wordt de plaats bepaald van visuele waarneming in het verkeer. Daartoe wordt niet begonnen met visuele waarneming, maar met het deelnemen aan het verkeer. Daaruit wordt afgeleid waar die waarneming toe dient, welke kenmerken van belang zijn en welke kennis nodig is. Hoewel enigszins vooruit gelopen wordt op de beschikbare kennis, is het in de plaatsbepaling nog niet de bedoeling daar een overzicht van te geven. Er worden ook nog geen vaktermen gebruikt.



Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de algemene, zuiver wetenschappelijke kennis, voorzover die toepasselijk is op visuele waarneming in het verkeer, of voor zover die afkomstig is van onderzoek met verkeer. Hierbij is het onvermijdelijk om vaktermen in te voeren. Dit hoofdstuk begint met eenvoudige waarneming. Stap voor stap wordt dit uitgebreid, zodat - in tegenstelling tot de Inleiding - de visuele waarneming als onderdeel van verkeersdeelname in de laatste paragraaf aan bod komt.

In hoofdstuk 4 wordt het toegepaste onderzoek behandeld. Vooral in dit hoofdstuk gaat het meer om de hoofdlijnen dan om volledigheid. Dit hoofdstuk is ingedeeld in (groepen) praktijkonderwerpen. Per onderwerp wordt ingegaan op de samenhang met algemene kennis over visuele waarneming en op de samenhang met verkeersdeelname. Ook wordt per onderwerp aangegeven of er wel of geen voldoende kennis is.

In hoofdstuk 5 wordt uiteindelijk de stand van zaken opgemaakt. Er wordt een overzicht gegeven van de beschikbare kennis, zowel in de vorm van kant en klare antwoorden op praktijkvragen, als van algemene kennis die toepasbaar is op nieuwe praktijkvragen. Daarnaast wordt aangegeven welke soorten onderzoek geschikt zijn om welke soorten praktijkvragen te beantwoorden. Ten slotte blijft over welke kennis gemist wordt en dus welk onderzoek gewenst is. In dit laatste geval gaat het vooral om algemene kennis waarmee in de toekomst een beter antwoord te geven is op vragen uit de praktijk.

De hoofdstukken 2 en 5 bevatten dus de algemene lijn van het rapport en kunnen na elkaar gelezen worden, onafhankelijk van de hoofdstukken 3 en 4. Deze twee hoofdstukken zijn bestemd voor lezers die meer uitvoerig ingelicht willen worden over het wetenschappelijk en het praktijkonderzoek.

## 2. Plaatsbepaling van visuele waarneming in het verkeer

Een verkeersdeelnemer moet voortdurend kiezen wat te gaan doen. Daarbij gebruikt deze een eigen beeld van de verkeersomgeving. Om dat beeld te vormen wordt de omgeving verkend. Dat gebeurt voor het grootste deel met gebruikmaking van de ogen. Een verkeersdeelnemer zoekt voortdurend aanwijzingen uit de omgeving waaruit afgeleid kan worden welke keuze gemaakt moet of kan worden en naar aanwijzingen om een gemaakte keuze te kunnen uitvoeren.

Afhankelijk van wat er te zien is kiest de verkeersdeelnemer wat te gaan doen en afhankelijk van wat er gekozen is moet deze weer kijken. Daarom wordt in de volgende paragraaf eerst ingegaan op de gedragskeuzen van verkeersdeelnemers. Vervolgens wordt behandeld welke onderdelen van de omgeving bij die keuzen van belang zijn en welke gevolgen er zijn voor het kijken en zien. Dan volgt een paragraaf over enkele algemene kenmerken van visuele waarneming. Ten slotte gaat de laatste paragraaf in op het verband met verkeersveiligheid.

### 2.1. Gedragskeuzen

In bijna alle verkeerssituaties heeft een verkeersdeelnemer keuzemogelijkheden. Per situatie verschillen die mogelijkheden. Daarbij kan bedacht worden dat een verkeerssituatie voor een deel bestaat uit de (min of meer vaste) wegkenmerken en voor een deel uit de (tijdelijke) aanwezigheid van andere verkeersdeelnemers. Beide zijn mede bepalend voor de keuzemogelijkheden. Op een stille weg heeft een bestuurder de keuze om hard of zacht te rijden, of rechts, midden dan wel links van de weg. De keuze wordt beperkt door de zorg om niet van de weg te raken. Met ander verkeer op dezelfde weg is de keuze van koers en snelheid verder beperkt. Bij nadering van een tegenligger moet er volgens de regel rechts worden gereden. Bij nadering van een langzamere voorligger moet de snelheid aangepast worden, maar is er keuze in de aan te houden afstand tot de voorligger. Als er verder geen tegemoetkomend verkeer is, de weg breed genoeg en ook de ruimte voor de voorligger nog voldoende, dan staat de keus open om over de linker weghelft in te halen. Bij een kruispunt van wegen moet een vervolgrichting gekozen worden. Ook als die bij voorbaat vast staat moet rekening gehouden worden met ander verkeer dat ongeveer gelijktijdig op het kruispunt aankomt of kan aankomen. Met een deel van het verkeer hoeft weinig rekening gehouden te worden als dat zich aan de regels houdt. Maar, afhankelijk van de (voorrangs)regeling van het kruispunt moet ander verkeer zo min mogelijk gehinderd worden. Als dat verkeer niet goed zichtbaar is kan het nodig blijken de snelheid te minderen en/of de koers iets te veranderen zodat op het moment dat het zicht er wel is nog gehandeld kan worden. Is er ander verkeer in zicht dan moet beoordeeld worden met hoeveel tijdverschil het kruispunt bereikt wordt. De snelheid wordt zonodig aangepast om een gunstiger tijdverschil te krijgen. Eventueel moet later worden gekeken of dat nog klopt.

De keuzemogelijkheden worden dus bepaald en beperkt door de vormgeving van het wegennet, door andere verkeersdeelnemers en door de ver-

keersregels. Sommige keuzen zijn geheel vrijwillig, andere zijn gedwongen (dat wil zeggen dat de verkeersdeelnemer de zorg heeft dat alles goed gaat). Bij iedere keuze zijn bepaalde onderdelen van de omgeving van belang. Bij een gedwongen keuze moet de verkeersdeelnemer weten welke onderdelen tot een keuze zouden kunnen dwingen en daarnaar op tijd zoeken. Ook een vrijwillige keuze kan alleen gemaakt worden als de belangrijke onderdelen van de omgeving bekend zijn, maar er is minder tijdsdruk of noodzaak om te zoeken en te kiezen.

De keuzemogelijkheden worden ook beperkt en bepaald door eerder gemaakte keuzen. De eerder gekozen snelheid bepaalt of er bij een bocht of kruispunt ingehouden moet worden en of er voorliggers worden ingehaald. Maar nog eerder is de keuze gemaakt om lopend of met een voertuig op weg te gaan, samen met de keuze van het tijdstip en de te volgen weg. De laatste zijn als het ware hoger geordende keuzen. Die keuzen worden eerder gemaakt en vragen om een heel andere verkenning in een heel andere omgeving. Hoewel ook daarbij visuele waarneming een rol kan spelen is deze zodanig anders dat deze keuzen in dit rapport verder buiten beschouwing worden gelaten. Ook zijn er lager geordende keuzen. Iemand die wil inhalen moet kiezen waar en op welk moment dat gebeurt, met welke snelheid en welke afstand tot de voorligger en tot eventuele andere voertuigen. Dat zijn dus lager geordende keuzen. Bij eenmaal gekozen snelheden, afstanden en koersen moeten de toevallige afwijkingen die onvermijdelijk ontstaan binnen zelf gekozen grenzen gehouden worden. Dat zijn dus nog lager geordende keuzen.

Dit rapport gaat dus over visuele waarneming bij gedragskeuzen van verkeersdeelnemers die zich op de weg in het verkeer bevinden. Er is een duidelijke samenhang tussen deze gedragskeuzen en (het belang van) onderdelen van de omgeving. De volgende paragraaf gaat over de onderdelen van de omgeving.

## **2.2. Onderdelen van de verkeersomgeving**

De omgeving moet worden onderscheiden in onderdelen die wel of niet van belang zijn. Veel van wat er te zien is in de omgeving is voor het deelnemen aan het verkeer van ondergeschikt belang: het landschap, de vorm van de bebouwing, reclameborden enz. Veel is soms wel, soms niet belangrijk: een wegwijzer is alleen nodig voor iemand die ter plaatse onvoldoende bekend is, een voorligger is alleen belangrijk als die zo dichtbij is dat binnen afzienbare tijd de snelheid of koers moet worden aangepast, een voetganger op de stoep is van belang als die zou willen oversteken. Of deze onderdelen belangrijk zijn of niet hangt dus af van wat een verkeersdeelnemer zelf doet of wil doen. Als het gaat om andere verkeersdeelnemers hangt het ook af van wat die doen of willen doen. Er moet dus onderscheid worden gemaakt in onderdelen die op dat moment wel of niet belangrijk zijn. Bij alles wat een verkeersdeelnemer doet zou deze dus moeten weten welke onderdelen van de omgeving van belang zouden kunnen zijn om vervolgens te kijken en te zien of dat op dat moment het geval is.

Soms hoeft met weinig onderdelen van de omgeving rekening gehouden te worden, maar meestal met heel veel tegelijk of in zeer korte tijd. Een enigszins volledig overzicht van situaties, keuzemogelijkheden en belang-

rijke onderdelen van de omgeving is er niet. Voor enkele standaardsituaties is zo'n opsomming in hoofdlijnen te geven. Voorlopig wordt volstaan met het aangeven van onderdelen die in het algemeen van belang zijn: het verloop van de weg, de aanwezigheid van anderen en de verkeersstekens. Maar voor de weg en voor anderen kunnen weer allerlei bijzonderheden van belang zijn. Bij de weg is soms de wegdektoestand van belang, maar het kan ook gaan om de rijstrookindeling of de wegsoort (met inbegrip van toegelaten voertuigen en hun toegelaten gedragingen) of om de aanwezigheid van een kruispunt. Bij andere verkeersdeelnemers kan het gaan om de nauwkeurige afmetingen, om het soort voertuig in verband met de voorangsregels of om een nauwkeurige bepaling van snelheid en plaats en de voorgenomen veranderingen daarvan.

Bij belangrijke onderdelen moet een verkeersdeelnemer zeker weten dat diens eigen beeld klopt met de werkelijkheid. Van andere onderdelen kan (op dat moment) met minder zekerheid genoeg worden genomen. Het is niet mogelijk om in zeer korte tijd heel veel onderdelen ook werkelijk gezien te hebben. Dat is ook niet altijd nodig; zekerheid is ook op andere manieren te krijgen. Daarover gaat de volgende paragraaf.

### 2.3. **Weten en zien**

In feite gaat het bij de verkeersomgeving om de situatie over enkele ogenblikken. Voor de verkeersdeelnemer is dat een denkbeeldige situatie die moet worden afgeleid uit eerdere beelden. Dat betekent dat de eigen plaats over enkele ogenblikken voorspeld moet worden, maar ook die van anderen. Dat lijkt moeilijk en houdt altijd onzekerheid in, maar daar staat tegenover dat veel van het toekomstige verkeersbeeld zo goed als vaststaat. In de eerste plaats veranderen wegkenmerken niet of nauwelijks, net zo min als de meeste verkeersstekens, en dat is over het algemeen op enige afstand te zien. Eenmaal bekend blijft dus bekend. In de tweede plaats is het ontwerp van het wegennet aan regels gebonden en zijn de bewegingsmogelijkheden van anderen begrensd. De kans op plotselinge verrassingen wat betreft wegverloop of aanwezigheid en beweging van anderen is daardoor beperkt, als tenminste de voorafgaande beelden waarheidsgetrouw waren. Anders gesteld zijn veel toekomstige situaties onmogelijk of hoogst onwaarschijnlijk. De verkeersdeelnemer moet dan wel voldoende kennis en ervaring hebben om die beperkingen te herkennen. In de derde plaats is het gedrag van anderen aan regels gebonden. Ook die maken de aanwezigheid en bewegingen van anderen voorspelbaar, dat wil zeggen dat met sommige mogelijkheden weinig of geen rekening gehouden hoeft te worden. Dat de aanwezigheid van andere verkeersdeelnemers vaak van te voren te zien is maakt het ook gemakkelijker.

Toch blijft een toekomstige situatie gedeeltelijk onzeker. Voor zover nog onzichtbaar, moet toch rekening gehouden worden met het wegverloop even verderop en met de mogelijke aanwezigheid van anderen even verderop en/of even later. Meestal wordt een voorlopig beeld gevormd, waarvan onderdelen op het laatste moment getoetst worden aan de werkelijkheid.

Sommige onderdelen hoeven in het geheel niet gezien te worden om er zeker van te zijn. In de eerste plaats kan het gaan om vaste kenmerken van de omgeving waarmee de verkeersdeelnemer al bekend is. In de tweede

plaats is het in meer of mindere mate mogelijk kenmerken van de omgeving af te leiden uit andere kenmerken die dan wel gezien moeten zijn. Het verloop van bebouwing of beplanting kan een aanwijzing vormen over het verloop van de weg. Het gedrag van andere verkeersdeelnemers laat zien waar men zelf ook rekening mee moet houden.

Bedacht moet worden dat verkeerssituaties kunstmatig zijn in de zin dat de weg door mensen is ontworpen. Bij dat ontwerp is gezorgd voor min of meer standaardsituaties zoals kruispunten, verder onder te verdelen naar de (voorrangs)regeling, het aantal armen e.d. Andere standaardsituaties zijn filerijden op een autosnelweg of het naderen van een voorligger in een woonstraat. Standaardsituaties vormen dus weer een combinatie van wegkenmerken en aanwezig verkeer. Voor sommige situaties worden signalen gebruikt: een bord verkeersplein vertelt veel over wegkenmerken en gedrag van eventueel aanwezig verkeer. Omgekeerd hoeft een bord niet gezien te worden als de situatie eenvoudig te herkennen is aan de vormgeving. Signalen worden veelvuldig toegepast voor onderdelen van situaties. Borden kunnen aangeven welke voertuigen wel of niet worden toegelaten op een weg, achterlichten laten zien dat er een voorligger is.

Andere signalen zijn bedoeld om bijzonderheden van de weg of van voertuigen duidelijk te maken: belijning op het wegdek kan dienen als rijstrookindeling, remlichten geven te kennen dat een voorligger snelheid mindert. Signalen zijn kunstmatige aanwijzingen, waarvan de betekenis makkelijk te leren is. Voorzover er niet gezorgd is voor signalen moet een verkeersdeelnemer zelf ervaren welke aanwijzingen meer of minder goed te gebruiken zijn. Daarbij is de moeilijkheid dat de aanwijzing voor eenzelfde onderdeel kan wisselen. Het uiterlijk van een voertuig is overdag heel anders dan bij nacht. Bij regen is de wegbelijning slecht zichtbaar, terwijl een bestuurder toch moet zien hoe de weg verloopt.

Veel van het toegepast onderzoek naar visuele waarneming in het verkeer betreft het (kunnen) zien van signalen en aanwijzingen. Dit onderzoek wordt behandeld in hoofdstuk 4.

Al eerder is opgemerkt dat er geen volledig overzicht is van situaties. Er is dus ook geen volledig overzicht van signalen of aanwijzingen voor situaties, voor onderdelen van situaties of voor bijzonderheden van onderdelen. Voor het herkennen van situaties is het niet nodig dat alle onderdelen herkend worden. Het herkennen van een standaardsituatie houdt juist in dat variaties in bepaalde onderdelen over het hoofd gezien (mogen) worden. Het houdt ook in dat er grote zekerheid kan bestaan over sommige onderdelen van de situatie, zonder die afzonderlijk gezien te hebben. Het kan inhouden dat er over andere onderdelen juist grote onzekerheid bestaat, terwijl die wel van belang zijn. Bij het naderen van een kruispunt met voorrangstekens hoeft op de hoofdweg minder rekening gehouden te worden met verkeer van links en rechts dan bij een ongeregeld kruispunt. Op een snelweg is het heel onwaarschijnlijk dat een voorligger plotseling zal gaan stoppen, terwijl dat in een woonstraat heel gewoon is.

Bij een standaardsituatie hoort verder dat een verkeersdeelnemer paraat heeft welke mogelijkheden zich kunnen voordoen voor gedragskeuzen, paraat heeft welke onderdelen van de situatie die keuze bepalen en dus paraat heeft waarnaar gezocht dan wel gekeken moet worden. En als die

keuze eenmaal gemaakt is kan de verkeersdeelnemer zelfs paraat hebben welke handelingen vervolgens weer moeten worden uitgevoerd en welk kijkgedrag daar bij hoort.

Het herkennen van standaardsituaties en de gevolgen daarvan is binnen en buiten het verkeer nog nauwelijks onderzocht.

Er zijn dus diverse manieren van kijken: het opdoen van een eerste indruk om na te gaan of er keuzen gemaakt kunnen of moeten worden of om standaardsituaties te herkennen, het verkennen van de omgeving in verband met het opsporen van gedwongen keuzen, het zoeken naar onderdelen en het herkennen van bijzonderheden van onderdelen om een keuze te kunnen maken, het toetsen van onderdelen van het eigen beeld aan de werkelijkheid. Iedere manier van kijken kent een zekere mate van sturing wat de richting van kijken betreft. En al deze bezigheden worden op een of andere wijze georganiseerd in de tijd. De belasting van de verkeersdeelnemer, dat wil zeggen de te maken keuzen en de daarbij horende handelingen, wisselt van tijd tot tijd. Soms moet er onder druk gewerkt worden, soms is er tijd over. In het laatste geval kan er ook gekeken worden naar zaken die voor het verkeer niet echt belangrijk zijn. Het kijken is dan niet, of in ieder geval anders georganiseerd en gestuurd.

Een andere manier van kijken betekent ook een andere manier van omgaan met de prikkels van buiten. Om dit te begrijpen geeft de volgende paragraaf enige uitleg van de bouw en werking van het menselijk oog en de hersenen. Hoofdstuk 3 biedt een uitgebreidere behandeling van dit onderwerp.

#### 2.4. **Het menselijk oog en de hersenen in relatie tot de verkeerstaak**

Prikkels van buiten vormen een afbeelding op het netvlies van het menselijk oog met behoud van hun ruimtelijk verband (tweedimensioneel en gedeeltelijk driedimensioneel). In het horizontale vlak dekken beide netvliezen ongeveer alles wat zich voor de persoon bevindt. Het netvlies heeft in het midden een grotere gevoeligheid, kan kleinigheden beter onderscheiden en kan kleuren onderscheiden. Naar buiten toe neemt de gevoeligheid van het netvlies af, behalve voor het ontdekken van helderheidsverschillen en bewegingen van prikkels. De gevoeligheid van het netvlies past zich binnen grenzen aan de helderheid van de omgeving aan. In het donker is de gevoeligheid van het netvlies groot. Toch wordt er minder gezien dan bij dag- of kunstlicht omdat de prikkels veel zwakker zijn. Prikkels kunnen ook te sterk zijn (vooral bij gebruik van kunstlicht) waardoor er tijdelijke of blijvende schade ontstaat aan het vermogen om te zien. Voor het verkeer is visuele waarneming bij duisternis altijd een belangrijk onderwerp geweest. Het onderwerp komt terug bij de behandeling van het praktijkonderzoek in hoofdstuk 4.

Om een prikkel uit de omgeving op (de goede plek van) het netvlies te krijgen moet het oog gericht worden met oog- en hoofdbewegingen. Eén van de gevolgen daarvan is dat onderdelen van de omgeving die ver uit elkaar liggen alleen na elkaar gezien kunnen worden. Oogbewegingen zijn ook nodig omdat het netvlies binnen zeer korte tijd ongevoelig wordt voor vaste prikkels op dezelfde plek. Ook als een persoon naar dezelfde plek blijft kijken maakt het oog in korte tijd veel kleine bewegingen, waardoor de prikkels steeds op een iets andere plek van het netvlies vallen. Het

zoeken van aanwijzingen over of het kijken naar onderdelen van de verkeersomgeving komt dus neer op het sturen van oog- en hoofdbewegingen.

Prikkels die op het netvlies vallen hoeven nog niet gezien te worden. In de eerste plaats kan de plaatselijke en tijdelijke gevoeligheid van het netvlies te laag zijn in verhouding tot de sterkte van de prikkels. In de tweede plaats kan een mens niet alle prikkels die gelijktijdig op het netvlies vallen ook gelijktijdig verwerken. De afbeelding op het netvlies wordt overgestuurd naar de hersenen. De hersenen zorgen ervoor dat de prikkels van gedeelten van de afbeelding worden doorgegeven en gezien. Daarmee is bedoeld dat de persoon op een of andere wijze kan aantonen dat er van de (betekenis van de) prikkel gebruik is gemaakt.

De ligging en omvang van de in gebruik zijnde delen van de afbeelding zijn wisselend, alsof ook in de hersenen de blik nog gestuurd wordt. Mensen kunnen in beperkte mate voor verschillende doelen gelijktijdig gebruik maken van delen van de afbeelding. Daardoor kan bijvoorbeeld het ene deel van de afbeelding bekeken worden in verband met de ene gedragskeuze, terwijl een prikkel in een ander deel verwerkt wordt voor een andere gedragskeuze (bijvoorbeeld voor het richten van het kijken op het volgende moment).

Ook als het kijken op een bepaald deel van het netvlies is gericht dringen niet alle prikkels door. Er is al vermeld dat prikkels te zwak kunnen zijn in verhouding tot de gevoeligheid van het netvlies. In feite kan een mens in wisselende mate van zekerheid aangeven of iets zichtbaar is. Bovendien kunnen mensen zich enigszins richten op bijzondere prikkels. Dat kan alleen voor zover er al een eerste verwerking van alle prikkels aan vooraf is gegaan (gelijktijdig met het kijken naar en zien van iets anders). Een mens heeft als het ware een hoofdbezigheid waarop het kijken en zien gericht is en een of misschien wel meer vrijwel gelijktijdige nevenbezigheden waar ook kijken en zien bij te pas komen. Tot op zekere hoogte kan men zelf bepalen wat gelijktijdig als hoofd- en als nevenbezigheid wordt gedaan, maar niet alle bezigheden zijn als nevenbezigheid uit te voeren.

De kans dat iemand een prikkel opmerkt die buiten de kijkrichting en/of buiten de hoofdbezigheid valt is sterk wisselend. Dat heeft te maken met kenmerken van die prikkel en met de bezigheden. Voor het verkeer is dit onderwerp uitermate belangrijk in verband met het zoeken en zien van onderdelen van de omgeving die van belang zijn voor het maken van gedwongen gedragskeuzen. Onderzoek naar de manier waarop de bezigheden van invloed zijn op het opmerken van prikkels is betrekkelijk nieuw en komt in Hoofdstuk 3 uitvoerig aan bod. Voor het verkeer is het van belang te weten welke gedragskeuzen gemaakt worden als hoofdbezigheid dan wel als nevenbezigheid. Zo'n overzicht van bezigheden bestaat nog niet. Wel zijn enkele voorbeelden te geven. Het vermijden van te grote afwijkingen van koers en afstanden (tot andere verkeersdeelnemers) kan als nevenbezigheid worden uitgevoerd. De aanwijzingen die daarbij gebruikt worden bestaan uit prikkels die buiten het midden van het netvlies vallen. Maar zodra het fout dreigt te gaan dat wil zeggen de afwijkingen al te groot worden wordt dit omgezet in een hoofdtak, waarbij het midden van het netvlies wordt gebruikt. Het lezen van een wegwijzer is altijd een hoofdbezigheid waarvoor het midden van het netvlies nodig is.

Bij de afbeelding van prikkels op het netvlies gaat het om een hoeveelheid stippen, lijnen en vlakken met één of andere helderheid en kleur. Het beeld dat een mens zich van zijn omgeving vormt bestaat uit dingen met een betekenis en in ruimtelijk verband. Die dingen (en het ruimtelijk verband) moeten worden herkend uit de prikkels op het netvlies. De zekerheid waarmee dingen worden herkend kan wisselen. Voor het herkennen moeten prikkels zorgvuldig worden verwerkt en dat kost tijd. Er zijn gradaties van herkennen, bijvoorbeeld een bewegend ding als een voetganger, vervolgens als een volwassen voetganger die wil oversteken en ten slotte als een bekend persoon. Het herkennen van iets wat goed bekend is omdat het al vaak gezien is kost nauwelijks tijd. Het is opmerkelijk hoe goed de hersenen in staat zijn goed bekende dingen te herkennen ongeacht de zichtomstandigheden, de stand tegenover de waarnemer en tijdelijke veranderingen van uiterlijk. Het herkennen van ingewikkelde, onbekende dingen kost veel tijd en gebeurt met inschakeling van het midden van het netvlies.

## 2.5. Verkeersveiligheid

Een verkeersdeelnemer heeft over het algemeen voorkennis over onderdelen van de verkeersomgeving, waarmee een voorlopig beeld te vormen is. Het kijken is bedoeld om meer zekerheid te krijgen over die onderdelen die van belang zijn voor het maken van gedragskeuzen. Ook als er gekeken is blijven sommige onderdelen minder goed bekend dan andere. Het beeld van de omgeving over enkele ogenblikken is altijd min of meer onzeker. Het is aan de verkeersdeelnemer om te bepalen hoe zeker onderdelen van de situatie bekend moeten zijn, dan wel hoe met de onzekerheid van het moment moet worden omgegaan.

Uit oogpunt van veiligheid gaat het om wat en wanneer er met de visuele waarneming iets fout kan gaan. Dat is in de eerste plaats als belangrijke onderdelen van de omgeving gemist worden. Dat kan verschillende oorzaken hebben. De verkeersdeelnemer beseft bijvoorbeeld door gebrek aan ervaring of uit gewoonte niet welke onderdelen van belang zijn. Door andere bezigheden kan hij of zij afgeleid worden. Maar ook doordat er te weinig te doen is kan de aandacht verslappen.

Het kan in de tweede plaats mis gaan als onderdelen niet goed gezien of herkend worden. Ook daarbij zijn er verschillende mogelijkheden. Door een veelheid aan zichtbare onderdelen kan een belangrijk onderdeel moeilijk te ontdekken zijn. Door slechte zichtomstandigheden kan de aanwijzing van een onderdeel geheel of gedeeltelijk ontbreken of vertekend worden. Maar ook bij normaal zicht kunnen aanwijzingen onduidelijk of verwarrend zijn. In sommige situaties ontbreekt de tijd om voldoende zekerheid te kunnen krijgen.

In de derde plaats kan een aanwijzing verkeerd begrepen worden en klopt het eigen (toekomst)beeld van de omgeving niet met de werkelijkheid. En ten slotte kan een verkeersdeelnemer ten onrechte menen voldoende zeker te zijn van diens omgeving en dus niet verder kijken.

Wat er in werkelijkheid fout gaat moet blijken uit onderzoek naar het ontstaan van ongevallen. Zulk onderzoek wordt alleen op kleine schaal uitgevoerd omdat de benodigde gegevens over het gedrag van de betrokken



verkeersdeelnemers niet standaard geregistreerd kunnen worden. Een goed overzicht van waarnemingsfouten (dat wil zeggen welke fouten, hoe vaak, onder welke omstandigheden) bij verkeersongevallen is er dus niet. Wel is overduidelijk dat visuele waarneming een belangrijke rol speelt bij verkeer en verkeersveiligheid. Ook bestaat de indruk dat het missen of niet opmerken van andere verkeersdeelnemers een belangrijker probleem vormt dan het niet goed kunnen zien of herkennen. Maar ook dat geeft soms problemen.

### 3. Theoretische basisprincipes van de visuele waarneming

Visuele waarneming speelt een cruciale rol bij het uitvoeren van de verkeers taak. Waarnemen is geen passief proces: het is altijd een wisselwerking tussen wat via het zintuig beschikbaar komt en de verwachtingen van de weggebruiker. In het algemeen wordt geschat dat 90% van de informatie die een weggebruiker dient te verwerken voor het optimaal uitvoeren

van de taak, visueel van aard is (bijvoorbeeld Hills, 1980). Het visuele systeem daarentegen is beperkt en het is onmogelijk om verschillende objecten op hetzelfde moment te identificeren. Er wordt verondersteld dat in veel gevallen de verkeersomgeving zodanig complex is dat de weggebruiker niet in staat is om alle informatie te verwerken. In dit soort omstandigheden zal de visuele waarneming voor een belangrijk deel 'top-down' gestuurd worden, dat wil zeggen dat wat wordt waargenomen wordt vooral bepaald door de verwachtingen van de weggebruiker.

Visuele waarneming staat niet op zichzelf, maar in dienst van de verkeers taak. In het algemeen geldt dat menselijk gedrag intrinsiek doelgericht is (Duncan, 1990). Om visuele waarneming in het verkeer te kunnen begrijpen, dient gekeken te worden naar de momentane situatie ('current state'), en naar de situatie die de persoon probeert te bereiken ('goal state'). De keuze van deze 'goal state' bepaalt voor een belangrijk deel de verwachtingen van de weggebruiker.

In dit hoofdstuk zal visuele waarneming in relatie tot de verkeers taak worden besproken. Visuele waarneming wordt in dit verband opgevat als een informatieverwerkingsproces waarbij informatie via het oog binnen komt, vervolgens wordt geselecteerd en geïdentificeerd, en ten slotte gebruikt bij het uitvoeren van een beslissing.

In de eerste paragraaf zal worden ingegaan op een aantal elementaire fysiologische gegevens over de structuur en werking van het oog. Vervolgens zal nader worden ingegaan op het proces waarbij - afhankelijk van de taakstelling - bepaalde informatie wordt geselecteerd ten koste van andere informatie. Informatie die geselecteerd is dient daarna herkend en geïdentificeerd te worden. Ten slotte zal aangegeven worden hoe de 'verwerkte' informatie een rol speelt bij het uitvoeren van de verschillende niveaus van de verkeers taak.

#### 3.1. Het oog

De lichtgevoelige laag van het oog is het netvlies (retina), waar lichtprikkel worden omgezet in zenuwsignalen. De oogmedia (onder andere hoornvlies, iris, lens) voor het netvlies verzorgen door hun lenswerking de optische afbeelding van de buitenwereld op het netvlies. Door het samentrekken van de oogspier kan de oog lens extra gebold worden, waardoor het oog geaccommodeerd kan worden op een punt in de nabijheid. De gevoeligheid van het netvlies is voor daglicht het grootste in de fovea en neemt progressief af richting periferie. In schemerlicht is het oog het minst gevoelig in de fovea. Deze verschillen in gevoeligheid zijn het gevolg van het feit dat de staafjes receptoren vooral gevoelig zijn bij lage lichtniveaus. Deze staafjes domineren in het perifere gezichtsveld en zijn afwezig in de

fovea. Het kegeltjessysteem dat bij daglichtniveau de visuele functie van de staafjes overneemt, is sterk geconcentreerd in en om de fovea. De staafjes verzorgen het nachtzien (scotopisch zien). De kegeltjes zijn gevoelig voor kleur en verzorgen het dagzien (fotopisch zien).

De basis van het fotopisch lichteenhedenstelsel is de *candela* (cd) die in feite niets anders betekent dan de *lichtsterkte* (luminous intensity I) van een gestandaardiseerde kaars. Om een idee van grootte te geven: het groot licht van een auto heeft een lichtsterkte van circa 50.000 cd, en het dimlicht een lichtsterkte van circa 300 cd. De *verlichtingssterkte* (in lux) is de hoeveelheid licht die op een oppervlakte valt (illuminance E). Het licht dat door deze oppervlakte wordt uitgestraald wordt aangeduid met *luminantie* (in  $\text{cd}/\text{m}^2$ ). De verhouding tussen het licht dat gereflecteerd wordt door de oppervlakte (luminantie) en het licht dat op deze oppervlakte valt (illuminantie) wordt uitgedrukt in een reflectiecoëfficiënt ( $\text{cd}/\text{m}^2/\text{lux}$ ). Deze maat (meer specifiek een afgeleide hiervan) wordt ondermeer gebruikt bij het beoordelen van de kwaliteit van verkeersborden. De absolute drempel voor visuele stimuli ligt ongeveer bij  $10^{-6} \text{ cd}/\text{m}^2$ , terwijl men nog zonder schade kan kijken naar een gloeiende draad van een brandende lamp (ongeveer  $10^7 \text{ cd}/\text{m}^2$ ).

Aanpassing aan luminantieverschillen kost tijd. Volledige donkeradaptatie kost ongeveer een half uur tot drie kwartier. Volledige adaptatie van donker naar licht kost slechts enkele minuten. Volledige adaptatie is in concrete situaties vaak niet nodig. Schreuder (1978) geeft een voorbeeld van een automobilist die een tunnel inrijdt. Wanneer de luminantie buiten de tunnel ongeveer  $8000 \text{ cd}/\text{m}^2$  (een sombere dag) bedraagt en in de tunnel bijvoorbeeld  $10 \text{ cd}/\text{m}^2$  dient het oog zich aan te passen aan een luminantieverschil van een factor 800. Dat duurt ongeveer 15 seconden.

Het begrip *gezichtsscherpte* wordt omschreven als de mate waarin het oog in staat is details te kunnen onderscheiden. Er wordt in dit verband wel gesproken over het oplossend vermogen van het oog. De gezichtsscherpte wordt vaak getest met letter- en symboolkaarten. Andere tests hebben betrekking op kleurenzien, dieptezien en het gezichtsveld. Uit een uitgebreide survey-studie blijkt dat er geen verband bestaat tussen de prestatie op zo'n gezichtsvermogenstest en de kans om betrokken te raken bij een ongeval (Burg, 1967; Schreuder, 1988). Hoewel een goede gezichtsscherpte van belang is bij het lezen van gedetailleerde tekst zoals deze soms voorkomt op verkeersborden, ligt het voor de hand te veronderstellen dat andere visuele vermogens dan een goed gezichtsvermogen van belang zijn in het verkeer. Het vermogen om op de juiste tijd op de juiste plaats te kijken is van een veel groter belang dan het kunnen waarnemen van een detail.

Onder het *gezichtsveld* verstaat men het gebied dat men zonder de ogen of het hoofd te bewegen kan overzien. De breedte van het gezichtsveld is ongeveer  $180^\circ$  en ongeveer  $130^\circ$  in de hoogte. Bedacht dient te worden dat het hierbij gaat om het 'overzien' van een relatief groot gebied. Men kan slechts over een zeer klein gebied scherp zien. Wat op de fovea (met een oppervlak van minder dan  $10 \text{ mm}^2$ ) wordt geprojecteerd wordt scherp waargenomen. De maximale gezichtsscherpte is al gehalveerd bij een excentriciteit van  $0,5$  tot  $1,5$  graden buiten de fovea, afhankelijk van het

meetinstrument (zie Antis, 1974). Anderzijds neemt de gevoeligheid voor het detecteren van beweging wel toe richting periferie.

Door middel van (saccadische) oogbewegingen kan de fovea gericht worden naar elk detail in het gezichtsveld. Door het maken van hoofd- en oogbewegingen kan de fovea gericht worden binnen een gebied dat zich uitstrekt 360° in het horizontale vlak en ongeveer 200° in het verticale vlak (Sanders & Reitsma, 1982). Saccaden zijn zeer snelle bewegingen met een maximum van ongeveer 1000°/seconde. De bewegingen zijn ballistisch, dat wil zeggen voordat de oogsprong gemaakt wordt, zijn afstand en de richting van beweging volledig bepaald. Bij een taak zoals lezen worden er ongeveer 4 tot 5 oogbewegingen per seconde gemaakt. Een oogsprong duurt ongeveer 30 tot 40 ms. Tussen de oogbewegingen zijn er oogfixaties waarbij het oog relatief stil staat. Deze fixaties duren, afhankelijk van de moeilijkheid van de tekst, ongeveer 150 tot 350 ms (bijvoorbeeld Rayner, 1984). Bij een oogfixatie wordt het gedeelte van het gezichtsveld waarop het oog gericht is geprojecteerd op de fovea, het gedeelte van het oog met een hoog oplossend vermogen. De rest van het gezichtsveld wordt geprojecteerd op het gedeelte van het oog met een lager oplossend vermogen.

Bij een nieuwe oogsprong wordt een ander gedeelte van het gezichtsveld geprojecteerd op de fovea terwijl het gedeelte dat gefixeerd was doorschuift naar het gebied met een laag oplossend vermogen (Van der Heijden, 1992).

Saccaden zijn zogenaamde conjuncte bewegingen waarbij de ogen in gelijke mate in een bepaalde richting bewegen. Compenserende oogbewegingen waarbij het voorwerp stil staat en het hoofd en ogen in tegengestelde richtingen bewegen, en volgbewegingen waarbij het hoofd stil staat en ogen en voorwerp bewegen, zijn ook conjuncte bewegingen. Vergente oogbewegingen waarbij de ogen naar elkaar toe of van elkaar af draaien duren relatief lang. Bijvoorbeeld de tijd die verstrijkt tussen een fixatie in de buitenwereld en een fixatie op de snelheidsmeter in de auto inclusief de accommodatie van de ooglens nodig voor het aflezen van de snelheidsmeter duurt 400 tot 800 msec voor personen onder 40 jaar. Voor ouderen boven de 60 jaar loopt deze tijd op tot 2 tot 2,7 seconden (Gramberg-Danielsen, 1967).

### 3.2. Visuele selectie

Het gebied dat binnen één oogfixatie kan worden overzien (het gezichtsveld) is vrij groot. Toch wordt slechts een fractie van de informatie aanwezig in het gezichtsveld 'echt' gezien, dat wil zeggen een fractie van de binnenkomende informatie wordt ook daadwerkelijk verwerkt. Alleen visuele informatie die verwerkt wordt, wordt doorgegeven aan de volgende informatieverwerking stadia. Hierbij dient wel bedacht te worden dat bij het uitvoeren van de verkeerstaak, informatie van een vrij primitieve aard (bijvoorbeeld informatie nodig voor het koershouden) automatisch verwerkt kan worden zonder dat het interfereert met het verwerken van andere informatie.

Informatie die verwerkt wordt kan als *geselecteerd* worden beschouwd. Het selectieproces dat bepaald welke fractie van de binnenkomende informatie wordt verwerkt, wordt aangeduid met 'selectieve aandacht' (Johnston & Dark, 1986). Het zal duidelijk zijn dat dit selectieproces van

cruciaal belang is: dit proces bepaalt of gebeurtenissen en/of objecten die van belang zouden kunnen zijn voor het uitvoeren van de verkeerstaak wel of niet gezien worden. Bijvoorbeeld een verkeerstek kan nog zo begrijpelijk zijn, als het niet geselecteerd wordt kan het geen invloed hebben op het beslissen en handelen van de weggebruiker. Selectie van de juiste visuele informatie op het juiste tijdstip is van essentieel belang voor het uitvoeren van de verkeerstaak.

### 3.2.1. *Visuele selectie en oogbewegingen*

Vaak wordt ervan uitgegaan dat de selectie van informatie uit het visuele veld bepaald wordt door de positie van de ogen. Het selectiemechanisme wordt wel gelijk gesteld met het maken van oogbewegingen. Selectie van wat men ziet wordt dan ook wel vereenvoudigd tot de vraag waar naar gekeken wordt. Hoewel dit idee intuïtief plausibel lijkt, is het niet correct. De feitelijke selectie van visuele informatie wordt bepaald door processen die vooraf gaan aan een oogsprong. Verondersteld wordt dat voordat een saccade naar een bepaalde plaats gemaakt wordt, visuele informatie op de plaats waarnaar het oog zal gaan bewegen voorrang krijgt boven informatie aanwezig op andere plaatsen in het visuele veld. Dit 'voorrang krijgen' wordt gelijk gesteld met het richten van aandacht naar de plaats waar het oog naar toe zal springen (Posner & Cohen, 1984). Hoewel er in de literatuur nog veel discussie bestaat over de precieze eigenschappen van visuele aandacht (bijvoorbeeld Van der Heijden, 1992) wordt in het algemeen visuele aandacht als metafoor vergeleken met een zoeklicht, dat wil zeggen de plaats waarop de aandacht gericht is, is helderder verlicht dan de plaatsen waar geen aandacht op gericht is (Broadbent, 1982). Vergelijkbaar met een zoeklicht kan spatiële aandacht slechts naar één plaats tegelijkertijd gericht worden (Posner, 1980). Het richten van aandacht naar een plaats in de visuele ruimte is feitelijk het selectieproces, dat wil zeggen stimuli aanwezig op de plaats waarop aandacht gericht is, kunnen als *geselecteerd* beschouwd worden. Visuele selectie gaat dus vooraf aan het maken van een oogsprong (Theeuwes, 1992).

Onder normale omstandigheden zal eerst de aandacht gericht worden door de waarnemer of getrokken worden door de omgeving, en gevolgd worden door een oogsprong naar de plaats waar de aandacht naar getrokken of gericht was. Een oogsprong is dus niet het selectieproces, maar het resultaat van het selectieproces dat vooraf gaat aan de oogsprong. Hierbij dient bedacht te worden dat het niet noodzakelijk is dat het richten van aandacht naar een plaats altijd gevolgd wordt door een oogsprong. In veel gevallen kan de visuele informatie aanwezig op de plaats waar de aandacht op gericht is verwerkt worden zonder dat een oogsprong noodzakelijk is. Een oogsprong is feitelijk alleen noodzakelijk wanneer voor de verwerking van de visuele informatie, aanwezig op de plaats waar de aandacht op gericht is, een hoog oplossend vermogen vereist is. Om de gedetailleerde visuele informatie te kunnen verwerken dient het meest gevoelige deel van het oog, de fovea, gericht te worden naar de plaats waar de visuele informatie zich bevindt. Bijvoorbeeld, wanneer een weggebruiker moet beslissen of er op een kruispunt een driehoekig rood bord aanwezig is, dan is het richten van aandacht naar de locatie van het driehoekig rood bord voldoende. Om te beslissen of iets rood driehoekigs aanwezig is in het visuele veld is geen hoge spatiële resolutie nodig zodat de weggebruiker een antwoord kan

geven zonder dat het bord ook daadwerkelijk gefixeerd wordt. Wanneer er gevraagd wordt naar het symbool aanwezig op het driehoekig rood bord (bijvoorbeeld bocht naar rechts of bocht naar links) dan is een oogsprong noodzakelijk omdat het oplossend vermogen in de periferie te laag is om zo'n detail te kunnen waarnemen. In een aantal gevallen is het maken van een oogsprong niet nodig; bijvoorbeeld, zonder daadwerkelijk de binnenspiegel te fixeren zal de automobilist kunnen beslissen of er iemand achter hem rijdt.

Hoofd- en oogbewegingen kunnen beschouwd worden als een globaal selectiemechanisme: door het maken van een hoofd- en/of oogbeweging wordt een 'nieuw' gezichtsveld aan het oog aangeboden; bijvoorbeeld, het naar rechts en naar links kijken bij het oversteken van de straat. Binnen één oogfixatie wordt de selectie bepaald door de richting van de spatiële aandacht. Onder normale omstandigheden valt de plaats van spatiële aandacht en de plaats van fixatie samen, maar zoals aangegeven is dit niet noodzakelijk. Het meten van oogbewegingen en oogfixaties kan een belangrijk hulpmiddel zijn bij de bestudering van visuele selectie in natuurlijke situaties. Hierbij dient dan wel bedacht te worden dat het mogelijk is dat bepaalde visuele informatie verwerkt wordt zonder dat deze gefixeerd wordt, en dat sommige informatie gefixeerd wordt zonder dat deze daadwerkelijk verwerkt wordt (bijvoorbeeld 'looking without seeing'; Mackworth & Mackworth, 1958).

### 3.2.2. *Preattentieve en attentieve verwerking*

Spatiële aandacht kan slechts naar één plaats tegelijkertijd gericht en/of getrokken worden. Dit impliceert dat selectie op dit niveau serieel plaats vindt, dat wil zeggen de visuele informatie aanwezig op verschillende plaatsen wordt één voor één, na elkaar geselecteerd en verwerkt. Dit soort verwerking wordt ook wel *attentieve* verwerking genoemd (bijvoorbeeld Broadbent, 1958; Neisser, 1967). Bijvoorbeeld het zoeken naar de letter E in een rij van letters (bijvoorbeeld R H K B F H K U E R H) zal serieel plaats vinden: één letter wordt geselecteerd en verwerkt, en wanneer het niet de letter E is wordt, de volgende letter geselecteerd, etc. Hoe meer letters er aangeboden worden des te langer zal het zoeken naar de letter E duren. Dit soort

attentieve verwerking kan vooraf gegaan worden door preattentieve verwerking waarbij er een globale groepering of vlakscheiding ontstaat over het gehele visuele veld. Dit soort verwerking wordt beschouwd als een 'vroeg' perceptueel proces en is zeer effectief omdat het parallel over het visuele veld plaats vindt. Dit proces wordt beschouwd als een eerste globale analyse van de visuele scene waarbij de visuele scene gegroepeerd wordt naar verschillende potentiële objecten. Het richten van spatiële aandacht (attentieve verwerking) naar zo'n potentieel object zorgt ervoor dat het object geselecteerd en verder verwerkt wordt. Bijvoorbeeld, het zoeken naar de letter E gaat aanzienlijk sneller in dezelfde rij van letters wanneer deze afwijkt van de andere letters door middel van een kenmerk dat gedetecteerd kan worden door het vroege preattentieve proces (bijvoorbeeld R H K B F H K U E R H). In dit geval zal de zoektijd onafhankelijk zijn van het aantal letters aanwezig in deze rij. Het richten van aandacht naar de plaats van de letter E is nodig om dit object te selecteren en verder te verwerken, bijvoorbeeld te bepalen of het hier om de letter E gaat. Wanneer

een preattentieve groepering mogelijk is, zoals in dit voorbeeld, worden de andere letters niet geselecteerd noch verwerkt.

Wanneer de tijd die het kost om een object op te sporen onafhankelijk is van de hoeveelheid informatie aanwezig in het visuele veld, wordt gesproken van een 'pop-out', het object springt uit de achtergrond (Treisman & Gelade, 1980). Dit betekent dat spatiële aandacht automatisch getrokken wordt naar het unieke object (Theeuwes, 1991, 1992). Met andere woorden, het object wordt automatisch *geselecteerd*. Zo'n pop-out kan alleen verkregen worden wanneer een object wat betreft een 'basic feature' afwijkt van alle andere objecten. De pop-out wordt veroorzaakt doordat de *verschillen* in basic features gedetecteerd kunnen worden door het vroege preattentieve proces. Een object met een unieke kleur, een unieke oriëntatie, een unieke helderheid, beweging of grootte zal een pop-out kunnen geven. In principe zullen objecten die gekarakteriseerd worden door een combinatie van basic features (bijvoorbeeld kleur en vorm, een rond blauw bord tussen ronde rode borden en blauwe vierkante borden) geen pop-out geven, omdat een combinatie van deze basic features niet gecodeerd kan worden door het vroege perceptuele proces.

Het proces van preattentieve verwerking is van cruciaal belang voor de verkeerstaak. Dit proces zorgt ervoor dat aandacht snel en automatisch getrokken kan worden door opvallende objecten die van belang kunnen zijn voor de verkeerstaak, bijvoorbeeld het naderen van voertuigen in de periferie. Het belang van het preattentieve proces voor de verkeerstaak werd recentelijk aangetoond in een studie van Owsley e.a. (1991). Uit deze studie kwam naar voren dat er een significante relatie bestond tussen de prestatie op een visuele aandachtstaak waarbij preattentieve verwerking van belang was en het aantal ongevallen bij oudere automobilisten. Er was geen relatie tussen het aantal ongevallen bij ouderen en visuele functies zoals centrale en perifere contrast gevoeligheid, gezichtsscherpte en gevoeligheid voor verblinding.

### 3.2.3. *Selectie: gerichte en getrokken aandacht*

#### *Opvallendheid*

Zoals hierboven beschreven wordt selectie in het visuele veld bepaald door de locatie van de visuele aandacht. Wanneer aandacht *getrokken* wordt naar een object op een bepaalde plaats in het visuele veld, zonder dat de waarnemer de intentie daartoe had, wordt wel gesproken over exogene sturing van aandacht (bijvoorbeeld Theeuwes, 1991a). De selectie wordt dan in het geheel bepaald door de eigenschappen van de stimulering die zijn afgestemd op vaste analyse-eigenschappen van het preattentieve stadium van het visuele systeem. Een object 'popped-out' de achtergrond, en wordt automatisch geselecteerd. Het vermogen van een object om aandacht te trekken (een pop-out) zonder dat de waarnemer de intentie daartoe had wordt *opvallendheid* genoemd.

Opvallendheid is een belangrijke eigenschap van een object of gebeurtenis. Door rekening te houden met de opvallendheid van de verschillende objecten in het visuele veld kan het selectieproces tot op zekere hoogte van buiten af gestuurd worden. Door het kiezen van specifieke fysische eigenschappen van stimulering aanwezig in het visuele veld (bijvoorbeeld

kleur, beweging, vorm) zou de volgorde waarin objecten geselecteerd worden, door het ontwerp (vooraf) bepaald kunnen worden. In een aantal laboratoriumstudies heeft Theeuwes (1991b, 1992a, 1992b) laten zien dat de selectieprioriteit geheel bepaald wordt door de relatieve opvallendheid van objecten aanwezig in het visuele veld. Hierbij dient bedacht te worden dat het hierbij ging om visuele zoektaken waar slechts twee opvallende objecten tegelijkertijd aanwezig waren. Hoewel deze studies van belang zijn om de rol van preattentieve vlakscheiding en het mechanisme van deze exogene aandacht trekking goed in kaart brengen, dient bedacht te worden dat in de praktijk vaak meer opvallende objecten en verschillende achtergronden tegelijkertijd aanwezig zijn. Omdat preattentieve vlakscheiding dan slechts kan werken voor gebieden waar de aandacht naar gericht wordt, speelt onder dit soort omstandigheden ‘gerichte’ aandacht ook een belangrijke rol.

*De opvallendheid van een object bestaat feitelijk niet. Opvallendheid is altijd gekoppeld aan visuele objecten of gebeurtenissen in hun omgeving: een bewegend object tussen stilstaande objecten valt op; wanneer alle objecten gaan bewegen valt het object niet meer op. Opvallendheid is dus afhankelijk van verschillen tussen perceptuele attributen van objecten (zgn. ‘basic features’) in het visuele veld (zie Theeuwes, 1992a voor een model). Zo’n perceptueel attribuut kan bijvoorbeeld kleur zijn: een rood verkeersbord tegen een blauwe lucht is opvallend, een blauw verkeersbord niet; in het rode avondlicht is het blauwe bord opvallend, en het rode niet meer.*

Er zijn verschillende definities van opvallendheid (zie Theeuwes, 1989, voor een overzicht). Veel definities geven als belangrijkste eigenschap van opvallendheid dat een opvallend object de aandacht trekt (bijvoorbeeld Conners, 1975; Gerathwohl, 1954; Jenkins, 1979; Wertheim, 1986). Andere definities geven aan dat een opvallend object zo afwijkt van zijn omgeving dat “it demands to be looked at” (Jenkins, 1979, p.2). De meest formele definitie wordt gegeven door Engel (1974, 1977): “visuele opvallendheid van een object is de grootte van het gezichtsveld waarin dit object in zijn achtergrond kan worden ontdekt.” Theeuwes (1989) geeft een overzicht van de meetmethodes voor het bepalen van opvallendheid in laboratorium- en natuurlijke situaties.

Om een voorstelling te kunnen maken wat met opvallendheid bedoeld wordt, kan men het volgende proefje uitvoeren. Fixeer een object, en ga langzaam stapsgewijs naast het object fixeren (bijvoorbeeld stapje voor stapje rechts naast het object kijken). Iedere keer wanneer men verder naast het object kijkt, wordt het object minder duidelijk. Op een gegeven moment is men met het oog zo ver naar rechts gestapt dat het object niet meer zichtbaar is: het object is verdwenen in de achtergrond. De mate waarin het oog naar rechts kan stappen (de visuele hoek) zonder dat men het object uit het oog verliest geeft de mate van opvallendheid. Wanneer men heel ver naast het object moet kijken voordat het verdwijnt, dan is het object erg opvallend. Het zogenaamde *opvallendheidsgebied* van zo’n object is dan groot (Engel, 1974), hetgeen betekent dat wanneer er een oogfixatie binnen het opvallendheidsgebied gemaakt wordt, het object gedetecteerd kan worden. Hoewel men dus in een bepaald geval erg ver naast het object kijkt (bijvoorbeeld het midden van de weg fixeert) is het opvallende object



(een rood bord in een groen grasveld) toch te detecteren. Om een object met een klein opvallendheidsgebied te kunnen detecteren moet men vlak naast het object in het opvallendheidsgebied fixeren. Het gegeven dat een object opvallend is in zijn omgeving komt uit het voorbeeld duidelijk naar voren: men verliest een rood object eerder uit het oog wanneer er meer rode objecten in de buurt van het object aanwezig zijn.

Opvallendheid is belangrijk omdat het direct samenhangt met de snelheid waarmee objecten opgespoord kunnen worden in het visuele veld. Zoals beschreven in de vorige paragraaf hangt die snelheid met name af van de mate waarin verschillen in perceptuele attributen gedetecteerd kunnen worden door het vroege preattentieve proces. Hoewel in de literatuur dit verband niet gelegd wordt, hangt opvallendheid nauw samen met 'pop-out' effecten zoals beschreven in visuele-aandachtstheorieën (Treisman & Gelade, 1980). Dit impliceert dat opvallendheid gedefinieerd zou moeten worden in termen van verschillen in 'basic features' (zie Enns, 1990, voor een overzicht van bekende basic features). Wanneer een object verschillend is van zijn achtergrond wat betreft luminantieverandering (flitslichten), kleur, luminantie, contrast, grootte, oriëntatie, of richting van bewegen zal zo'n object in het algemeen opvallend zijn.

De rol van opvallendheid bij het opsporen van doelen in de omgeving kan als volgt beschreven worden. Stelt u zich voor dat u als waarnemer op zoek bent naar uw auto. Wanneer deze auto rood van kleur is en zich bevindt tussen alleen maar groene auto's dan is het opvallendheidsgebied van de rode auto erg groot. U komt de parkeerplaats oplopen en de eerste oogfixatie valt - omdat het opvallendheidsgebied zo groot is - meteen in het opvallendheidsgebied van de rode auto. De aandacht wordt naar de auto getrokken gevolgd door een oogsprong naar de auto. Wanneer er auto's van allerlei kleuren en allerlei vormen op de parkeerplaats aanwezig zijn dan is geen van de auto's opvallend en zal het opvallendheidsgebied van de rode auto ook relatief klein zijn en overlappen met de opvallendheidsgebieden van andere auto's. Het preattentieve detectieproces kan feitelijk weinig helpen omdat geen van de auto's uniek gecodeerd is op één van de basic dimensies.

In zo'n situatie - en dit is situatie die in praktijk relatief veel voorkomt - dient u te gaan zoeken. U maakt oogsprongen (u stapt met uw oog door de omgeving) en wanneer een oogfixatie toevallig in het opvallendheidsgebied van uw rode auto valt, trekt deze aandacht, en wordt gefixeerd. Hierbij dient bedacht te worden dat er ook lokaal een pop-out kan optreden: hoewel er allerlei kleuren auto's op de parkeerplaats staan kan de rode auto toevallig net geparkeerd staan tussen een aantal groene auto's: wanneer uw aandacht die kant op richt zal deze auto gemakkelijk terug te vinden zijn.

Hoewel in het voorbeeld gesuggereerd werd dat het met het oog door de visuele ruimte stappen min of meer toevallig gebeurt is deze voorstelling van zaken niet correct. Wanneer u op zoek bent naar uw auto maakt u gebruik van een veelheid van voorkennis die het zoekproces stuurt. Bijvoorbeeld, u weet dat uw auto op de grond staat en niet door de lucht zweeft, door het diepteperspectief heeft u een idee over de grootte van de auto, u weet wellicht nog waar u uw auto geparkeerd heeft, etc. Deze kennis wordt gebruikt om niet de hele omgeving te hoeven afzoeken. U als waarnemer *stuurt* op grond van voorkennis het zoekproces, zodat dit

proces nog redelijk snel uitgevoerd kan worden. Dit sturen van het zoekproces op grond van voorkennis speelt in natuurlijke scènes waar een veelheid van objecten en opvallendheidsgebieden elkaar overlappen een cruciale rol.

#### *Aandachtsturing*

Wanneer aandacht intentioneel *gericht* wordt naar een object op een bepaalde plaats in het visuele veld wordt wel gesproken over *endogene* sturing van aandacht (bijvoorbeeld Theeuwes, 1991a). Bij endogene sturing wordt selectie in het geheel bepaald door de intenties van de waarnemer. Deze intenties worden bepaald door voorkennis over de uit te voeren taak en voorkennis over de visuele omgeving waar de zoektaak uitgevoerd dient te worden.

Zoals reeds besproken, wordt visuele selectie nooit volledig endogeen of exogeen gestuurd. Het is een wisselwerking tussen de eigenschappen van de stimulering vanuit de omgeving en de intenties van de waarnemer. In situaties waarbij het preattentieve stadium voor een vlakscheiding zorgt wordt selectie vooral bepaald door de opvallendheid van de objecten (Theeuwes, 1991b, 1992). Anderzijds, in situaties waar het op te sporen object geen pop-out geeft (bijvoorbeeld een verkeersbord in een winkelstraat) en het object alleen gevonden kan worden door serieel door het visuele veld te zoeken, speelt top-down beïnvloeding een belangrijke rol. Bij het opsporen van objecten speelt alleen voorkennis over de plaats van het object een belangrijke rol. Voorkennis over bijvoorbeeld de kleur, vorm, of beweging van een object speelt een belangrijke rol bij het *identificeren* van het object wanneer het geselecteerd is (zie volgende paragraaf), maar vooralsnog is er weinig evidentie dat deze voorkennis ook een rol speelt bij het selectieproces (zie Theeuwes, 1992b, voor een discussie).

Voorkennis over de plaats van een object ligt opgeslagen in het geheugen. De automobilist weet bijvoorbeeld waar op de parkeerplaats hij de auto geparkeerd heeft en zal derhalve juist die plaats afzoeken. Plaatsverwachtingen worden sterker wanneer de automobilist iedere dag zijn auto op dezelfde plaats op de parkeerplaats parkeert. Er ontstaat een 'prototype' van die parkeerplaats, wat bestaat uit een representatie van de typische onderlinge spatiële relaties van de auto (bijvoorbeeld positie, hoek en grootte van de auto gegeven het perspectief, enzovoort) op die parkeerplaats. Wanneer de automobilist steeds op hetzelfde tijdstip op de parkeerplaats arriveert en andere parkeerders iedere dag op datzelfde vaste tijdstip de parkeerplaats verlaten, dan ontstaat er ook een verwachting in de tijd: eerst rijdt meneer X weg, de slagboom gaat open, dan meneer Y enzovoort. Door een consistente ervaring met zo'n situatie ontstaan er derhalve verwachtingen in plaats en in tijd. Deze 'prototypes' in tijd en in plaats sturen het gedrag. Wanneer er een afwijking ontstaat van deze prototypen (bijvoorbeeld de auto wordt op een andere plaats geparkeerd) dan zal er verwarring ontstaan en het zoekgedrag inefficiënt verlopen.

Op basis van onderzoek naar de rol van prototypen bij objectherkenning (Rosch e.a., 1976) is het aannemelijk om te veronderstellen dat het verkeersgedrag (onder andere zoekgedrag, identificatie en handeling) in belangrijke mate gestuurd wordt door deze prototypen. Hoewel hiervoor geen directe evidentie is, kan verondersteld worden dat ervaring met diverse

wegomgevingen er na verloop van tijd toe zullen leiden dat weggebruikers voor de verschillende typen wegen prototypische representaties ontwikkelen. Van belang voor het ontstaan van deze prototypes is consistentie: consistentie met betrekking tot de verschijningsvorm van een bepaald type weg en consistentie met betrekking tot het gedrag dat plaats vindt op dat type weg. In de verkeersomgeving is aan de ene kant een grote mate van consistentie aanwezig. Bijvoorbeeld, wegelementen, belijning, en verkeersborden veranderen nauwelijks. Het wegverloop kan redelijk goed voorspeld worden. Het gedrag van andere weggebruikers is begrensd door verkeersregels. Aan de andere kant dient hierbij bedacht te worden dat deze consistentie in lay-out en gedrag niet specifiek gekoppeld is aan bepaalde typen wegen.

Wanneer de verschijningsvorm van de verschillende verkeersomgevingen homogeen en maximaal verschillend is van andere typen van wegen, en het gedrag typisch gekoppeld is aan zo'n weg (bijvoorbeeld snelwegen in Nederland: snel rijden, geen kruispunten, geen langzaam verkeer, enzovoort) dan kan een consistente prototypische representatie gemakkelijk ontstaan. Bijvoorbeeld, wanneer aan weggebruikers gevraagd zou worden om een snelweg te beschrijven dan zal er veel consistentie zijn in de beschrijvingen van de aard en de positie van de omgevingselementen en andere weggebruikers. Het stellen van zo'n zelfde vraag voor bijvoorbeeld 80 km/uur-wegen buiten de bebouwde kom zal een veel minder consistent resultaat geven: omdat er weinig homogeniteit is in de verschijningsvorm van en het gedrag op dit soort wegen zal voor iedere weggebruiker de prototypische 80 km/uur-weg anders zijn. Wanneer voor een bepaald type weg de verschijningsvormen niet homogeen zijn en niet sterk afwijken van de verschijningsvormen van andere typen wegen dan zal er geen eenduidige prototypische representatie ontstaan voor dat type weg. Bovendien zullen de prototypen die zich ontwikkelen een bias laten zien voor de verschijningsvorm van het type weg waarmee de weggebruiker toevallig veel geconfronteerd is.

Prototypen van wegen waarin de typische onderlinge spatiële relaties tussen de wegelementen en weggebruikers gerepresenteerd zijn kunnen als *scene schemata* (c.f., Bartlett, 1932; McClelland & Rumelhart, 1981) worden aangeduid. Zo'n schema geeft de onderlinge relaties (bijvoorbeeld positie, grootte van een object gegeven het perspectief) en de waarschijnlijkheid van objecten in zo'n scene (e.g. Biederman e.a., 1982). Representaties in de tijd worden wel *scripts* genoemd (Minsky, 1975). Deze scripts bestaan uit bepaalde prototypische temporele representaties tussen bepaalde handelingssequenties en gebeurtenissen (bijvoorbeeld het moment dat er bepaalde objecten en andere weggebruikers verschijnen) in een bepaalde scene.

Een prototypisch sceneschema voor een kruispunt voor een 80 km/uur-weg zou kunnen bestaan uit een door verkeerslichten geregelde kruising met een gescheiden fietspad, voorsorteervakken, gemengd dwarsverkeer, specifieke belijning, etc; alle objecten die op een bepaalde wijze gepositioneerd zijn binnen de scene (omdat er weinig homogeniteit is bij de verschijningsvorm van kruisingen op 80 km/uur-wegen zijn andere beschrijvingen ook mogelijk). Een script voor zo'n zelfde kruising, zou kunnen bestaan uit bijvoorbeeld het naderen van het kruispunt, het naar rood gaan van het

verkeerslicht, het stoppen, het stilstaan voor tenminste een bepaalde tijd, het oprijden van eerst het afbuigende verkeer, dan het langzaam verkeer, en vervolgens het dwarsverkeer enzovoort.

Er wordt verondersteld dat de prototypische schema's in tijd en ruimte die verantwoordelijk zijn voor het ontstaan van bepaalde verwachtingen, *visueel* geactiveerd worden. Er is evidentie dat de 'holistische' informatie van een scene (wat voor type scene het is) in een vroeg perceptueel stadium beschikbaar is (Biederman, 1982) en verkregen kan worden binnen een enkele oogfixatie (Potter, 1975). Deze informatie zou zowel het scene-schema (de prototypische scene) als het scriptschema kunnen activeren zoals dat gerepresenteerd is in een geheugensysteem. De activatie van een schema leidt er toe dat bepaalde verwachtingen geïnduceerd worden, terwijl andere zaken juist niet verwacht worden (Friedman, 1979). Een prototypische sceneschema zal specifieke verwachtingen induceren ten aanzien van de waarschijnlijkheid dat een bepaald object zich in die scene bevindt ('probability', Biederman, 1982), de positie die zo'n object inneemt in een scene en in relatie tot andere objecten ('position') en de grootte van zo'n object in relatie tot andere objecten in de scene ('familiar size'). Een prototypisch script zal verwachtingen bevatten over het optreden van bepaalde gebeurtenissen en handelingen in de tijd, en over het afwezig zijn van bepaalde gebeurtenissen/ handelingen.

Riemersma (1988a, 1988b) heeft onderzoek verricht naar de *subjectieve* categorisering van de wegomgevingen zoals die gerepresenteerd is in de hoofden van de weggebruikers. Uit het onderzoek naar wegkenmerken binnen de bebouwde kom kwam naar voren dat de objectieve criteria zoals deze gebruikt worden bij het ontwerp slechts in beperkte mate terugkomen in de subjectieve categorisering. Bovendien liet deze studie zien dat de door weggebruikers ingeschatte veilige snelheid in woonstraten alleen afhangt van de manoeuvreerinspanning (de moeite die het kost om het voertuig op de weg te houden) en niet van de mogelijke ontmoetingen met andere weggebruikers. Uit studie aan wegen buiten de bebouwde kom waarbij het ging om enkelbaans en dubbelbaans autowegen kwam naar voren dat vluchtstroken op autosnelwegen, een kenmerk dat autosnelwegen onderscheidt van autowegen, niet gebruikt worden als kenmerk voor de *subjectieve* indeling. Bovendien bleek dat dubbelbaans autowegen regelmatig gecategoriseerd werden als autosnelwegen (15-20%). Het onderzoek van Mazet & Dubois (1988) laat zien dat weggebruikers de verkeersomgevingen vooral categoriseren op grond van de *activiteiten* die daar plaatsvinden. Dit impliceert dat het (kunstmatig) creëren van verschillende categorieën van wegen waar in het algemeen dezelfde soort gedragingen zullen optreden (bijvoorbeeld een zelfde snelheidsgedrag, inhaalgedrag, voorrangregels), subjectief gecategoriseerd zullen worden door hetzelfde prototype (bijvoorbeeld dubbelbaans autowegen en snelwegen, zie Riemersma, 1988a). Bijvoorbeeld een woonwijk waar iedereen 80 km/uur rijdt (het gedrag dat feitelijk optreedt) en een stadsautosnelweg waar iedereen 80 km/uur rijdt, zouden, ondanks het feit dat ze er anders uitzien, toch hetzelfde gecategoriseerd kunnen worden. Zo'n onjuiste categorisatie is gevaarlijk omdat een hele set van andere verwachtingen voor dit type wegen zeer verschillend is (bijvoorbeeld kans op tegenliggers, dwarsverkeer, enzovoort).

Recent onderzoek (Theeuwes, 1991) laat zien dat het visuele zoekgedrag in natuurlijke (verkeers)scenes voor een belangrijk deel gestuurd wordt door de voorkennis. Wanneer proefpersonen zoeken naar objecten in natuurlijke verkeersscenes, zoeken ze alleen die plaatsen af waar het object zich, gegeven de bepaalde scene, met een zekere waarschijnlijkheid zal bevinden. Dus bijvoorbeeld wanneer proefpersonen op zoek zijn naar een fietser zullen ze zoeken op het fietspad en niet op de rijbaan. Wanneer zo'n fietser zich dan toch op de rijbaan bevindt dan wordt deze eenvoudig niet snel gevonden. De studie laat zien dat het visuele zoekgedrag afhankelijk is van de verwachtingen die de omgeving induceert. De lay-out van de omgeving activeert een prototypische representatie van die omgeving (schema) die dan prototypische plaatsverwachtingen oproept. Het is aannemelijk dat vooral in situaties waarbij er relatief weinig tijd is om de juiste informatie op te sporen (bijvoorbeeld situaties met een hoge visuele en cognitieve belasting, nadering van kruispunten, rijden met hoge snelheid, rijden in druk verkeer) automobilisten schemagedreven zoekgedrag vertonen en alleen kijken op die plaatsen waar het aannemelijk is dat zich relevante objecten bevinden. Wanneer de verkeersomgeving, gegeven een bepaalde situatie, het juiste schema induceert, zal het opsporen van relevante objecten zeer effectief en accuraat kunnen plaats vinden. Anderzijds wanneer de lay-out van een wegomgeving de verkeerde verwachtingen induceert (bijvoorbeeld men verwacht geen fietser op die plaats in de scene), zal dit, zeker in condities van hoge visuele belasting, tot zeer gevaarlijke situaties leiden: relevante objecten worden eenvoudig niet (of te laat) gezien, en er wordt ook niet meer verder gezocht.

Het belang van het induceren van de juiste verwachtingen wordt versterkt door onderzoek dat laat zien dat de selectie in het visuele veld niet alleen afhangt van de fysische opvallendheid van objecten maar ook van de taakstelling van de proefpersoon (Hughes & Coles, 1984; Theeuwes, 1990, 1991). Opvallende objecten worden alleen waargenomen wanneer ze in de taakstelling passen. Concreet betekent dit dat wanneer een wegomgeving bepaalde verwachtingen induceert, deze niet of nauwelijks doorbroken kunnen worden door het plaatsen van (zeer opvallende) verkeersborden en/of andere infrastructurele elementen.

Om ervoor te zorgen dat omgevingen de juiste verwachtingen induceren bij de weggebruiker dienen zogenaamde 'self-explaining roads' te worden ontworpen (zie Theeuwes & Godthelp, 1992; Theeuwes, Godthelp & Riemersma, 1992). Dit soort wegen ontlokken louter door het ontwerp bepaald verkeersveilig gedrag. Op deze wijze kunnen fouten in de waarneming door het ontwerp worden uitgesloten.

### 3.3. Identificatie

Wanneer een object geselecteerd is, zijn alleen de perceptuele attributen van een vrij primitieve aard geïdentificeerd. Bijvoorbeeld, de kleur, de luminantie en de grove vorm van het object kunnen worden geïdentificeerd op een laag perceptueel niveau. In het identificatiestadium dient het object nader geanalyseerd en geïdentificeerd te worden. Bij het identificeren van het object wordt de representatie zoals deze in de buitenwereld aanwezig is, vergeleken met een representatie zoals deze in het geheugen aanwezig is. Bij visuele selectie speelde met name voorkennis over de plaats van het

object een belangrijke rol. De identificatie van objecten wordt beïnvloed door voorkennis over een hele serie van stimulusattributen zoals voorkennis over de kleur, vorm, richting van beweging, oriëntatie, semantische associatie enzovoort. Dit soort verwachtingseffecten kunnen optreden doordat de waarnemer zich bewust voorbereidt op een bepaalde stimulus, maar verwachtingseffecten kunnen ook het gevolg zijn van zogenaamde automatische 'priming' waarbij de identificatie van een object versnelt zonder dat de waarnemer zich bewust voorbereidt op de stimulus (Posner, 1978).

Voorkennis speelt bij de identificatie van objecten een belangrijkere rol dan de informatie zoals deze het systeem binnen komt. Wanneer de context zeer sterke verwachtingen induceert, kan de top-down beïnvloeding zodanig sterk zijn dat de identificatie vooral gebaseerd is op verwachtingen en nog slecht marginaal op de informatie zoals deze het systeem binnen komt. Bijvoorbeeld uit leesonderzoek komt naar voren dat woorden beter geïdentificeerd worden wanneer deze worden vooraf gegaan door een zin die contextueel zinvol is (bijvoorbeeld Ehrlich & Rayner, 1981; Morton, 1969). Wanneer de context sterk genoeg is kunnen woorden die zonder context volledig onduidelijk zijn, toch geïdentificeerd worden (bijvoorbeeld McClelland & O'Regan, 1981).

Biederman (1972) liet zien dat de identificatie van een object gefaciliteerd wordt wanneer het object in de scene past (bijvoorbeeld een fietser op het fietspad). Identificatie wordt langzamer wanneer het object niet in de scene past (Biederman e.a., 1982). Palmer (1975) liet zien dat fouten in de identificatie van objecten optreedt wanneer een object visueel op een object lijkt dat wel in zo'n scene past. Vergelijkbaar met de context effecten op visueel zoeken, vindt de top-down beïnvloeding bij de identificatie van objecten plaats doordat de scene bepaalde geheugenrepresentaties activeert (schemata). Tijdens objectidentificatie interacteert het schema met de binnenkomende informatie. Objecten die in zo'n schema passen worden automatisch zonder al te veel moeite geïdentificeerd. Objecten die niet in zo'n scene passen vragen extra 'capaciteit'. Herkenning en identificatie zal lang duren en er zullen relatief veel fouten gemaakt worden. Bijvoorbeeld, Friedman (1979) liet zien dat de duur van een oogfixatie op een object dat niet in de scene paste twee maal zo lang was als een fixatie op een object dat wel in de scene paste. Recent onderzoek (Lawson & Humphreys, 1992) geeft evidentie dat objecten op een optimale kijk-specifieke manier opgeslagen liggen in het geheugen: bijvoorbeeld een fiets wordt het snelst geïdentificeerd wanneer deze 60 graden gedraaid in de diepte wordt aangeboden. Wanneer een object in een andere dan de optimale positie wordt aangeboden duurt het identificeren langer omdat het object mentaal geroteerd dient te worden.

#### 3.4. **Beslissing en handeling**

Zoals eerder aangegeven staat visuele waarneming in het verkeer niet op zichzelf: waarneming staat in dienst van de verkeerstaak. Bepaalde handelingen bij het uitvoeren van de verkeerstaak ontstaan om de discrepantie tussen de momentane situatie en de situatie die de persoon probeert te bereiken te verminderen. Om een bepaald hoofddoel te bereiken (bijvoorbeeld zo snel mogelijk reizen van A naar B) wordt het hoofddoel

onderverdeeld naar een hele set van kleinere doelen (e.g. SOAR: Laird e.a., 1987). Er vindt feitelijk een probleemdecompositie plaats. Elk doel kan bereikt worden door een set van verschillende acties. Om het hoofddoel te bereiken wordt er bijvoorbeeld op een lager niveau met een bepaalde snelheid gereden, wordt er wel of niet ingehaald, wordt er wel of niet voor een verkeerslicht gestopt enzovoort. Maar om het hoofddoel te bereiken kan er op een hoger niveau bijvoorbeeld ook gekozen worden voor het reizen per trein, of vliegtuig. De bovenstaande decompositie met betrekking tot goals en acties is terug te vinden in de hiërarchische indeling van de verkeerstaak (Janssen, 1979).

Het hoogste 'strategische' niveau omvat planningsaspecten betreffende het reisdoel, de keuze van het vervoermiddel en de routekeuze. Op grond van bepaalde motieven wordt besloten om van A naar B te reizen (werk, recreatie), met een bepaald vervoermiddel (comfort, tijd), volgens een bepaalde route (tijd, beleving) en met een meer of minder globaal tijdschema (tijdsdruk, nut). Deze planningsaspecten vormen de randvoorwaarden waarbinnen de taak op het zgn. 'manoeuvre'-niveau wordt verricht. Dit niveau omvat taken met betrekking tot de keuze van de uit te voeren manoeuvres, zoals inhalen, passeren, oversteken, parkeren, stoppen, voorrang geven enzovoort.

Op het laagste niveau van de taakuitvoering, het 'regel'-niveau, spelen zich taken af die te maken hebben met bijvoorbeeld het regelen van de positie van het voertuig op de weg, het sturen, en het schakelen van het voertuig. Op dit niveau spelen zich acties af die in een korte tijdspanne plaatsvinden. Deze acties worden 'automatisch' uitgevoerd, in die zin dat ze uitgevoerd worden wanneer een bepaalde stimulus wordt aangeboden.

De manier waarop een verkeersdeelnemer bovenstaande taken uitvoert hangt natuurlijk sterk af van de plaats in de beschreven hiërarchie en de routine die men heeft met de taakuitvoering. Rasmussen (1985) maakt hiertoe onderscheid tussen drie niveaus van taakuitvoering: taken die worden uitgevoerd op basis van kennis (knowledge based), regels (rule based), en vaardigheden (skill based). Het hoogste niveau, het niveau waarbij de taak 'knowledge based' dient te worden uitgevoerd, doet zich meestal voor in nieuwe situaties (bijvoorbeeld uitzoeken hoe men het beste naar een nieuwe bestemming kan rijden). Zo'n situaties kan 'nieuw' zijn omdat het een niet vaak voorkomende situatie is en/of kan een situatie zijn die vaak voorkomt maar waarmee de persoon nog weinig ervaring heeft. De keuze van gedrag hangt in zo'n situatie af van interpretatie en deductief redeneren. Wanneer een bepaalde situatie zich herhaaldelijk voordoet dan zal er na verloop van tijd een regel ontstaan hoe om te gaan met die situatie en welk gedrag gewenst is. Het 'begrijpen' van de situatie is niet langer noodzakelijk, en de herkenning van de situatie zal tot geschikt gedrag leiden. Ten slotte, 'skill based'-taken worden 'automatisch' uitgevoerd: binnenkomende informatie leidt automatisch tot een response, bijvoorbeeld het opschakelen bij een hoog toerental. Dit soort taken bestaat doorgaans uit eenvoudige perceptief-motorische acties. Het gedrag is en blijft doelgericht zonder dat er sprake is van bewuste controle.

Voor het uitvoeren van de verkeerstaak op het *strategische niveau* speelt visuele waarneming zoals hier beschreven nauwelijks een rol. Bij het maken van reisplannen spelen algemene overwegingen over verkeer en vervoer een

rol. Het werkelijk navigeren door een stad (bijvoorbeeld het zoeken naar bepaalde bestemmingen) wat vooral bepaald wordt door de actuele omstandigheden, wordt in het algemeen niet tot het strategisch niveau van de taak gerekend (Michon, 1985).

Voor het uitvoeren van de verkeerstaak op het *regelniveau* speelt visuele waarneming een beperkte rol. Bijvoorbeeld het koershouden is gebaseerd op een combinatie van afgeleiden van aantal variabelen zoals koershoek, laterale positie en laterale snelheid (Riemersma, 1987). Het is aannemelijk te veronderstellen dat dit soort informatie van een vrij primitieve aard is zodat deze informatie op een vroeg preattentief perceptueel niveau beschikbaar komt. Actief zoeken naar specifieke cues is voor het uitvoeren van deze taak niet noodzakelijk. Het regelen van de positie van het voertuig op de weg, het schakelen, en sturen vindt doorgaans op een 'skill based'-niveau plaats wat impliceert dat binnenkomende informatie automatisch tot een response leidt. Doordat deze taak wordt uitgevoerd op een automatisch niveau is het uitvoeren van deze taak cognitief niet belastend en minder gevoelig voor fouten. Omdat de taak op een automatisch niveau wordt uitgevoerd waarbij er geen actieve controle is zullen eventuele fouten wel dramatische gevolgen kunnen hebben. Bovendien dient bedacht te worden dat de rijtaak hiërarchisch georganiseerd is wat impliceert dat problemen bij koershouden ook het manoeuvre en het strategisch niveau beïnvloeden. Bijvoorbeeld, problemen bij het koershouden kunnen ertoe leiden dat de weggebruiker minder vaak inhaalt, of dat de weggebruiker besluit om met de trein te gaan. Anderzijds is er ook een beïnvloeding van de hogere naar de lagere niveaus. Bijvoorbeeld, het maken van een rit onder grote tijdsdruk, leidt ertoe dat er vaker dient te worden ingehaald, en een striktere koerscontrole noodzakelijk is.

Het taakniveau waarbij visuele waarneming een cruciale rol speelt is het *manoeuvreniveau* (inhalen, passeren, oversteken, parkeren, stoppen, voorrang geven etc). Het manoeuvreniveau is bepalend voor de reacties op actuele omstandigheden zoals deze zich tijdens een verplaatsing voordoen. Omdat taken op het manoeuvreniveau een zekere consistentie hebben voor wat betreft de omstandigheden wanneer ze uitgevoerd dienen te worden, en de volgorde van acties om tot een bepaald doel te komen min of meer vastliggen, zal deze taak op een 'rule based'-niveau worden uitgevoerd. Dit 'rule based'-manoeuvregedrag wordt derhalve gestuurd worden door geheugenrepresentaties (schemata en scripts) die ontstaan zijn door de ervaring met de verkeersomgeving.

Bijvoorbeeld, bij het uitvoeren van een inhaalmanoeuvre op een snelweg, worden er door het schema 'inhalen op een snelweg' impliciet een aantal assumpties geactiveerd: bijvoorbeeld dat er geen tegenliggers zijn, dat er geen langzaam verkeer is, geen uitritten, geen verkeerslichten. Ook wordt er bijvoorbeeld rekening gehouden met de mogelijkheid dat ander verkeer zou kunnen inhalen (buitenspiegel kijken). Maar er wordt bijvoorbeeld ook verondersteld dat het verkeer zal blijven doorstromen met een zekere snelheid. Wanneer niet voldaan wordt aan zo'n assumptie (bijvoorbeeld een file op een gedeelte snelweg waar dat ongebruikelijk is), zal de inadequate manoeuvre wellicht toch uitgevoerd worden omdat, zoals reeds aangeven, de visuele selectie en identificatie voor een belangrijk gedeelte gestuurd wordt door deze assumpties. Informatie die niet in overeenstemming is met



deze assumpties (bijvoorbeeld het zien van remlichten in de verte) zal slechts met moeite worden waargenomen en verwerkt.

De belangrijkste oorzaak voor ongevallen is het uitblijven of ten onrechte uitvoeren van bepaalde manoeuvres wanneer deze noodzakelijk zijn. Dit soort fouten in het verkeer wordt meestal niet gemaakt omdat de relevante informatie niet aanwezig zou zijn in het visuele veld, maar omdat de omgeving verwachtingen geïnduceerd heeft die niet in overeenstemming zijn met de actuele toestand. Dit effect wordt versterkt omdat dit top-down gestuurd gedrag juist zal vóórkomen in situaties waar de kans op een ongeval toch al groot is; situaties met een hoge visuele en cognitieve belasting (naderen van kruispunten, rijden met hoge snelheid, rijden in druk verkeer).

## 4. Onderzoek naar visuele waarneming in het verkeer

### 4.1. Inleiding

In dit hoofdstuk wordt in grote lijnen een overzicht geschetst van onderzoek naar een aantal onderwerpen op het gebied van 'visuele waarneming en verkeersveiligheid'. Gebruik is gemaakt van bestaande literatuur, per onderwerp meestal een aantal overzichtsrapporten. De onderwerpen worden in vier groepen behandeld: (1) belijning en markeringen op het wegdek; (2) openbare verlichting en tunnelverlichting; (3) borden en andere informatiedragers langs de weg, waaronder verkeers-, bewegwijzering-, en reclameborden maar ook verkeerslichten; en (4) weggebruikers, waaronder motorvoertuigen en door hen gebruikte verlichting.

Traditioneel worden deze onderwerpen in de 'verkeersliteratuur' veelal gescheiden van elkaar bestudeerd. Om deze reden is in dit hoofdstuk gekozen voor een indeling in onderwerpen die voortkomt uit de praktijk van het verkeers(veiligheids) onderzoek.

Het hoofdstuk verschaft een overzicht van de typen onderzoek naar aspecten van visuele waarneming op verschillende deelterreinen, maar kan geenszins volledig zijn. Zo komen bepaalde onderwerpen - bijvoorbeeld waarnemingsonderzoek naar voertuuginstrumenten - vooralsnog niet aan de orde. Het moet beschouwd worden als een eerste aanzet tot integratie van de kennis verkregen met behulp van verschillende onderzoeksmethoden op verschillende deelgebieden. De nadruk ligt op het aangeven op welke manier deze (deel)onderwerpen over het algemeen onderzocht worden en welke typen resultaten de onderzoeken opgeleverd hebben. Daarbij wordt gelet op functionaliteit van het onderzoek, dat wil zeggen wat is de relatie tussen het type onderzoek en de functie van bijvoorbeeld bepaalde informatiedragers in het verkeer? Bij elk onderwerp wordt tevens aandacht besteed aan de relatie met verkeersveiligheidsgegevens. Ook wordt gekeken wordt naar de aard - en niet zozeer de details - van bestaande richtlijnen voor de verschillende deelonderwerpen, en de relatie van de richtlijnen met onderzoekresultaten.

### 4.2. Belijning en markeringen op het wegdek

#### 4.2.1. *Functie en functionele eisen*

In het algemeen dient de weg zo ontworpen te worden dat een goede regeling van koers en snelheid steeds mogelijk is en de bestuurder kan anticiperen op komende veranderingen van bijvoorbeeld richting. Voor een juiste uitwerking van deze uitgangspunten is inzicht nodig in het proces van visuele informatieverwerking van de bestuurder. Bekend zou moeten zijn welke informatie de bestuurder precies oppikt uit zijn omgeving op welk moment en voor welk doel (zie ook Riemersma, 1989), maar tot op heden is niet duidelijk welke visuele informatie nu precies nodig is om veilig te kunnen rijden. De eisen te stellen aan de zichtbaarheid van wegmarkeringen moeten volgen uit de voor het volgen van de weg en het handhaven van de dwarspositie benodigde informatie (Schreuder, 1978), maar het is niet

duidelijk wat die eisen dan precies zijn. Belijning en markering worden in ieder geval geacht een belangrijke rol te spelen bij het koershouden binnen de rijstrook of rijbaan, het vooraf beoordelen van het wegverloop en bochten, het herkennen van de strookindeling en selectie van mogelijke manoeuvres (zie ook CIE, 1988b). Daarbij moet informatie over het wegverloop, zoals bochten, relatief lang van te voren beschikbaar zijn, terwijl informatie die te maken heeft met de laterale positie en snelheid van het voertuig kort van te voren relevant is. Deze functies van belijning en markering moeten vervolgens onder wisselende omstandigheden, in verschillende situaties en voor verschillende personen gelden.

In de inleiding bij de oude Richtlijnen voor de bebakening en markering van wegen (1976, 1981, 1986; blz. 1-2) wordt gesteld dat:

“maatregelen aangaande de bebakening van de weg er op gericht moeten zijn beoordelingsfouten door verkeersdeelnemers zoveel mogelijk te voorkomen. Een noodzakelijke voorwaarde voor een veilig deelnemen aan het verkeer is dat de waarnemingsgegevens voldoende zijn. Echter, zal een teveel aan verkeers- en wegaanduidingen op één plaats vermeden moeten worden, omdat in dergelijke situaties de mens niet in staat is de aangeboden informatie te verwerken. De informatie moet ook onder minder gunstige omstandigheden (bijvoorbeeld regen, mist, ongunstige belichting) kunnen worden waargenomen. Waarnemingsgegevens die niet van belang zijn voor het op veilige en efficiënte wijze deelnemen aan het verkeer, werken afleidend en dienen dus achterwege te worden gelaten. De kenmerken van de weg en het verkeer daarop doen bij de weggebruiker verwachtingen ontstaan. [...] Een ten onrechte gekoesterde verwachting kan de weggebruiker brengen tot onveilig gedrag, zonder dat hij zich hiervan bewust is. Het is dan ook absolute noodzaak dat de bebakening wordt gekenmerkt door uniformiteit.”

Overigens zijn de hierboven vermelde uitgangspunten in de nieuwste uitgave van deze richtlijnen (1991) niet meer opgenomen. Nu wordt bij de doeleinden onder andere genoemd dat markering gewenst rijgedrag dient te bevorderen door de weggebruiker bijvoorbeeld duidelijk te maken waar men kan en mag rijden en waar niet; dat markering als hulpmiddel dient bij de bepaling van de eigen positie op de weg en die van andere weggebruikers; en dient om het attentieniveau te verhogen door bijvoorbeeld discontinuïteiten te accentueren.

#### 4.2.2. *Onderzoek naar aspecten van visuele waarneming*

##### *Fotometrische gegevens*

Een groot deel van het onderzoek naar belijning en markering bestaat uit het bepalen van factoren als de luminantie, contrast en retroreflectie onder verschillende hoeken als functie van bijvoorbeeld licht- en weersomstandigheden en type materiaal (zie ook CIE, 1988b). Deze metingen worden uitgevoerd met speciale apparatuur en er komen geen proefpersonen (meer) aan te pas. Normen over welke waarden ‘goed’ zijn worden dan vaak afgeleid uit fysiologische kennis.

### *Subjectieve beoordeling van zichtbaarheid*

Naast allerlei fotometrische metingen aan markeringen worden meestal ook waarnemingsproeven uitgevoerd. Onder daglichtomstandigheden is het niet moeilijk om goed zichtbare markeringen op de weg te maken. Het grote probleem is om een adequate zichtbaarheid 's nachts te realiseren en wanneer het wegdek nat is. Van veel materialen is daarom de zichtbaarheid beoordeeld onder verschillende omstandigheden. Meestal is dit gebeurd op basis van een subjectieve beoordeling (vaak door enkele deskundigen), waarbij verschillende materialen bij nat en droog wegdek en bij zowel daglicht als nacht, met elkaar zijn vergeleken (Schreuder, 1978). De resultaten geven dan een rangordening aan in de zichtbaarheid van verschillende materialen bij verschillende omstandigheden. Veelal wordt volstaan met zeer globale uitspraken over de zichtbaarheid als 'goed', 'matig' enzovoort. Over het algemeen wordt de zichtbaarheid van de traditionele belijning van verfstrepen bij nacht en/of nat wegdek als 'zeer slecht' beoordeeld; wegdekreflectoren geven onder die omstandigheden een grotere zichtbaarheid.

### *Zichtbaarheidsafstand*

Vaak wordt ook de zichtbaarheidsafstand bepaald. Proefpersonen rijden dan bijvoorbeeld in een geïnstrumenteerde auto langs markeringen (SCW/SVT, 1982). Zodra de proefpersonen tijdens het rijden het einde van een markering kunnen waarnemen, moeten zij dit aangeven waaruit de zichtbaarheidsafstand afgeleid wordt. Deze zichtbaarheidsafstand wordt vervolgens gerelateerd aan de benodigde zichtbaarheidsafstand of -tijd ('zichtruimte'; Eng. preview time/distance) voor 'comfortabele snelheidsaanpassingen' (CIE, 1988b) die afgeleid wordt uit de rijsnelheid, de vertraging en de reactietijd van de bestuurder. De waarden die voor de preview gegeven worden zijn overigens vooral uit theoretische overwegingen afgeleid, experimentele toetsing heeft slechts in een enkel geval plaatsgevonden (zie ook CIE, 1988b; Schreuder & Schoon, 1990).

### *Onderzoek naar geleidingsfunctie: Kijkgedrag*

Soms wordt het kijkgedrag van automobilisten uitgebreider bestudeerd, in combinatie met aspecten van het rijgedrag - zoals koers en snelheid (CROW, 1987; Riemersma, 1987). Proefpersonen reden in een geïnstrumenteerde auto over een aantal rechte en gebogen weggedeelten met verschillende markeringsgeometrieën, waarbij zij een speciale bril droegen die het gezichtsveld van de bestuurder geheel afsluit en slechts op aanvraag, door het bedienen van een drukknop, naar de weg konden kijken (visuele oclusietechniek). De mate van gebruik van deze drukknop is dan bepalend voor de effectiviteit van de markeringsgeometrie: ruwweg kan gesteld worden dat hoe korter de totale kijktijd des te effectiever de markering zichtbaar is. De resultaten geven bij dit type onderzoek niet zozeer verschillen in zichtbaarheid van diverse materialen aan, maar wel uitspraken over de geleidingsfunctie van diverse typen markeringen. Zo blijkt uit dergelijke proeven dat continue belijning beter is dan discrete, maar door verkleining van de tussenafstand tussen wegdekreflectoren kan toch een soort lijn karakter behouden blijven.

### *Onderzoek naar geleidingsfunctie: Beoordeling door proefpersonen*

Onderzoek naar de geleidingsfunctie van verschillende typen markeringen is ook uitgevoerd met behulp van laboratoriumexperimenten waarbij

proefpersonen de vormgeving moesten beoordelen aan de hand van bijvoorbeeld diapresentaties. De taak van de proefpersoon was dan bijvoorbeeld om bij het begin van verleggingen (bij werk in uitvoering) te beoordelen welke rijstroken al dan niet voor het verkeer beschikbaar waren (zie Godthelp & Riemersma, 1980). Zo bleek uit dit type onderzoek dat de grootste effectiviteit van een geleidingsmiddel wordt behaald bij een minimum laterale afstand (ideaal: geleiding recht voor de bestuurder) en een minimale verticale afstand (geleiding op het wegdek in plaats van erboven). Een geleiding via de kant- en/of asstreep op het wegdek is in dit opzicht dus altijd beter dan via reflectorpaaltjes in de berm (mits de verschillende geleidingsmiddelen over overeenkomstige afstanden zichtbaar zijn).

#### *Beoordeling van bochtkenmerken*

In onderzoek naar de waarneming van bochtkenmerken is onder meer de invloed van verschillende typen belijning en markering op het beoordelen van (de richting van) bochten onderzocht (zie Riemersma, 1984, 1988). Proefpersonen krijgen bijvoorbeeld foto's of filmopnamen te zien van bochten met verschillende typen belijning. Soms wordt de tijd gemeten die nodig is om te beoordelen of de bocht naar rechts of naar links gaat (Triggs & Fildes 1986), en/of het aantal beoordelingsfouten; soms wordt gebruik gemaakt van beoordelingsschalen. Zo blijkt bijvoorbeeld dat bogen naar rechts nauwkeuriger ingeschat worden dan bogen naar links, en dat een ontwerp waarin geleidingsmiddelen eerst dicht bij de kant van de weg geplaatst waren en vervolgens steeds verder van de kant, terwijl tegelijkertijd de hoogte steeds groter werd, mogelijkheden biedt om de bocht bij nacht scherper te laten lijken.

Ook met behulp van het registreren van *oogbewegingen* (zie bijvoorbeeld Jurgensohn et al., 1991) is onderzoek gedaan naar het waarnemen van bochtkenmerken, maar in dit type onderzoek werd niet zozeer aandacht besteed aan verschillende typen belijning. Wel lijken de resultaten van oogbewegingsstudies uit te wijzen dat bestuurders bij het rijden van bochten de ogen steeds gericht houden op de belijning.

#### 4.2.3. *Relatie met verkeersveiligheid*

In een aantal landen zijn ongevallenstudies uitgevoerd naar de effecten van zowel wegdekreflectoren, wegmarkeringen als bermreflectoren. De resultaten zijn steeds analoog: er worden aanzienlijke reducties in ongevallen gemeld, maar het is niet steeds zonder twijfel vast te stellen of dit effect uitsluitend het gevolg is van de wegmarkering (Schreuder, 1985). Uit een ongevallenanalyse van Nederlandse tweede- en derde-ordewegen leiden Schreuder & Schoon (1990) de hypothese af dat de afwezigheid van wegmarkering in negatieve zin bijdraagt aan de aantallen ongevallen (meer ongevallen) op deze wegtypen.

#### 4.2.4. *Discussie*

Het onderzoek naar de waarneming van belijning en markeringen op het wegdek heeft zich lang geconcentreerd rond het verzamelen van fotometrische gegevens en beoordelingen van de zichtbaarheid van de materialen door deskundigen. Later zijn ook studies verricht naar zichtbaarheidsafstanden waarbij gebruik gemaakt werd van (grotere aantallen) proefper-

sonen. Het is de vraag hoe functioneel deze typen onderzoek zijn in relatie tot (veilig) rijgedrag, gezien de taak die de beoordelaars of proefpersonen te doen kregen. Dat wat expert beoordelaars 'goed' zichtbaar achten aan belijning hoeft voor 'de gemiddelde' weggebruiker nog niet relevant te zijn bij het berijden van de weg; en het waarnemen van 'het einde van markeringen' door proefpersonen lijkt ook niet zo'n functionele taak. Pas sinds de laatste jaren wordt meer aandacht besteed aan de geleidingsfunctie van belijning en markeringen, en worden naast het bepalen van bijvoorbeeld de zichtbaarheid ook andere aspecten van waarneming en (rij)gedrag onderzocht, waarbij de taak van de proefpersonen het volgen van de weg is of het beoordelen van het verloop van de weg (soms in een laboratoriumomgeving, soms 'in het veld').

In het onderzoek worden over het algemeen de omstandigheden waaronder de waarnemingsproeven worden uitgevoerd gevarieerd, vaak worden verschillende materialen onder verschillende weers-, licht- of wegdek-omstandigheden onderzocht. Er is minder aandacht besteed aan verschillende verkeerssituaties; soms wordt nog wel gevarieerd naar type weg (binnen of buiten de bebouwde kom), maar de aanwezigheid van ander verkeer wordt bijvoorbeeld niet gevarieerd in de onderzoeken, over het algemeen is er geen ander verkeer aanwezig tijdens de proeven.

Bij het hier beschreven waarnemingsonderzoek waarbij verschillende typen belijning en markering onderling vergeleken worden ontstaat de vraag 'hoe goed goed genoeg' is om veilig een weg te berijden. Aan deze vraag is tot nog toe weinig aandacht besteed in het onderzoek naar belijning en markeringen op het wegdek. Aan de ene kant wordt nagestreefd dat bestuurders zo goed mogelijk en met zo min mogelijk inspanning de weg kunnen volgen en koers kunnen houden bij een gegeven snelheid op een bepaald type weg; uit proeven blijkt dan dat bepaalde typen belijning en markering beter zijn dan andere. Aan de andere kant bestaat de mogelijkheid dat bestuurders wanneer ze zelf het prestatieniveau of rijgedrag kunnen bepalen (in tegenstelling tot een 'opgelegde' in een experimentele opstelling) hun snelheid zo kiezen dat het effect van de 'betere' belijning of markering minder wordt of wellicht zelfs teniet gedaan wordt. Dit illustreert nog eens dat waarnemingsaspecten bij voorkeur bestudeerd moeten worden in relatie tot de erop volgende beslissingen en handelingen. Bovendien leiden dergelijke overwegingen tot de vraag of het in bepaalde gevallen wellicht juist goed zou zijn om de belijning en markering *niet* optimaal zichtbaar te maken. Interessant is in dit verband een nog lopend onderzoek waarbij de invloed van niet-visuele kenmerken van geprofileerde markeringen ('rumblestrips') op snelheidsgedrag bestudeerd wordt (Van der Horst, 1992). Er zijn aanwijzingen dat de akoestisch-kinestetische aspecten (door de ervan uitgaande waarschuwing) bijdragen tot het nuttig effect van dergelijke wegmarkeringen. In dit verband zou ook interessant zijn na te gaan welke cues bestuurders gebruiken bij het volgen van de weg als er geen speciale belijning of markering is aangebracht op het wegdek; op wegen binnen de bebouwde kom komt dit nog al eens voor.

De richtlijnen geven voor een groot aantal verschillende situaties aard, plaatsing en afmetingen van de markeringen. Ook worden voor markeringen in bogen minimale zichtafstanden voor verschillende typen wegen gegeven. Voor eisen aan het materiaal wordt in de richtlijnen verwezen naar

andere bronnen. De relatie van de richtlijnen en onderzoek(resultaten) kan zonder uitgebreide bestudering van beide niet vastgesteld worden omdat in de richtlijnen nauwelijks of geen verwijzingen naar onderzoek voorkomen. Het is daarom niet gemakkelijk te achterhalen welke richtlijnen onderbouwd zijn door welk onderzoek. In het algemeen wordt in genoemde richtlijnen gesteld dat het wetenschappelijk onderzoek op het gebied van verkeersveiligheid en in het bijzonder het onderzoek betreffende de waarneming van de weggebruiker in verkeerssituaties aanleiding kunnen zijn de richtlijnen aan te passen aan de uitkomsten van dit onderzoek. Zo wordt voor het gebruik van specifieke markeringen zoals bijvoorbeeld wegdekreflectoren voor permanente markering en 'rumble strips' in de oude richtlijnen gesteld dat dit uit 'praktische overwegingen' geen aanbeveling verdient: 'nader onderzoek is nog gaande'.

### 4.3. Openbare verlichting

#### 4.3.1. *Functie en functionele eisen*

Onder de functies van de openbare verlichting horen het bevorderen van de doorstroming en van de verkeersveiligheid bij duisternis (Schreuder, 1988). Daarnaast kunnen nog genoemd worden dat het doel van verlichting is het rijcomfort te vergroten, verblinding door tegenliggers en achteropkomers te verminderen en misleiding door omgevingsverlichting tegen te gaan. In de richtlijnen voor verlichting van autosnelwegen (1990a) en voor niet-autosnelwegen (1990b) wordt uitgegaan van de volgende positieve aspecten van wegverlichting: (1) door de verstrooiing van het licht in meer richtingen dan op het wegdek wordt bij duisternis ook een deel van de directe omgeving van de weg zichtbaar; (2) bij een goede opstelling van de lampen is bij duisternis ook het verloop van de weg beter te zien; en (3) ook bij daglicht zal de weggebruiker een duidelijker inzicht krijgen in het verloop van de weg.

De vertaling hiervan in functionele eisen bestaat meestal uit het bepalen van afstanden waarop 'karakteristieke objecten' (wegkenmerken, discontinuïteiten, andere verkeersdeelnemers, kleine obstakels) onder bepaalde omstandigheden waarneembaar moeten zijn. Verlichting moet 'iets' verlichten; maar welke zaken nu precies belangrijk zijn te worden waargenomen door de weggebruiker om veilig te kunnen rijden zijn niet bekend (zie ook § 4.2). In onderzoek naar verlichting wordt (daarom) vrijwel altijd gewerkt met zogenaamde standaardobjecten, objecten van 20 x 20 cm op 100 m afstand en met een reflectie van 20%. De redenering is dat als zo'n klein object waargenomen kan worden, het ook mogelijk moet zijn die zaken te zien die echt van belang zijn voor de rijtaak.

#### 4.3.2. *Onderzoek naar aspecten van visuele waarneming*

##### *Fotometrische gegevens*

Een belangrijk deel van het onderzoek naar openbare verlichting bestaat uit het bepalen van fotometrische gegevens als functie van bijvoorbeeld weers- en wegdekomstandigheden (zie ook § 4.2).

### *Zichtbaarheid*

Het onderzoek op het gebied van visuele waarneming en openbare verlichting concentreert zich rond studies naar zichtbaarheid(safstand) en verblinding. Steeds staat de relatie centraal tussen 'objectief' meetbare grootheden, zoals luminantie (zie hierboven), en prestaties of beoordelingen van menselijke waarnemers. Het gaat dan bijvoorbeeld om het detecteren van targets/obstakels onder verschillende verlichtingsomstandigheden, maar ook over beoordelingsproeven door experts, en metingen van de contrastgevoeligheid bij waarnemers (zie Schreuder, 1991b).

Over het algemeen wordt gevonden dat hoe hoger het lichtniveau, des te groter de detectieafstand is. Het doel van dit soort onderzoek is met name het minimum lichtniveau te bepalen waarvoor de detectieafstand vrijwel gelijk is aan die bij daglichtniveaus (zie Gallagher et al., 1975).

### *Verblinding*

In het algemeen kan onder verblinding worden verstaan dat het veroorzaakt wordt door luminantie in het gezichtsveld die aanzienlijk groter is dan de luminantie waaraan de ogen geadapteerd zijn, en die hinder, ongemak, irritatie of verlies van visuele prestaties tot gevolg heeft. In de literatuur wordt onderscheid gemaakt tussen 'discomfort glare', die zorgt voor hinder of ongemak bij het waarnemen, maar niet interfereert met visuele prestaties of zichtbaarheid, en 'disability glare', die wel zorgt voor verminderde visuele prestaties. Openbare verlichting leidt over het algemeen niet tot 'disability glare'. Veel onderzoek naar verblinding met betrekking tot openbare verlichting gaat over het bepalen van de mate van 'hinderlijke' verblinding (discomfort glare) door de verlichting zelf of door tegemoetkomende voertuigen (zie § 4.5), bij verschillende niveaus van verlichting en vergeleken met situaties zonder wegverlichting. Meestal gebeurt dit met behulp van 'rating scales' bij verschillende niveaus van openbare verlichting. Beoordelaars geven op zulke - vaak 9 punts - schalen aan in hoeverre zij de verlichting hinderlijk vinden. In het algemeen wordt gevonden dat hoe groter de lichtintensiteit van de lantaarns des te meer 'discomfort glare'. Daarbij speelt de wegdekluminantie (wat geïnterpreteerd kan worden als het lichtniveau waaraan het oog gewend is) een belangrijke rol; hoe groter deze luminantie hoe intenser de lantaarn kan zijn voordat verblinding optreedt (De Boer, 1967; CIE, 1976).

### *Invloed van gelijkmatigheid van de verlichting*

Veelal ingegeven door economische argumenten is in het verleden onderzoek uitgevoerd hoe acceptabel variatie in de wegdekluminantie is. Hoe verder de lichtbronnen uit elkaar staan, hoe minder gelijkmatig het luminantiepatroon op het wegdek is. In het algemeen geldt dat hoe gelijkmatiger de verlichting des te beter de visuele prestaties zijn. Daarbij is variatie in de lengterichting van de weg minder van invloed op de waarneming van kleine 'standaardobjecten' dan in de dwarsrichting, hoewel ook ongelijkmatigheid in de lengterichting als 'niet comfortabel' beoordeeld wordt (De Boer, 1967).

### *Wegverloop: Kijkgedrag bij het rijden van een traject*

De eerder genoemde occlusietechniek werd ook toegepast om kijkgedrag van bestuurders te onderzoeken bij verschillende niveaus van openbare verlichting (bijvoorbeeld Gallagher et al., 1975). Proefpersonen rijden een traject bij verschillende lichtniveaus. De gemiddelde kijktijd wordt dan



gebruikt als afhankelijke maat. Gallagher et al. vonden dat de kijktijd niet significant verschilde voor verschillende condities van openbare verlichting.

#### *Wegverloop: Gerapporteerde problemen*

In onderzoek naar welke visuele informatie van wezenlijk belang is tijdens het rijden bij nacht worden ook wel door proefpersonen gerapporteerde problemen gebruikt. Automobilisten worden bijvoorbeeld naar hun bevindingen gevraagd, en hun rijgedrag geobserveerd tijdens het afleggen van een route over diverse wegtypen, met en zonder openbare verlichting. Zo bleek 90% van de gerapporteerde problemen afkomstig te zijn van wegvakken met geen of onvoldoende openbare verlichting (Walraven, 1980). Visuele problemen lijken voornamelijk terug te voeren tot onvoldoende informatie over veranderingen in het verloop van de weg, hetzij als gevolg van onvoldoende verlichting of, daarmee samenhangend, door verblinding. Obstakels op de weg werden door de ondervraagde automobilisten niet als probleem beschouwd en ook slechte zichtbaarheid van het gemotoriseerde verkeer werd niet genoemd (behalve bij defecte voertuigverlichting) (Padmos, 1988a).

#### *Tunnelverlichting*

Tunnelverlichting kan worden opgevat als een speciale soort openbare verlichting. De nadruk ligt op onderzoek bij het overdag binnengaan van (lange) tunnels omdat daar het grootste visuele probleem ligt (CIE, 1984): als een tunnelingang onvoldoende verlicht is heeft de naderende bestuurder het idee in een zwart gat te rijden; en als bij daglicht de overgang van het lichtniveau buiten en dat binnenin de tunnel niet geleidelijk genoeg gebeurt kunnen problemen met waarnemen ontstaan (verblinding, detectie). Er is veel onderzoek gedaan naar *verblinding* bij tunnelingangen (zie bijvoorbeeld Padmos & Alferdinck, 1983), en ook naar de *zichtbaarheids- of detectieafstand* van kleine objecten. Meestal laboratoriumexperimenten, later ook (op kleine schaal) veldexperimenten (CIE, 1984; Schreuder, 1991a). Er zijn slechts zeer weinig onderzoeken naar *rijgedrag* uitgevoerd in tunnels (Schreuder, 1991b). Een Amerikaans onderzoek liet zien dat bij tunnelingangen die 'onvoldoende' (bedoeld wordt: niet volgens de Amerikaanse norm) waren verlicht vaak en soms bruusk werd geremd, maar recenter Duits onderzoek geeft geen bevestiging van deze resultaten (zie Schreuder, 1991b). Verkregen resultaten worden opgenomen in computerprogramma's die de benodigde tunnelverlichting vervolgens kunnen berekenen zonder dat nog proefpersonen nodig zijn.

#### 4.3.3. *Relatie met verkeersveiligheid*

Er zijn weinig onderzoekresultaten die betrouwbare informatie verschaffen over de precieze relatie tussen de veiligheid van de weggebruiker en de wegverlichting. Een groot deel van het onderzoek naar de effecten van openbare verlichting bestaat uit veelal buitenlandse ongevallestudies. De algemene conclusie van deze onderzoeken luidt dat verlichting een positieve invloed op de verkeersveiligheid heeft: 'goede openbare verlichting kan voor belangrijke stadsstraten een afname van circa 30% in de nachtelijke letselongevallen bewerkstelligen' (Schreuder, 1988, 1989). Omgekeerd is het niet duidelijk welke invloed het weghalen van verlichting zou hebben op de verkeersveiligheid (DVK, 1990; in richtlijnen verlichting). In een aantal onderzoeken wordt ook een relatie gevonden

tussen toenemend lichtniveau en afname in ongevallen. In een Nederlandse voorstudie kon deze relatie voor wegen binnen de bebouwde kom niet worden vastgesteld (Schreuder, 1989); voor 80 km/uur-wegen buiten de bebouwde kom is wel een dergelijke relatie gevonden, en een onderzoek naar de relatie tussen het niveau van openbare verlichting en verkeersveiligheid op auto(snel)wegen in Nederland is momenteel in voorbereiding (Schreuder, 1992; Vis, 1993).

#### 4.3.4. *Discussie*

Bij de vraag hoe functioneel het onderzoek naar openbare verlichting is valt op dat verreweg het grootste deel van de waarnemingsproeven gebruik hebben gemaakt van een zogenaamd standaardobject. Of het detecteren van zo'n statisch object relevant is voor het uitvoeren van de rijtaak is twijfelachtig. Zo hebben de meest belangrijke rijtaakelementen niet te maken met stationaire, maar met bewegende objecten (Crothers, 1990, in Schreuder, 1991b). Het herkennen van andere verkeersdeelnemers en waarnemen van het wegverloop zijn veel relevantere taken, maar juist hiernaar is erg weinig onderzoek gedaan. Daarbij blijkt dat de exacte keuze van het object van groot belang is voor de uitkomsten (zie Schreuder, 1991b). Er kan hoogstens geredeneerd worden dat als zo'n klein object wordt waargenomen onder bepaalde omstandigheden, ook de 'echt' relevante objecten in het verkeer - welke dat ook mogen zijn - waargenomen zullen worden.

In de richtlijnen voor de verlichting van autosnelwegen en niet-autosnelwegen (1990a en b) worden aanbevelingen gegeven voor de plaats waar te verlichten, de tijden waarop, kwaliteitseisen van verlichting en uitvoeringsvormen van installaties. De richtlijnen bevatten een apart hoofdstuk waarin de redenen om te verlichten afzonderlijk behandeld worden, en achtergrondinformatie wordt verstrekt met verwijzingen naar onderzoekresultaten (ook in de richtlijnen zelf komen regelmatig literatuurverwijzingen voor). De richtlijnen zijn voornamelijk gebaseerd op ongevallenstudies en onderzoek naar zichtbaarheid en verblinding zoals in deze paragraaf behandeld werd; dat is ook niet verwonderlijk gezien het feit dat het meeste onderzoek op het gebied van openbare verlichting zich geconcentreerd heeft rond deze onderwerpen.

Onderzoek waarbij de invloed van verlichting op gerapporteerde problemen bij het rijden centraal stond, geeft aan dat visuele problemen bij afwezigheid of onvoldoende niveau van openbare verlichting voornamelijk terug te voeren zouden zijn tot onvoldoende informatie over het verloop van de weg. Aan de andere kant kon in onderzoek waarbij kijkgedrag (kijktijd) bestudeerd werd geen verschillen worden aangetoond tussen verschillende condities van openbare verlichting. Wellicht dat de gehanteerde verlichtingsniveaus zodanig 'goed' waren dat dergelijke verschillen niet meer bestaan; een andere mogelijkheid is dat de gemiddelde kijktijd niet de meest relevante maat is in deze en dat andere aspecten van kijkgedrag en/of rijgedrag een betere indicatie kunnen geven. Tot nog toe is echter weinig onderzoek uitgevoerd waarin de invloed van openbare verlichting (al dan niet in tunnels) op het rijgedrag is bestudeerd, en de resultaten van het schaarse onderzoek op dit gebied zijn niet eenduidig. Al met al lijkt openbare verlichting een positief effect op de verkeersveiligheid te hebben,

maar de vraag wat het *minimum* verlichtingsniveau dient te zijn om nog veilig rijgedrag te kunnen vertonen onder verschillende omstandigheden, kan op basis van bestaand (ongevallen- en waarnemings)onderzoek nog niet worden beantwoord.

#### 4.4. Borden en andere informatiedragers langs de weg

##### 4.4.1. *Functie en functionele eisen*

Verkeersborden zijn informatiedragers. Ze geven de plaatselijk geldende verkeersregels aan en moeten duidelijk maken welke gedragingen geboden en verboden zijn. Borden wijzen de weg bij het zoeken naar een bepaalde bestemming (bewegwijzering of routebegeleiding). Ze verstrekken informatie over naderende verkeerssituaties en waarschuwen voor mogelijke gevaren. Reclameborden langs de openbare weg zijn ook informatiedragers, zij het van een geheel andere aard (Gundy, 1989). Ook verkeerslichten zijn informatiedragers langs de weg, ze regelen het verkeer en geven aan wanneer wel en niet doorgereden mag worden.

Verkeersgeleiding in al zijn vormen, oefent een directe invloed uit op het rijgedrag, helpt een ordelijke en snelle verkeersstroom in stand te houden, stelt in staat de weg tot haar volle capaciteit te benutten, draagt bij tot de veiligheid van het verkeer, en tot comfort en gemak (zie SWOV, 1970; CIE, 1988a). Het ontbreken van verkeerstekens geeft echter geen garantie voor de afwezigheid van gevaar; anderzijds biedt de aanwezigheid van een bord met gevaaraanduiding ook niet de zekerheid dat een gevaarlijke verkeerssituatie werkelijk aanwezig is. De verkeersdeelnemer zal ook uit andere bronnen de benodigde informatie moeten krijgen. Van groot belang is dan dat gelijksoortige situaties wat betreft (gewenst) gedrag op overeenkomstige wijzen zijn geregeld. Behalve dat de regeling hiervan uniform zou moeten worden toegepast, zou zij ook aangepast moeten zijn aan de tijd- en plaatsafhankelijke veranderingen in de weg- en verkeerssituatie.

Als functionele eisen kunnen worden genoemd dat een verkeersbord - of andere informatiedrager langs de weg - zichtbaar moet zijn, opvallend, herkenbaar, leesbaar, begrijpelijk, en geloofwaardig - de weggebruiker moet geloven dat wat het bord zegt waar is en dat het van toepassing is op zijn situatie (SWOV, 1970; CIE, 1988a; NEN Verkeerstekens/straatnaamborden, 1992). Daarbij spelen ook de volgende factoren een rol. Specificiteit: de mate waarin het gewenste gedrag wordt aangeduid naar aard, tijd, plaats, middel en reden; gebrek aan specificiteit is vooral duidelijk in de aanduiding van gevaren die een mogelijkheid van gevaar geven in plaats van het feitelijk gebeuren; verenigbaarheid met de situatie: wanneer een verkeersbord wel wordt opgemerkt, zal de kans dat de waarneming leidt tot het verlangde gedrag groter zijn, naarmate de door het teken gegeven informatie minder strijdig is met hetgeen de verkeersdeelnemer gewaar wordt uit andere bronnen van informatie, zoals het weg- en verkeersbeeld ter plaatse (een situatie waarin aan deze voorwaarde niet wordt voldaan is bijvoorbeeld die waar de verplichting geldt tot stoppen voor een voorrangsweg, terwijl er geen kruisend verkeer is); en uniformiteit (SWOV, 1970).

Deze functies moeten vervolgens onder wisselende weers- en lichtomstandigheden, in verschillende situaties en voor verschillende personen gelden. Zo wordt bijvoorbeeld in de Richtlijnen voor bewegwijzering (deel II, 1984) gesteld dat de “belangrijkste functie van de bewegwijzering is een zo groot mogelijke zekerheid aan de weggebruiker te verschaffen omtrent het volgen van de route die hij heeft gekozen. Dit geldt met name voor die weggebruiker, die met zijn voertuig voor de eerste maal op voor hem onbekende wegen komt. Daarnaast echter zullen ook de wel met de situatie ter plaatse bekende weggebruikers de bewegwijzering als referentiepunt gebruiken in geval van ingewikkelde situaties, duisternis en/of slechte weersomstandigheden.”

#### 4.4.2. *Onderzoek naar aspecten van visuele waarneming*

##### *Algemeen*

Veel onderzoek is gedaan naar het waarnemen van - deelaspecten - van verkeersborden. De meest elementaire vorm van waarnemen is het detecteren of men ‘iets’ ziet, bijvoorbeeld ‘een willekeurig bord’. Het gaat hierbij om het kunnen vaststellen of een of ander bord, dat zich in een volledig ‘lege’ omgeving bevindt, al dan niet aanwezig is. Dit wordt ook wel gevat onder de term zichtbaarheid. Zichtbaarheid wordt gedefinieerd als de 50%-kans op detectie, maar dit begrip wordt ook vaak in een minder goed gedefinieerde betekenis gebruikt. Onder de detecteerbaarheid van een bord kan de kans worden verstaan dat ‘een of ander bord’ gezien wordt, onder gunstige omstandigheden en wanneer de waarnemer geen andere taak hoeft uit te voeren. Het is natuurlijk noodzakelijk dat verkeersdeelnemers relevante voorwerpen ‘zien’ (in dit geval bedoeld als: detecteren). Maar de detectie van ‘iets’ is over het algemeen niet voldoende om daarop adequate beslissingen met betrekking tot verkeersgedrag te baseren. Daarvoor is het ook nodig dat de juiste interpretatie gegeven wordt aan datgene wat gedetecteerd is. De persoon moet kunnen aangeven tot welke klasse van borden een gedetecteerd bord behoort, en welk bord het precies is: het herkennen en identificeren ervan. Soms is het daarbij nodig teksten op borden te lezen. De term ‘opvallendheid’ komen we ook vaak tegen in de literatuur.

Het meten en definiëren van opvallendheid gebeurt echter op zoveel verschillende manieren dat het in feite niet mogelijk is om over *de* opvallendheid te spreken (zie ook hoofdstuk 3). Het houdt in ieder geval in dat een bepaald voorwerp, in dit geval bijvoorbeeld een verkeers- of ander bord, moet ‘wedijveren’ met andere voorwerpen uit de omgeving om de aandacht te krijgen. Ten slotte gaat het er natuurlijk om dat de informatie van borden of andere informatiedragers langs de weg gebruikt wordt door verkeersdeelnemers om hun beslissingen en rijgedrag op te baseren. Veel meer dan bij de vorige twee groepen onderwerpen het geval was, zijn voor informatiedragers langs de weg deelaspecten van de waarneming afzonderlijk onderzocht. Hieronder volgt een kort overzicht (voor een uitgebreid en recent overzicht zie bijvoorbeeld CIE, 1988a).

##### *Fotometrische en colometrische gegevens*

Veel meetgegevens van materialen van informatiedragers worden standaard verzameld onder verschillende omstandigheden, in richtlijnen en normen zijn vaak dit soort gegevens terug te vinden. Door de CIE (1978) zijn bijvoorbeeld internationaal de gebieden vastgelegd waarin de kleur-

coördinaten en luminantiefactoren van een aantal kleuren moeten liggen voor gebruik op verkeerstekens; de Nederlandse normen (bijvoorbeeld NEN 3381, 1992) zijn hier ook op gebaseerd (zie ook Van Norren, 1981; CIE, 1988a). En onderzoek naar verschillende typen retroreflecterend materiaal op verkeersborden heeft bijvoorbeeld laten zien dat bij waarnemingsafstanden van 50 m of minder geen verschil in de retroreflectiecoëfficiënten bestond tussen materialen van klasse I en II, maar dat bij waarnemingsafstanden boven 100 m klasse II tenminste twee maal zo helder is als klasse I (CROW, 1991).

#### *Zichtbaarheid*

Voordat borden of andere informatiedragers herkend kunnen worden, moeten ze in ieder geval 'zichtbaar' zijn. Zo moet er bijvoorbeeld voor gezorgd worden bij de plaatsing van borden dat er geen obstakels of beplanting 'in de weg staan' waardoor borden gewoonweg niet gezien kunnen worden. Veel onderzoek is gedaan naar de relatieve zichtbaarheid van borden met verschillende kleuren, grootte of retroreflecterende materialen (zie bijvoorbeeld CIE, 1988a; Van Norren, 1981; Padmos, 1975; CROW, 1991). In diverse richtlijnen worden naar aanleiding van dit type onderzoek aanbevelingen gedaan voor de plaatsing en uitvoering van borden; in de Richtlijnen voor bewegwijzering (1984) wordt bijvoorbeeld als vuistregel gesteld dat de zichtbaarheidsafstand 1,5 maal de leesbaarheidsafstand moet bedragen. Bij de plaatsing van borden moet ook rekening gehouden worden met het feit dat de weggebruiker tijd nodig heeft om iets met de informatie te kunnen doen; een groot bord is op grotere afstand zichtbaar dan een klein formaat bord, op plaatsen waar de weggebruiker minder tijd beschikbaar heeft de informatie te verwerken (bijvoorbeeld afhankelijk van de gereden snelheid) worden daarom grotere borden aanbevolen. Onderzoek heeft ook laten zien dat borden voorzien van retroreflecterend materiaal over het algemeen op grotere afstanden zichtbaar zijn (voorwaarde is dan wel dat ze aangeschenen worden door koplampen van passerende voertuigen) (zie bijvoorbeeld CROW, 1991).

#### *Opvallendheid*

Veel onderzoek naar het waarnemen van informatiedragers langs de weg kan worden samengevat als onderzoek naar de 'opvallendheid' van verkeersborden, het waarnemen van verkeersborden bij verschillende achtergronden. Vaak is dit in het laboratorium uitgezocht, maar ook op de weg. De invloed van bijvoorbeeld taakinstructie en van factoren zoals het type bord en de aanwezigheid van ander verkeer op het waarnemen van borden in relatie tot andere objecten zijn onderzocht. De meest gebruikte technieken zijn (zie ook Gundy 1989): (1) Passanten staande houden en ondervragen over hun herinnering van borden die zij hebben gezien. (2) Bestuurders vragen om tijdens het rijden hardop te denken (protocolleren); protocollen kunnen gericht (op verkeersborden) of ongericht (op alles wat de aandacht trekt) worden uitgevoerd. (3) Oogbewegingen van automobilisten registreren. (4) Gecontroleerd laboratoriumonderzoek naar factoren die van invloed zijn op de detectie en classificatie van borden. In het algemeen lijkt het niet-opmerken van borden eerder regel dan uitzondering te zijn.

Zo blijkt uit onderzoek naar de *herinnering* van gepasseerde borden dat deze in het algemeen slecht worden herinnerd. Dit kan deels verklaard

worden uit manco's in de onderzoekmethodologie, maar ook uit het feit dat in veel gevallen borden 'vergeten mogen worden' (bijvoorbeeld in het geval dat men een bepaalde weg goed kent of de wegsituatie goed overzichtelijk is). Uit onderzoek met behulp van *protocollen* blijkt dat verkeersdeelnemers desgevraagd in sommige gevallen zeer goed in staat zijn bepaalde borden te detecteren en aan te wijzen; signalen als verkeerslichten, waarschuwingsborden, gebods- en verbodsborden worden in ongeveer 80% van de gevallen opgemerkt (Hughes & Cole, 1984). Maar als automobilisten alleen wordt gevraagd dingen te noemen die in het algemeen hun aandacht trekken, dan is de waarneming van verkeersborden (ten opzichte van alle andere objecten in het visuele veld) niet bijster hoog te noemen (15 tot 20%) en het percentage niet-opgemerkte borden zeer hoog (ongeveer 90%; zie Hughes & Cole, 1984). Een aantal factoren bepaalt mee of een object al dan niet opvalt (Hughes & Cole, 1986): fysieke eigenschappen van het object en zijn achtergrond; de informatie die gegeven wordt aan de proefpersonen, waaronder informatie omtrent het bijzondere of onverwachte karakter van het object; de informatiebehoefte van de waarnemer; en de waarnemingsstrategie van de weggebruiker, die mede bepaald wordt door de informatie in de omgeving en zijn behoefte aan informatie.

In lijn met het voorgaande blijkt uit onderzoek waarbij oogbewegingen worden geregistreerd tijdens het autorijden dat het percentage borden waar überhaupt naar gekeken wordt enorm varieert, van bijna 100% tot niet meer dan 12%, afhankelijk van onder meer het type bord en de relevantie ervan voor de betrokken bestuurder, alsmede van zowel statische als dynamische aspecten van de verkeersomgeving - zoals de locatie van het bord in het visuele veld en de aanwezigheid van andere verkeersdeelnemers (zie Gundy, 1989). Borden die een routeaanwijzing geven worden bij afwezigheid van ander verkeer vaak langer bekeken dan andere borden; mocht er een voorligger zijn dan worden bijvoorbeeld parkeerverboden zeer vaak geheel niet gefixeerd. Zoals in Hoofdstuk 3 al aan de orde kwam moet hierbij opgemerkt worden, dat een oogfixatie nog niet hoeft te betekenen dat verdere verwerking van bijvoorbeeld de betekenis van een bord plaatsvindt, en andersom: niet-gefixeerde objecten kunnen toch waargenomen worden.

In een uitgebreid *laboratoriumonderzoek* keek Luoma (1986) naar de reactietijd van benoemen en oogfixaties van verkeersborden onder diverse condities. De stimuli bestonden uit kortdurig getoonde dia's van verkeerssituaties onder rustige omstandigheden op wegen buiten de bebouwde kom. Het bleek inderdaad dat borden genoemd kunnen worden zonder dat ze gefixeerd zijn. Verder werd tegemoetkomend verkeer bijna altijd gedetecteerd onder alle omstandigheden, hoe meer borden gelijktijdig in het gezichtsveld komen, des te kleiner de kans is dat ze allemaal worden waargenomen, en onder sommige omstandigheden verhinderde de aanwezigheid van reclameborden de perceptie van zowel verkeersborden als van ander verkeer (zie ook Gundy, 1989).

#### *Leesbaarheid*

Voor borden voorzien van tekst kan het voor het herkennen ervan van belang zijn dat die tekst gelezen wordt. In het verleden is veel aandacht besteed aan de leesbaarheid van teksten op borden. Verschillende factoren kunnen worden aangewezen die de *leesbaarheidsafstand* van letters en

cijfers beïnvloeden, waaronder de letterhoogte, letterbreedte, stokdikte, spatiëring, helderheidscontrast, het absolute helderheidsniveau, ontwerpdetails zoals verschillende lettertypen, kapitalen en onderkast, en de visus van de waarnemer (zie SWOV, 1970; Van Norren, 1981; CIE, 1988a). De benodigde *leestijd* van tekst op een bord hangt onder andere samen met de hoeveelheid informatie op een bord, de vorm waarin de informatie gepresenteerd wordt (bijvoorbeeld kleur, codes, pijlen, cijfers, namen) en de reeds aanwezige kennis van de waarnemer (Van Norren, 1981; CIE, 1988a). De laatste jaren is veel onderzoek verricht naar (de leesbaarheid van teksten op) matrixborden (variable message signs). Met één matrixbord kunnen verschillende boodschappen aan de weggebruiker overgebracht worden. Aangezien de boodschappen gegeven worden door middel van het afwisselend oplichten van bepaalde punten op het bord, worden er om de tekst leesbaar te houden onder wisselende lichtomstandigheden technisch nogal wat eisen gesteld. Hetzelfde type onderzoek als bij traditioneel leesbaarheidsonderzoek op verkeersborden wordt hierbij gehanteerd (Van Norren, 1981; CIE, 1988a).

### *Begrijpelijkheid*

Onder de begrijpelijkheid van een verkeersbord kan worden verstaan de mate waarin het bord de bedoelde boodschap overbrengt. Factoren als onderscheidbaarheid en bekendheid met bepaalde borden bepalen onder meer de begrijpelijkheid. Een beperkt aantal basissymbolen in een systeem van verkeerstekens komt de begrijpelijkheid ten goede, alsmede kleurcodering via kleur in het symbool zelf, terwijl er nauwelijks effect is van redundante vorm/kleurcoderingen (zie Riemersma 1978). Overigens hangt de begrijpelijkheid niet alleen af van het bord zelf, maar ook van de omgeving waarin het is geplaatst. In het algemeen is een verkeersteken met een symbool trouwens vaak beter 'leesbaar' (begrijpelijker) dan een vergelijkbaar bord met de boodschap in tekst (zie CIE 1988a).

### *Verkeers- en andere signaallichten*

Onderzoek naar de waarneming van verkeerslichten wordt meestal gescheiden van 'borden' aangetroffen in de literatuur. Er is vooral aandacht besteed aan eventuele verblinding (zie ook § 4.3), het waarnemen van de specifieke kleuren van de verkeerslichten en het fantomeffect; in mindere mate ook naar de herkenbaarheid van symbolen op signaallichten. Veel onderzoek is gedaan naar de benodigde lichtsterkte van verkeerslichten; ze mogen niet verblindend zijn, maar moeten wel opvallend of in ieder geval goed zichtbaar zijn. Bij grote adaptatieluminanties (bijvoorbeeld op een zonnige dag) moet de lichtsterkte relatief groot zijn om zichtbaar te zijn, maar diezelfde lichtsterkte leidt bij schemer of duisternis gemakkelijk tot verblinding. Om deze reden zijn verkeerslichten vaak voorzien van twee standen, een voor lage en een voor hoge lichtniveaus van de omgeving. Ook moet rekening worden gehouden met het fantomeffect: het verschijnsel dat een licht in werking schijnt als gevolg van licht dat van buiten af invalt. Bijvoorbeeld als de zon in een verkeers- of ander signaallicht valt, lijkt het soms of het brandt, terwijl dat in werkelijkheid niet het geval is. Het is belangrijk dat er bij de weggebruiker geen verwarring ontstaat over of een verkeerslicht nu brandt of niet. Het fantomeffect kan worden tegengegaan door bijvoorbeeld een zonnekap of achtergrondschild aan te brengen. Ook de kleuren van verkeerslichten zijn onderwerp van studie geweest. Volgens de wet horen verkeerslichten

rood, geel en groen te zijn. Bij de keuze van de exacte kleur'nuances' is rekening gehouden met kleurenblinden, of beter: kleurenzwakken; zo kunnen sommige mensen volstrekt geen rood van groen onderscheiden (deuteranopie) en sommigen kunnen in het geheel geen rood zien (protanopie). Als het groen een blauwige tint wordt gegeven ziet het licht er voor normaalzienden nog steeds als groen uit en voor kleurenzwakken wijkt het af van zowel geel als rood. Ten slotte heeft de herkenbaarheid van symbolen op signaallichten wel eens te lijden van overstraling: op grotere afstanden lijkt de figuur dicht te vloeien zodat bijvoorbeeld de richting van een pijl niet meer herkend kan worden. Onderzoek heeft laten zien dat door de lichtende delen van een pijl smal uit te voeren, en door de schacht los te maken van de chevron dit effect grotendeels tegengegaan kan worden. Deze 'nieuwe' pijl is opgenomen in de norm (CIE, 1980; Van Norren, 1981; Walraven, 1978; Norm verkeerslichten).

#### *Invloed op het rijgedrag*

Naar het effect van verkeersborden (en andere informatiedragers langs de weg) op het rijgedrag is weinig onderzoek gedaan. De onderzoeken die uitgevoerd zijn hadden voornamelijk het snelheidsgedrag tot onderwerp van studie en wijzen er op dat verkeersborden over het algemeen weinig tot geen effect op het rij(snelheids)gedrag lijken te hebben (CIE, 1988a). Een uitzondering hierop lijken (matrix)borden te zijn die het gedrag van automobilisten (min of meer) direct terugkoppelen aan de bestuurders ('U rijdt te snel'; '80% van de bestuurders rijdt niet te hard'). Uit onderzoek blijkt dat dergelijke borden soms een aanzienlijke snelheidsreductie teweeg kunnen brengen. In dit type onderzoek wordt overigens meestal geen relatie gelegd tussen de waarneming van de borden en het vertoonde rij-gedrag. Een uitzondering vormt een onderzoek van Luoma (1991), die het snelheidsgedrag van automobilisten bestudeerde terwijl deze een traject reden en tegelijkertijd werden oogbewegingen geregistreerd en het onthouden van verkeersborden gemeten. De resultaten lieten zien dat snelheidsgedrag niet hoog correleerde met de 'waarnemingsvariabelen'.

#### 4.4.3. *Relatie met verkeersveiligheid*

Vaak wordt de vraag gesteld of andere borden dan verkeersborden (bijvoorbeeld reclameborden) gevaar opleveren voor het verkeer. Uit onderzoek blijkt dat de aanwezigheid van reclameborden soms kan leiden tot een achteruitgang in detectie van verkeersborden of andere weggebruikers (Luoma, 1986). Maar wat dit nu betekent in termen van ongevallen is onbekend. Tot nu toe is er geen evidentie gevonden dat reclameborden ongevallen zouden veroorzaken (Janssen e.a., 1987; Gundy & Hagenzieker, 1990). Dit houdt voornamelijk verband met het feit dat door allerlei methodologische problemen zo'n causale relatie niet goed te onderzoeken is. Een aanverwante vraag is die naar 'gewone' verkeersborden in relatie tot verkeersveiligheid. Het is, ook weer voornamelijk om methodologische redenen, zeer moeilijk om aan te tonen of een bepaald (type) verkeersbord of combinatie van verkeersborden een reëel gevaar voor de verkeersveiligheid opleveren, of juist 'goed' voor de verkeersveiligheid zijn (CIE, 1988a; Gundy, 1989).

Ingegeven door onderzoek waaruit blijkt dat weggebruikers het merendeel van de borden niet 'zien' en ook niet in staat zijn om alle borden waar te nemen, zijn er momenteel ontwikkelingen gaande om het 'bordenpark' te



‘saneren’ (zie CROW, 1991). Onderzoek naar het effect van snelheidslimieten (met bijbehorende borden) op ongevallen lijkt er op te wijzen dat er in ieder geval tijdelijk een invloed op snelheidsgedrag en ongevallen bestaat.

#### 4.4.4. *Discussie*

Onderzoek naar verkeersborden is op een vrij gedetailleerde manier uitgevoerd; veel meer dan bij de vorige twee groepen onderwerpen het geval was, zijn de aspecten van het waarnemen van verkeersborden onderzocht, zoals zichtbaarheid, opvallendheid, leesbaarheid en begrijpelijkheid. Veelal is ook gekeken naar de invloed op de zichtbaarheid van verschillende materialen en aspecten zoals kleur onder wisselende omstandigheden (bijvoorbeeld mist, regen, lichtomstandigheden). De laatste jaren is daarbij veel aandacht voor retroreflecterende materialen op verkeersborden; recentelijk zijn aanbevelingen verschenen voor het gebruik van klasse I en II retroreflecterend materiaal op verkeersborden (CROW, 1991). Meer dan bij de vorige onderwerpen is ook naar de invloed van taakinstructie aan proefpersonen gekeken. Zo blijkt dat verkeersdeelnemers in sommige gevallen zeer goed in staat zijn bepaalde borden te detecteren en te benoemen, maar als automobilisten alleen wordt gevraagd zaken te noemen die in het algemeen hun aandacht trekken, dan is het percentage niet-opgemerkte borden zeer hoog. Af en toe wordt in het onderzoek naar verkeersborden ook aandacht besteed aan verschillende groepen weggebruikers. Zo is bij leesbaarheidsonderzoek rekening gehouden met de gezichtsscherpte van de waarnemers, en in een onderzoek naar de begrijpelijkheid van borden is afzonderlijk gekeken naar bestuurders met meer of minder rijervaring en naar niet-autorijders (Cooper, 1989). De aspecten zichtbaarheid, leesbaarheid en opvallendheid van verkeersborden lijken voldoende uitgezocht te zijn.

Dat blijkt ook uit de richtlijnen en normen die er bestaan op dit gebied (zie bijvoorbeeld NEN 3381 en 1772). De normen voor verkeerstekens en straatnaamborden (1992) geven gedetailleerde eisen ten aanzien van afmetingen, de uitvoering, de constructie, de kleursoorten en lichttechnische eigenschappen van de toegepaste materialen en de plaatsing. Hoewel er duidelijk een relatie bestaat tussen onderzoek en richtlijnen, bevatten de richtlijnen geen expliciete verwijzingen naar onderzoekresultaten. Er bestaan nog geen goed gemotiveerde richtlijnen voor het plaatsen van reclameborden (Richtlijnen voor verlichting bevatten enige richtlijnen voor verlichte reclame). Uit meer fundamenteel onderzoek kan worden afgeleid dat fel verlichte, en vooral knipperende of ‘bewegende’ borden vaak (ongewild) de aandacht trekken en daarom de verkeersveiligheid waarschijnlijk niet ten goede zullen komen. Op het gebied van de begrijpelijkheid van borden en symbolen lijkt nog wel het een en ander uitgezocht en verbeterd te kunnen worden. Momenteel staat onderzoek naar ‘variable message signs’ in de belangstelling, zowel wat waarnemingsaspecten betreft als ook de invloed op gedrag (zie ook bijvoorbeeld IZF-TNO onderzoek naar variabele routegeleiding, Janssen, 1992), maar toch is over het algemeen weinig onderzoek naar het effect van borden en andere informatiedragers langs de weg op gedrag uitgevoerd. Er bestaat geen duidelijkheid over het effect van verkeersborden op ongevallen, maar dat is uit methodologisch oogpunt ook moeilijk uit te zoeken. Relatief de minste aandacht is tot nog toe besteed aan het belang van het zien en

herkennen van verkeersborden voor de rijtaak in relatie tot andere kenmerken van de omgeving.

Wat de waarneming van verkeerslichten betreft zijn er veel aspecten onderzocht en ook vastgelegd in allerlei nationale en internationale voorschriften. Wat andere signaallichten betreft, zoals bijvoorbeeld rijstrook-indicatoren, zijn nog steeds ontwikkelingen gaande. Onderzoek naar rijgedrag is ook voor dit onderwerp zeldzaam, hoewel bijvoorbeeld roodlicht-discipline hier niet zozeer met waarnemingsaspecten van de verkeerslichten, maar meer met andere factoren - zoals de aanwezigheid van ander verkeer - te maken heeft.

#### 4.5. **Weggebruikers**

##### 4.5.1. *Algemeen*

Het meeste onderzoek is in deze groep gedaan naar het waarnemen door autobestuurders van andere auto's, waarbij voertuigverlichting meestal een centrale rol speelt; in veel mindere mate is de waarneming van andere verkeersdeelnemers, bijvoorbeeld fietsers, onderzocht (bijvoorbeeld Wierda et al., 1990). De nadruk in deze groep zal daarom liggen op voertuigverlichting om voertuigen beter zichtbaar/herkenbaar te maken, waarbij onderscheid gemaakt wordt naar onderzoek naar verschillende lampen aan voertuigen zoals koplampen, achterverlichting, remlichten, mistlichten. Daarnaast zal enige aandacht besteed worden aan fietsverlichting en zijreflectie van fietsen, (retroreflecterende) markeringen van vrachtwagens of andere speciale typen voertuigen (bijvoorbeeld landbouwvoertuigen); ten slotte is hier ook onder geschaard onderzoek naar waarnemen van voetgangers en werkers langs de weg waarbij de kleur van hun kleding onderwerp van onderzoek is geweest.

##### 4.5.2. *Functie en functionele eisen*

Weggebruikers moeten zien en gezien worden. Wat het 'zien' betreft zijn vooral verwezen naar de hiervoor behandelde groepen: de weg moet zodanig zijn ontworpen dat een goede regeling van koers en snelheid steeds mogelijk is, het verloop van de weg moet duidelijk zijn en borden en andere informatiedragers langs de weg moeten de verkeersdeelnemer bijvoorbeeld duidelijk maken welke gedragingen geboden en verboden zijn. Hierbij kunnen belijning en markeringen op het wegdek behulpzaam zijn, openbare verlichting (bij duisternis), duidelijk zichtbare en begrijpelijke bebording en verkeerslichten; één van de functies van voertuigverlichting is de weggebruiker te helpen met al deze zaken (met name 's nachts). Om dit 'zien' bij duisternis te bevorderen bestaan er daarom eisen voor bijvoorbeeld autokoplampen zodanig dat de lichtsterkte van die lampen vlak onder de horizon voldoende groot is om de weg met alles erop tot op een zekere afstand voor de auto goed wordt verlicht (illuminatiefunctie).

In de behandeling van de groep 'weggebruikers' zal ook aandacht worden besteed aan het 'gezien worden'. Om veilig aan het verkeer deel te nemen is het noodzakelijk dat verkeersdeelnemers elkaar *kunnen* zien, en in veel gevallen zelfs *moeten* zien (bijvoorbeeld om botsingen te voorkomen).

Al eerder werd onderscheid gemaakt tussen het detecteren van een of ander voorwerp en het herkennen of identificeren ervan. Hierbij is het niet alleen van belang de aanwezigheid van een of andere weggebruiker op te merken, maar ook te herkennen met welk type weggebruiker men van doen heeft, en inzicht te krijgen in het (eventueel toekomstig) gedrag van die weggebruiker om daarop het eigen gedrag af te kunnen stemmen (bijvoorbeeld bij remmen, links- of rechtsafslaan). Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen de aanwezigheid en categorisering van een voertuig, positie, snelheid en richting en (voorgenomen) veranderingen daarin. Het hangt van onder andere de verkeerssituatie af welke daarvan het meest van belang zijn. De vorm en contouren van een verkeersdeelnemer geven soms voldoende aanwijzing met wie men van doen heeft. Maar voor het signaleren van veel van deze kenmerken is vaak een additionele, duidelijke, ondubbelzinnige en gedetailleerde codering nodig, waarbij functionele eisen gesteld kunnen worden aan kleur, lichtsterkte, afmetingen, locatie, aantal en configuratie. Voor wat betreft voertuigverlichting wordt zo'n codering in de praktijk gebracht door verschillend gekleurde lichten aan de voor- en achterzijde, door remlichten die in plaats, kleur en helderheid afwijken van achterlichten, door richtingaanwijzers enzovoort. De signaleringsfuncties moeten vervolgens onder verschillende weers- en lichtomstandigheden, in verschillende situaties en voor verschillende personen gelden. Middelen om beter gezien te worden en/of weggebruikers en hun gedrag beter herkenbaar te maken zijn bijvoorbeeld zijreflectie op fietsen, voertuigverlichting (overdag), remlichten, signaallichten, mistlichten, de achterlichtconfiguratie als geheel, (retroreflecterende) markeringen op vrachtwagens en kleding, enzovoort.

#### 4.5.3. *Onderzoek naar aspecten van visuele waarneming*

##### *Motorvoertuigverlichting: Illuminatie*

Voor de verlichting van voorwerpen, de illuminatie, komen in de praktijk twee systemen in aanmerking: de openbare verlichting (zie § 4.3) en de verlichting door autokoplampen. Het beginsel daarbij is dat een verschil in luminantie tussen het betreffende voorwerp en zijn directe achtergrond wordt opgewekt. Het traditionele dimlicht heeft een gecombineerde functie van illuminatie en signalisatie: enerzijds de verlichting van de weg en de omgeving en anderzijds deze auto naar type, functie enzovoort. Voor andere weggebruikers moeten markeren. In deze sectie komt de verlichtingsfunctie aan de orde.

Het verzamelen van foto- en colometrische gegevens, en onderzoek naar zichtbaarheid, opvallendheid en verblinding zijn de meest veelvoorkomende typen onderzoek naar koplampen; daarbij wordt veelal onderscheid gemaakt naar verschillende niveaus van omgevingsilluminantie, waarbij de lichtsterkte en afmetingen (en soms kleur) gevarieerd werden voor verschillende typen lampen (bijvoorbeeld traditionele lampen maar ook halogeen- en hoge druk gasontladingslampen enzovoort). Steeds wordt gezocht naar verlichting die aan de ene kant zorgt voor een zo groot mogelijke zichtbaarheid en opvallendheid (zie voor dit type onderzoek § 4.2 t/m 4.4), terwijl aan de andere kant verblinding zo veel mogelijk vermeden moet worden. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen 'discomfort glare' en 'disability glare'.

Discomfort glare kan omschreven worden als het gevoel van irritatie of hinder dat veroorzaakt wordt door hoge of niet-uniforme verdelingen van luminantie in het gezichtsveld. De mate van discomfort glare hangt onder andere samen met de hoek die de verblindingsbron maakt met de kijkrichting, de grootte van de verblindingsbron en de achtergrondluminantie: in het algemeen blijkt dat hoe groter de achtergrondluminantie, hoe kleiner de verblindingsbron en hoe groter de hoek tussen verblindingsbron en kijkrichting, hoe minder 'hinder' geproduceerd wordt.

'Glare' die interfereert met visuele prestaties en zichtbaarheid wordt 'disability glare' genoemd. Licht dat het oog binnenkomt wordt verstrooid in de oogbol door onregelmatigheden van de lens en de vloeistof in de oogbol. Dit 'verstrooide' licht creëert een sluiertiluminantie op de retina en reduceert het contrast van het object waarnaar gekeken wordt, waardoor het minder goed 'zichtbaar' wordt. Elke lichtbron in het gezichtsveld veroorzaakt wat sluiertiluminantie op de retina. Het effect ervan op 'waarnemen' is een functie van de lichtsterkte van de verblindingsbron en de hoek die deze maakt met de kijkrichting. Er is enorm veel onderzoek verricht naar deze vorm van verblindings; en er zijn formules opgesteld waarbij gebruik is gemaakt van sluiertiluminanties waarvan de invloed op waarnemen equivalent is aan de verblindingsverschijnselen; waarbij de mate van disability glare onder andere toeneemt bij toenemende leeftijd (zie bijvoorbeeld Vos, 1983).

De gecombineerde effecten van verlichting door de eigen lichten en verblindings door lichten van tegenliggers resulteren in een bepaalde afstand waarop bepaalde objecten nog kunnen worden waargenomen. Wanneer men een afspraak maakt omtrent de waarnemer, het object (wat betreft grootte, vorm en reflectie) en de plaats van het object kunnen door de resulterende zichtbaarheidsafstanden te vergelijken, verschillende combinaties van verlichtingsmiddelen met elkaar worden vergeleken. Het is gebruikelijk om de onderzoeken op dit gebied op dynamische wijze uit te voeren. Een veel toegepast systeem is: men plaatst één of meer objecten op of dichtbij de weg. De plaats is aan de waarnemer onbekend. Bovendien wordt een auto (of een door een stellage geïmiteerde auto) geplaatst op een weggedeelte dat normaal door tegenliggers kan worden bereden. De rijdende en de stilstaande auto's worden van de te onderzoeken verlichtingsmiddelen voorzien. De waarnemer neemt plaats in de auto die naar de objecten toerijdt en zodra de objecten worden gezien wordt dit geregistreerd, waaruit de zichtbaarheidsafstand wordt afgeleid (zie bijvoorbeeld Schreuder & Lindeijer, 1987).

Dit soort proeven zijn niet alleen bij lampen met verschillende lichtsterkte, maar ook voor verschillende systemen uitgevoerd. Zo werd het Europees symmetrisch dimlicht vergeleken met Amerikaanse 'sealed beam' lichten: bij het ontmoeten van twee auto's beide met sealed beam of beide met symmetrisch dimlicht waren de gevonden zichtbaarheidsafstanden ongeveer gelijk. Ontmoette echter een met symmetrisch dimlicht rijdende waarnemer een auto met sealed beam lampen dan werd de zichtbaarheidsafstand drastisch gereduceerd. Ook bleek dat de zichtbaarheidsafstand gewoonlijk minimaal was wanneer de auto's ongeveer 50 m van elkaar waren. Bij deze proeven waren de zichtbaarheidsafstanden meestal in de orde van 30-60 m (zie ook De Boer, 1967). Meer recentelijk zijn dergelijke proeven

uitgevoerd met andere systemen, zoals bijvoorbeeld halogeenlampen, en gasontladingslampen (zie bijvoorbeeld Alferdinck, 1991).

Men zoekt reeds lang naar een optimaal compromis tussen verlichting enerzijds en verblinding anderzijds. In Europa tracht men dit compromis te bereiken door te streven naar een zeer scherpe coupure, gekenmerkt door een grote lichtsterkte vlak onder de horizon terwijl deze boven de horizon juist klein is. Bij een scherpe coupure kan de verblinding van de tegenliggers gering zijn en tegelijk de wegverlichting hoog. Omdat het nogal nauwkeurig luistert welke waarden voor de hoeken gekozen worden, levert zo'n scherpe coupure nogal eens problemen op: bijvoorbeeld foutieve instelling op de auto (ongeveer 1/3 blijkt gewoonlijk foutief ingesteld; Schreuder & Lindeijer, 1987), positieverandering ten gevolge van de ladingstoestand van de auto, vervuiling en regen zorgen voor sterkere mate van verblinding (zie bijvoorbeeld Alferdinck & Padmos, 1988). Bij halogeenlampen kan men bij gelijkblijvend opgenomen vermogen en bij gelijke levensduur een grotere lichtstroom creëren. In theorie kan men daardoor de coupure scherper maken, maar dit levert echter geen extra zichtbaarheidsafstand op, waardoor de invloed van een foutieve instelling op de verblinding groter wordt (Schreuder & Lindeijer, 1987). Een ander aspect van de coupure en scherpste ervan is de waarneembaarheid van verkeerstekens en bewegwijzering. Daartoe is juist weer een minimale lichtsterkte boven de horizon gewenst. Een probleem apart is de beperking van de werking van het dimlicht als verlichtingsbron ten gevolge van mist en nevel (zie bijvoorbeeld OECD, 1976).

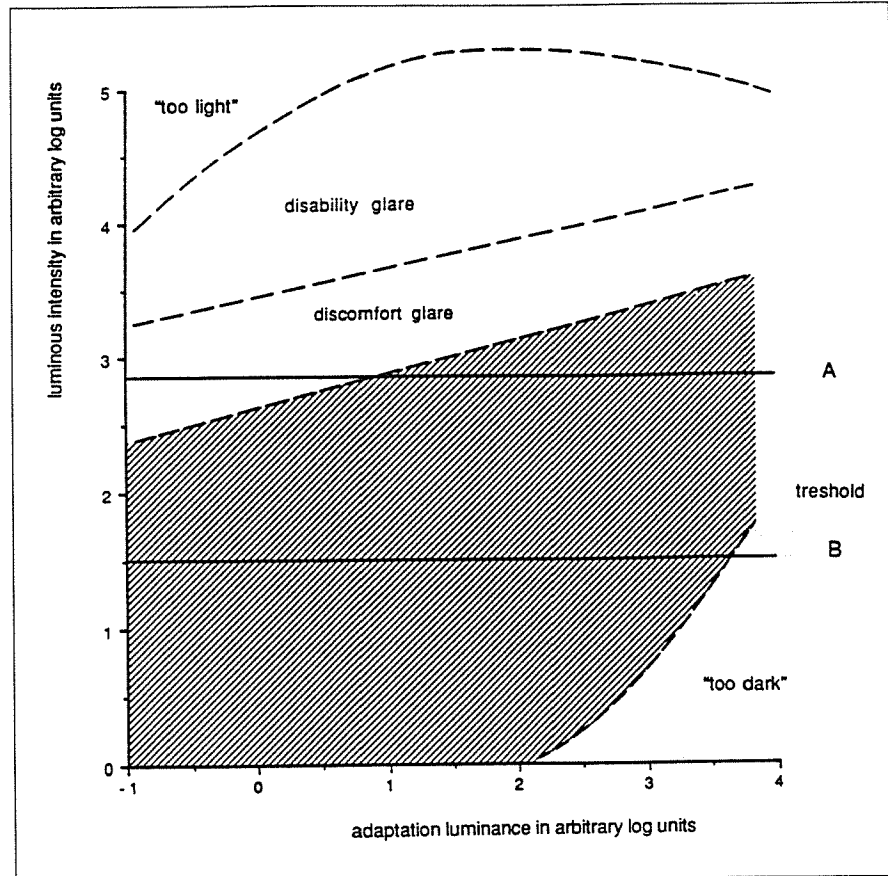
De lichtkleur van autolichten is een onderwerp van vele meningsverschillen (geweest). In de praktijk komen 'wit' en 'geel' licht in aanmerking. Er lijkt geen enkel argument van doorslaggevende waarde aan te geven, noch ten gunste, noch ten nadele van geel licht (behalve persoonlijke voorkeur; Schreuder 1975). In de praktijk komt 'geel' licht in Nederland nog nauwelijks voor, in 1985 nog slechts in 1,5% van de gevallen (Alferdinck & Padmos, 1986).

#### *Motorvoertuigverlichting: Signalisatie*

In de literatuur worden de verschillende soorten verlichting voor signalisatie (koplampen, achterlichten, remlichten, richtingaanwijzers, enzovoort) veelal afzonderlijk onderzocht en gerapporteerd. Ook hier ligt de nadruk op onderzoek naar opvallendheid, zichtbaarheid en verblinding. De laatste jaren wordt dit type waarnemingsonderzoek ook wel specifiek gericht op het gebruik van motorvoertuig verlichting overdag (zie voor een overzicht bijvoorbeeld Padmos, 1988b; Hagenzieker, 1990). Ook wordt in deze paragraaf aandacht besteed aan mistlichten (zie bijvoorbeeld Oppe, 1991) en remlichten (bijvoorbeeld Theeuwes, 1991; Mulder, 1985), alsmede de totale achterlichtconfiguratie (bijvoorbeeld Akerboom et al., 1990). Hieronder volgt een kort overzicht.

De bruikbaarheid van een signaallicht hangt meer af van de opvallendheid en de herkenbaarheid dan van de zichtbaarheid. Men kan zich afvragen wat de optimale lichtsterkte van signaallichten is, om in alle opzichten effectief te zijn. Dit is meestal onderzocht met behulp van detectie-experimenten, (subjectieve) beoordelingsexperimenten naar zichtbaarheid en verblinding, experimenten waarin de afstand tot een voertuig geschat moest worden en

van verschillende lichtsterkte. In het kader van een studie naar visuele prestaties en motorvoertuigverlichting overdag heeft Hagenzieker (1990, 1992) een schema afgeleid waarin de resultaten van de diverse typen experimenten zoals hierboven genoemd samengevat kunnen worden (zie *Afbeelding 1*).



*Afbeelding 1. Schematische weergave van de relatie tussen de intensiteit van voertuiglichten ( $I$ ) voor verschillende adaptatie-luminanties, en visuele waarneming (naar Hagenzieker, 1992).*

Op de horizontale as staat in log-eenheden de adaptatie-luminantie uitgezet, die afhankelijk is van het lichtniveau van de omgeving; op de verticale as de lichtsterkte van lampen, ook in log-eenheden. Het gebied dat linksboven en rechtsonder afgebakend is door krommen, geeft het gehele gebied weer waarin 'waarnemen' (i.e. zowel detecteren, herkennen enzovoort) mogelijk is. Stimuli die te donker zijn om te kunnen waarnemen, zijn gelegen in het gebied rechtsonder; stimuli die zo helder zijn dat ze letterlijk verblinden en waarnemen onmogelijk maken liggen linksboven. In het gebied waarin waarnemen mogelijk is, zijn verschillende deelgebieden te onderscheiden. De onderste kromme geeft het drempelniveau weer voor het detecteren van lichtpuntjes, gegeven bepaalde adaptatie-luminanties; daarboven ligt een gebied waarin discriminatie mogelijk is - herkenning en identificeren zijn mogelijk - zonder negatieve 'bijverschijnselen' (het gearceerde gebied). Daar weer boven ligt het gebied waarin ook nog 'goed' kan worden waargenomen, maar waar daarbij een vorm van discomfort glare gaat

lichtpuntjes, gegeven bepaalde adaptatie-luminanties; daarboven ligt een gebied waarin discriminatie mogelijk is - herkenning en identificeren zijn mogelijk - zonder negatieve 'bijverschijnselen' (het gearceerde gebied). Daar weer boven ligt het gebied waarin ook nog 'goed' kan worden waargenomen, maar waar daarbij een vorm van discomfort glare gaat optreden. En het gebied daar weer boven geeft aan dat er disability glare zal optreden, als lampen van deze sterkten zich binnen het gezichtsveld bevinden van een waarnemer. Detectie is daar natuurlijk zeer goed mogelijk, maar 'details' zijn moeilijker waar te nemen door 'disability glare'.

De horizontale lijnen in de figuur geven lichtsterkten van (kop)lampen. Het plaatje illustreert dat een lamp met lichtsterkte A bij hele lage adaptatieluminanties 'verblindend' zal zijn, maar bij een groot tussengebied aan adaptatieluminanties in het gebied 'goed zichtbaar' valt; nergens valt deze lamp in het 'te donker' gebied voor detectie. Een lamp met lichtsterkte B levert volgens het plaatje weliswaar nergens verblinding op, maar valt bij relatief hoge adaptatieluminanties in het 'te donker' gebied, waar de koplamp dus niet meer bijdraagt aan de zichtbaarheid.

Uit proefnemingen werd geconcludeerd dat aan signaallichten (aan de voorzijde van auto's) de volgende eisen worden gesteld wat betreft de lichtsterkte: het minimum moet ongeveer 20 cd bedragen, en het maximum circa 100 cd (Schreuder & Lindeijer, 1987) voor de nachtelijke situatie; deze waarden corresponderen met het gearceerde gebied in het linker deel van de figuur. Voor de situatie overdag ligt ergens in het gebied tussen detectie en verblinding een optimale grens van lichtsterkte die aangeeft waar de prestatie nog net verbetert ten gevolge van het voeren van lichten overdag (vanaf ongeveer 1-100 cd/m<sup>2</sup>; zie *Afbeelding 1*).

Er bestaat een spanningsveld tussen het willen vermijden van verblindingsverschijnselen enerzijds en het willen verbeteren van visuele prestaties anderzijds. Onder erg heldere omstandigheden overdag zullen zelfs dimlichten niet altijd voor voldoende contrast met de omgeving kunnen zorgen, terwijl hogere lichtsterkte 's nachts voor verblinding kan zorgen (zie afbeelding). Een dergelijke relatie gaat in principe ook op voor andere signaallichten, bijvoorbeeld voor de lichten aan de achterzijde van voertuigen. Of ook dezelfde waarden gelden als in het schema dat oorspronkelijk is opgesteld voor koplampen is aannemelijk, maar nog niet onderzocht. Voor de huidige achterlichten geldt bijvoorbeeld dat deze overdag slechts in beperkte omstandigheden de opvallendheid van een voertuig kunnen verhogen, bijvoorbeeld bij zware bewolking (zie Schreuder, 1974). Een oplossing zou zijn de lichtsterkte van de lampen (zowel voor- als achter) te kunnen variëren met de omgevingsluminantie.

Behalve lichtsterkte, zouden ook kleur, afmeting en locatie kunnen dienen als coderingsdimensies. Het is gebruikelijk - deels door conventie, deels door (waarnemings)onderzoek bepaald - om de kleur als coderingsdimensie als volgt te gebruiken: rood komt alleen aan de achterzijde voor; aan de voorzijde alleen wit of geel; geel licht komt bij richtingaanwijzers ook vaak voor aan de achterzijde, dus geheel consequent is de codering niet (Schreuder & Lindeijer, 1987).

Hoewel afmetingen en locatie op zichzelf onvoldoende geacht worden als coderingsdimensie (de afmetingen zijn over het algemeen zo klein dat verschillen erin door waarneming op - bijvoorbeeld - verschillende afstanden door waarnemers niet onderscheiden kunnen worden), is de totale configuratie van lichten dat wel. Voor de voorkant is vooral een vaste afstand tussen de signaallichten van belang. Maar de configuratie is met name relevant ten aanzien van de achterzijde omdat zich daar verschillende lichten met verschillende signaalfuncties bevinden. Zo spelen al jaren discussies omtrent de wenselijkheid van een derde remlicht en de locatie ervan ten opzichte van de andere achterlichten, en de kwestie of er één dan wel twee mistlichten (en waar) op de achterzijde van de auto wenselijk zijn.

Zo is bij de discussie over de mistachterlichten gesteld dat het aanbrengen van twee lichten, aan iedere kant van de auto één, zou kunnen helpen om de afstand, en daarmee ook de snelheid van een voorligger en dus ook de relatieve snelheid ten opzichte van die voorligger, te schatten. Wanneer het echter gaat om de herkenbaarheid van de voertuigen, en nog sterker wanneer het gaat om de herkenbaarheid van de situatie waarin de voertuigen zich bevinden, kan het feit dat er twee lichten van gelijke sterkte tegelijk zichtbaar zijn eerder een nadeel dan een voordeel zijn. Het wordt dan namelijk moeilijk om het verschil tussen de mistachterlichten en gewone achterlichten of, waarschijnlijker nog, remlichten te zien. De zichtbaarheid neemt toe, maar de mogelijkheid tot correcte decodering neemt af. Het standpunt van de SWOV is steeds geweest dat gezien het eerste argument in principe twee mistlampen de voorkeur hebben, maar gegeven de in de praktijk geldende (zeker niet ideale) situatie met betrekking tot de achterlichtconfiguratie (bijvoorbeeld verwarring met remlichten) lijkt de toepassing van één mistachterlicht in de huidige situatie de voorkeur te verdienen (zie bijvoorbeeld Oppe, 1988, 1991; Schreuder & Lindeijer, 1987).

Argumenten die gegeven worden voor het aanbrengen van een derde (hooggeplaatst) remlicht zijn onder meer dat een derde remlicht een niet-oplettende weggebruiker beter zou waarschuwen dan een conventionele achterlichtconfiguratie, omdat deze zich op een centrale locatie op ooghoogte bevinden en het derde remlicht op een consistente plaats consistente informatie aanbiedt. Om het effect van dit derde remlicht op gedrag te onderzoeken zijn vooral reactietijdstudies uitgevoerd, zowel in het veld als in het laboratorium (zie bijvoorbeeld Theeuwes, 1991; Akerboom et al., 1990).

De resultaten van dit soort experimenten zijn niet eenduidig. Een snellere reactietijd lijkt vooral op te treden wanneer andere lichten (zoals gewone achterlichten en mistlichten) in de buurt van de normale remlichten branden. Daarnaast wordt wel gesteld dat het derde hooggeplaatste remlicht het mogelijk maakt door de voorruit van de voorligger het remgedrag van andere weggebruikers waar te nemen wat effectief kan zijn in geval van rijden in een peloton of in druk verkeer. Voor dit laatste argument is nog weinig experimentele evidentie aanwezig.

Zoals gezegd worden de verschillende soorten verlichting voor signalisatie veelal afzonderlijk onderzocht en gerapporteerd, waarbij een verbetering ervan wordt nagestreefd uitgaande van de bestaande uitrusting. Omdat de effectiviteit van een signaallicht afhankelijk is van de plaats en intensiteit



van de andere signaallichten, zou het wenselijk zijn de gehele achterlicht-configuratie te bestuderen. In het ideale geval zou, in plaats van de bestaande uitrusting als uitgangspunt te nemen, de configuratie 'opnieuw' opgebouwd moeten worden uitgaande van de functies van de verschillende signaallichten.

#### *Motorfietsen*

Er gebeuren relatief veel ongevallen met ernstige afloop waarbij motorfietsen betrokken zijn. Uit onderzoek waarin automobilisten geïnterviewd werden die betrokken waren als partij bij deze ongevallen, komt naar voren dat zij vaak zeggen de motorfiets niet gezien te hebben. Om deze reden lijkt het onderzoek voor deze categorie weggebruikers zich geconcentreerd te hebben rond het onderwerp 'opvallendheid' (zie bijvoorbeeld Wulf et al., 1989; Olson, 1989). Hierbij wordt geredeneerd dat motorfietsen vaak niet gezien worden omdat ze niet opvallend genoeg zouden zijn, en talloze studies zijn ondernomen met de vraag hoe de opvallendheid van motorfietsen vergroot zou kunnen worden. Zo is bijvoorbeeld onderzocht of (verschillende typen voor- en/of achter-) verlichting, verschillende kleuren materiaal, verschillende fluorescerende en retroreflecterende materialen ervoor zorgen dat motorfietsers eerder en/of beter gedetecteerd en geïdentificeerd worden (zie voor een overzicht Wulf et al., 1989).

Over het algemeen luidt de conclusie van deze studies dat hoewel sommige maatregelen, vooral het gebruik van motorvoertuigverlichting overdag, de 'opvallendheid' van motorfietsers vergroten, deze maatregelen niet eenduidig leiden tot een (significante) afname in ongevallen. Het lijkt dan ook niet voldoende om alleen de 'fysieke' opvallendheid van objecten te vergroten (zie ook § 3.2.3). Andere factoren, zoals het feit of andere weggebruikers bepaalde objecten met bepaalde fysieke kenmerken, in dit geval motorfietsen, *verwachten* in bepaalde situaties of omstandigheden lijken van groter belang te zijn (zie bijvoorbeeld Hughes & Cole, 1984; Theeuwes, 1989, 1991, 1992).

#### *Fietsen*

Net als bij motorvoertuigverlichting kunnen twee functies van fietsverlichting worden onderscheiden. De verlichting aan de voorkant van fietsen heeft vooral een signaleringsfunctie, voor het vervullen van de illuminatiefunctie is deze verlichting over het algemeen te zwak. De herkenbaarheid van fietsen kan verder worden bevorderd door de tweewieligheid te benadrukken, en bijvoorbeeld wielen te gebruiken die voorzien zijn van een reflecterende bias. Bewegende voorwerpen worden, mits ze niet al te snel gaan, gemakkelijker gedetecteerd dan stilstaande. In dit opzicht zijn de pedaalreflectoren nuttig: zolang de fietser trapt bewegen de pedalen in een karakteristieke op-en-neer beweging. Dit geldt uiteraard in hoofdzaak wanneer de fiets van voren of van achteren wordt waargenomen. Bij waarneming van opzij doen zich andere verschijnselen voor. Wanneer de zijreflectie bestaat uit gesloten ringen (zoals bij reflecterende fietsbanden) dan blijkt de beweging alleen uit iets dat lijkt op het 'verschuiven' van de twee cirkels. Dat de wielen draaien is niet duidelijk zichtbaar. Duidelijker wordt dit bij toepassing van spaakreflectoren (Schreuder, 1985). Dergelijke overwegingen hebben geleid tot aanbevelingen omtrent verlichtingseisen en reflectiewaarden voor materialen op fietsen. De eisen zijn vooral gebaseerd op berekeningen op grond van fotometrische gegevens, er zijn weinig waarnemingsproeven gedaan om de opvallendheid of herkenbaarheid van

fietsers onder verschillende omstandigheden te onderzoeken. Een voorbeeld van (kleinschalig) laboratoriumonderzoek waarin wel aandacht besteed werd aan de opvallendheid van fietsen terwijl ook andere verkeersdeelnemers in beschouwing genomen werden is uitgevoerd door Riemersma et al. (1987). De vraag was of de opvallendheid van fietsen in de nabijheid van auto's verschilde naar gelang de auto's al dan niet van verlichting (overdag) waren voorzien. Uit de resultaten werd afgeleid dat de verlichting de opvallendheid van de auto verhoogt, zonder de opvallendheid van de fiets aan te tasten.

#### *Voetgangers*

Onderzoek naar het waarnemen van voetgangers heeft zich voornamelijk gericht op hun zichtbaarheid afhankelijk van de kleding die zij dragen. Voetgangers blijken, zeker 's nachts, gewoonlijk gekleed te gaan in donkere, diffuus reflecterende materialen (zie bijvoorbeeld Hansen & Larsen, 1979). Het toepassen van retroreflecterende materialen op kleding van voetgangers kan hun zichtbaarheid 's nachts aanzienlijk verhogen. In publikaties over maatregelen bij werken in uitvoering is bijvoorbeeld een richtlijn opgenomen over kleding voor werkers langs de weg (1987, 1988): "allen die langs of op een weg werkzaamheden verrichten [dienen] als zodanig goed herkenbaar te zijn. Het dragen van kleding, die voldoet aan hoge eisen van waarneembaarheid, zichtbaarheid, opvallendheid en herkenbaarheid is zonder meer noodzakelijk". Een beschrijving volgt dan van de afmetingen en kleur van veiligheidsvesten.

#### *Overige markeringen aan voertuigen*

Het toepassen van retroreflecterende materialen op voertuigen kan het waarnemen van hun aanwezigheid vergemakkelijken. Een voorbeeld is de momenteel (nog) verplichte retroreflecterende markering aan de achterzijde van vrachtwagens; die verplichting is omstreeks 1980 ingevoerd naar aanleiding van ongevallen waarbij (onverlichte) geparkeerde vrachtwagens betrokken waren. Het toepassen van retroreflecterende markering zou de zichtbaarheid bij nacht kunnen verbeteren. 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 koplampen van motorvoertuigen. Daarbij moet bedacht worden dat retroreflecterend materiaal niet altijd en overal helpt. Als een object eigen verlichting voert, of aangeschenen wordt door openbare verlichting kan retroreflecterend materiaal nog maar weinig toevoegen aan de zichtbaarheid van het object. Verder hangt het af van de betekenis die in de vorm en kleur van het materiaal besloten ligt of het te midden van andere objecten/materialen zal opvallen. In de praktijk kan retroreflecterend materiaal ook ondersteuning bieden bij het beter herkennen van objecten die van zichzelf al wel zichtbaar waren (Tromp & Noordzij, 1991; Schreuder, 1988). Er is veel onderzoek gedaan naar de zichtbaarheid van verschillende retroreflecterende materialen, waarbij de nadruk ligt op metingen van bijvoorbeeld de reflectiecoëfficiënt van het materiaal (zie ook § 4.4). Onderzoek gericht op de invloed van dergelijke markeringen op de herkenbaarheid van voertuigen (bijvoorbeeld van vrachtwagens) onder verschillende omstandigheden is nauwelijks gedaan.

### *Rijgedrag*

Tot nog toe is weinig onderzoek gedaan naar rijgedrag in relatie tot waarneming van verschillende weggebruikers of kenmerken van weggebruikers (bijvoorbeeld voertuiglichten). In onderzoek dat specifiek gericht is op het observeren van (bepaalde onderdelen van) rijgedrag (bijvoorbeeld conflict-observaties, snelheid) worden bijna nooit relaties gelegd met waarnemingsgedrag (en andersom). Voorbeelden waarin waarnemingsgedrag wel een belangrijke rol speelt zijn onderzoeken van Masuda et al. (1988), Mortimer & Jorgeson (1974) en het in § 3.4 reeds genoemde onderzoek van Luoma (1986). Masuda et al. (1988) onderzochten gedragingen (inclusief waarnemingsgedrag) van bestuurders terwijl zij tegemoetkomende voertuigen naderden. Ze vonden onder andere dat de tegemoetkomende voertuigen vaak niet gefixeerd werden, maar dat fixaties meestal gericht waren op het voorliggende weggedeelte; andere voertuigen leken vooral perifeer te worden opgemerkt. Mortimer & Jorgeson (1974) varieerden kenmerken van koplampen en onderzochten of dit invloed had op oogbewegingen van tegemoetkomende bestuurders; ook zij concludeerden dat tegemoetkomende voertuigen niet vaak gefixeerd werden, en dat dit samen hing met het type koplamp dat door de tegenligger gevoerd werd. Luoma (1991) combineerde onder andere het observeren van snelheidsgedrag met het registreren van oogbewegingen.

#### 4.5.4. *Relatie met verkeersveiligheid*

Voor veel van de bovengenoemde onderwerpen geldt dat ongevallenonderzoek is uitgevoerd met de bedoeling een relatie te leggen tussen bepaalde kenmerken van weggebruikers en ongevallencijfers. Door methodologische problemen is het vaak moeilijk een eenduidig en/of significant effect van bijvoorbeeld bepaalde typen voertuiglichten aan te tonen. Zo is een aantal (buitenlandse) onderzoeken uitgevoerd om de invloed van een derde hooggeplaatst remlicht op ongevallen te achterhalen (zie voor een overzicht Theeuwes, 1991; Schoon, 1992). De resultaten van deze onderzoeken lijken te wijzen op een (klein) positief effect van dergelijke remlichten. Inmiddels is bekend dat de EG-voorschriften het derde remlicht zullen bevatten en de relatieve sterkte van remlichten ten opzichte van gewone achterlichten is vergroot.

Ook zijn verschillende buitenlandse studies verricht naar het effect van het voeren van motorvoertuigverlichting overdag (zie voor overzichten Polak, 1986; Theeuwes & Riemersma, 1990; CIE, 1990; Koornstra, 1993). De resultaten van deze onderzoeken verschillen, positieve effecten lijken te overheersen, maar de gerapporteerde grootte van het effect varieert sterk over de verschillende studies. Het exacte effect blijft omstreden, vaak door methodologische tekortkomingen aan de ongevallenstudies.

Uit een recent onderzoek naar de invloed van retroreflecterende markeringen op vrachtwagens op ongevallen, blijkt dat deze geen effect lijken te hebben op de verkeersveiligheid. Tromp & Noordzij (1991) concluderen dat de huidige toegepaste retroreflecterende markeringen aan de achterzijde van vrachtwagens naar alle waarschijnlijkheid weinig effectief zijn.

Sinds 1 januari 1987 geldt in Nederland het wettelijk voorschrift dat fietsen voorzien dienen te zijn van cirkelvormige zijreflectie aan beide wielen.

Na het verplicht stellen van de aanwezigheid van deze zijreflectie bij fietsen is er sprake van een kleine, maar significante (relatieve) afname van circa 5% van het aantal fietsersslachtoffers bij schemer of duisternis; een effect dat, onder meer door een enorme toename in het gebruik van zijreflectie, toegeschreven lijkt te kunnen worden aan de maatregel (Blokpoel, 1990).

#### 4.5.5. *Discussie*

In deze groep bestaat het leeuwedeel van het onderzoek uit gedetailleerd 'technisch' onderzoek en onderzoek naar zichtbaarheid, opvallendheid en verblinding met betrekking tot voertuigverlichting. Dit komt ook tot uiting in de uitgebreide (inter)nationale richtlijnen. De meeste lichten op voertuigen, en zeker die voor auto's dienen te voldoen aan allerlei voorschriften en regels (zie bijvoorbeeld OECD 1980). De nationale en internationale standaards voor de verlichting van voertuigen houden rekening met de disability glare.

Zo vermeldt de Europese norm dat de zogenaamde verblindingslichtsterkte van dimlichten in de richting van tegenliggers niet groter dan 250 cd mag zijn. Discomfort glare wordt echter in geen van de normen vermeld; disability glare - die visuele prestaties beïnvloedt - wordt als belangrijker beschouwd. Voor Europa gelden vooral de regels opgesteld door de Verenigde Naties; in de Verenigde Staten gelden SAE-richtlijnen, die in een aantal opzichten sterk van de ECE-richtlijnen afwijken. De CIE, als internationaal lichaam voor de verlichtingskunde en de fotometrie, probeert om de verschillende standpunten dichter bij elkaar te brengen.

De verschillende typen lichten zijn over het algemeen afzonderlijk onderzocht. Het gaat daarbij vrijwel altijd om kenmerken van de lichten zelf, en niet zozeer in relatie tot het doel wat de verlichting in de context van de rijtaak zou moeten dienen. Er is bovendien nog weinig onderzoek beschikbaar naar de invloed van voertuiglichten op rijgedrag. Zulke studies kunnen belangrijke kennis opleveren, ook omdat ongevallestudies vaak geen eenduidige effecten te zien geven.

Een belangrijk onderscheid met de hiervoor behandelde groepen is dat verkeersdeelnemers niet statisch zijn maar over het algemeen bewegen; veel detectieproeven zijn ook onder dynamische omstandigheden uitgevoerd. In detectie-experimenten is de taak van de proefpersoon over het algemeen het detecteren van één standaardobject of voertuig in een verder lege verkeersruimte. Bovendien weten proefpersonen over het algemeen van te voren wat zij te zien zullen krijgen. De resultaten van dit soort experimenten zijn daarom in feite vooral van toepassing op verkeersdeelnemers die alert zijn, op de juiste plaats in het gezichtsveld kijken op het juiste moment en weten welk (type) object zij kunnen verwachten.

In werkelijkheid zullen zich allerlei verlichte (en met name overdag ook onverlichte) voertuigen en verkeersdeelnemers (en andere al dan niet verlichte objecten) op de weg bevinden; of de resultaten van detectie-experimenten ook op deze situaties toegepast kunnen worden, is dan nog de vraag. Het is daarom aan te bevelen ook experimenten uit te voeren waarin proefpersonen verkeersdeelnemers niet alleen moeten detecteren, maar ook moeten identificeren dan wel herkennen als bijvoorbeeld voetgangers, auto's, fietsers e.d. Het 'juist herkennen' kan dan bijvoorbeeld blijken uit het juist benoemen van objecten of uit de 'juiste' (verkeers)manoeuvre die

proefpersonen geacht worden uit te voeren. Daarbij is een systematische codering van belang, die bijvoorbeeld tot uiting kan komen in de lichtconfiguratie; deze is voor wat betreft kleur van de achterlichten wel duidelijk: rood voor bijvoorbeeld remlichten, oranje voor richtingaanwijzers, maar wat lichtsterkte betreft (verschil tussen rem-, achter- en mistlicht), plaatsing en aantal (rem/mistlichten) is er momenteel geen eenduidigheid.

## 5. Stand van zaken

In dit hoofdstuk wordt de stand van zaken opgemaakt op het gebied van visuele waarneming en verkeersveiligheid. De eerste paragraaf geeft een korte samenvatting van de voorgaande hoofdstukken 2, 3 en 4. Dat levert een overzicht hoe over visuele waarneming en verkeer gedacht wordt (hoofdstuk 2), van de zuiver wetenschappelijke kennis (hoofdstuk 3) en van de kennis uit het praktijkonderzoek (hoofdstuk 4). Volstaan wordt met het noemen van de onderwerpen en met aan te geven of er veel of weinig kennis per onderwerp aanwezig is. Voor een uitvoeriger behandeling wordt terugverwezen naar de hoofdstukken 3 en 4.

In § 5.2 wordt behandeld hoe praktijkproblemen kunnen worden aangepakt. Eerst wordt een algemene aanpak beschreven, gevolgd door een overzicht van de soorten experimenteel onderzoek die ter beschikking staan. De soorten onderzoek worden uitvoeriger behandeld in hoofdstuk 4.

Volgens de bedoeling van dit rapport is hiermee de stand van zaken opgemaakt wat betreft de bestaande mogelijkheden om praktijkvragen over visuele waarneming en verkeer te kunnen beantwoorden. De laatste paragraaf geeft een opsomming van gewenst onderzoek. Voor het merendeel is dit onderzoek van wetenschappelijke aard. Met de kennis uit dit onderzoek moet het in de toekomst mogelijk zijn praktijkproblemen beter en sneller op te lossen.

### 5.1. Overzicht van kennis

Er is geen volledig overzicht van waarnemingsfouten die bijdragen tot het ontstaan van ongevallen. Toch is overduidelijk dat visuele waarneming een belangrijke rol speelt bij het deelnemen aan het verkeer. Het hoofdstuk plaatsbepaling geeft aan hoe over het onderwerp gedacht kan worden. Visuele waarneming is meer dan het zichtbaar zijn of kunnen zien van onderdelen van de verkeersomgeving. Verkeersdeelnemers zijn voortdurend bezig die omgeving te verkennen in verband met gedragskeuzen die zij willen of moeten maken. Over die omgeving hebben zij al voorkennis. Het waarnemen is bedoeld om meer zekerheid te krijgen over die onderdelen van de omgeving die voor hen van belang zijn. Gegeven de gedragskeuzen die in aanmerking komen hebben zij tot op zekere hoogte vrijheid wat betreft de onderdelen die bekeken worden, de volgorde waarin gekeken wordt en de gewenste zekerheid over die onderdelen. De meest wezenlijke kant van visuele waarneming in het verkeer is het zoeken en opmerken van belangrijke onderdelen van de omgeving: het sturen van de aandacht. Aan de ene kant wordt aandacht gestuurd door de bedoelingen en door ervaringen van de verkeersdeelnemers met gelijksoortige situaties. Aan de andere kant kan de vormgeving van de omgeving het makkelijk of moeilijk maken dat onderdelen worden opgemerkt. Het verloop van de weg, de aanwezigheid van andere verkeersdeelnemers en verkeerstekens zijn onderdelen die in het algemeen van belang zijn. Het ontbreekt aan een overzicht van (standaard)situaties, daarbij horende keuzemogelijkheden en belangrijke onderdelen voor die keuzes. Met zo'n overzicht is na te gaan hoe verkeersdeelnemers de aandacht zouden moeten sturen en dus ook welke fouten zij daarbij maken. Maar omdat verkeersdeelnemers enige mate van vrijheid hebben hoe zij hun aandacht sturen is niet zonder meer

duidelijk wat goed of fout is. Er moet dus ook onderzocht worden hoe verkeersdeelnemers in werkelijkheid hun aandacht sturen. Belangrijke punten aarbij zijn welke signalen en aanwijzingen gebruikt worden, in welke volgorde? Het antwoord daarop kan afhangen van de manier van kijken zoals het herkennen van standaardsituaties, het zoeken van afzonderlijke onderdelen of het toetsen van voorkennis over onderdelen. Ook het onderscheid in hoofd of nevenbezigheid is van belang. Sommige gedragskeuzen zijn als nevenbezigheid op te vatten, waarvoor weinig of geen aandacht nodig is.

Visuele waarneming is een gebied dat niet scherp is afgegrensd. Uiteindelijk gaat het erom dat verkeersdeelnemers de goede gedragskeuzen maken. Daarvoor moeten zij een goede beoordeling maken van de verkeerssituatie en van onderdelen van die situatie. Om dat te kunnen, moeten de situatie en onderdelen ervan goed herkend worden. Dat kan alleen als de onderdelen opgemerkt zijn, wat het geval is als zij globaal herkend zijn. De voorwaarde daarvoor is dat de onderdelen gezien kunnen worden. Ten slotte valt nog op te merken dat een goede beoordeling van de situatie geen voldoende voorwaarde is voor een veilige gedragskeuze. Maar dat onderwerp valt niet meer onder de noemer (visuele) waarneming. Toch is er een grensgebied, want het herkennen van situaties kan inhouden dat meteen duidelijk is welk gedrag gewenst wordt. De verdere vormgeving van zo'n situatie kan ertoe bijdragen dat die wens meer of minder overtuigend overkomt.

Over de meest eenvoudige vorm van visuele waarneming (het kunnen zien van prikkels) is veel bekend evenals over het herkennen van onderdelen. Overigens is er in dit rapport niet ingegaan op verschillen in waarneming door verschillende groepen weggebruikers: bijvoorbeeld ouderen, mensen met een gebrekkig gezichtsvermogen. Onderzoek over het sturen van de aandacht, waardoor onderdelen opgemerkt worden is betrekkelijk nieuw, terwijl het herkennen van (verkeers)situaties nog nauwelijks onderzocht is. Het beoordelen van (onderdelen van) situaties en het maken van gedragskeuzen wordt voor deze gelegenheid niet tot de visuele waarneming gerekend (hoewel duidelijk is dat visuele waarneming een noodzakelijke voorwaarde is).

Dat er over het kunnen zien en herkennen van onderdelen van de omgeving veel bekend is, betekent dat problemen in de praktijk grotendeels zijn opgelost en dat nieuwe praktijkvragen op dit gebied betrekkelijk eenvoudig te beantwoorden zijn.

Toch is er nog een aantal problemen met het zien en herkennen waarvoor niet zo maar een oplossing te geven is. Bij het samengaan van ongunstige omstandigheden zoals duisternis, regen en koplampen van tegenliggers ontstaan problemen met het kunnen zien en herkennen van verkeerstekens op en langs de weg en van fietsers en voetgangers. Bij deze omstandigheden lost ook openbare verlichting deze problemen niet voldoende op. Soms zijn er problemen door andere zichtbelemmeringen zoals mist of laagstaande zon. Het geheel of gedeeltelijke afschermen van het gezichtsveld kan in sommige situaties problemen geven, waardoor onvoldoende zekerheid verkregen kan worden voor te maken gedragskeuzen. Een anderssoortig probleem ontstaat door het ontbreken van goede signalen of aanwijzingen voor onderdelen van de omgeving. Niet overal wordt belijning toegepast.

Bochten worden niet overal gesignaleerd waar dat nodig is. Ook is het geen regel dat kruispunten van een signaal voorzien zijn. Overigens worden deze problemen ook wel met opzet gemaakt met de bedoeling dat verkeersdeelnemers daar hun gedrag aan aanpassen. Afscherming van het uitzicht bij kruispunten en het weglaten van belijning wordt toegepast als middel om de snelheid van motorvoertuigen te drukken. Veel onderzoek daarnaar is niet gedaan en in welke situaties dit de gewenste werking heeft is onbekend. Meer algemeen gesteld is niet veel bekend over de invloed van belijning op de snelheidskeuze van automobilisten. De praktijkvraag die beantwoord moet worden is: welke belijning is goed genoeg voor het koershouden bij de snelheid die per wegsoort gewenst wordt, maar niet te goed zodat veel hogere snelheden mogelijk zijn? Ook bij openbare verlichting is de belangrijke vraag: bij welke wegsoort hoort welk niveau van verlichting, dan wel is er noodzaak tot het plaatsen van openbare verlichting? Bij dit onderwerp is een te hoog niveau niet nadelig voor het gedrag, maar voor de kosten. Overigens is de vraag niet eenvoudig te beantwoorden omdat er enige twijfel bestaat hoe de kwaliteit van openbare verlichting onderzocht moet worden.

Problemen in de praktijk met verkeersborden hebben zijdelings te maken met de waarneming. Soms staan er teveel borden om desgewenst het bord te kunnen vinden dat een verkeersdeelnemer nodig heeft. Borden staan ook niet altijd daar waar verkeersdeelnemers er behoefte aan hebben. Veel van de borden langs de weg hebben nauwelijks of geen betekenis voor de meeste verkeersdeelnemers. Dat is enigszins op te lossen door het gebruik van borden met tijdsafhankelijke boodschappen. Maar die worden in de praktijk nog weinig toegepast. Een wezenlijk probleem met verkeersborden is dat de vormgeving (van de borden als geheel en van de tekens erop) niet is ontworpen uit oogpunt van herkenbaarheid. Achteraf is daar weinig meer aan te doen. Verkeerslichten kunnen in de praktijk problemen geven bij toepassing van afzonderlijke lichten bij afzonderlijke rijstroken. Verkeersdeelnemers hebben daar weinig ervaring mee en de toepassing wisselt van kruispunt tot kruispunt.

Ook bij signaallichten van voertuigen is een wezenlijk probleem dat de vormgeving in de praktijk ontstaan is en niet ontworpen uit oogpunt van herkenbaarheid en opvallendheid. Een ander praktijkprobleem is dat in veel situaties zowel motorvoertuigen als fietsers en voetgangers aanwezig zijn. Motorvoertuigen voeren krachtige signaallichten. Bij fietsers en voetgangers zijn de mogelijkheden voor signalen beperkt. Zij zijn dus in het nadeel. Daar komt bij dat deze weggebruikers geneigd zijn de zichtbaarheid van zichzelf voor anderen te overschatten. Verder bestaat de indruk dat het voor de veiligheid vaak een probleem is dat andere verkeersdeelnemers niet opgemerkt dan wel verkeerd begrepen of beoordeeld worden ook al zijn zij voldoende te zien en te herkennen. Hoewel het uiterlijk van bijvoorbeeld fietsers en voetgangers daar misschien aan bijdraagt, worden zij in de eerste plaats over het hoofd gezien omdat zij niet gezocht worden.

## 5.2. Aanpak van praktijkvragen

Het schema zoals beschreven op blz. 64 geeft aan welke stappen er ondernomen kunnen worden voordat een bepaalde maatregel ingevoerd wordt. Het huidige literatuuronderzoek richt zich op waarnemingsprocessen in het



verkeer; het schema kan echter worden toegepast bij invoering van elke maatregel. Naast deze stapsgewijze evaluatie en implementatie wordt er soms ook gekozen voor een zogenaamde 'black box'-benadering waarbij een maatregel wordt ingevoerd zonder dat het direct duidelijk is wat het werkzame mechanisme is.

In het schema is aangegeven dat er vier typen onderzoek kunnen worden onderscheiden waaruit hypothesen kunnen volgen over een correlatief verband tussen een bepaald type ongeval en een mogelijke oorzaak. Elk type van onderzoek kan aanleiding zijn voor nadere studie. In het ideale geval geven de verschillende typen onderzoek convergerende evidentie voor een bepaalde oorzaak van ongevallen.

1. In ongevallenstudies wordt door middel van retrospectief onderzoek geprobeerd te achterhalen wat de oorzaak zou kunnen zijn voor het optreden van een bepaald effect (bijvoorbeeld een groot aantal ongevallen bij nacht met fietsers; mogelijke oorzaak: slechte verlichting, drankgebruik enzovoort). In retrospectieve studies wordt 'teruggekeken', in tegenstelling tot prospectieve studies waarbij vooraf voorspellingen gemaakt worden. Retrospectieve studies kunnen slechts een correlatief verband aangeven; ze geven geen indicatie over het causale verband.

2. 'Black spot'-analyses richten zich met name op bepaalde locaties waar relatief veel ongevallen gebeuren. Door een analyse van de situatie (bijvoorbeeld omgevingsfactoren, interviews met bestuurders betrokken bij het ongeval, proces verbaal, (video)observatie op kruispunten, near-accident analysis) is het mogelijk om een idee te krijgen wat de mogelijke oorzaak zou kunnen zijn van het grote aantal ongevallen. Een vergelijkbare soort 'diepte'-analyse kan toegepast worden op bepaalde type ongevallen onder bepaalde omstandigheden (bijvoorbeeld ongevallen met landbouwvoertuigen 's nachts; mogelijke oorzaak: slechte verlichting, bestuurders verwachten geen landbouwvoertuigen 's nachts, enzovoort). Ook op grond van dit soort analyses kan geen causale relatie gelegd worden tussen het ongeval en de oorzaak.

3. Theoretisch experimenteel onderzoek is het type onderzoek dat zich richt op de algemene principes van de menselijke informatieverwerking. De in het laboratorium blootgelegde mechanismen (bijvoorbeeld S-R compatibiliteit) kunnen vertaald worden naar de verkeerssituatie waarbij een maatregel bedacht zou kunnen worden die rekening houdt met de beperkingen van de menselijke informatieverwerking zoals deze in het laboratorium naar voren komen (bijvoorbeeld het derde remlicht).

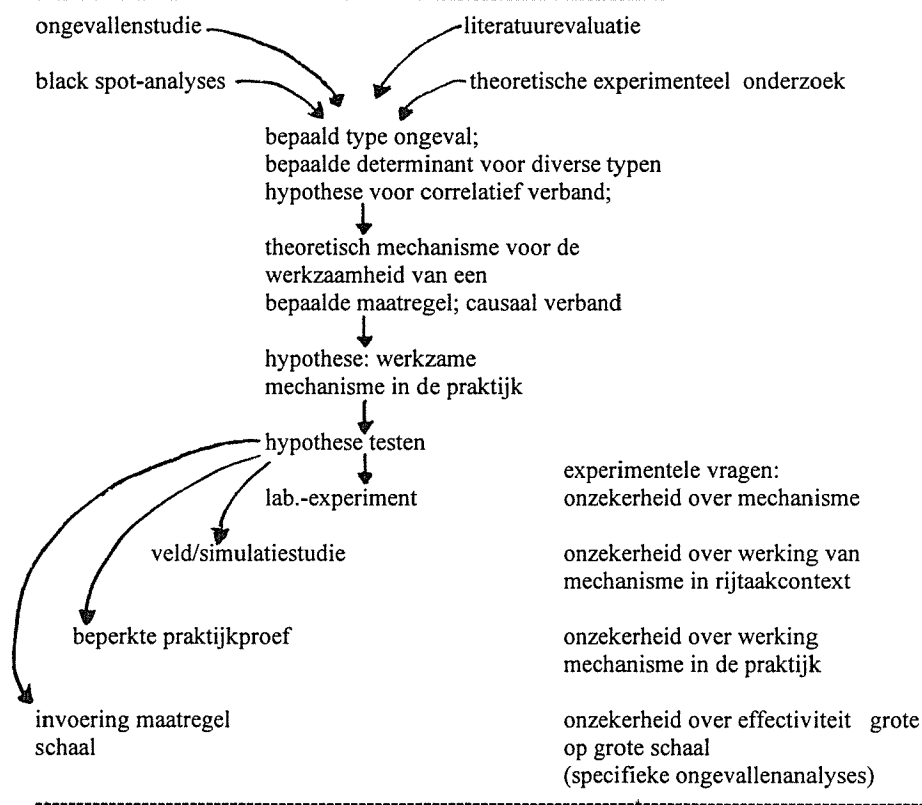
4. In een literatuurevaluatie worden bovenstaande typen studies gecombineerd en verschillende aspecten van een maatregel (bijvoorbeeld het derde remlicht) of één aspect van verschillende maatregelen (bijvoorbeeld snelheidsreducerende maatregelen) nader beschouwd. Zo'n evaluatie kan gebaseerd zijn op ongevallenstudies, experimenteel onderzoek, of (buitenlandse) studies naar het effect van de maatregel in de praktijk.

Deze vier typen onderzoek geven alle een correlatief verband tussen ongevallen en mogelijke oorzaken. Op grond hiervan kan een causale hypothese

geformuleerd worden die een causaal verband probeert te leggen tussen oorzaak en effect.

De hypothese betreffende het werkzame mechanisme in de praktijk, kan aanleiding geven voor experimenteel onderzoek. Wanneer er onzekerheid bestaat over het causale verband tussen oorzaak en effect dan dient in eerste instantie een laboratoriumonderzoek gedaan te worden. Wanneer er uit dit onderzoek naar voren komt dat er geen causaal verband bestaat dan is verder onderzoek niet zinvol meer. Wanneer er onzekerheid bestaat of het mechanisme in de rijtaak wel een rol speelt, dan kan door middel van een veld- of simulatiestudie deze rijtaak zo goed mogelijk nagebootst worden. In een beperkte praktijkproef kan de werking van het mechanisme in de praktijk beproefd worden waarbij de maatregel maar op een gedeelte van de weg of een gedeelte van de weggebruikers wordt toegepast. Hierbij dient bedacht te worden dat teleurstelling ten aanzien van de effectiviteit van een maatregel wel eens het gevolg kan zijn aan het feit dat deze op beperkte schaal is ingevoerd. Bij een invoering op grote schaal kan bekeken worden of de maatregel ook nog effectief is wanneer deze op alle plaatsen en voor alle weggebruikers is ingevoerd.

Om er voor te zorgen dat de beperkte praktijkproef en de invoering op grote schaal experimenteel (prospectief) onderzoek is, dienen voor het uitvoeren van de proef, hypothesen geformuleerd te worden over het te verwachten effect. Vooraf dient besloten te worden welke effecten op welke wijze (bijvoorbeeld het model, statistische tests) getoetst gaan worden ten opzichte van voorgeschreven controlegroepen. Er dient niet alleen vooraf geformuleerd te worden wanneer de H1-hypothese (er is een effect van de maatregel) aanvaard wordt, maar ook dient geformuleerd te worden wanneer de nul-hypothese (er is geen effect) de meest aannemelijke is.



Het bovenstaande schema kan worden vergeleken met een aantal recent uitgevoerde studies.

Als voorbeeld: Onderzoek aan een hooggeplaatst derde remlicht: *ongevallenstudies*: fleet owner studies (e.g., Kohl & Baker, 1978): nation wide in de VS (Kahane, 1989).

*literatuurevaluatie*: overzicht literatuur (Theeuwes, 1991).

*black spot-analyse*:

*theoretisch experimenteel onderzoek*: basisonderzoek naar consistente codering (bijvoorbeeld S-R compatibiliteit; Sanders, 1970).

*mechanisme correlatief*: auto's met een ambigue achterlichtconfiguratie zijn vaker betrokken bij ongevallen dan auto's met een duidelijke achterlichtconfiguratie.

*mechanisme causaal*: door een consistente codering (spatueel scheiden van het remlicht van de conventionele achterlichten) is het duidelijker wanneer er geremd wordt.

*hypothese*: bij een consistente spatiële codering is de reactietijd korter dan bij een minder consistente codering.

*laboratoriumexperiment*: Meatyard, 1988; Akerboom et al., 1990.

*veld/simulatiestudie*: Sivak et al., 1981a, 1981b.

*beperkte praktijkproef*: fleet studies (Allen, 1980).

*invoering maatregel*: invoering in de VS, 1985 (evaluatie ongevallenstudie, Kahane, 1989, 1993).

Hieronder volgt nog een opsomming van methoden van onderzoek en de daarbijbehorende afhankelijke variabelen naar specifieke visuele elementen in het verkeer. Het betreft hier experimenteel onderzoek (onderste gedeelte van het schema) waarbij onderzoek verricht wordt naar de werking van het mechanisme in het algemeen, in de context van de rijtaak of in de context van de praktijk.

### 1. *Onderzoek naar belijning en markering*

Fotometrische gegevens (contrast/luminantie/reflectie)

Door middel van speciale meetapparatuur ter plaatse meten (bij verschillende licht- en weersomstandigheden)

Subjectieve beoordeling van zichtbaarheid

Proefpersonen geven op een rating scale de zichtbaarheid van de belijning ter plaatse of vanaf dia's aan (licht- en weersomstandigheden worden gevarieerd).

Zichtbaarheidsafstand

De afstand waarop de belijning net niet meer zichtbaar is kan ter plaatse bepaald worden vanuit een rijdende auto (drempelbepaling). De afstand waarop de belijning niet meer zichtbaar is de afhankelijke variabele.

Geleidingsfunctie (wegverloop)

De geleidingsfunctie ('preview') kan bepaald worden door diverse geometrische ontwerpen voor te leggen aan proefpersonen die een bepaalde taak dienen uit te voeren (bijvoorbeeld welke strook is beschikbaar voor het verkeer; Godthelp & Riemersma, 1980). Als afhankelijke variabele kan het aantal fouten en/of de tijd die het kost om zo'n beslissing te nemen, ge-

bruikt worden. Er kan gebruik worden gemaakt van presentaties van dia's, film/video, simulaties of van de werkelijke situaties.

Door middel van een visuele oclusietechniek kan tijdens het rijden onderzocht worden welke markering het meest effectief is in het geleiden van het voertuig (Riemersma, 1987). De gemiddelde kijktijd wordt als afhankelijke variabele gebruikt.

Aan proefpersonen kan ook gevraagd worden of ze tijdens het rijden problemen ondervinden met betrekking tot bijvoorbeeld het wegverloop (Walraven, 1980).

#### Bochtkenmerken

De beoordeling van bochtkenmerken kan bepaald worden door diverse geometrische ontwerpen voor te leggen aan proefpersonen die een bepaalde taak dienen uit te voeren (bijvoorbeeld wat is de richting van de bocht; Riemersma, 1984, 1988). Als afhankelijk variabele kan het aantal fouten en/of de tijd die het kost om zo'n beslissing te nemen, gebruikt worden. Ook het inschatten van de booghoek en straal is een techniek die wel gebruikt wordt (Riemersma, 1988). De afwijking van de werkelijke straal en hoek wordt als afhankelijke variabele gebruikt. Er kan gebruik worden gemaakt van presentaties van dia's, film/video, simulaties of van de werkelijke situaties.

### *2. Onderzoek naar openbare verlichting*

#### Fotometrische gegevens (contrast/luminantie/reflectie)

Door middel van speciale meetapparatuur ter plaatse meten (bij verschillende licht- en weersomstandigheden)

#### Zichtbaarheid

De invloed van de openbare verlichting op de zichtbaarheid wordt doorgaans bepaald door het in de praktijk meten van de detectie afstand tot een standaard kritisch object. Onder verschillende lichtomstandigheden rijden proefpersonen toe op een bepaald target object en dienen aan te geven wanneer ze het target detecteren. De detectie afstand is de afhankelijke variabele.

#### Verblinding

Hinderlijke verblinding (discomfort glare) door openbare verlichting wordt doorgaans bepaald door proefpersonen ter plaatse een rating scale te laten invullen.

#### Geleidingsfunctie (wegverloop)

De geleidingsfunctie van openbare verlichting is onderzocht door eerder genoemde oclusie techniek.

### *3. Onderzoek naar verkeersborden en andere informatiedragers langs de weg*

#### Fotometrische gegevens (contrast/luminantie/reflectie/kleur)

Fotometrische gegevens van verkeersborden kunnen in het laboratorium bepaald worden.

#### Opvallendheid

Omdat de opvallendheid van een bord mede bepaald wordt door zijn omgeving, dient deze omgeving betrokken te worden bij het onderzoek. De tijd die het kost om een target object op te sporen in zijn omgeving geeft een betrouwbare maat voor de opvallendheid. Andere gebruikte technieken zijn: het bepalen van de excentriciteit waaronder een object nog zichtbaar is (Wertheim, 1988), verbale protocollen (Coles & Jenkins, 1978), passanten vragen welke borden ze zich nog herinneren (Theeuwes & Riemersma, 1990), en het meten van oogbewegingen (Riemersma et al. 1987; Theeuwes, 1992). Er kan gebruik worden gemaakt van presentaties via dia's, video/film of van de werkelijke situaties.

#### Detectieafstand

De afstand waarop een verkeersbord voor het eerst zichtbaar wordt kan ter plaatse bepaald worden vanuit een rijdende auto (drempelbepaling). De afstand waarop de het bord voor het eerst gedetecteerd wordt is de afhankelijke variabele (Godthelp, 1980)

#### Leesbaarheidafstand

De afstand waarop een verkeersbord leesbaar is kan ter plaatse bepaald worden vanuit een rijdende auto (drempelbepaling). De afstand waarop het bord voor het eerst te lezen was is de afhankelijke variabele.

#### Begrijpelijkheid

De begrijpelijkheid van een bord kan bepaald worden door diverse bord ontwerpen voor te leggen aan proefpersonen die een bepaalde taak dienen uit te voeren (bijvoorbeeld mag u gebruik maken van de rijstrook aangeduid door dit bord; Theeuwes & Riemersma, 1992). Als afhankelijk variabele kan het aantal fouten en/of de tijd die het kost om zo'n beslissing te nemen, gebruikt worden. Een andere methode is het bepalen van het aantal leertrials dat nodig is om een bord te begrijpen (Riemersma, 1976). Er kan gebruik worden gemaakt van presentaties van dia's, film/video, simulaties of van de werkelijke situaties.

#### 4. *Onderzoek naar weggebruikers*

(onder andere voertuigverlichting, markeringen aan voertuigen, markering weggebruikers)

#### Fotometrische gegevens (contrast/luminantie/reflectie/kleur)

(zie verkeersborden)

#### Opvallendheid

(zie verkeersborden)

#### Detectieafstand

(zie verkeersborden)

#### Herkenbaarheid

Door markeringen kunnen bepaalde weggebruikers beter herkend worden dan anderen. De herkenbaarheid van weggebruikers kan bepaald worden door diverse situaties voor te leggen aan proefpersonen die een bepaalde taak dienen uit te voeren (bijvoorbeeld is het tegemoetkomende voertuig een fietser of een bromfietser?). Als afhankelijk variabele kan het aantal

fouten en/of de tijd die het kost om zo'n beslissing te nemen, gebruikt worden. Er kan gebruik worden gemaakt van presentaties van dia's, film/video, simulaties of van de werkelijke situaties.

### 5.3. Gewenst onderzoek

De wensen voor onderzoek bestaan in de eerste plaats uit onderwerpen of onderzoeksvragen. Eerst wordt de volgorde aangehouden zoals de onderwerpen in de voorafgaande hoofdstukken aan bod zijn geweest. Dat levert elf wensen voor onderzoek op. Ook wordt aangegeven hoe dat onderzoek opgezet en uitgevoerd kan worden. Dat is niet altijd mogelijk omdat het gaat om tamelijk nieuwe onderwerpen, dan wel nieuwe vormen van onderzoek. Daarna wordt een programma van onderzoek samengesteld, rekening houdend met het belang van het onderzoek en de mogelijkheid tot onderlinge afstemming wat betreft inhoud en uitvoering.

#### 1. *Waarnemingsfouten bij ongevallen*

Als eerste komt onderzoek in aanmerking naar de bijdrage van fouten in de visuele waarneming bij het ontstaan van ongevallen. De vraag is dan hoe vaak komen welke fouten voor bij welke soorten ongevallen, onder welke omstandigheden? het gebruikelijke ongevallen onderzoek is daarvoor niet geschikt. De gegevens die nodig zijn ontbreken in de standaardregistratie. Kortgeleden is ervaring opgedaan waaruit blijkt dat het in beperkte mate mogelijk is om de gewenste gegevens te verzamelen vanaf de oorspronkelijke formulieren en processen-verbaal van de politie (Hagenzieker & Noordzij, 1992). Het is wel veel werk zodat de steekproef ongevallen waarmee gewerkt wordt niet zo groot kan zijn. Er kan een keus gemaakt worden tussen een algemene steekproef of een steekproef ongevallen met enkele gemeenschappelijke kenmerken.

#### 2. *Gewenst gedrag*

Het tweede onderzoek is een inventarisatie van verkeerssituaties, de gedragskeuzen die verkeersdeelnemers in die situaties kunnen of moeten maken en van de onderdelen van de omgeving die daarvoor van belang zijn. Per onderdeel kan ook geïnventariseerd worden welke aanwijzingen of signalen beschikbaar staan. Het onderzoek komt neer op een zeer uitgebreide beschrijving van het gedrag van verkeersdeelnemers met de nadruk op de waarnemingskant. Pogingen in het verleden om zoiets te doen zijn nooit goed geslaagd omdat een min of meer volledige beschrijving veel werk is, omdat er veel keuze is welke onderdelen en kanten van het gedrag beschreven worden en omdat gekozen moet worden voor een beschrijving zoals het gedrag in werkelijkheid is of zoals het gedrag gewenst wordt. Het kan dit keer wel lukken, ook al blijft het veel werk, door te kiezen voor de waarnemingskant en voor een beschrijving van het gewenste gedrag. Het werk kan verder beperkt worden door een beperking van de in aanmerking komende verkeerssituaties tot enkele voor de veiligheid belangrijke. Bij onderzoek in het verleden naar het verband tussen voorrang en veiligheid op kruispunten is een eerste aanzet gegeven (Noordzij et al., 1985; Noordzij, 1988).

Verder zou dit onderzoek bij voorkeur moeten worden uitgevoerd in samenwerking tussen instituten opdat een resultaat geleverd wordt dat in brede kring erkend en gebruikt gaat worden.

### *3. Werkelijk gedrag: sturing van de aandacht*

Daarnaast is er onderzoek gewenst naar het gedrag in werkelijkheid.

De meer algemene, wetenschappelijke vraag die gesteld wordt (los van werkelijk verkeer) is hoe wordt de aandacht gestuurd, afhankelijk van prikkels en bezigheden?

De eerste vraag gericht op verkeer is met welke gedragskeuzen houden verkeersdeelnemers zich bezig en worden deze uitgevoerd als hoofd- dan wel nevenbezigheid? De volgende vraag is welke onderdelen van de verkeersomgeving worden gezocht in welke volgorde? Bij deze vragen gaat het om werkelijk gedrag in de zin van de werking van het oog en hersenen en in de zin van gedrag in werkelijk verkeer. Het onderzoek moet dus zoveel mogelijk in het werkelijk verkeer gedaan worden. Maar om het gedrag vast te leggen is een geschikte methode nodig en om het gedrag te kunnen begrijpen mag dat voorlopig niet al te ingewikkeld zijn. Het huidige onderzoek van IZF-TNO en SWOV dat zich hiermee bezig houdt is nu zover gevorderd dat oogbewegingen geregistreerd worden van proefpersonen die videobeelden van verkeerssituaties bekijken (zie bijvoorbeeld Hagenzieker, 1989, 1991; Noordzij, 1992; Theeuwes, 1989a-d, 1990, 1991, 1992).

### *4. Werkelijk gedrag: herkennen van situaties*

Een andere vraag is hoe verkeerssituaties in werkelijkheid herkend worden en welke gevolgen zo'n herkenning heeft. Naar dit onderwerp is nog niet veel onderzoek gedaan, omdat in het algemeen (dus ook buiten het verkeer) nog weinig bekend is over hoe mensen situaties en gebeurtenissen ordenen. Het onderwerp sluit aan bij de gedachten over een duurzaam veilig verkeer, met als een van de uitgangspunten een beperkt aantal standaard verkeerssituaties die gemakkelijk herkend worden en waarvan voor de hand ligt wat verkeersdeelnemers wel en niet zullen doen. Het onderzoek kan bestaan uit diverse onderdelen, gericht op diverse vragen. Welke situaties worden als gelijk of ongelijk beschouwd? Welke onderdelen van de omgeving bepalen de mate van gelijkheid? Welke rol speelt daarbij de aanwezigheid en het gedrag van andere verkeersdeelnemers? Wat voor gevolgen heeft die gelijkheid (of het zoeken ernaar) voor de waarneming en voor het verdere gedrag? Er komen diverse methoden van onderzoek in aanmerking. Wat betreft situaties zijn bij voorbaat afbakeningen te maken, zoals kruispunten, wegvakken e.d. In een volgend stadium kunnen (gedeeltelijk) kunstmatige omgevingen worden ontworpen en aangeboden die minder problemen zouden moeten geven met de waarneming.

### *5. Omgaan met onzekerheid*

Onderzoek dat wel gewenst is, maar op de grens van visuele waarneming ligt, zou zich bezig moeten houden met de vraag hoe verkeersdeelnemers omgaan met onvoldoende zekerheid over onderdelen van de situatie. Dit onderzoek is wetenschappelijk van aard, maar heeft praktische betekenis omdat zich dat soort problemen voordoet en omdat deze gedacht (onvoldoende zekerheid) wordt toegepast als middel om het gedrag te beïnvloeden. Wat betreft de uitvoering kan gedacht worden aan een inventarisatie van problemen en ervaringen in de praktijk en aan laboratoriumonderzoek waarbij de aangeboden signalen en aanwijzingen stelselmatig worden afgewisseld.

#### *6. Duisternis, regen en tegenliggers*

Ook onderzoek naar de problemen als gevolg van het samengaan van duisternis, regen en (koplampen van) tegenliggers is gewenst. Er ligt een praktijkprobleem waarvan de omvang en aard niet geheel duidelijk zijn en dus ook de oplossing niet.

#### *7. Menging van sterke en zwakke signalen*

Enigszins verwant is het probleem van de menging van snel en langzaam verkeer, of de menging van sterke en zwakke signalen. In verband met het onderwerp verlichting van motorvoertuigen overdag is dit onderwerp in de belangstelling en zijn al eerder voorstellen voor onderzoek gedaan.

#### *8/9. Vormgeving en herkenbaarheid van borden en lichten*

Zowel bij het onderwerp verkeersborden als bij signaallichten van voertuigen is het gewenst onderzoek te doen naar een optimale vormgeving in verband met de herkenbaarheid. Het doel van het onderzoek moet zijn om betere keuzen te kunnen maken in geval van nieuwe borden/lichten. Dat moet voorkomen dat gekozen moet worden voor minder goede oplossingen, omdat de bestaande borden/lichten ook al minder goed zijn vormgegeven. Het is overigens de vraag of uit praktische overwegingen de vormgeving van bestaande borden/lichten nog veel kan veranderen

#### *10/11. Kwaliteit van belijning en openbare verlichting*

Ten slotte is het gewenst bij zowel belijning als bij openbare verlichting onderzoek te doen naar de afstemming van de kwaliteit op de wegsoort en op het bij die wegsoort gewenste gedrag. Voor beide onderwerpen is daar overigens al eerder aan gewerkt. Passend in de gedachten over duurzaam veilig verkeer is voor 80 km/uur-wegen gezocht naar een belijning die tot minder snelheidsovertredingen moet leiden. Onlangs verscheen een afzonderlijk rapport met de stand van zaken wat openbare verlichting betreft, waarin ook wensen voor verder onderzoek (Schreuder, 1992).

Van de elf vermelde onderzoeken zijn er enkele waarvan uitvoering de voorkeur verdient, overigens om uiteenlopende redenen.

Onderzoek 1 (waarnemingsfouten bij ongevallen) verdient voorkeur omdat het uitkomst kan geven over het belang van ander onderzoek. Dat geldt met name voor het belang van onderzoek 5 (omgaan met onzekerheid) en 6 (duisternis regen en tegenliggers). Onderzoek 1 kan in gedeelten worden uitgevoerd met steekproeven van groepen ongevallen. Om het belang van onderzoek 6 te kennen is bij voorbeeld een steekproef nodig van ongevallen bij duisternis.

Wanneer onderzoek 2 (gewenst gedrag) gericht wordt op kruispuntsituaties is er afstemming mogelijk met enkele andere onderzoekingen. Zo kan ook onderzoek 3 (sturing van aandacht), 5 (omgaan met onzekerheid) en 7 (menging van sterke en zwakke signalen) gericht worden op kruispuntsituaties. Zelfs onderzoek 4 (herkennen van situaties) kan zich richten op het herkennen van kruispuntsoorten en situaties. De methode zoals ontwikkeld bij onderzoek 3 (sturing van aandacht) kan gebruikt worden bij het andere onderzoek. De combinatie van onderzoek 2 en 3, voor zover toegespitst op kruispuntsituaties, vormt dus de voorbereiding voor ander onderzoek en is daarmee van extra belang.



Onderzoek 4 (herkennen van situaties) en 10 (kwaliteit van belijning) zijn van belang vanwege het verband met duurzaam veilig verkeer. Onderzoek 4 moet verder uitgewerkt worden. Gezien de diverse mogelijkheden wat betreft methode, vraagstelling en verkeerssituaties is voor dit onderzoek een eigen, meerjarig programma nodig. Daartoe is al een eerste voorstel gedaan door het IZF. Wat betreft onderzoek 10 zouden de resultaten van een praktijkproef kunnen worden afgewacht.

Onderzoek 7 (menging van sterke en zwakke signalen) is, zoals vermeld, in de belangstelling vanwege het voeren van verlichting door motorvoertuigen overdag (zie bijvoorbeeld Lindeijer, 1991).

#### 5.4. Ten slotte

Dit rapport is opgesteld met de bedoeling om praktijkvragen op het gebied van visuele waarneming en verkeer beter te kunnen beantwoorden. Voor sommige vragen is de kennis voldoende, andere vragen kunnen op korte termijn beantwoord worden met een keus uit diverse soorten onderzoek. Om die kennis en het aanbod van onderzoeksmethoden zo goed mogelijk toe te passen is ten slotte nog een goed overleg nodig tussen vragenstellers en onderzoekers. Daarom wordt voorgesteld een vaste, regelmatige vorm van overleg in te stellen.

## Literatuur

Akerboom, S.P.; Kruysse, H.W., & La Heij, W. (1990). Achterverlichting nader bekeken. Werkgroep Veiligheid R-90/36. Rijksuniversiteit Leiden.

Alferdinck, J.W.A.M. & Padmos, P. (1986). Metingen aan dimlichten van autolantaarns. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.

Antis, S.M. (1974). A chart demonstrating variations in visual acuity with retinal position. *Vision Research* 14, 589-592.

Bartlett, F.C. (1932). *Remembering*. Cambridge University Press, Cambridge.

Biederman, I.; Mezzanotte, R.J. & Rabinowitz, J.C. (1982). Scene perception: Detecting and judging objects undergoing relational violations. *Cognitive Psychology* 14, 143-177.

Blokpoel, A. (1990). Evaluatie van het effect op de verkeersveiligheid van de invoering van zijreflectie bij fietsen. R-90-4. SWOV, Leidschendam.

Broadbent, D.E. (1958). *Perception and communication*. Pergamon Press, London.

Broadbent, D.E. (1982). Task combination and selective intake of information. *Acta Psychologica* 50, 253-290.

Burg, A. (1967). The relationship between vision test scores and driving record: General findings. Report 67-24. University of California, Los Angeles.

CIE (1976). Glare and uniformity in street lighting. Publication No. 31. CIE, Paris.

CIE (1978, 1983). Surface colours for visual signalling. Publication No. 39, 39a. CIE, Paris.

CIE (1980). Light signals for road traffic control. Publication No. 48. CIE, Paris.

CIE (1984). Tunnel entrance lighting: A survey of fundamentals for determining the luminance in the threshold zone. Publication No. 61. CIE, Paris.

CIE (1988a). Roadsigns. Publication No. 74. CIE, Vienna.

CIE (1988b). Visual aspects of road markings. Joint technical report CIE/PIARC. Publication No. 73. CIE, Vienna.

CIE (1990). Automobile daytime running lights (DRL): Purpose, effects and recommendations. Technical Committee Report. Publication No. TC.4.13. CIE, Paris.

- Conners, M.M. (1975). Conspicuity of target lights: The influence of color. NASA Technical Note TN-D7960.
- Cooper, B.R. (1989). Comprehension of traffic signs by drivers and non-drivers. Research Report 167. TRRL, Crowthorne.
- CROW (1987). Zicht op wegmarkeringen; Onderzoek naar materiaal en geleidingseigenschappen. Publikatie 2. Stichting C.R.O.W., Ede.
- CROW (1991a). Leidraad sanering verkeerstekens. Publikatie 49. Stichting C.R.O.W., Ede.
- CROW (1991b). Zichtbaar veiliger; Retroreflectie op verkeersborden. Publikatie 52. Stichting C.R.O.W., Ede.
- De Boer, J.B. (1967). Public lighting. Centrex, Eindhoven.
- Duncan, J. (1990). Goal weithing and the choice of behaviour in a complex world. *Ergonomics* 33, 1265-1279.
- Engel, F.L. (1974). Visual conspicuity and selective background interference in eccentric vision. *Vision Research* 14, 459-471.
- Engel, F.L. (1977). Visual conspicuity, visual search and fixation tendencies of the eye. *Vision Research* 17, 95-108.
- Enns, J. (1990). Three dimensional features that pop out in visual search. In: D. Brogan (ed.). *Visual search*. Francis & Taylor, London.
- Friedman, A. (1979). Framing pictures: The role of knowledge in automated encoding and memory for gist. *J. of Exper. Psychol. General* 108, 316-355.
- Gallagher, V.; Koth, B. & Freedman, M. (1975). The specification of street lighting needs. FHWA-RD-76-17. Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- Gerathwohl, S.J. (1954). Conspicuity of flashing light signals of different frequency and duration. *Journal of Experimental Psychology* 48, 247-254.
- Godthelp, J. (1977). De waarneembaarheid van verkeersborden bij nacht; een theoretische beschouwing. IZF 1977 C-4. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Godthelp, J. (1980). Het zien van verkeersborden bij nacht. IZF 1980 C-21. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Godthelp, J. & Riemersma, J.B.J. (1980). Werk in uitvoering op niet-autosnelwegen II: De bebakening en markering van het werkvak. IZF 1980 C-20. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Gramberg-Danielsen, B. (1967). *Sehen und Verkehr*. Springer, Berlin.

Gundy, C.M. (1989). Verkeersborden en verkeersveiligheid; Een literatuurstudie. R-89-29. SWOV, Leidschendam.

Gundy, C.M. & Hagenzieker, M.P. (1990). Reclameborden en verkeersveiligheid. Een notitie. A-90-6. SWOV, Leidschendam.

Hagenzieker, M.P. (1989). Visuele selectie in het verkeer; Een interimrapport. R-89-60. SWOV, Leidschendam.

Hagenzieker, M.P. (1990). Visuele waarneming en motorvoertuigverlichting overdag (MVO): Een literatuurstudie. R-90-41. SWOV, Leidschendam.

Hagenzieker, M.P. (1991). Visuele selectie in het verkeer; Tweede interimrapport. R-91-78. SWOV, Leidschendam.

Hagenzieker, M.P. (1992). Eye movements in traffic safety research. Proceedings of the Third International Conference on Visual Search, Nottingham, U.K., 24-27 August 1992.

Hagenzieker, M.P. (1992). Het waarnemen van voertuiglichten: Een conceptueel model. In: J.A. Rothengatter; J.E. Korteling & F.J.J.M. Steyvers (red.). Verkeerspsychonomie in Nederland (pp. 71-82).

Hagenzieker, M.P. & Noordzij, P.C. (1992). Onderzoek naar ongevallen met ernstige afloop in West-Zeeuwsch-Vlaanderen met behulp van processen-verbaal en verkeersongevallenregistratieformulieren. R-92-34. SWOV, Leidschendam.

Hansen, E.R. & Larsen, J.S. (1979). Reflection factors for pedestrians clothing. *Lighting Research & Technology* 11, 154-157.

Heijden, A.H.C. van der (1992). *Selective attention in vision*. Routledge, London.

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

Horst, A.R.A. van der & Hoekstra, W. (1992). Effecten van snelheidsbeperkende maatregelen 80 km/uur-wegen Drenthe op het rijgedrag: Een simulatorstudie. IZF 1992 C-16. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.

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

Hughes, P.K. & Cole, B.L. (1986). What attracts attention when driving? *Ergonomics* 29(3), 377-391.

Janssen, W.H. (1979). Routeplanning en geleiding: Een literatuurstudie. IZF 1979 C-13. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.

Janssen, W.H.; Riemersma, J.B.J. & Godthelp, J. (1987). Reclame langs de weg: Enkele overwegingen. IZF-memo 1987-M7. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.

Janssen, W.J.; Horst, A.R.A. van der & Hoekstra W. (1992). Effecten van wisselbewegwijzering op routekeuze en rijgedrag: De invloed van tijdverlies en van de aanwezigheid van ander verkeer. IZF 1992 C-32. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.

Jenkins, S.E. (1979). An investigation into the nature and physical determinants of visual conspicuity. PhD thesis. University Press, Melbourne.

Johnston, W.A. & Dark, V.J. (1986). Selective attention. *Annual Review of Psychology* 37, 43-75.

Jurgensohn, J.; Neculau, M. & Willumeit, H.P. (1991). Visual scanning pattern in curve negotiation. In: *Vision in Vehicles III* (pp. 171-178). Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

Laird, J.E.; Newell, A. & Rosenbaum, P.S. (1987). Soar: An architecture for general intelligence. *Artificial Intelligence* 33, 1-64.

Lawson, R. & Humphreys, G.W. (1992). View-specific procedures in the recognition of depth-rotated objects. In: Wagemans, J. & Kolinsky, R. (1992). *Abstract of the workshop on perceptual organization and object recognition*, Brussels.

Lindeijer, J.E. (1991). Benelux test with daytime running lights (DRL): Master plan for an evaluation study into the effect of DRL on road safety in the Benelux countries. R-91-38. Institute for Road Safety Research SWOV, Leidschendam.

Luoma, J. (1986). The acquisition of visual information by the driver; interaction of relevant and irrelevant information. Report 32/1986. Central Organization for Traffic Safety, Helsinki.

Luoma, J. (1991). Perception of highway traffic signs: Interaction of eye fixations, recalls and reactions. In: *Vision in Vehicles III*. Elsevier Science Publishers.

Maatregelen bij werken in uitvoering. Deel I: Richtlijnen voor maatregelen bij werken in uitvoering op autosnelwegen en dubbelbaans-(niet-auto-snel)wegen buiten de bebouwde kom. Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde, 1988.

Maatregelen bij werken in uitvoering. Deel II: Aanbevelingen voor niet-autosnelwegen buiten de bebouwde kom. Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde, 1987.

Mackworth, J.F. & Mackworth, N.H. (1958). Eye fixations recorded on changing visual scenes by the television eye marker. *Journal of the Optometric Society of America* 48, 439-445.

Masuda, K.; Nagata, M.; Kuriyama, H. & Sato, T.B. (1988). Driver behavior as affected by oncoming vehicles and obstructions. SAE paper 880060.

Mazet C. & Dubois, D. (1988). Mental organizations of road situations: Theory of cognitive categorization and methodological consequences. Paper presented at the conference Traffic safety theory and research methods, Amsterdam. SWOV, Leidschendam.

McClelland, J. & Rumelhart, D. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception; Part I. An account of basic findings. *Psychological Review* 88, 375-407.

McClelland, J.L. & O'Regan, J.K. (1981). Expectations increase the benefit derived from parafoveal visual information processing in reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 7, 634-644.

Michon, J.A. (1985). A critical view of driver behaviour models: what do we know, what should we do. In: L. Evans & R.C. Schwing (eds.). *Human behaviour and traffic safety* (pp. 485-520). Plenum, New York.

Minsky, M. (1975). A framework for representing knowledge. In: P.H. Winston (ed.). *The psychology of computer vision*. McGraw-Hill, New York.

Mortimer, R.G. & Jorgeson, C.M. (1974). Eye fixations of drivers in night driving with three headlight beams. UM-HSRI-HF-74-17. Highway Safety Research Institute, Ann Arbor, Michigan.

Morton, J. (1969). The interaction of information in word recognition. *Psychological Review* 76, 165-178.

Mulder, J.A.G. (1985). Hooggeplaatste remlichten. R-85-49. SWOV, Leidschendam.

Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. Appleton-Century-Crofts, New York.

Noordzij, P.C. (1988). Voorrang op kruispunten en de veiligheid van langzaam verkeer. Werkgroep Veiligheid R-88/22. Rijksuniversiteit Leiden.

Noordzij, P.C.; Loor, H.M. de; Rothengatter, T.A. & Kuiken, M.J. (1985). Voorrangsgedrag en verkeersveiligheid. Probleemanalyse i.v.m. de positie van langzaam verkeer. Werkgroep Veiligheid R-85/1. Rijksuniversiteit Leiden.

OECD (1976). *Adverse weather, reduced visibility and road safety*. OECD, Paris.

Olson, P.L. (1989). Motorcycle conspicuity revisited. *Human Factors* 31(2), 141-146.

- Oppe, S. (1991). Fog lamp regulation as a safety measure to reduce risk in fog conditions. R-91-87. SWOV, Leidschendam.
- Owsley, C.; Ball, K.; Sloane, M.E.; Roenker, D.L. & Bruni, J.R. (1991). Visual cognitive correlates of vehicle accidents in older drivers. *Psychology and Aging* 6, 403-415.
- Padmos, P. (1975). Veiligheidsaspecten van kleuren van autolakken. IZF 1975-C11. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Padmos, P. (1988a). Visuele problemen op autosnelwegen bij duisternis. IZF 1988 C-17. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Padmos, P. (1988b). Visual aspects of day-time running lights. IZF 1988 C-24. TNO Institute for Perception, Soesterberg.
- Padmos, P. & Alferdinck, J.W.A.M. (1983). Verblinding bij tunnelingangen III. IZF 1983 C-10. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Posner, M. I. & Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. In: H. Bouma & D.G. Bouwhuis (Eds.), *Attention and performance X*. Erlbaum, Hillsdale, N.J.
- Posner, M.I. (1978). *Chronometric explorations of mind*. Erlbaum, Hillsdale, N.J.
- Posner, M.I., (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 32, 3-25.
- Potter, M.C. (1975). Meaning in visual search. *Science* 187, 965-966.
- Rasmussen, J. (1985) Trends in human reliability analysis. *Ergonomics* 28, 1185-1195.
- Rayner, K.; Slowiaczek, M.L.; Clifton, C. & Bertera, J.H. (1983). Latency of sequential eye movements: Implications for reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 9, 912-922.
- Richtlijnen bewegwijzering. Rijkswaterstaat Dienst Verkeerskunde/ANWB, 1984.
- Richtlijnen voor de bebakening en markering van wegen; Eerste aflevering, 1976; tweede aflevering, 1981; derde aflevering, 1986. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage; herziene uitgave 1991.
- Richtlijnen voor het ontwerpen van autosnelwegen; Verlichting. Rijkswaterstaat, Dienst Verkeerskunde, 1990a.
- Richtlijnen voor het ontwerpen van niet-autosnelwegen; Voorlopige richtlijnen, Hoofdstuk V: Verlichting. Commissie RONA, 1990b.

- Riemersma, J.B.J. (1978). De begrijpelijkheid van verkeersborden. In: W.A. Wagenaar; P.A. Vroom & W.H. Janssen (red). Proeven op de som; Psychonomie in het dagelijks leven. (pp 121-131). Van Loghum Slaterus, Deventer.
- Riemersma, J.B.J. (1984). Driving behaviour in road curves. A review of literature. IZF 1984 C-12. TNO Institute for Perception, Soesterberg.
- Riemersma, J.B.J. (1987). Visual cues in straight road driving. Drukkerij Neo Print, Soest.
- Riemersma, J.B.J. (1988a). Enkelbaans-dubbelbaans: Beleving van een weggebruiker. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Riemersma, J.B.J. (1988b). Zonering en herkenbaarheid; Een experiment. IZF 1988 C-2. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Riemersma, J.B.J. (1989). Waarnemen van weg en omgeving en rijgedrag. In: C.W.F. van Knippenberg; J.A. Michon & J.A. Rothengatter (eds.). Handboek sociale verkeerskunde (pp. 403-414). Van Gorcum, Assen/Maastricht.
- Rosch, E.; Mervis, C.B.; Gray, W. & Boyes-Bream, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology* 8, 382-439.
- Sanders, A.F. & Reitsma, W.D. (1982). The effect of sleep-loss on processing information in the functional visual field. *Acta Psychologica* 51, 149-162.
- Schoon, C.C. (1993). Effecten van hooggeplaatste remlichten; Een literatuurstudie. R-93-8. SWOV, Leidschendam.
- Schreuder, D.A. (1974). Verlichting en signalering aan de achterzijde van voertuigen. R-74-11. SWOV, Voorburg.
- Schreuder, D.A. (1975). Wit of geel licht van autokoplantaarns? Publikatie 1975-3N. SWOV, Leidschendam.
- Schreuder, D.A. (1978). Zichtbaarheid van wegmarkeringen op natte wegen. Studiecentrum Wegenbouw/Studiecentrum Verkeerstechniek. Arnhem/'s Gravenhage
- Schreuder, D.A. (1985). Kwaliteitsverbeteringen aan de verlichting van fietsen. R-85-6. SWOV, Leidschendam.
- Schreuder, D.A. (1988a). Gezichtsvermogen en verkeersveiligheid. R-88-9. SWOV, Leidschendam.
- Schreuder, D.A. (1988b). De relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en de verkeersveiligheid. Een aanvullende literatuurstudie. R-88-10. SWOV, Leidschendam.



Schreuder, D.A. (1989). De relatie tussen het niveau van de openbare verlichting en de verkeersveiligheid; Een voorstudie. R-89-45. SWOV, Leidschendam.

Schreuder, D.A. (1991a). De veldfactor bij de bepaling van de verlichtingsniveaus bij tunnelingangen; Verslag van een nadere analyse van het experimentele onderzoek. R-91-65. SWOV, Leidschendam.

Schreuder, D.A. (1991b). Tegenstraalverlichting in tunnels; Een overzicht van de beschikbare literatuur. R-91-96. SWOV, Leidschendam.

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

Schreuder, D.A. & Lindeijer, J.E. (1987). Verlichting en markering van motorvoertuigen. R-87-7. SWOV, Leidschendam.

Schreuder, D.A. & Schoon, C.C. (1990). De relatie tussen het koershouden van voertuigen en wegmarkering op 80 km/uur-wegen: Een literatuurstudie. R-90-54. SWOV, Leidschendam.

SCW/SVT (1982). Zichtbaarheid 's nachts van wegmarkeringen op droge en natte wegdekken. SCW Mededeling 52/SVT Mededeling 17. Studiecentrum Wegenbouw/Studiecentrum Verkeerstechniek. Arnhem/Driebergen.

Straatnaamborden. Nederlandse norm NEN 1772, 1992.

SWOV (1970). Verkeerstekens op borden; Vormgeving en toepassing; Letters, cijfers, leestekens. Rapport 1970-7. SWOV, Voorburg.

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

Theeuwes, J. (1989b). Conspicuity is task dependent: Evidence from selective search. IZF 1989 C-8. TNO Institute for Perception, Soesterberg.

Theeuwes, J. (1989c). Conspicuity is task dependent: Visual search for uniquely colored targets. IZF 1989 C-16. TNO Institute for Perception, Soesterberg.

Theeuwes, J. (1989d). Cross-dimensional perceptual selectivity. IZF 1989 C-17. TNO Institute for Perception, Soesterberg.

Theeuwes, J. (1990). Exogenous and endogenous control of attention. IZF 1990 C-3. TNO Institute for Perception, Soesterberg.

Theeuwes, J. (1991a). Center high-mounted stop light: An evaluation. IZF 1991-C-3. TNO Institute for Perception, Soesterberg.

- Theeuwes, J. (1991b). Visual search of traffic scenes. IZF 1991 C-18. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Theeuwes, J. (1992). Selective attention in the visual field. Ph.D. thesis. Free University, Amsterdam.
- Theeuwes, J. & Godthelp, J. (1992). Begrijpelijkheid van de weg. IZF 1992 C-8. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Theeuwes, J. & Riemersma, J.B.J. (1990). Daytime running lights: A review of theoretical issues and evaluation studies. IZF 1990 A-28. TNO Institute for Perception, Soesterberg.
- Theeuwes, J.; Godthelp, J. & Riemersma, J. (1992). Self-explaining roads kunnen bijdragen aan verkeersveiligheid. *Verkeerskunde* 9, 26-29.
- Treisman, A.M. & Gelade, G. (1980). A feature integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Triggs, T.J. & Fildes, B.N. (1986). Roadway delineation at night. In: *Vision in Vehicles I*.
- Tromp, J. & Noordzij, P.C. (1991). Het effect van markeringen aan de achterzijde van vrachtwagens; Ongevallen met geparkeerde vrachtwagens en achteraanrijdingen tegen rijdende vrachtwagens. R-91-25. SWOV, Leidschendam.
- Van Norren, D. (1981). Informatiedragers langs de weg: Een overzicht van zichtbaarheidsproblemen. IZF 1981 C-25. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Verkeerslichten. Nederlandse norm .
- Verkeerstekens. Algemene eisen voor borden. Nederlandse norm, NEN 3381, 1989, 1992.
- Vis, A.A. (1993). Openbare verlichting en de verkeersveiligheid van autosnelwegen. SWOV, Leidschendam.
- Walraven, J. (1980). Visueel-critische elementen bij het nachtrijden: Een verkennend onderzoek. IZF 1980 C-22. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Walraven, P.L. (1978). Verkeerslichten. In: W.A. Wagenaar; P.A. Vroon & W.H. Janssen (red). *Proeven op de som; Psychonomie in het dagelijks leven* (pp. 114-120). Van Loghum Slaterus, Deventer.
- Wertheim, A.H. (1986). Over het meten van visuele opvallendheid van objecten in het verkeer. IZF 1986 C-25. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.

Wierda, M.; Schagen, I.N.L.G. van & Brookhuis, K.A.(1990).  
Waarnemingsstrategieën van fietsers. VK 190-13. VSC, R.U. Groningen.  
Williams, L.G. (1967). The effects of target specification on objects fixated  
during visual search. *Acta Psychologica* 27, 355-360.

Wulf, G.; Hancock, P.A. & Rahimi, M. (1989). Motorcycle conspicuity: An  
evaluation and synthesis of influential factors. *Journal of Safety Research*  
20, 153-176.



*Verlichtingssterkte* (in lux) is de hoeveelheid licht die op een oppervlakte valt (illuminance E).

*Helderheid* (luminantie) de hoeveelheid licht die door een oppervlakte wordt uitgestraald (in  $\text{cd}/\text{m}^2$ )

*Reflectiecoëfficiënt* (in  $\text{cd}/\text{m}^2/\text{lux}$ ) is de verhouding tussen het licht dat gereflecteerd wordt door een oppervlakte (luminantie) en het licht dat op deze oppervlakte valt (illuminatie).

*Gezichtsscherpte* wordt omschreven als de mate waarin het oog in staat is details te kunnen onderscheiden (oplossend vermogen van het oog).

*Gezichtsveld* is het gebied dat men zonder de ogen of het hoofd te bewegen kan overzien. De breedte van het gezichtsveld is ongeveer  $180^\circ$  en ongeveer  $130^\circ$  in de hoogte.

*Saccaden* zijn oogbewegingen waarbij de ogen in gelijke mate in een bepaalde richting bewegen.

*Selectieve aandacht* is het proces van het selecteren van een bepaald gedeelte van de binnenkomende informatie.

*Preattentieve perceptuele verwerking* zorgt voor een globale analyse van de visuele scene (bijvoorbeeld groepering of vlakscheiding). Dit soort verwerking wordt beschouwd als een 'vroeg' perceptueel proces en is een zeer effectief omdat het parallel over het visuele veld plaats vindt.

*Attentieve perceptuele verwerking* is het verwerkingsproces waarbij visuele aandacht serieel gericht wordt naar de verschillende plaatsen in het visuele veld.

Een visuele *pop-out* treedt op wanneer een object zo opvallend is dat het automatisch de aandacht van de waarnemer trekt.

De *opvallendheid* van een object is gerelateerd aan de mate waarin een object de aandacht kan trekken van een waarnemer zonder dat deze de intentie had om naar dit object te kijken.

Het *opvallendheidsgebied* van een object is de grootte van het gezichtsveld waarin dit object in zijn achtergrond kan worden ontdekt.

*Exogene sturing* van aandacht treedt op wanneer de aandacht van de waarnemer door het object (de objecteigenschappen) getrokken wordt.

*Endogene sturing* van aandacht treedt op wanneer de sturing van aandacht in het visuele veld bepaald wordt door de intenties van de waarnemer.

*Scène schemata* zijn representaties opgeslagen in het geheugen van de typische onderlinge spatiële relaties van een object in zijn omgeving.

*Scripts* zijn representaties opgeslagen in het geheugen van de typische onderlinge temporele relaties van een object in zijn omgeving.

*Identificatie* van een object is het proces waarbij de eigenschappen van het object nader geanalyseerd worden en het object (eventueel) herkend wordt.



