

FUNCTIE EN GEBRUIK VAN DE VERKEERSINFRASTRUCTUUR: DEEL 2: GEBRUIK EN  
VORMGEVING

Een ergonomische oriëntatie

R-91-51

Drs D.A.M. Twisk

Leidschendam, 1991

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV



## INHOUD

### Voorwoord

### Inleiding

#### 1. Verkeersdeelname: Vaardigheden, taak, uitvoering en leerproces

- 1.1. Algemeen
- 1.2. De beperkte mens
- 1.3. De verkeerstaak
  - 1.3.1. Doelstellingen
  - 1.3.2. Hiërarchie
- 1.4. Trainen van een (bijna) foutloze taakuitvoering
  - 1.4.1. De rol van kennis, regels en vaardigheden
  - 1.4.2. Van beginner tot expert
- 1.5. Verwachtingen
- 1.6. Discussie en conclusies

#### 2. De menselijke fout

- 2.1. Algemeen
- 2.2. Aard van de fouten in de routinecomponenten
  - 2.2.1. Algemeen
  - 2.2.2. Implicaties voor het ontwerp
- 2.3. Menselijke fouten op het regelsniveau
  - 2.3.1. Algemeen
  - 2.3.2. Implicaties voor het ontwerp
- 2.4. Menselijke fouten in de bewuste informatieverwerking (kennis-niveau)
- 2.5. De geschiktheid van bestuurders
- 2.6. Discussie en conclusies

#### 3. Infrastructuur en verkeersgedrag

- 3.1. Algemeen
- 3.2. Verkeersgedrag (input en output)
  - 3.2.1. Visuele oriëntatie (input)
  - 3.2.2. Snelheid (output)
  - 3.2.3. Koershouden en koersbepalen (output)
  - 3.2.4. Kruispunten en voorrangregeling

3.3. Mentale belasting

3.4. Conclusies

4. Toepassingsgebieden

4.1. Algemeen

4.2. Wegcategorisering

4.3. "Vanzelfsprekende" weg (self-explaining road)

4.4. Ontwerpeisen, detectie en behandelingsmethoden van onveiligheid

4.5. Permanente zwakheden (failure types) en veiligheid

4.6. Positieve (be)geleiding (positive guidance)

5. Samenvatting, conclusies en discussie

5.1. Samenvatting en conclusies

5.2. Discussie

Literatuur

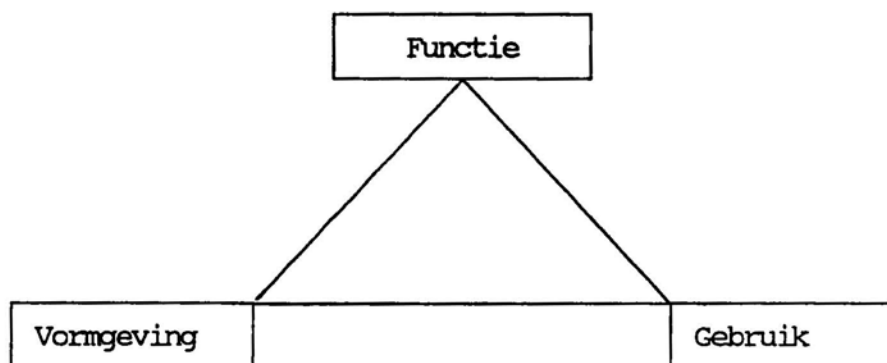


## VOORWOORD

De verkeersinfrastructuur wordt gepland, ontworpen en beheerd met het doel om een veilige goedkope en vlotte verplaatsing mogelijk te maken. De vraag is op welke wijze dit doel zo optimaal mogelijk gerealiseerd kan worden. Om aanwijzingen te vinden hoe dit doel gerealiseerd kan worden is een aantal literatuurstudies uitgevoerd.

De literatuurstudies hebben betrekking op de relaties tussen de functie van de verkeersinfrastructuur, het ontwerp van de infrastructuur en het feitelijke gebruik van de infrastructuur.

Deze relaties kunnen als een driehoek uitgebeeld worden (zie het schema) waarbij de functie van de weg bepaald wordt door de planoloog en beschreven kan worden in stroom en ontsluitingsfunctie.



Bij elke functie hoort een (optimaal) wegontwerp en een bij het ontwerp horend verondersteld gebruikswijze door de verkeersdeelnemers. Nadat de weg is opengesteld voor het verkeer is er sprake van feitelijk gebruik. Overigens dat feitelijk gebruik hoeft niet in overeenstemming te zijn met op de tekentafel verondersteld gebruik (Janssen, 1991).

De relaties in de driehoek zijn beschreven in vijf rapporten waarvan het voor U liggende rapport er één is. Deze rapporten zijn getiteld:

- Dijkstra, A. Functie en gebruik van de verkeersinfrastructuur: Deel 1: Functie en vormgeving. R-91-50. SWOV, Leidschendam.
- Twisk, D.A.M. Functie en gebruik van de verkeersinfrastructuur: Deel 2: Gebruik en vormgeving. R-91-51. SWOV, Leidschendam.
- Dijkstra, A. Categorisering van wegen: Deel 1: Verkeersplanologische gezichtspunten. R-91-52. SWOV, Leidschendam.

- Twisk, D.A.M. Categorisering van wegen: Deel 2: Psycho-ergonomische gezichtspunten. R-91-53. SWOV, Leidschendam, 1991.
- Dijkstra, A. & Twisk, D.A.M. Over beheren en manoeuvreren; Een synthese van verkeerskundige en gedragswetenschappelijke inzichten over functie, vormgeving en gebruik van de verkeersinfrastructuur. R-91-54. SWOV, Leidschendam.

Het eerste deel van de studie "Functie en gebruik van de verkeersinfrastructuur" dat "Functie en vormgeving" betreft (Dijkstra, 1991a) beschrijft de verkeerskundige doelstellingen bij en de eisen aan het vormgeven van een verkeerstechnisch ontwerp.

Het tweede deel over "Gebruik en vormgeving" (Twisk, 1991a) heeft betrekking op het feitelijke gebruik van de infrastructuur en op welke wijze de aansluiting tussen infrastructuur en gebruiker geoptimaliseerd kan worden. Uit deze twee studies volgt dat zowel de relatie tussen functie en ontwerp geoptimaliseerd kan worden door "wegcategorisering" als ook de aansluiting tussen infrastructuur en gebruiker.

De verkeerskundige benadering van een "Categorisering van wegen" wordt gepresenteerd in de deelstudie "Verkeers-planologische gezichtspunten" (Dijkstra, 1991b).

Op welke wijze een "Categorisering van wegen" het best vormgegeven kan worden is het onderwerp van de deelstudie "Psycho-ergonomische gezichtspunten" (Twisk, 1991b).

De verdeling in twee maal twee rapporten is niet toevallig. Het volgt de conventionele indeling van het verkeersveiligheidsonderzoek, waarin de veiligheid van de infrastructuur slechts bekeken wordt vanuit een enkel uitgangspunt en zelden vanuit meerdere gelijktijdig. Er is dan ook weinig literatuur bekend dat de verschillende uitgangspunten combineert en integreert. Een dergelijke combinatie en integratie kan een belangrijke bijdrage betekenen.

In deze afsluitende studie "Over beheren en manoeuvreren" (Dijkstra & Twisk, 1991) wordt bovengenoemde integratie nagestreefd, worden conclusies getrokken en voorstellen voor nader onderzoek gedaan.

## INLEIDING

Wanneer een weg ontworpen wordt is het beoogde of veronderstelde verkeersgedrag van de verkeersdeelnemers een belangrijk uitgangspunt. Onder meer op basis van dit veronderstelde verkeersgedrag worden bepaalde elementen wel of niet in het ontwerp opgenomen, afhankelijk van het te verwachten effect op de veiligheid, het comfort of de doorstroming. Tot op heden is ons geen studie bekend waarin gekeken is in welke mate op de tekentafel verondersteld verkeersgedrag overeenkomt met feitelijk gedrag op het moment dat de weg voor het verkeer is opengesteld. Dergelijke studies zouden om meer dan één reden van belang kunnen zijn:

1. Een discrepantie zou er op kunnen wijzen dat het "beoogde" gedrag in de praktijk "ongewenst" is en het feitelijke gedrag een betere oplossing is. De weggebruiker heeft het potentiële gevaar zelf weggeregeld. Deze kennis kan aanknopingspunten geven voor een adequater ontwerp.
2. De discrepantie kan er op wijzen dat het beoogde gedrag wel het gewenste gedrag is, maar dat verkeersdeelnemers op basis van het wegontwerp niet herkennen welk gedrag beoogd wordt of dat het beoogde gedrag door hen wel herkend wordt, maar niet uitvoerbaar blijkt. Deze inzichten kunnen aanknopingspunten geven voor een veiliger ontwerp.

Ongevallen getuigen ervan dat het ontwerp (beoogde) gedrag niet altijd overeenkomt met het werkelijke verkeersgedrag. De fouten die aan het ongeval ten grondslag liggen worden vaak als "menselijke fouten" beschouwd, in de zin dat de oorzaak van de fout in de mens gelegen is en niet in het voertuig of de vormgeving van de weg. De bestuurder heeft namelijk niet adequaat gereageerd op de vanuit de infrastructuur gestelde eisen aan zijn rijgedrag zoals niet tijdig en voldoende snelheid terugnemen bij het naderen van een scherpe bocht, niet voldoende rechtshouden, onvoldoende uitkijken op een kruispunt.

Ongevallenstudies laten zien dat fouten van deze aard verantwoordelijk zijn voor meer dan 90% van de ongevallen (Treat e.a., 1977; Sabey & Staughton, 1975). Hoewel de vraag gesteld kan worden of dit hoge percentage niet deels veroorzaakt wordt door de wijze waarop de ongevallen gecategoriseerd zijn (Haight, 1980) mag aangenomen worden dat de menselijke fout een belangrijke bijdrage betekent aan de verkeersonveiligheid.

Door dit type fouten "menselijke fouten" te noemen, kan worden gesugge-

reerd dat niet alleen de oorzaak gelegen is in de mens, maar ook de oplossing voor het probleem. Door deze beter op te leiden, beter te waarschuwen, meer te wijzen op zijn verantwoordelijkheden zouden dit type ongevallen vermeden kunnen worden. Deze benadering sluit ook gevoelsmatig aan bij onze intuïtieve kennis over hoe de mens psychologisch in elkaar zit (de "lekenpsychologie"). Wij weten zowel van anderen en ook van onszelf dat we vergeetachtig zijn, vergissingen maken, onvoorzichtig zijn, en bij wijlen ongeconcentreerd zijn. Bij onszelf zullen we de oorzaak daarvan eerder toewijzen aan externe oorzaken; dat we ongeconcentreerd zijn komt doordat iets saai is; dat we vergeetachtig zijn komt doordat andere zaken belangrijker zijn; dat we onvoorzichtig blijken komt doordat ... etc. Bij anderen zullen we het eerder toewijzen aan diens "persoonlijkheid", slordigheid, overmoedigheid etc. Het toewijzen van oorzaken aan verschijnselen en de systematische fouten die mensen daarin lijken te maken (attributie) is in de psychologie diepgaand onderzocht (Weiner, 1986 aangehaald in Lourens, 1990).

Attributie blijkt ook in ongevallen een belangrijk verschijnsel. In ongevallen blijkt vaak het slachtoffer als "schuldige" aangemerkt te worden. In navolging van Ryan (1972) noemt Sivak (1985) dit verschijnsel "blaming the victim". "Gelukkig" verongelukken veelal anderen en niet wijzelf. Dit verschijnsel heeft helaas wel tot consequentie dat oorzaken voor die ongevallen eerder gezocht worden in het falen van die ander (hij keek ook niet uit, en eigenlijk keek hij nooit goed uit) dan in meer externe oorzaken. Dit beeld wordt ook nog bevestigd door resultaten uit Nederlands onderzoek (Hagenzieker & Wittink, 1988). Zij presenteerden aan weggebruikers telefonisch de volgende stelling: "De meest gevaarlijke situaties die ik heb mee gemaakt waren het gevolg van fouten en overtredingen van anderen". Meer dan de helft (58%) was het eens met deze stelling. Door de "sterkte" van deze zienswijzen worden externe oorzaken met moeite blootgelegd. Immers elk ongeval kan toegeschreven aan onoplettendheid: "Als hij had opgelet, had hij tijdig gereageerd en was het ongeval niet gebeurd (zelfs een spookrijder valt te ontwijken), en als er geen ongeval gebeurt is, komt dat doordat hij heeft opgelet".

De consequentie van dit type redeneringen is dat maatregelen ter voorkoming van ongevallen vaak worden gezocht in het opleiden, trainen, en waarschuwen van bestuurders, en minder vaak in aanpassingen van de verkeersinfrastructuur. Alleen op die plaatsen waar een hoge concentratie

van ongevallen is, wordt de oorzaak voor de ongevallen gezocht in de externe condities en worden aanpassingen van de infrastructuur overwogen en uitgevoerd (black spot benadering).

De hiervoor beschreven benadering gaat uit van een verkeerssysteem dat de verantwoordelijkheid voor onveiligheid in eerste instantie toewijst aan verkeersdeelnemers en in tweede instantie aan het verkeersontwerp. Een andere benadering is om het verkeersinfrastructuur zo vorm te geven dat het zich aanpast aan de "menselijke voorkeuren, beperkingen en mogelijkheden" op een wijze dat menselijke fouten minder vaak voorkomen, en als ze voorkomen minder ernstige gevolgen hebben. Deze benadering is niet nieuw en is reeds in vele varianten verwoord. Veiligheid zou van meet af aan ingebakken moeten zijn in het systeem (van planologie via tekentafel naar de gebruiker (Hale e.a., 1990).

Wagenaar & Reason (1990) omschrijven het als volgt: "Ongevallen worden voorafgegaan door een lange geschiedenis welke een groot aantal op elkaar volgende gebeurtenissen bevat die ieder een veelbelovend doel kunnen zijn voor preventieve actie". Zij beargumenteren dat de gebeurtenissen direct vooraf gaande aan het ongeval, in feite alleen maar onveiligheidssymptomen zijn van meer permanente zwakheden binnen het systeem. Eliminatie van deze leveren een grotere bijdrage aan de veiligheid dan enkel de eliminatie van de symptomen. (Voor een gedetailleerde beschrijving van het model wordt verwezen naar par. 4.5.

Roszbach (1990) noemt een systeem waarin veiligheid ingebakken zit een "inherent" veilig verkeerssysteem en geeft daar een uitwerking aan in de zin van het reduceren van snelheidsverschillen daar waar verkeersontmoetingen plaatsvinden. Maar ook een systeem waarin de "kans" dat een fout gemaakt wordt geminimaliseerd is kan ook een inherent veilig systeem genoemd worden.

Wat deze benaderingen allen gemeen hebben is dat "veiligheid" vroeg in het verkeersontwerp meegenomen wordt, en de verantwoordelijkheid voor veiligheid niet afgewenteld wordt op de individuele verkeersdeelnemer.

Beide benaderingen zijn een uitbreiding van het bij de SWOV door Asmussen ontwikkelde fasemodel (Sanders-Kranenburg, 1989) waarin de ongevallen-sequentie (historie) pas start op het moment dat een "incident" dat mogelijk kan leiden tot een ongeval optreedt, in de zin dat "onveiligheid" in potentie al bestaat voor er in feite sprake is van een incident, doordat incidenten "inherent" onderdeel uitmaken van het systeem.

In deze literatuurstudie zullen criteria geïnventariseerd worden op welke wijze een "mens-vriendelijke" verkeersinfrastructuur vorm gegeven kan worden. Daarbij zal niet alleen bekeken worden hoe en of mensen in bepaalde situaties fouten maken, maar ook in welke mate de infrastructuur van invloed is op het vertoonde (observeerbare) gedrag van de verkeersdeelnemers, ook daar waar niet direct sprake is van fouten.

N.B. Met verkeersinfrastructuur wordt hier niet alleen de "harde" infrastructuur bedoeld, maar ook de "zachte". De harde infrastructuur is dan het wegontwerp, inclusief markering en belijning. Met de zachte infrastructuur wordt de bij behorende regelgeving bedoeld, zoals verkeerstekens en -regels waarvan de betekenis wettelijk is vastgelegd.

De studie neemt de "rationele" verkeersdeelnemer als uitgangspunt, en sluit daarbij de verkeersdeelnemers uit die willens en wetens regels overtreden. Wel wordt in overweging genomen welke infrastructuurele oplossingen leiden tot het willens en wetens overtreden van regels.

Om een voorbeeld te noemen: Wanneer fietsers lange tijd moeten wachten alvorens zij groen licht krijgen en het lijkt dat automobilisten bevoordeeld worden en eerder en langer "groen" krijgen is het waarschijnlijk dat fietsers, als er redelijk grote gaten in de verkeersstromen zijn, door rood licht zullen rijden.

Gedrag wordt in deze literatuurstudie in brede zin opgevat, en het is te onderscheiden in gedrag dat te meten is in termen van voertuigbewegingen, zoals bijv. snelheid en positie op de weg, en in gedrag dat te meten is in termen van menselijke reacties, d.w.z. fysiologische responsen, maar ook meningen en inschattingen.

De studie kent een beperking in de zin dat het alleen gaat over de invloed van verkeersinfrastructuur op het verkeersgedrag, en niet over de interactie tussen de verschillende verkeersdeelnemers. Wel zal er gesproken worden over "overige verkeersdeelnemers" voorzover deze voor de verkeersdeelnemer uit het wegontwerp zijn af te leiden, waar zij zich zullen bevinden en welke manoeuvres zij mogelijk zullen uitvoeren.

De literatuurstudie is als volgt gestructureerd:

In Hoofdstuk 1 wordt een relatie gelegd tussen de kenmerken van de (auto)rijtaak, de begrensde capaciteit van de mens maar ook het vermogen de begrenzing van zijn capaciteit te overstijgen door "leren en trainen". Er



wordt een korte beschrijving gegeven van menselijke "mogelijkheden"; deze inzichten zijn sterk bepaald door resultaten verkregen uit gesimplificeerde laboratoriumtaken en zijn zelden gebaseerd op observaties van echte taken in het dagelijks leven. Wel is duidelijk dat de kwaliteit van de uitvoering van welke taak dan ook, wordt begrensd door deze menselijke mogelijkheden. Sommige taken zijn echter zo simpel dat de grenzen van die menselijke mogelijkheden niet overschreden kunnen worden. Dan treedt een ander probleem op, namelijk die van monotonie en verveling. Andere taken zijn echter zo complex dat zij door een "ongeoefende" niet uitgevoerd kunnen worden, en dus buiten de grenzen van de menselijke mogelijkheden liggen. Autorijden is een dergelijke complexe taak.

Vervolgens wordt een beschrijving gegeven van de taak "verkeersdeelname" en wordt aangegeven welke psychologische processen een rol spelen en welke beslissingen genomen moeten worden. Nu op basis van deze simpele taakanalyse en de praktijk duidelijk is dat deze taak niet ongeoefend uitgevoerd kan worden, dient de vraag zich aan "hoe het komt (welke processen vinden plaats) dat door oefening, mensen uiteindelijk wel deze complexe taak (foutloos en vloeiend) kunnen uitoefenen".

Het uiteindelijke doel van het leren is een min of meer foutloze taakuitvoering. Dit is zeker in het verkeer van belang. Daar kunnen immers kleine fouten tragische consequenties hebben in het geval dat de fout de oorzaak is van een ongeval. Maar niet alleen kunnen fouten leiden tot ongevallen, maar ook van dien aard zijn dat het gedrag van de weggebruiker onvoorspelbaar wordt voor anderen, of leidt tot "congestie" en in het minst erge geval alleen maar tot ergernis.

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de psychologische kennis over fouten. Allereerst wordt er aangegeven wanneer gesproken kan worden over een "fout". Hoewel op het eerste oog simpel, blijkt alleen al de definitie van wat onder fout verstaan wordt geenszins eenvoudig. Voor het doel van deze literatuurstudie worden de opvattingen van Leplat (1985) gebruikt. Hij beschrijft fouten van het systeem als afwijkingen (gevaarlijk of niet) van het (verkeers)gedrag dat de "ontwerper" van het systeem beoogd had.

Het beschrijven en registreren van deze fouten op zich biedt weinig aangrijpingspunten om te komen tot een verbeterde verkeersinfrastructuur. Daartoe is het van belang om te begrijpen waarom de fouten gemaakt werden. Het model van Rasmussen (1983) over taakuitvoering, in combinatie met een

foutenanalyse van Reason & Embrey (1985) zoals beschreven in Hale & Glendon (1987), blijkt belangrijke aanwijzingen te geven voor het ontwerp van taken en taakomgeving. Deze inzichten blijken gevolgen te hebben voor het ontwerp van de verkeersinfrastructuur.

Een onderwerp dat sterk samenhangt met de kwaliteit (foutgevoeligheid) van de menselijke taakuitvoering is de toestand waarin de persoon verkeert. Het is wellicht vaker regel dan uitzondering dat de bestuurder niet in topconditie is en toch aan het verkeer deelneemt. Betoogd wordt om in het ontwerp niet uit te gaan van de "optimale" verkeersdeelnemer, maar standaard rekening te houden met een (sterk) verminderde prestatie.

In Hoofdstuk 3 komt de relatie tussen de verkeersinfrastructuur en het verkeersgedrag aan de orde. Hier gaat het dus niet over fouten, maar over "hoe de verkeersdeelnemer op de infrastructuur reageert". Dit reageren is af te leiden uit mens-en-voertuig-reacties, zoals dat in snelheidsgedrag en positie op de weg te zien is, maar ook uit de reactie van de bestuurder die niet aan zijn voertuigbewegingen valt af te lezen. Deze reactie kan bijvoorbeeld de mentale inspanning zijn die hij levert om een linksafmanoeuvre uit te voeren.

In Hoofdstuk 4 wordt gezocht naar terreinen waarin de geïnventariseerde inzichten toegepast zijn (kunnen worden), en wordt nagegaan of een toegenomen veiligheid te verwachten is. Deze terreinen zijn wegategorisering; een "vanzelfsprekende" weg (self-explaining road); het opstellen van ontwerpeisen en het detecteren en behandelen van onveiligheid; het identificeren van permanente zwakheden (failure types) in het verkeerssysteem en het (be)geleiden van de verkeersstromen (positive guidance).



## 1. VERKEERSDEELNAME: VAARDIGHEDEN, TAAK, UITVOERING EN LEERPROCES

### 1.1. Algemeen

In deze studie zal geen totale beschrijving worden gegeven van het terrein van de verrichtingsleer (de richting in de psychologie die zich bezighoudt met menselijke vermogens en taakuitvoering). Zij zal beperkt blijven tot een aantal essentiële aspecten. Essentieel omdat deze grotendeels het menselijk functioneren in relatie tot "error" beschrijven, of omdat deze expliciet als uitgangspunt worden genomen voor het ontwerpen van de infrastructuur, zoals bijv. verwachtingspatroon, reactietijd, en zichtlengte.

Alvorens een verhandeling te geven van menselijke fouten als een oorzaak voor verkeersongevallen is het van belang een beschrijving te geven van de aard van de verkeerstaak. Immers, om te weten welke fouten gemaakt worden is het noodzakelijk te weten wat "had moeten gebeuren". Dit betekent dat de taakvereisten beschreven moeten worden. Maar dat is niet het enige. Het is niet voldoende om de verkeerstaak alleen te beschouwen als een stelsel van taakeisen die aan het individu wordt gesteld, maar ook om te beschrijven welke grenzen er bestaan in het "menselijk kunnen" (human performance) (par. 1.2). Deze mogelijkheden blijken vooral op het gebied van complexe, nieuwe taken beperkt en zelfs gering, terwijl de uitvoering van dezelfde complexe taken na training op die taak bijna perfect is: foutloos, snel, en soepel. Dit wijst op het cruciale belang van het "leren".

Interessante vragen zijn ook: "hoe vindt dit leren plaats?"; "op welke elementen van de taakuitvoering?" "is de verandering kwantitatief of ook kwalitatief?"

### 1.2. De beperkte mens

Het vermogen van mensen om taken uit te voeren en nieuwe taken aan te leren lijkt enerzijds onbeperkt, anderzijds sterk begrensd. Het vermogen wordt gekenmerkt door het volgende:

- Het menselijke vermogen is onderhevig aan ontwikkeling in de zin dat het na de geboorte geleidelijk toeneemt tot ongeveer 18 jaar (Gelman & Bail-largon, 1983). Op deze leeftijd lijkt het te stabiliseren waarna op 45-jarige leeftijd een dalende tendens waarneembaar is, die zich voortzet tot het moment van overlijden. De ontwikkelingssnelheid en ontwikkelingspatroon is individueel verschillend.

- Een beperkt vermogen om gelijktijdig informatie uit verschillende bronnen via dezelfde modaliteit (zintuig) te verwerken. Dit komt doordat de hoeveelheid aandacht gelimiteerd is, mede waarschijnlijk door de beperkingen van het (werk)geheugen.
- Deze beperking blijkt door "oefening" minder stringent te worden.
- Wat oefening doet is nog niet bekend, wel is bekend dat door oefening minder aandacht nodig is voor de diverse taakaspecten.
- De mate waarin de beschikbare aandacht ingezet wordt leidt tot het concept "mentale belasting". Dit houdt in dat de mentale belasting hoog is wanneer er veel aandacht nodig is voor de taakuitvoering en de mentale belasting is laag wanneer er weinig aandacht nodig is voor de taakuitvoering. De aandacht die dan nog over is kan aangewend worden voor andere "klussen", zoals praten tijdens het autorijden, terwijl de taakuitvoering op de "primaire" taak niet achteruit gaat. Opgemerkt moet worden dat mentale belasting iets zegt over de mate waarin het systeem gebruikt wordt, het zegt dus niet impliciet dat het systeem overbelast is. Dit in tegenstelling tot Hoyos (1988) die het begrip mentale belasting gebruikt als een equivalent van "overbelasting" en stress.
- De hoeveelheid beschikbare aandacht (capaciteit) is niet constant. Deze kan tijdelijk verhoogd worden door een extra inzet van de persoon. Dit wordt wel "effort" genoemd. "Effort" vraagt veel energie en kan derhalve slechts korte tijd worden volgehouden. Taken welke steeds die overinvestering vragen van de persoon, putten hem uit (niet alleen mentaal maar ook fysiek) en op termijn leiden die tot een slechte taakuitvoering.
- Ook kan de hoeveelheid beschikbare aandacht beïnvloed worden door de toestand waarin de mens verkeert. Aandacht wordt verhoogd (mensen komen op scherp) wanneer ze sterk geactiveerd worden door hun omgeving. Aandacht wordt minder wanneer ze lage activiteitsniveaus hebben door bijv. vermoeidheid, medicijngebruik, verveling (monotonie).

### 1.3. De verkeerstaak

In ons verkeerssysteem vormt de vervoerswijze een belangrijk criterium om categorieën verkeersdeelnemers te onderscheiden. Per vervoerswijze gelden specifieke verkeersregels, een bepaalde plaats binnen de verkeersinfrastructuur (fiets op het fietspad, voetganger op het trottoir, en auto op de rijweg) en ook specifieke opleidingseisen.

Om deze reden zal de beschrijving van de verkeerstaak - daar waar nodig - onderscheidend zijn naar vervoerswijze. Naast verschillen zullen er ook overeenkomsten zijn, en deze zullen dan ook als gezamenlijk kenmerk beschreven worden.

### 1.3.1. Doelstellingen

Voor alle verkeersverplaatsingen geldt dat mensen zelden aan het verkeer deelnemen om reden van de activiteit zelf, maar veelal omdat ze op andere bestemming iets willen doen wat ze "hier" niet kunnen. Om die reden is de verplaatsing geen doel op zichzelf, maar een middel tot. Vanuit het verkeerssysteem en de gebruiker worden de volgende eisen aan die verplaatsing gesteld: de doorstroming van het verkeer moet door de verplaatsing niet onnodig belemmerd worden (vlot), de eigen veiligheid en die van anderen mag niet in gevaar gebracht worden (veilig); de verplaatsing moet comfortabel zijn; en tegen geringe kosten (goedkoop).

Deze doelstellingen hebben consequenties voor de taakuitvoering.

### 1.3.2. Hiërarchie

De verkeerstaak is te beschouwen als een hiërarchische taak met drie taakniveaus. Deze drie niveaus kunnen gelijktijdig uitgevoerd worden, maar de doelen van de lagere taakniveaus worden afgeleid uit de doelen die op het hogere niveau bepaald zijn. Tot op heden is een dergelijke beschrijving voornamelijk toegepast op de autorijtaak (bijv. Griep, 1971; Janssen, 1979 en vele anderen). In het kader van deze studie wordt de beschrijving verbreed naar alle vervoerswijzen. Daartoe zijn de in het model gebruikte begrippen "automobilist" en "rit" vervangen door respectievelijk "verkeersdeelnemer" en "verplaatsing".

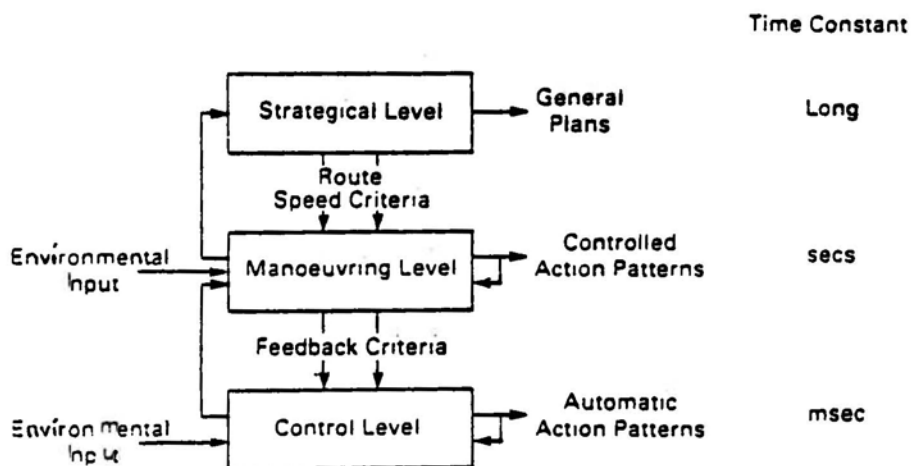
Het eerste niveau is dat van het reisdoel, de keuze van het vervoermiddel en de routekeuze. De verkeersdeelnemer moet van te voren, of op de beslissingsmomenten gedurende de verplaatsing, beslissingen nemen omtrent de te volgen route om het beoogde doel te bereiken. De verkeersdeelnemer heeft, om de verplaatsing op dit niveau adequaat uit te voeren, kennis nodig van de te volgen route of anders over de bewegwijzering langs de weg. Dit is het strategisch niveau.

Het tweede niveau van de taakuitvoering van een verkeersdeelnemer is dat

met betrekking tot de keuze van de uit te voeren manoeuvres. De verkeersdeelnemer moet gedurende de verplaatsing voortdurend beslissen welke manoeuvres (inhalen, voorrang geven, voorsorteren, oversteken, etc) op welk moment moeten worden uitgevoerd. De verkeersdeelnemer heeft voor een adequate taakuitvoering op dit niveau kennis nodig over de eisen die het verkeer aan hem stelt en hij moet kunnen vaststellen en evalueren welk gedrag op welk moment het best aan de eisen tegemoet komt. Dit wordt het manoeuvreniveau genoemd.

Het derde en laatste niveau van de taakuitvoering van een verkeersdeelnemer is dat met betrekking tot de keuze en de uitvoering van het regelgedrag, de handelingscomplexen die leiden tot de realisering van de op eerdere niveaus gekozen route en manoeuvres. Voor een correcte taakuitvoering is het op dit niveau nodig dat de verkeersdeelnemer een goede bedienings- en manoeuvrevaardigheid bezit, zodat hij in staat is in principe elke manoeuvre correct uit te voeren. Dit wordt het tactisch niveau van de taakuitvoering genoemd.

Janssen (1979) geeft de onderlinge relaties tussen de verschillende niveaus, hun input-output relaties en de bij behorende tijdas als volgt weer.



Op elk van de drie niveaus van de taakuitvoering kan men een aantal deeltaken van elkaar onderscheiden. Schlesinger (1976) noemt als deeltaken: 1. Afzoeken van de taakomgeving naar relevante kenmerken, waarbij het 'brandpunt' van de aandacht de afzoekfrequentie en het afzoekpatroon de belangrijkste elementen zijn (input).

2. Identificeren van datgene wat is waargenomen, waarbij de waargenomen stimuli worden geclassificeerd en gecodeerd, zodat deze voor verdere interpretatie en verder gebruik geschikt zijn (verwerken).
  3. Voorspellen van toekomstige gebeurtenissen op basis van geleerde regels die aangeven welke situatie kenmerken welke kritische gebeurtenissen indiceren (verwerken);
  4. Beslissen welke actie ondernomen moet worden (verwerken).
  5. Uitvoeren van de actie waartoe was besloten (output).
- (gewijzigd naar Veling e.a., 1978).

De opgesomde deeltaken zijn in feite een normatieve (taak)beschrijving van wat voor noodzakelijke stappen genomen moeten worden voordat een actie als reactie op een verkeerssituatie uitgevoerd kan worden. Deze opsomming kan niet opgevat worden als een beschrijving van wat er feitelijk allemaal in het hoofd van de verkeersdeelnemer gebeurt. Integendeel, er bestaan veel aanwijzingen - zoals uit de volgende paragraaf zal blijken - dat deze stappen min of meer automatisch verlopen en dat de verkeersdeelnemer helemaal niet actief en bewust bezig is met beslissen, identificeren, coderen, en zoeken.

Vervoerswijzen onderscheiden zich niet op het hiërarchische niveau. Zowel door de fietser, voetganger, automobilist en openbaar vervoergebruiker moet bepaald worden hoe de verplaatsing gerealiseerd moet worden wil het gestelde doel bereikt worden binnen gestelde randvoorwaarden (zoals kosten, tijdsduur etc). Ook bestaat er geen onderscheid tussen de beslissingen die op tactisch en manoeuvre niveau genomen moeten worden. Wel bestaan er verschillen in de output omdat bepaalde manoeuvres per vervoerswijze anders worden uitgevoerd (bepaald door regels, plaats op de weg en eigenschappen van het voertuig).

Het onderscheid tussen de vervoerswijzen is voornamelijk gelocaliseerd in de tijdspanne waarbinnen op het tactische en operationele niveau (tussen startinput en gerealiseerde output) de uitvoering moet plaatsvinden. Deze tijdspanne wordt bepaald door de verplaatsingssnelheid en de voertuigkenmerken. Deze samen namelijk bepalen de benodigde manoeuvreerruimte, en deze op zijn beurt bepaalt het moment waarop de manoeuvre moet worden begonnen, wil deze op het gewenste (en noodzakelijke) moment gerealiseerd kunnen worden.

Wanneer wordt uitgegaan van deze manoeuvreerruimte zijn voetgangers gekenmerkt door een kleine benodigde manoeuvreerruimte, terwijl automobilisten bij hoge snelheden de grootste manoeuvreerruimte nodig hebben. De taak van de verkeersdeelnemer is om zijn taakuitvoering dusdanig vorm te geven dat de benodigde manoeuvreerruimte overeenkomt met de feitelijk beschikbare manoeuvreerruimte. De feitelijk beschikbare manoeuvreerruimte wordt bepaald door het wegontwerp (in de zin van boogstralen, wegbreedte etc), maar ook door de intensiteit van het verkeer, aanwezigheid van mengverkeer, en de toegestane manoeuvres.

#### 1.4. Trainen van een (bijna) foutloze taakuitvoering

Over autorijden zijn expliciete schattingen gemaakt omtrent de hoeveelheid oefening die nodig is alvorens "expertniveau" bereikt worden: na 100.000 km of 6 jaar rijervaring. Dit leerproces duurt dus veel langer dan de gemiddeld 30 rijlessen waarna het rijbewijs gehaald wordt. Over andere vervoerswijzen zijn dit soort schattingen niet bekend. Er bestaan aanwijzingen dat voor fietsen het leerproces jaren beslaat, maar deze duur wordt sterk bepaald door de leeftijd waarop de taak wordt aangeleerd (tussen de vier en zes jaar). In deze periode wordt de taakuitvoering nog sterk begrensd door de fysieke en cognitieve ontwikkeling van het kind (zie par. 1.2).

##### 1.4.1. De rol van kennis, regels en vaardigheden

In eerdere paragrafen is al aangegeven dat training resulteert in een min of meer perfecte taakuitvoering, in deze paragraaf zal (voor zover daarover kennis bestaat) beschreven worden hoe het leren plaatsvindt en op welk niveau (knowledge based, rule based, skill based) de verschillende taakniveaus (manoeuvre- en operationeel) uitgevoerd moeten worden wil een veilige en vlotte verkeersdeelname mogelijk zijn. Hierbij zal expliciet worden ingegaan op de drie stadia van de informatieverwerking: input - verwerking - output. Hoewel in deze studie uitgegaan wordt van de interactie tussen mens en infrastructuur in brede zin, wordt het strategisch niveau in het leerproces om praktische redenen (omvang) buiten beschouwing gelaten, terwijl voor deze uitbreiding wel een lans te breken valt in de zin dat kaartlezen, schatten van de reistijd duidelijk te maken hebben met de infrastructuur.

Hoe voeren mensen complexe taken uit? Rasmussen (1983) heeft een model gemaakt waarin hij drie niveaus van taakuitvoering onderscheidt, namelijk gebaseerd op kennis (knowledge based), regels (rule based), en vaardigheden (skill based). Deze drie niveaus zijn verschillend in de zin dat taken anders worden uitgevoerd en anderssoortige fouten worden gemaakt. Ook kunnen de drie niveaus gebruikt worden om verschillen tussen beginners en experts te beschrijven. Voor dit laatste doel zal in deze paragraaf dit model gebruikt worden, terwijl het in het volgende hoofdstuk gebruikt zal worden om verschillende typen fouten te onderscheiden.

Op het 'vaardighedenniveau' (skill based) wordt een stukje binnen komende informatie (input) direct gekoppeld aan een automatische respons (output) die gedachteloos uitgevoerd kan worden (bijvoorbeeld terugschakelen bij een laag toerental). Dit worden ook wel gedragsroutines genoemd. Wanneer er geen automatische respons beschikbaar is of wanneer de persoon de keuze heeft uit alternatieven, dan verschuift het gedrag naar een hoger niveau, namelijk dat van keuzen gebaseerd op regels. Daar wordt de juiste gedragssequentie gekozen, uit de "opslag" gehaald (verwerking) en uitgevoerd (output). Een voorbeeld hiervan is rechtsafslaan bij een verkeerslicht op een standaard route op weg naar het werk.

Wanneer er geen geschikte regel beschikbaar is of de persoon wil de beschikbare regel niet toepassen, komt het gedrag op het 'kennisniveau'. Hier moet "denken" plaatsvinden om het probleem te interpreteren en om vast te stellen hoe het opgelost kan worden (bijv. uitzoeken hoe men het best naar een nieuwe bestemming kan rijden).

Menselijke verrichtingen van routinetaken (zoals componenten van het autorijden en fietsen) worden dus geleid door (semi)automatische actieprogramma's welke in gang worden gezet door de herkenning dat de situatie om dat specifieke programma vraagt. Het begeleiden en bewaren van die programma's is deels ingebouwd in de vorm van TOTE-procedures (Test-Operate-Test-Exit), waarmee wordt vastgesteld of de verschillende stappen nog steeds volgens plan worden uitgevoerd. Zodra een verschil optreedt tussen plan en uitkomst van de TOTE wordt het 'vaardighedenniveau' verlaten en wordt overgeschakeld op het 'regelsniveau' of als dat ontoereikend blijkt naar het 'kennisniveau'.

De drie niveaus geven geen verschil aan in kwaliteit van de taakuit-



voering, maar zijn meer of minder geëigend voor verschillende soorten taken. Zo is het kennisniveau het meest geschikt om nieuwe problemen op te lossen, maar ongeschikt om voor een auto weg te springen.

#### 1.4.2. Van beginner tot expert

Een expert heeft de meeste van de situaties die zich in het verkeer voordoen reeds eerder meegemaakt en heeft de vaardigheden en regels aangeleerd die noodzakelijk zijn om op adequate wijze met de situatie om te gaan. De beginner echter moet elke situatie "opnieuw" oplossen en doet dat dan ook noodzakelijkerwijs op kennisniveau. Daarbij komt nog dat experts meer bekwaam zijn in het opereren op kennisniveau omdat zij een beter inzicht hebben in de essenties van het probleem.

Meer ervaren personen hebben dus een repertoire van vaardigheden opgebouwd, waardoor ze in staat zijn meer van hun tijd te besteden op het minder belastende vaardighedeniveau en minder op het meer energie vragende kennisniveau. Wat voor een beginner begint als een serie bewuste handelingen welke afgesloten wordt door "beslissingen", betekent voor de ervaren persoon een sequentie van handelingen die, wanneer ze eenmaal ingang gezet zijn, zonder energie en aandacht te vragen automatisch tot een afsluiting komen. Dit betekent dat ervaren automobilisten veelal op het vaardigheden- en regelsniveau functioneren, terwijl beginners meer op het kennisniveau functioneren.

Gaandeweg het leerproces neemt de rol van actieve kennis dus af. "Weten wat je moet doen" wordt minder belangrijk, en het handelen wordt automatisch.

In de fase van het leren "wat je moet doen" zal de leerling nog vaak verbaal de instructies die bij de taakuitvoering horen herhalen. In de tweede fase worden de bij elkaar behorende handelingen met elkaar verbonden tot een "routine". De routine kan in deze fase nog steeds gecorrigeerd worden door de actieve kennis, waarmee de uitkomst van de routine wordt geëvalueerd. Fouten kunnen nog worden hersteld. In de derde fase is de routine "automatisch", de actieve kennis wordt niet meer gebruikt om "bij te sturen". Ook vraagt een routine die geautomatiseerd is geen aandacht meer, en kan daarom gelijktijdig met andere routines worden uitgevoerd. Modificatie van reeds geautomatiseerde routines is extreem moeilijk (Shiffrin & Schneider, 1977).



De overgang tussen de fasen komt tot stand door "het vaak doen". De op deze wijze gevormde routine kan gekoppeld worden aan andere vaardigheden waarop ook routine wordt verkregen. Op deze manier wordt een complexe taak uitgevoerd door een routine welke opgebouwd is uit afzonderlijke subroutines.

Niet alleen dienen routines aangeleerd te worden, ook is het essentieel te weten wanneer een routine toegepast kan worden. Anderson (1983) beschrijft dit in termen van produktieregels, die de vorm hebben van " Als .... dan ....."- beweringen. Deze produktieregels zijn te lezen als: "Als een situatie zich voordoet met deze relevante kenmerken, dan is deze routine de juiste gedragskeuze".

Voorgaande is een sterk vereenvoudigde en geschematiseerde beschrijving van het ACT (=Adaptive Control of Thought)-model (Anderson, 1983). Nadrukkelijk stelt Anderson dat het model expliciet betrekking heeft op hogere-orde cognitieve taken, zoals het leren van een taak en het oplossen van wiskundige problemen, terwijl het mogelijk toegepast kan worden voor bewegingstaken die door percepties gestuurd worden. Het model doet nu ook reeds enige jaren opgang in de verkeerspsychologie. Tot op heden is het model voornamelijk gebruikt om een taxonomische beschrijving te geven van de verkeerstaak op basis van produktieregels, namelijk een beschrijving van de "inhouden" van een correct uitgevoerde verkeerstaak. Wat nog steeds ontbreekt is een koppeling tussen het model en het observeerbare gedrag van verkeersdeelnemers, dit in tegenstelling tot het gebied van probleemoplossen waarin wel reeds een succesvolle koppeling mogelijk lijkt tussen model en evidentie gebaseerd op empirisch onderzoek (zie Anderson, 1983). Voor een beschrijving en evaluatie van de potentiële mogelijkheden van een toepassing van het ACT-model in verkeerspsychologie wordt verwezen naar Michon (1985).

Het onderscheid tussen procedurele kennis (wat een programma doet) en de declaratieve kennis (hoe doet een programma wat het doet) is volgens Lourens (1990) cruciaal voor het onderscheid tussen expert en beginner (Adelson, 1984). Een expert kan een beginner heel goed vertellen wat deze behoort te doen, maar wat een beginner werkelijk nodig heeft is een instructie over hoe deze het behoort te doen. Lourens stelt dat leren en fouten maken in feite hetzelfde is (twee zijden van dezelfde medaille).

Op alle vaardighedenniveaus leert men voornamelijk door het detecteren en corrigeren van fouten. Rasmussen (1985) beschrijft het in zijn "leerwet" als volgt: "met betrekking tot manuele vaardigheden is fine tuning afhankelijk van een continu bijstellen (updating) van de sensory-motor schema's ten opzichte van de temporele en ruimtelijke aspecten van de taak. Op het meer gecontroleerde regelvolgende niveau ("controlled rule following level") is ontwikkeling afhankelijk van geringe veranderingen in de (verkeers)situatie en van de gelegenheid om te experimenteren. Dit betekent dat zolang "leren nog voortduurt" dit dient plaats te vinden binnen mensvriendelijke, fout-tolerante (verkeers)systemen.

Een belangrijk probleem bij het opdoen van ervaring is het generaliseren van de geleerde gedragsregels ("IF": in het geval situatie x, "THEN": doe dan handeling y). Een nieuwe onbekende situatie moet dan vertaald worden naar een voorgaande. Ook de juistheid van de generalisatie kan in het verkeer zelf alleen getoetst worden door de verkregen feedback. Rothengatter (1985) merkt op dat ten aanzien van de verkeersveiligheid wellicht de foutieve generalisaties ten aanzien van de "IF"-conditie het meest van belang zijn en dat fouten in de routines van ondergeschikt belang zijn voor de verkeersveiligheid.

Geconcludeerd kan worden dat ervaring leidt tot een "betere", minder fout-gevoelige taakuitvoering. Maar ervaring kan ook leiden tot inadequaot verkeersgedrag, in die gevallen dat "slechte gewoonten" inslijpen en deel gaan uitmaken van het gedragsrepertoire.

Voor het infrastructurele ontwerp houdt dit twee dingen in. Ten eerste wordt gedurende deze leerperiode door de automobilist geleerd wat voor gedrag van hem verwacht wordt afhankelijk van het infrastructurele ontwerp (hij verzamelt de if's en test de "then"s). Ten tweede kan hij nog niet gezien worden als een "doorsnee"-automobilist" en kan alleen leren door "te leren van zijn fouten". De vraag dient zich dan aan in welke mate in het ontwerp rekening gehouden kan worden met specifieke eigenschappen van deze groep.

### 1.5. Verwachtingen

Naast de "menselijke mogelijkheden" (par. 1.2) en de verkeerstraining (par 1.4). spelen in de kwaliteit van de taakuitvoering ook de verwachtingen

van de verkeersdeelnemer een belangrijke rol. Opvallend is dat in handleidingen over wegontwerp vaak aangegeven wordt dat de voor een veilige verkeersdeelname de "verwachtingen" van de verkeersdeelnemer centraal staan, maar in geen van deze teksten wordt aangegeven wat onder verwachtingen verstaan wordt. Het wordt vaak impliciet gelaten en lijkt als betekenis te hebben: de verwachting van de verkeersdeelnemer is datgene wat de verkeersdeelnemer verwacht dat gaat gebeuren. Ook wordt niet duidelijk gemaakt hoe deze verwachting ontstaat, doorwerkt in de taakuitvoering en of en hoe deze te meten valt. Echter, niet alleen in de verkeerstechnische literatuur wordt het begrip niet verder uitgewerkt. Ook in de psychologische literatuur komt het begrip weinig expliciet aan de orde.

Een literatuurstudie over "verwachtingen" is uitgevoerd door Gerson & Lunenfeld (1986). Zij stellen dat verwachtingen (expectancy) van invloed zijn op de verkeersdeelnemers alertheid (readiness) om te reageren op situaties, gebeurtenissen en informatie op een voorspelbare en succesvolle manier. Deze (expectancy) beïnvloeden de snelheid en de correctheid van de informatie verwerking. Hagenzieker (1990) haalt in een literatuurstudie over visuele waarneming en motorvoertuigverlichting overdag onderzoek aan waaruit blijkt dat proefpersonen letters die zij verwachten te zien sneller herkennen (LaBerge, 1973) (priming) en dat een waarnemer die voorwerpen met zekere fysische kenmerken verwacht tegen te komen, deze eerder ziet dan als hij die niet verwacht (Hughes & Cole, 1984,).

Over de relatie tussen wegontwerp en verwachtingen zeggen Gerson & Lunenfeld (1986) het volgende: Wegontwerpen en verkeerssituaties die in overeenstemming zijn met de verwachtingen, versterken deze verwachtingen. De versterkte verwachtingen helpen de verkeersdeelnemer om snel, efficiënt en foutloos te reageren.

Er zijn twee typen van verwachtingen van verkeersdeelnemers. De eerste - a-priori verwachtingen - hebben betrekking op de lange termijn. Deze zijn gebaseerd op voorgaande ervaringen opgebouwd over maanden, jaren. De tweede - ad hoc verwachtingen - hebben betrekking op de korte termijn en zijn gebaseerd op gebeurtenissen over de laatste uren, minuten, seconden. Om dit onderscheid tussen ad hoc en a-priori verwachtingen te verduidelijken nog een paar voorbeelden. In het verkeer bestaat een a-priori verwachting omtrent de betekenis van de kleurcode van de verkeerslichten: Rood is

"stop" en groen is "ga"; afritten van snelwegen liggen aan de rechterkant (bij rechtsrijdend verkeer); op snelwegen zal geen voetganger oversteken; vliegverkeer maakt geen gebruik van verkeerswegen voor landen en opstijgen. Ad hoc verwachtingen ontstaan tijdens de rit: alle voorgaande kruispunten waren conflictvrij geregeld, het volgende kruispunt is ook conflictvrij geregeld; alle scherpe bochten op deze weg waren voorzien van waarschuwingsborden, de volgende scherpe bochten zullen ook voorzien zijn van waarschuwingsborden.

Een consequentie van het belang van verwachtingen is dat verschillende categorieën verkeersdeelnemers andersoortige verwachtingen hebben en derhalve meer of minder adequaat zullen reageren op "infrastructurele" kenmerken. Een eerste onderscheid is de al eerder genoemde onervaren verkeersdeelnemer/automobilist. Zijn verwachtingen zijn nog beperkt, en ook is voor hem (nog) niet altijd duidelijk welke van zijn verwachtingen "vaak" van toepassing zijn en welke niet geldig zijn. Hierbij zal van belang zijn of hij een vaste, gaandeweg meer bekende route rijdt of een vrijwel onbekende route. Op de bekende route zullen zijn verwachtingen gaandeweg meer vaste vormen aannemen en op de onbekende route is hij zoekende. De ervaren automobilist heeft verwachtingen die "juist" blijken te zijn. Zijn verrichtingen zullen maar in geringe mate verschillen op bekende en onbekende routes. Maar op de bekende route zullen zijn verwachtingen zo vaak juist blijken, dat hij de uiteindelijk gehele route op basis van zijn verwachtingen "blindelings" zal rijden. Het gevaar schuilt erin wanneer in tegenstelling tot eerdere gebeurtenissen een incident optreedt wat voor hem niet eerder is voorgekomen; bijv. een stilstaande file op een "altijd" filevrije weg; wegwerkzaamheden; verandering van een voorrangsregeling etc. De relatie tussen ad hoc verwachtingen en a-priori verwachtingen wordt door Gerson & Lunenfeld (1986) niet nader uitgewerkt. Voorstelbaar is dat elke a-priori verwachting ooit een ad hoc verwachting is geweest, en dus geleidelijk in elkaar over gaan.

Gerson & Lunenfeld (1986) beschrijven wat "verwachtingen" doen, maar ook zij vermijden de vraag wat "verwachtingen" zijn. In het kader van deze literatuurstudie voert het te ver om op deze vraag dieper in te gaan. Interessant zou zijn na te gaan in welke mate "verwachtingen" terug te voeren zijn tot produktieregels, die aangeven welke "toestanden" zich in de nabije toekomst zullen/kunnen voordoen en welke "acties" daarbij horen.

Nemen we het voorbeeld van de ad hoc verwachting: voor scherpe bochten wordt op deze weg gewaarschuwd. Als produktieregel zou deze als volgt eruit kunnen zien:

- (a) als een scherpe bocht samen gaat met een waarschuwing voor scherpe bocht;
- (b) registreer dan of bij de komende scherpe bocht de waarschuwing ook gegeven wordt;
- (c) als (a) waar is;
- (d) neem dan aan dat de regel bestaat dat op deze weg gewaarschuwd wordt voor scherpe bochten.

De produktieregel van een a-priori verwachting zou er als volgt uit kunnen zien:

- (a) gegeven rood is waarschuwing;
- (b) gegeven groen is veilig;
- (c) indien rood licht;
- (d) dan stop waarmee je bezig was;
- (e) indien groen licht;
- (f) dan ga verder waarmee je bezig was.

Deze twee voorbeelden lijken triviaal, en zijn dat mogelijk ook. Het verdient echter aanbeveling nader te onderzoeken op welke wijze "verwachtingen" vormgegeven kunnen worden. De hier geopperde relatie met produktieregels is een dergelijke vormgeving die nader onderzoek verdient. Het voordeel om uit te gaan van produktieregels is dat daarmee de verschillende onderwerpen in dit hoofdstuk met elkaar in verband gebracht kunnen worden; namelijk een link tussen verwachtingen, het leerproces en het automatiseren van tactisch en operationeel niveau van de verkeersdeelname.

#### 1.6. Discussie en conclusies

Ontwerpers van de verkeersinfrastructuur zullen in hun ontwerp rekening moeten houden met verkeersdeelnemers die ernstig beperkt zijn in hun vermogens om in korte tijd (milliseconden) informatie te verwerken, beslissingen te nemen en acties uit te voeren. Juist in verkeersdeelname, op tactisch en operationeel niveau, is het nodig de informatieverwerking, beslissingen nemen, en handelingen uitvoeren, in deze beperkte tijdspanne te doen. Door training slaagt de verkeersdeelnemer (automobilist) er in



aan deze eis te voldoen. Deze training heeft namelijk tot gevolg dat een groot aantal handelingen automatisch gaan verlopen. Hierdoor kunnen meerdere handelingen gelijktijdig worden uitgevoerd en is het niet meer nodig steeds weer beslissingen te nemen. De automatisering heeft ook als voordeel dat een geautomatiseerde routine minder foutgevoelig is (zie Hoofdstuk 3). Een ernstig nadeel is dat handelingen minder flexibel worden en dat als in een geautomatiseerde routine fouten geslopen zijn deze bijna niet meer te corrigeren zijn. Een derde beperking is dat toestanden die een "afwijking van normaal" in de verkeersinfrastructuur inhouden minder snel zullen worden opgemerkt en waarschuwingen betreffende afwijkingen over het hoofd gezien dreigen te worden.

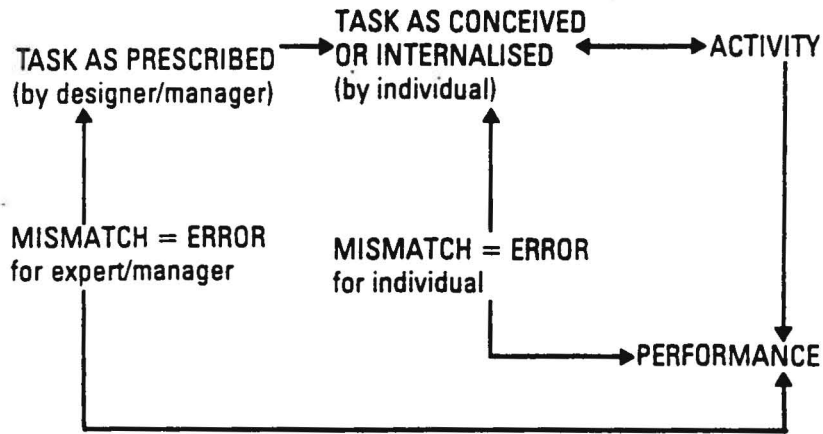
Aangenomen wordt dat "verwachtingen" een belangrijke rol spelen, in de zin dat gebleken is dat wanneer een conditie verwacht wordt, er sneller en adequater wordt gereageerd. Echter, er bestaat weinig theoretisch-inhoudelijke kennis over wat "verwachtingen" zijn en hoe ze gevormd worden; amper meer dan "een gewaarschuwd mens telt voor twee". Dit is te meer opmerkelijk omdat in verkeerskundige kringen "verwachtingen" een belangrijk uitgangspunt zijn voor het vormgeven van de verkeersinfrastructuur. Het is daarom van belang nader theorievormend onderzoek te verrichten naar aard, inhoud, vorm, en samenhang van "verwachtingen".

## 2. DE MENSELIJKE FOUT

### 2.1. Algemeen

Wanneer spreken we nu van een menselijke fout? Lourens (1989) bekeek de literatuur op definities van "fout". Het blijkt niet eenvoudig een goed dekkende definitie te geven. Rasmussen e.a. (1987) bestempelen menselijke fouten als handelingen die contraproductief zijn met betrekking tot de persoon (persoonlijke of subjectieve intenties) en doelstellingen. Een groep van experts van de OECD definieerden fouten als gedrag of de effecten van gedrag die ertoe leiden dat een systeem acceptabele grenzen overschrijdt. In beide definities wordt het al of niet benoemen van gedrag als een fout afhankelijk gesteld van het uiteindelijke resultaat dat het gedrag tot gevolg heeft (niet kan hebben). Dit betekent dat het "rijden door rood licht" geen fout is zolang "niemand" in gevaar is gebracht. Ook al slaat de verkeersdeelnemer zich voor het hoofd hoe hij zo stom heeft kunnen zijn dat licht niet te zien, en ook al bibbert hij van schrik. Hale & Glendon (1987) schrijven: "Menselijke fout is een beladen term. Het impliceert het bestaan van een duidelijke beschrijving van correct en foutief gedrag. Een dergelijke normatieve beschrijving van de taak is zelden uitgevoerd en vaak wordt fout dan ook gedefinieerd in termen van de feitelijke resultaten van het vertoonde gedrag. Heeft het gedrag een ongeval tot gevolg dan wordt het beschreven als een menselijke fout, is dat niet het geval dan is er geen fout gemaakt.

In onze studie kunnen we uitgaan van het "gebruik van de verkeersinfrastructuur" in relatie tot het doel waarmee en met welk gedrag van de weggebruiker voor ogen die infrastructuur ontworpen werd. Een mismatch tussen beide kan dan beschreven worden als een "fout". In die zin is het door Leplat (1985) ontworpen model (en door Hale & Glendon (1987) aangepaste model relevant (zie Afbeelding 2). Hierin zien we dat elke mismatch tussen datgene wat de ontwerper voor ogen had als gewenst gedrag en datgene wat uiteindelijk vertoond gedrag is op systeemniveau gezien kan worden als "fout". Deze fout kan veroorzaakt worden door een "verkeerde" interpretatie door het individu van wat door de ontwerper als gewenst gedrag gezien wordt. Ook kan deze fout veroorzaakt worden doordat het individu de taak correct interpreteert, maar (door wat voor oorzaak dan ook) anders uitvoert dan hij hem bedoeld had uit te voeren.



Afbeelding 2. Fout als een normatief concept (naar Leplat, 1985)

Behalve dat de (mis)match tussen gebruik en ontwerp als uitgangspunt wordt genomen, wordt er nog een tweede uitgangspunt gekozen en dat is de indeling in niveaus van taakuitvoering (Rasmussen, 1983) (zie voor een beschrijving van de niveaus par. 1.4.1). Per uitvoeringsniveau wordt beschreven welk type fouten in dit niveau voor komen. Zoals reeds eerder aan de orde is geweest (par 1.4.2) is vooral voor verkeersdeelname op het manoeuvre- en operationele niveau het op vaardigheden en het op regels gebaseerde gedrag de meest voorkomende. Vandaar dat ook in de volgende paragrafen de nadruk ligt op fouten op het vaardigheden- en het regels-niveau. Voor elk van deze niveaus zullen implicaties voor de verkeerstaak en daarmee voor het ontwerp van de infrastructuur worden gepresenteerd.

Voor een begrip van de aard van fouten is nog het volgende van belang. De ene fout is de andere niet! De algemene groep "fouten" kan naar soort onderverdeeld worden in twee categorieën:

1. "Slips" dit zijn afwijkingen tussen de plannen (intenties) en de uitvoering. Deze fouten worden voornamelijk veroorzaakt door "monitoring failure". Deze slips komen alleen voor op het vaardighedenniveau van de taakuitvoering (Reason, 1987, beschreven in Michon e.a. 1990). Wanneer dit soort fout in het schema van Leplat geplaatst wordt dan komt het overeen met de fout waarin de verkeersdeelnemer wel "weet" welk gedrag er beoogd wordt (vanuit het ontwerp) en dat hij dat ook wil uitvoeren, maar daar niet in slaagt.
2. "Mistakes" zijn "fouten" waarbij is het wel zo dat de actie volgens plan verloopt, maar deze actie kan (zal) niet tot het gewenste doel leiden. Mistakes worden vaak veroorzaakt door een gebrekkige "probleemoplos-



sende" (problem solving) activiteit. Mistakes kunnen onderverdeeld worden naar kennisniveau en naar regelsniveau. In Leplat's schema komt dit voor wanneer de verkeersdeelnemer niet het beoogde gedrag blijkt te herkennen.

## 2.2. Aard van de fouten in de routinecomponenten

### 2.2.1. Algemeen

Welke soorten fouten worden gemaakt in de routinetaken? Hale & Glendon, (1987) beschrijven de volgende:

"Cross talk between sequences". Dit treedt op wanneer bij twee verschillende taken en het bereiken van taakdoelen van deels van dezelfde routines gebruik gemaakt wordt. De fout kan ontstaan doordat de voorgaande routines dezelfde waren, in de verdere uitvoering van de taak de verkeerde routines worden gestart. Voorbeeld in het verkeer is het oversteken van een Krimpenwaard kruispunt. Hiervoor dienen dezelfde routines te worden uitgevoerd als voor een gewoon kruispunt, met dat verschil dat bij een Krimpenwaard kruispunt deze sequentie twee maal achterelkaar moet worden uitgevoerd. Een voor de hand liggende fout is dan dat "oversteekroutine gewoon kruispunt" wordt gestart en bij het beëindigen van de routine (oversteken van de eerste rijbaan) de fout wordt gemaakt de tweede routine niet te starten (oversteken tweede rijbaan), maar door te gaan met de "oversteekroutine gewoon kruispunt". Deze fout heeft tot gevolg dat de tweede rijbaan zonder links/rechts kijken wordt overgestoken (voorbeeld Hale & Glendon, 1987).

"Capture by external circumstances". Deze fout treedt op wanneer door externe omstandigheden, de condities van het verkeerssysteem verkeerd worden geïnterpreteerd. Een voorbeeld van dit type fout werd in Hale & Stoep (1988) gegeven. Hale beschrijft hoe hij als Engelsman een avond met Engelse vrienden had doorgebracht in een cafe in een Nederlands dorp, waar hij met de auto naar toe was gereden en welke hij geparkeerd had aan de linkerkant van de weg. Aan het eind van de avond stapte hij in zijn auto en reed geruime tijd aan de linkerkant van de weg, voordat hij zijn fout in de gaten had. Deze fout kon optreden door de "Engelse context": de combinatie "Engels: links verkeer" en "links geparkeerd".

"Capture by internal pre-occupation". Deze fout treedt op wanneer men in gedachte sterk met iets bezig is, en deze gedachten blijken plotseling buiten de intenties om de handelingen te beïnvloeden. Als voorbeeld kan gelden dat iemand op weg is naar een familiebezoek, denkend aan het werk de verkeerde afslag neemt, namelijk niet die naar de familie, maar die naar zijn werk.

Fouten treden in bepaalde situaties vaker op dan in andere. Er zijn verschillende pre-disponerende omstandigheden. Deze omstandigheden spreken grotendeels voor zichzelf. Voorbeelden van deze omstandigheden en bijbehorende fouten zijn:

- veranderde doelen in bekende omstandigheden;
- bekende doelen in veranderde omstandigheden;
- pre-occupatie of afleiding;
- individuele verschillen.

#### 2.2.2. Implicaties voor het ontwerp

Voor het infrastructurele ontwerp is op basis van het bovenstaande het volgende van belang:

##### - Informatie eenduidig en niet ambigu

De informatie op basis waarvan een bepaalde handelingssequentie geselecteerd en in werking gezet wordt moet niet voor tweërlei uitleg vatbaar zijn. Die dubbelzinnigheid kan bijvoorbeeld bestaan door illusies of door het vervormen van waarnemingen. Hale & Glendon (1987) geven van illusies als voorbeeld het verschijnsel dat door mist wordt veroorzaakt. In mist kan (doordat de context wegvalt) een klein figuurtje zoals geprojecteerd op de retina van het oog in feite zowel een groot object ver weg zijn of een kleiner object dichtbij (Roscoe, 1984). Een ander voorbeeld is de vervorming ten gevolge van gewenning (habituatie). Automobilisten die gedurende lange tijd met hoge snelheden hebben gereden gaan steeds minder merken hoe hard ze rijden, doordat zij habitueren aan de snelheid waarmee objecten voorbij gaan in hun perifere gezichtsveld. Alleen wanneer ze de autosnelweg verlaten, en snelheid moeten minderen hebben ze pas in de gaten hoe snel ze uiteindelijk reden, en moeten ze vaak harder remmen dan ze verwacht hadden (Schmidt & Tiffin, 1969). Deze gewenning kan wellicht sneller doorbroken te worden door via andere dan de visuele en auditieve

zintuigen informatie te geven over de snelheid. Wellicht door middel van verhoogde dwarsstrepen over het wegdek. Een ander voorbeeld van ambigue informatie welke niet met het infrastructureel ontwerp, maar wel met voertuigontwerp te maken heeft is de huidige mistlamp/achterlichtconfiguratie. Onduidelijk is of de verhoogde lichtsterkte een teken is van het gebruik van een mistachterlamp, of dat er door de auto's voor geremd wordt. Juist in mist waarin een context voor de interpretatie van de informatie ontbreekt kan een onjuiste interpretatie leiden tot een onveilige situatie.

- Overbelasting van aandacht en herinnering

Volgens Hale wordt autorijden gekenmerkt door de noodzaak gelijktijdig velerlei processen te bewaken. Zo moet men de positie op de weg handhaven, in de gaten houden wat voor en achter gebeurt. Het is van belang de verkeerstaak zodanig te ontwerpen dat het te bewaken proces te overzien is in zijn complexiteit, en dat het past in de routines zoals die al door de mensen worden uitgevoerd. Hierbij kan gedacht worden aan de noodzaak ook informatie te bewaken met een hoge regelmaat, zowel in het voertuig als aan de weg. Dit kan gemakkelijk tot overbelasting leiden, omdat het nog niet een vaste component is van het mentale model van het te bewaken proces.

Moray (1990) waarschuwt voor nog een ander verschijnsel bij het gebruik van allerlei informatieverstrekende instrumenten zowel in het voertuig als langs de weg. Hij stelt dat al deze instrumenten (afhankelijk van de snelheid waarmee de informatie kan veranderen) een "calling priority" hebben. Dit wil zeggen dat eens in de zoveel tijd de verkeersdeelnemer zich automatisch op de hoogte zal stellen van de informatie. Dit automatisme is moeilijk te onderdrukken en het is goed voorstelbaar dat deze "calling priority" tot overbelasting leidt en ook tot het verstoren van gedragsroutines.

- Onverwachte externe signalen

Getrainde handelingssequenties kunnen draaien op basis van beperkte bewaking, en zijn derhalve ook gevoelig voor onverwachte interruptie. Derhalve zal elke reductie van onverwachte interruptie ten goede komen aan de veiligheid. Het is noodzakelijk de wereld zo vorm te geven dat deze overeenkomt met de verwachtingen van de persoon in kwestie.

### - Signalen voor het overgaan op een ander niveau van uitvoering

Bij het ontwerp van de infrastructuur moet uitgegaan worden van een weggebruiker die afhankelijk van de mate van geoefendheid zijn taak min of meer automatisch uitvoert. Dit automatisme is weinig foutgevoelig en dient dermate niet onnodig doorbroken te worden. Echter deze automatismen zijn enkel geldig in een nauw omschreven taakomgeving. Gestreefd dient derhalve te worden naar een taakomgeving die aansluit bij de door de automobilist ontwikkelde routines. Daar waar de taakomgeving afwijkt van de verwachte taakomgeving, moet de weggebruiker tijdig gewaarschuwd worden, zodat hij over kan gaan tot een meer "bewuste" taak uitvoering.

Met waarschuwen in deze wordt bedoeld dat er stimuli in de taakomgeving bestaan die de automobilist naar een "hoger bewustzijns"-niveau brengen. Dit hoeven dus niet noodzakelijkerwijs expliciete waarschuwingen te zijn zoals "spoorvorming" of "gevaarlijke kruising".

### 2.3. Menselijke fouten op het regelsniveau

#### 2.3.1. Algemeen

Net zoals het eerder beschreven TOTE-systeem (Test-Operate-Test-Exit) afwijkingen doorgeeft op het vaardighedenniveau, bestaat er ook een controlesysteem op het regelsniveau. Dit controlesysteem heeft in tegenstelling tot het TOTE-systeem wel "bewuste informatieverwerking" (aandacht) nodig om te kunnen functioneren. Het houdt in de gaten of het vooraf gestelde doel bereikt wordt, bijvoorbeeld of de auto op de weg gehouden wordt. Het is dit controlesysteem dat ook tekenen van gevaar uit de buitenwereld oppikt. Ook de fouten die op vaardighedenniveau gemaakt worden en niet opgemerkt worden door het TOTE-systeem kunnen in tweede instantie opgemerkt worden door de controle op regelsniveau.

#### 2.3.2. Implicaties voor het ontwerp

Ontwerpers kunnen de informatie die beschikbaar is over de afwijkingen van de normale toestand verbeteren en beschikbaar stellen aan de weggebruiker. Ze kunnen voorzover mogelijk bewust feedback inbouwen voor de weggebruiker met betrekking tot zijn juist uitgevoerde activiteiten en de consequenties van die activiteiten. Daarbij zullen ontwerpers erop moeten letten dat verkeerssituaties niet te veel op elkaar lijken, terwijl ze wezenlijk

verschillende acties van de verkeersdeelnemer vragen. Deze overeenkomsten zouden kunnen leiden tot foutieve generalisaties, zodat verkeersdeelnemers de actie die adequaat is voor de ene locatie vertoont op een andere locatie en daar uitermate onveilig kan zijn.

#### 2.4. Menselijke fouten in de bewuste informatieverwerking (kennisniveau)

Eerder is reeds geconcludeerd dat bij experts verkeersdeelname grotendeels op tactisch en operationeel niveau plaatsvindt. Dit kan pas nadat op kennisniveau de taak is aangeleerd en ook de taakvereisten geïnterpreteerd zijn. De vraag die ook door Tenkink (1988) gesteld wordt is "hoe leert (op kennisniveau) de beginner welke gedragingen veilig en welke onveilig zijn"?

Ongevallen en "bijna ongevallen" zijn bronnen waarmee informatie over gevaar en gemaakte fouten kan worden verkregen. Tenkink (1988) veronderstelt dat deze afweging door de beginner gemaakt wordt op basis van conflicten en bijna ongevallen. Er zijn echter indicaties dat hier van ongevallen of fouten nauwelijks geleerd wordt. Uit de studie van Rothe (1987) bleek dat jongeren hun gedrag na een verkeersongeval naar hun zeggen niet hebben veranderd. Gedeeltelijk wordt dit verklaard door het feit dat ze van mening zijn dat zij geen fouten hebben gemaakt en het gedrag van de tegenpartij onberekenbaar vonden.

Het meemaken van ongevallen kan zelfs een negatief effect hebben op de veiligheidsbeleving. Hale & Glendon (1987) concluderen dat het "verwikkeld raken in een ongeval zonder ernstige gevolgen" de persoon de indruk kan geven dat "het allemaal wel meevalt". Hetzelfde geldt ten aanzien van "bijna ongevallen". Het goed aflopen van een riskante actie kan tot de beslissing leiden dat "zoiets dus best kan" waardoor het riskante gedrag niet veranderd wordt.

Bovengenoemde verschijnselen zijn niet specifiek voor jongeren, maar zijn geconstateerd bij onder meer "beleidmakers, piloten en scheepvaartpersoneel". Hale & Glendon (1987) stellen dat ongevallen beleefd worden als zeldzame gebeurtenissen in normale situaties, en dit leidt tot de veronderstelling dat van ongevallen of bijna ongevallen "niets geleerd" kan worden.

## 2.5. De geschiktheid van bestuurders

Sivak (1985) noemt het "transiënt states", Lourens (1990) noemt het katalysatoren, maar beiden zijn het er overeens dat automobilisten vaak om velerlei redenen suboptimaal (dat wil zeggen onder hun niveau) presteren. Oorzaken hiervoor kunnen gelegen zijn in vermoeidheid, stress, alcoholen/of medicijngebruik, pre-occupatie etc. Dit soort invloeden zijn er oorzaak van dat het gedrag van de bestuurder (tijdelijk) minder optimaal is dan gewenst. In eerste instantie lijkt voorlichting het geëigende middel om er voor te zorgen dat men niet in een suboptimale conditie aan het verkeer deelneemt. Anderzijds weten we dat de reikwijdte van voorlichting om te resulteren tot blijvende gedragsveranderingen beperkt is (Kok & Vogel, 1989). Het lijkt dan ook gewenst en realistisch dat de ontwerper in zijn ontwerp criteria niet uitgaat van de "optimaal" functionerende automobilist, maar ook van de suboptimaal functionerende.

In dezelfde sfeer ligt het vormgeven van infrastructuur in relatie tot specifieke groepen verkeersdeelnemers. Te denken valt in deze aan de beginnende automobilist en de "grijze" automobilist. Beide groepen hebben eigensoortige ontwerpen nodig.

## 2.6. Discussie en conclusies

Op basis van het gepresenteerde kan geconcludeerd worden dat het wenselijk is de verkeersinfrastructuur zodanig vorm te geven dat het de verkeersdeelnemer de mogelijkheid biedt "routinematig" en "geautomatiseerd" aan het verkeer deel te nemen. Een dergelijke vormgeving faciliteert het leerproces, vermindert fouten en vermindert de mentale belasting waardoor de taak over langere tijd foutloos kan worden uitgevoerd. In dit hoofdstuk zijn verschillende eisen die gesteld kunnen worden aan het infrastructuureel ontwerp geïnventariseerd.

In het algemeen gesproken is de consequentie dat de bedoeling van het ontwerp (het beoogde gedrag) bij de gebruiker "bekend" moet zijn. Een bedoeling is bij de weggebruiker "bekend" wanneer hij deze kan afleiden uit het ontwerp (liefst automatisch) en automatisch de "juiste gedragsroutine" op gang gebracht wordt zonder een noodzakelijke "beslissing".



Problemen zullen ontstaan wanneer condities op elkaar lijken, maar in feite anders zijn, en ook ander gedrag van de verkeersdeelnemer eisen. Hiervoor zijn twee oplossingen mogelijk. De verkeersinfrastructuur wordt dusdanig aangepast dat de verwarring niet optreedt, of dat de verkeersdeelnemer tijdig naar het "bewuste niveau van informatieverwerking" wordt gebracht. Hoewel deze laatste oplossing financieel gezien goedkoper is (een aantal flitsende lichten zijn snel geplaatst) is deze oplossing in termen van "geïnvesteerde menselijke energie" en "potentiële fouten" duurder.

Een belangrijke overweging die een rol behoort te spelen in de ontwerpfase van de "infrastructuur" is standaard rekening houden met suboptimaal functionerende verkeersdeelnemers. Deze - zo is betoogd - zijn meer regel dan uitzondering.

Daarnaast is duidelijk dat binnen de grote groep van verkeersdeelnemers subgroepen te onderscheiden zijn die met "ingebakken" beperkingen aan het verkeer deelnemen. De beginnende verkeersdeelnemer (per vervoerswijze) is een zo'n groep. Hierbij kan gedacht worden aan de beginnende fietser en schoolroutes zijn een goed voorbeeld van het soort afstemming dat gezocht en bereikt kan worden. Een andere beginnening die ongunstig afsteekt in de ongevallenstatistieken is de beginnende automobilist. In voorgaande paragrafen is laten zien dat het onvoltooide leerproces kan leiden tot een "foutgevoelige" verkeersdeelname. Juist de verkeersinfrastructuur moet voor de beginner eenduidig, consistent, en tolerant voor fouten zijn.

### 3. INFRASTRUCTUUR EN VERKEERSGEDRAG

#### 3.1. Algemeen

In het voorgaande hoofdstuk is gesproken over fouten in relatie tot infrastructuur, waarbij fouten gedefinieerd werden als discrepanties tussen het beoogde gedrag (vanuit het gezichtspunten van de ontwerper) en het vertoonde gedrag door de weggebruiker. In dit hoofdstuk beperken we ons tot vertoond gedrag zonder dat dit in bovenstaande zin foutief gedrag hoeft te zijn. Het doel is om de invloed van de infrastructuur op het gedrag vast te stellen. Uitgaande van het eerder gepresenteerde schema van de verkeers-taak (input - verwerken - output) zal de beschrijving beperkt blijven tot de relatie input (= verkeersinfrastructurele kenmerken), verwerken (hier geoperationaliseerd als mentale belasting) en output (= vertoond verkeers-gedrag). Deze beperking vraagt om enige toelichting.

Het deelnemen aan het verkeer gebeurt in hoge mate op basis van routine (zie voorgaande hoofdstukken). Dit betekent dat er op basis van de input automatisch (zonder denken of aandacht) een output gekozen wordt (vaardig-hedenniveau). Alleen wanneer een keuze gemaakt kan worden uit verschillen-de gedragsopties of wanneer er geen gedragsoptie beschikbaar is, is "aan-dacht" nodig om die koppeling tussen input en output tot stand te brengen.

Het voorgaande heeft consequenties voor wat "meetbaar" of "observeerbaar" is in het verkeer. In het geval van een automatische koppeling vindt moge-lijk wel "verwerking" plaats, maar deze verwerking is niet-bewust, en de persoon kan dan ook niet rapporteren wat zijn overwegingen zijn geweest om een bepaalde gedragssequentie uit te voeren. Dus het enige dat meetbaar is, is de "input" (dat wat de verkeersdeelnemer kan zien), dat wat de verkeersdeelnemer doet (de output), en wat het hem aan inspanning kost (mentale belasting).

In het geval dat koppeling tussen input en output niet op vaardigheden-niveau plaats vindt, maar op regels- of kennisniveau, vindt de verwerking plaats op (semi) bewust niveau. In principe zou deze verwerking te meten zijn. Personen zouden ondervraagd kunnen worden over hun overwegingen, als de verwerking niet zo snel of ontoegankelijk verloopt dat wel aandacht nodig is, maar het proces zelf niet "verwoordbaar" is. De persoon zal wel



trachten te verwoorden wat hij denkt dat zijn beslissingen of overwegingen zijn geweest, maar de validiteit is dan gering wat betreft het feitelijke proces. Dat dit zelfs het geval is met het vertoonde gedrag blijkt uit onderzoek naar de relatie tussen zelf gerapporteerd gedrag en feitelijk vertoond gedrag onder fietsers (Lourens e.a., 1986).

Wanneer de verkeersdeelnemer geïnstrueerd zal worden te onthouden wat "hij doet", zal hij dat redelijk goed kunnen verwoorden voor gedrag op kennisniveau, maar veel slechter voor gedrag op vaardighedenniveau.

De conclusie is dan ook dat geobserveerd gedrag (output) de meest betrouwbare informatie verschaft over de invloeden van de verkeersinfrastructuur. Maar, hoewel in voorgaande alinea beargumenteerd is dat de "verwerking" niet direct betrouwbaar observeerbaar is, kunnen door middel van het variëren van de taakbelasting (dubbeltaken) en/of psychofysiologische registratiemethoden indicaties gevonden worden voor "verwerking", met name de belasting van het systeem, en de complexiteit van de beslissingen.

Zoals reeds in de eerdere hoofdstukken gesignaleerd is blijkt ook hier weer dat het meeste onderzoek betrekking heeft op autorijden en nauwelijks relevant is voor andere vervoerwijzen. Ook is het niet mogelijk om bevindingen die betrekking hebben op autorijden te generaliseren naar andere vervoerwijzen.

Het hoofdstuk is als volgt ingedeeld: In par. 3.2 zullen bevindingen uit onderzoek gepresenteerd worden die betrekking hebben op de relatie tussen input en output; in par. 3.3 zullen bevindingen uit onderzoek gepresenteerd worden met betrekking tot de "verwerking", waarna de conclusie volgt.

### 3.2. Verkeersgedrag (input en output)

#### 3.2.1. Visuele oriëntatie (input)

Tot nu toe is datgene wat aan de verkeersdeelnemer wordt aangeboden als verkeersomgeving input genoemd. Dit kan de indruk wekken dat naar alles wat wordt aangeboden ook door de verkeersdeelnemer wordt gekeken. Niets is minder waar. Op de eerste plaats komt dit doordat het visuele systeem ernstig beperkt is in capaciteit. Zo wordt er gemiddeld maar 2,5 keer per

seconde naar iets gekeken (foveaal), terwijl de duur van dat kijken gemiddeld 0,5 seconden bedraagt. Zodra het oog beweegt wordt nauwelijks iets gezien, dan is men vrijwel blind. Wel is het mogelijk perifeer wel sterk snel wisselende signalen waar te nemen en wanneer de informatie redundant is met informatie verkregen uit andere bronnen.

Toch is dit gezichtsvermogen voldoende omdat:

- de verkeersomgeving sterk gestructureerd is;
- de snelheid waarmee veranderingen kunnen optreden beperkt is;
- de voertuigen zich langs voorgeschreven paden voortbewegen.

De vraag die beantwoord moet worden is: "Waardoor wordt de frequentie waarmee naar iets gekeken bepaald?". Ter beantwoording van deze vraag is het volgende onderscheid van belang. Visuele selectie wordt enerzijds bepaald door de verwachtingen van de verkeersdeelnemer en de informatie die hij nodig heeft om de taak goed te kunnen uitvoeren (top down) en anderzijds door de "opvallendheid" in termen van de fysieke eigenschappen van het object (bottom up). Voor een uitgebreide beschrijving van dit onderscheid wordt verwezen naar Hagenzieker (1989).

Moray (1990) geeft een beschrijving van het ontstaan van zo'n top down gedreven visuele selectie. Hij zegt: "Wanneer een persoon een taak heeft uitgevoerd welke onder meer visuele "monitoring" en "guidance" inhoudt gedurende een lange periode (ten minste 10 uur) dan bouwt deze persoon een mentaal model op van de dynamiek in tijd en ruimte van de variabelen die als relevant worden gezien voor de taakuitvoering en van de kosten en beloningen die samen hangen met de verschillende gebeurtenissen en uitkomsten. Dit interne model van de omgeving en de "taak" geleiden het scanningspatroon en de frequentie waarmee verschillende informatiebronnen in de omgeving worden bekeken".

Redenerend vanuit het object kan de vraag gesteld worden: "Wat bepaald de kans dat een "object" opgemerkt wordt door een verkeersdeelnemer?". Hughes & Cole (1986) noemen de volgende kenmerken:

- de fysieke eigenschappen van het object en zijn achtergrond (bottom up);
- de informatie-inhoud, waaronder de informatie die voortkomt uit het "ongewone" of onverwachte karakter van het object (top down);
- de informatiebehoefte van de waarnemer, en de "strategie" van de waarnemer, welke deels bepaald wordt door de informatie-inhoud van wat wordt opgemerkt en de informatie behoefte van de waarnemer (top down).

Hughes & Cole (1986) toonden ook aan dat de mate dat naar verkeersrelevante objecten gekeken wordt niet bepaald wordt door de beschikbare aandacht van de verkeersdeelnemer (automobilist). Uit hun onderzoek bleek dat naarmate de automobilisten minder in beslag werden genomen, zij meer naar andere zaken keken dan verkeer.

Geconcludeerd kan worden dat vooral bij autorijden relatief weinig informatie uit de omgeving wordt opgenomen. Des te meer is het van belang dat dat wat "moet" worden waargenomen ook zodanig vormgegeven wordt dat het de aandacht van de automobilist trekt (bottom up) of dat de automobilist er zijn aandacht op richt (top down) (Theeuwes, 1989).

### 3.2. Snelheid (output)

Is er een relatie tussen infrastructuur en gereden snelheden, en staat de gereden snelheid in relatie tot (on)veiligheid?

Fildes et al. (1987) bestudeerden een aantal wegkenmerken in relatie tot rijnsnelheden en beoordeelde veiligheid. Zij keken onder meer naar de netwerkhiërarchie: primaire verkeersaders, secundaire verkeersaders, verzamelstraten (collector roads) en buurtwegen (local roads). Hun bevindingen wijzen erop dat naarmate de categorie van de wegen hoger was en meer rijstroken hadden er een tendentie was om de gereden snelheid als te laag in te schatten, dus harder te rijden dan ze in feite dachten dat ze reden. De onderzoekers stellen dat er sprake is van enig verlies van sensitiviteit van automobilisten op hogere-ordewegen, welke niet samenhangt met snelheidsadaptatie of vermoeidheidseffecten.

Riemersma (1988a) keek in het bijzonder naar de door weggebruikers geschatte veilige snelheid in woonstraten. Hij concludeerde dat veilige snelheid in die situaties niet samenhangt met gevaarlijke situaties (bijv. ontmoetingen met andere verkeersdeelnemers) die zich kunnen voordoen, maar met de manoeuvreerinspanning: de moeite die het kost om het voertuig op de gewenste koers te houden.

Welke aspecten van de infrastructuur blijken nog meer de snelheid te beïnvloeden? Tenkink (1988) geeft een uitgebreid overzicht van de volgende:

#### Wegoneffendheid

Drempels blijken effectief bij voornamelijk lage snelheden, niet te lange

rechtstanden, en niet in verkeersgebieden. Verder is er de zogenaamde "rumble strip". Deze wordt dwars over de weg gelegd: er worden snelheidsreducties gevonden tot 40% (Pettersen, 1985; Zaidel e.a., 1986; Cummings & Croft, 1973). Deze reducties nemen na geruime tijd af, maar verdwijnen niet (Rutley, 1975; Enustun, 1972). Wegoneffenheid heeft een tijdelijke en geringe invloed op gereden snelheid (Karran e.a., 1977; Michels & Van der Heijden, 1978; Kadiyali e.a., 1981; Cooper e.a., 1980).

### Wegbreedte

Bij de relatie tussen snelheid en wegbreedte spelen verhardingsbreedte, kanalisatiemarkering, wegmarkering en vrije-baanbreedte een rol.

Van der Hoeven (1987) geeft een overzicht van empirisch gevonden effecten. Uitgaande van een verhardingsbreedte van 6 m en een gemiddelde snelheid van 80 km/uur heeft een verbreding tot 8 m een snelheidstoename tot 90 km/uur tot gevolg. Kanalisatiemarkering of wegmarkering leidt tot soms tot hogere rijksnelheden. Tenkink (1988) concludeert op basis van empirisch onderzoek dat dergelijke strepen door een betere geleiding de taak eenvoudiger maken, waardoor de snelheid juist toeneemt.

Wellicht nog belangrijker dan verhardingsbreedte en wegmarkering is vrije-baanbreedte. Dat is de breedte tussen de obstakels ter weerszijden van de weg. Uit onderzoek is geconcludeerd dat de snelheid vooral bepaald werd door de afstand tot bijvoorbeeld een bomenrij en minder door die tot de rand van de weg (verhardingsbreedte) (Tenkink, 1988).

### Bogen

Bogen met een boogstraal groter dan 500 m hebben geen effect op de gekozen snelheid. Bij bogen met een geringere boogstraal wordt wel een aanpassing gevonden, maar over de aard en mate van aanpassing bestaat geen overeenstemming. Riemersma (1984) concludeert dat belangrijke andere factoren een rol moeten spelen, zoals de totale hoek, de laterale positiekeuze, lokale bekendheid en de aanwezigheid van voorgaande bogen.

In diverse studies is vastgesteld dat de beoordeling van de kromming van de boog niet door de boogstraal wordt beoordeeld, maar door de grote van de hoekverdraaiing (Fildes & Triggs, 1982; 1985; Riemersma, 1988, genoemd in Schreuder & Schoon, 1990). Het is daarom te verwachten dat hoekverdraaiing meer van invloed is op snelheidskeuze dan de boogstraal.

### Rijzicht

Dit is de lengte langs de wegas waarover de weg nog kan worden waargenomen. Boven een rijzichtlengte van de 300 à 400 m is er amper een effect op snelheid (Van der Hoeven, 1987). Kortere rijzichtlengten blijken wel van invloed te zijn op rijksnelheden. De mate van snelheidsreductie is afhankelijk van de duur van de rijzichtbeperking en de te verwachten variatie in de verkeerssituatie.

Bij bogen beginnen bestuurders ruim voor de boog (2,5 - 5 s) de boog af te zoeken. Is het weggedeelte niet zichtbaar, dan wordt getracht via de ruimere omgeving een idee van de boog te krijgen, zoals met behulp van een bomen- of lichtmastenrij. Hierbij is er onderscheid in ervaren en onervaren automobilisten. De eersten zoeken op grotere afstanden en in een beperkter gebied. De laatsten kijken ook naar niet-relevante objecten (Riemersma, 1989).

### Aanleren "veilige" snelheid

Een belangrijke vraag is hoe relaties tussen omgevingsfactoren, ongevalrisico's en verkeersgedrag worden aangeleerd en verkeersgedrag verandert zonder dat men in ongevallen betrokken raakt (Tenkink, 1988). Het kiezen van een veilige snelheid is een zo'n verkeersgedragskenmerk. Dit leerproces met betrekking tot snelheidskeuze is onderwerp geweest van een studie waarin de ontwikkelingen in rijgedrag gedurende de instructieperiode (rijlessen) van een leerling-automobiliste is gevolgd op een vast traject (De Velde Harsenhorst & Lourens, 1988; 1989). In dit onderzoek was het mogelijk ontwikkelingen in snelheidsgedrag vast te stellen. Uit het onderzoek bleek dat de rijksnelheid amper veranderde en al vroeg (in de eerste vier passages = eerste vier lessen) bepaald was (en dit gebeurde door de leerling zelf en niet door de instructeur). Dit is opmerkelijk aangezien het vaardigheidsniveau van de leerling dan nog gering is, en derhalve de "realiteit van dreiging" hoog is. Mogelijk ligt de verklaring in het leerproces dat reeds plaats heeft gevonden voorafgaande aan de rijlessen; nl. het observeren van stroomkarakteristieken, waaronder stroomsnelheid. Wanneer dit zo is dan blijkt dat "karakteristiek" snelheidsgedrag voor vervoerswijzen aangeleerd wordt, ook als men niet zelf reeds van dat vervoer als bestuurder gebruik gemaakt heeft. Voor een uitgebreide behandeling van deze mogelijke verklaring wordt verwezen naar Twisk (1991).



### 3.2. Koershouden en koersbepalen (output)

Bij koershouden en koersbepalen speelt waarschijnlijk de visuele waarneming (visuele geleiding) een belangrijke rol. Er zijn diverse zaken die koershouden van koersbepalen onderscheiden. Koersbepalen is het vaststellen van een koers en gaat aan de manoeuvre vooraf, terwijl koershouden het volgen van de vastgestelde koers is en plaatsvindt tijdens de manoeuvre. Het eerste is het vinden van de gewenste koers, het tweede het vasthouden van de gewenste koers.

Koershouden is te meten als "slingeren" (laterale deviatie ten opzichte van de weg) en dit is veelvuldig empirisch onderzocht. Koersbepalen is veel moeilijker te meten in de output, en tot op heden zijn gegevens uit empirisch onderzoek over koersbepalen beperkt.

Riemersma (1985) vond dat voor koershouden continue belijning beter is dan discrete met bijvoorbeeld wegdekreflectoren. De ooghoogte en laterale afstand tot bermreflectoren geven aan dat deze middelen in de directe visuele geleiding nauwelijks een rol kunnen spelen; hun belangrijkste rol ligt in het aangeven van toekomstige bogen. Godthelp (1984) neemt aan dat door de positie van de bestuurder (links in de auto) betere observaties ten aanzien van de afstand tot de asstreep kunnen worden gedaan dan tot de rechter kantstreep, waardoor koerscorrecties ten opzichte van de asstreep minder variaties vertonen dan ten opzichte van de zijkant. In een praktijkstudie in Australië (Triggs & Wisdom, 1978) stelden de onderzoekers eveneens het belang vast van visuele geleiding van de asstreep. Bij aanwezigheid van de asstreep werd dichtbij de asstreep gereden; als er geen asstreep was werd dichterbij de wegrand gereden. Voor een uitgebreide beschrijving van de effecten van diverse vormen van wegmarkering op rijgedrag wordt verwezen naar Schreuder & Schoon (1990).

#### 3.2.4. Kruispunten en voorrangsregels

Bij zeer veel ongeregelde kruispunten blijkt dat het verkeer op de ene weg zich gedraagt alsof alle verkeer op de andere (kruisende weg) voorrang moet geven, wat dan ook gebeurt (Noordzij, 1987). De gekozen snelheid in het eerste stadium is voor het verkeer op de (informele) hoofdweg dus al zo dat bij een eigenlijke oversteek niet meer gereageerd zou kunnen worden op dwarsverkeer met voorrang. Toch heeft dit gedrag als resultaat dat er

weinig conflicten ontstaan. Bovendien heeft het verkeer op de (informele) hoofdweg weinig of geen oponthoud. Verkeersdeelnemers zoeken dus blijkbaar zelf zowel naar een vereenvoudiging van hun taken als naar tijdwinst, die in dit geval naar het verkeer op de (informele) hoofdweg gaat.

Noordzij concludeert dat: "de wijze waarop verkeersdeelnemers dat doen lijkt te bestaan uit de vervanging van een aantal afzonderlijke beslissingen over het geven van voorrang door eenvoudiger beslissingsregels en uit het afgaan op verwachtingen over de aanwezigheid en het gedrag van ander verkeer (in plaats van de tijd te besteden aan het feitelijk waarnemen en beoordelen (Noordzij, 1987 blz. 36-37)).

### 3.3. Mentale belasting

"Mentale belasting" is een concept dat nadere definiering nodig heeft, maar waarvoor de definities tot op heden ontbreken. De meest gangbare is "mentale belasting geeft de mate aan dat iemand in beslag wordt genomen door de taakuitvoering" (op basis van Verwey (1990), Jahns, 1973). Dit kan worden vastgesteld door fysiologische parameters (hartslagvariabiliteit, of de P300 van het visueel opgewekte hersenpotentiaal); of door mate waarin iemand nog een tweede taak naast de eerste taak uit kan voeren (dubbeltaak); of door te vragen hoe belast door de taak iemand zich voelt (vragenlijsten).

#### Dubbeltaak

Macdonald & Cameron (1973) gebruikten een dubbeltaak om na te gaan of er een positief effect uitging van het invoeren van parkeerrestricties op de kwaliteit van de uitvoering van de rijtaak. Eerdere studies hadden geen effect op ongevallen of doorstroming aangetoond. Zij concludeerden dat een weg zonder geparkeerde auto's een kleine verlaging van taakzwaarte betekende.

Tenkink (1990) bestudeerde het effect van wegbreedte in relatie tot rij-snelheid en dubbeltaakprestatie. In een simulatorexperiment werden wegbreedten gevarieerd en liet hij tijdens de rit de proefpersonen koers en snelheid bepalen en een continue geheugentaak uitvoeren. De bevindingen wijzen in de richting dat koershouden op zich aandacht vraagt, maar dat het niet meer aandacht vraagt wanneer de weg smal is dan als het een bredere weg betreft. Opgemerkt dient te worden dat de conclusies alleen



betrekking hebben op rechte wegvakken en niet op bogen. Daarnaast is er enige twijfel omtrent de validiteit, daar in condities waarin de snelheid zelf gekozen kon worden deze snelheid "veel" hoger lag dan wanneer deze taak "in werkelijkheid" uitgevoerd zou worden.

Hancock et al. (1990) vergeleken verschillende manoeuvres en de mate waarin deze taken zich van elkaar onderscheiden in termen van mentale belasting. De manoeuvre links afslaan bleek het meest belastend te zijn, rechts afslaan minder en gewoon recht door rijden het minst belastend. Dit resultaat heeft ook een zekere relatie met ongevallen. Hancock e.a. laten zien dat vooral bij linksaf manoeuvres vaker ongevallen gebeuren, en wel vaker ongevallen waarin aan motorrijders geen voorrang wordt verleend. Hun verklaring is dan ook dat door de hoge mentale belasting tijdens de manoeuvre minder "opvallende" voertuigen, zoals motoren, vaker niet opgemerkt worden.

Janssen & Gaillard (1984) bestudeerden taakzwaarte als een functie van de weg. Zij vergeleken provinciale wegen met onder meer autosnelwegen en concludeerden dat over het algemeen de taakzwaarte het grootst was op de autosnelweg. Dit is een opmerkelijke bevinding omdat een autosnelweg een type weg is waar een beperkt (en duidelijk omschreven) aantal uit te voeren manoeuvres is toegestaan. Dit zou inhouden dat de taak eenduidiger is en minder variantie in zich draagt. Janssen & Gaillard geven de volgende verklaring voor de geobserveerde hoge taakbelasting: de automobilist heeft de mogelijkheid de taakzwaarte zelf te beïnvloeden doordat hem de vrijheid is gegeven te kiezen uit een aantal mogelijke manoeuvres. Vooral op een autosnelweg kan hij dat doen door zijn snelheid te variëren en al dan niet in te halen. Op een provinciale weg kan hij dat maar in mindere mate doen.

Rutley & Mace (1972) bestudeerden verscheidene infrastructurele voorzieningen zoals een rotonde, autosnelwegen, en op- en afritten. Zij vonden dat hartslagfrequentie toenam bij op- en afritten (junctions) van de autosnelwegen en op intersections (kruisingen van autosnelwegen?). Hoewel deze toename deels samenhangt met een toename van "motor"activiteit zoals sturen en schakelen, was er een duidelijk effect te bespeuren van "work load".

#### Taakbelasting en ongevallen

In veel onderzoek is nagelaten een relatie te leggen tussen taakbelasting

en onveiligheid. Alleen Harms (1986) en het eerder beschreven onderzoek van Hancock e.a. (1990) vormen hierop een uitzondering. Harms vergeleek "highway" rijden met het rijden in een dorpskern. Zij vond dat het rijden in een dorpskern een hogere mentale belasting vormden (een achteruitgang in dubbeltaakuitvoering) dan het rijden op "highways". Ook vond ze dat een achteruitgang in dubbeltaakuitvoering samenhang met een verlaging van de gereden snelheid. Het opmerkelijke van deze studie is dat zij vond dat de trajecten waarop een hoge mentale belasting bestond, ook de trajecten waren met een relatief hoge ongevallendichtheid. Deze relatie bestond niet tussen gereden snelheid en ongevallendichtheid.

#### 3.4. Conclusies

Zowel met betrekking tot input, verwerking en output is aangetoond dat het infrastructureel ontwerp van invloed is op menselijk gedrag. Tot op heden is helaas deze invloed niet systematisch en diepgaand in kaart gebracht. Ook onderzoek naar de relatie met veiligheid is vrijwel afwezig. Nader onderzoek is gewenst naar de relatie tussen verkeersinfrastructuur, waarneming, informatieverwerking en taakverrichting.

#### 4. TOEPASSINGSGEBIEDEN

##### 4.1. Algemeen

In de voorgaande hoofdstukken is een overzicht gegeven van de factoren die een rol spelen bij de kwaliteit van de aansluiting tussen het infrastructurale ontwerp en het "natuurlijke gedrag" van de weggebruiker.

In dit hoofdstuk zullen enkele toepassingsgebieden worden besproken en voorzover beschikbaar zullen effectiviteitsstudies gepresenteerd worden. De vier gebieden zijn: wegcategorisering (par 4.2.), "vanzelfsprekende" weg (self-explaining road) (par. 4.3), ontwerpeisen, detectie en behandelingsmethoden van onveiligheid (par. 4.4), permanente zwakheden (failure types) en veiligheid (par 4.5), en positieve (be)geleiding (par. 46), .

##### 4.2. Wegcategorisering

Het onderwerp "wegcategorisering" komt ook, in meer uitgebreide vorm, elders aan de orde (Twisk (1991b)). Hier wordt nu verwezen naar bovengenoemde rapportage. Hier wordt nu alleen een samenvatting gegeven.

Wegcategorisering is een toepassing die door Griep (1971) reeds gepropageerd werd. Hij bepleitte een meer homogeen ontwerp van wegen, met als doel de vormgeving van de weg op een zodanige uniforme wijze aan te passen aan de functie van de weg, dat de weggebruiker op basis van het ontwerp onmiddellijk zou herkennen wat voor soort weg het was en wat voor soort het niet was. Dit herkennen zou voor de weggebruiker inhouden dat hij meteen zou weten op welke manoeuvres de weg was berekend en met welke manoeuvres van andere weggebruikers hij rekening diende te houden. Dit zou weer betekenen dat weggebruikers minder afhankelijk zouden zijn van tijd- en plaatsafhankelijke informatie voor hun onmiddellijke taakuitvoering. Hetgeen een reductie in de informatielast zou inhouden.

Binnen groepen van wegen (categorieën) moet het wegontwerp homogeen zijn voor wat betreft wegbreedte, frictie, toegestane manoeuvres, en boogstralen. Tussen de categorieën van wegen zouden er dan juist grote verschillen moeten zijn om uiteindelijk eenduidigheid te garanderen en om verkeerde veronderstellingen bij de weggebruiker over de categorie waartoe de weg behoort te voorkomen.

Te verwerken "informatie" per tijdeenheid mag wellicht wat gedateerd lijken en verwijzen naar "vroeg" theorieën (1950-1960) omtrent de menselijke informatieverwerking. De idee echter dat foutloos gedrag gefaciliteerd kan worden door onnodige variatie in het ontwerp van de taak en taakomgeving te vermijden is ook heden ten dage actueel en sluit aan bij meer recente theorieën over menselijke verrichtingen. Neem nu bijvoorbeeld de productieregels (Anderson, 1983), zoals die al in Hoofdstuk 2 aan de orde gekomen zijn. Op basis van een "if "(als dit waar is ....) wordt een bepaald antwoord (gedrag) gekozen, "then" dan dat. Het is essentieel met betrekking tot verkeersdeelname dat de "if"-conditie juist wordt geclassificeerd.

Op basis van de functie van de weg is een "verkeerskundige" categorisering inmiddels gerealiseerd. Voor een uitgebreide behandeling van deze categorisering wordt naar elders verwezen (Dijkstra, 1991b). De vraag die nu nog ter beantwoording ligt is of de categorieën inderdaad ook door weggebruikers worden herkend. Immers, wil er een reductie optreden van tijdafhankeijke informatie of een facilitatie van automatische reacties dan moeten weggebruikers ook wegen die vallen binnen een categorie ook als zodanig groeperen en deze onderscheiden van wegen die niet behoren tot de specifieke categorie.

Empirisch onderzoek biedt aanwijzingen dat mensen wegen onderscheiden van elkaar met betrekking tot bepaalde kenmerken, en dat ze zo komen tot weggroepen waarvan men vindt dat ze gezamenlijke kenmerken hebben. Deze gezamenlijke kenmerken hangen samen met wat door hen ingeschat wordt als een veilige snelheid voor dat soort wegen. Het blijkt dat weggebruikers zelfs tot een groter aantal soorten wegen komt dan de officiële RONA-indeling zoals die gehanteerd wordt door de wegontwerpers (Riemersma, 1988a, 1988b, Fildes et al., 1987).

Het is waarschijnlijk, hoewel dit nog niet empirisch onderzocht is, dat categorisering routinegedrag (op vaardighedenniveau) faciliteert. Van dit gedragsniveau is bekend dat het het minst foutgevoelig is. Wel is nodig dat daar waar de infrastructurele oplossing afwijkt van de standaard, de ontwerper er zorg voor draagt dat de verkeersdeelnemer tijdig overschakelt naar regels- en kennisniveau.

#### 4.3. "Vanzelfsprekende" weg (Self-explaining road)

De "self-explaining road" is een weg die alles zelf uitlegt aan de gebruiker (to explain = make known in detail/ make intelligible). Het idee werd geopperd door Godthelp (1990). Op een dergelijke weg komen weggebruikers niet voor verrassingen te staan. Middelen om te komen tot een van (zich) zelf sprekende weg is onder meer wegategorisering, maar ook belijning, regelgeving etc. Dit idee is aantrekkelijk, onder meer doordat het aansluit bij hoe mensen zelf "begrip in anderen" bewerkstelligen, namelijk door uit leggen. Het is echter ook bedrieglijk in zijn eenvoud. "Uitleggen" zal alleen maar succesvol zijn wanneer er twee partijen in het bezit van een zekere "intelligentie" bij betrokken zijn. Die intelligentie is nodig om in te schatten welke informatie de andere partij nodig heeft en de "ontvangende partij" moet duidelijk kunnen maken wat hij begrijpt en wat hij niet begrijpt.

Wat doet in deze dan de "self-explaining road?" Hij zegt iets zonder de tussenkomst van een "external agent" en wat hij zegt gaat over hemzelf. Cruciaal is dat hij iets zegt en wat er mee beoogd wordt. Als hij begrip wil bewerkstelligen moet hij op de hoogte zijn van "de kennis" van de weggebruiker. Hij moet kunnen in schatten wie hij voor zich heeft en afhankelijk daarvan zal hij de aard van de informatie en de wijze waarop deze gegeven wordt aanpassen.

Voortgaand in deze redenering blijkt dat de "self-explaining road" niet het "doel" is, maar dat het "doel" het in kaart brengen van de "interne representatie" van de weg in het hoofd van de mens. Deze "interne representatie" moet dus bekend zijn alvorens bepaald kan worden welke informatie toegevoegd moet worden, door de "self-explaining road". Dit betekent dat niet de "self-explaining road" het onderwerp van studie is, maar de "interne representatie" van de weggebruiker. Over deze "interne representatie" is helaas nog onvoldoende bekend. Pas wanneer deze interne representatie in kaart is gebracht kan bepaald worden welke informatie de "self-explaining road" daaraan moet toe voegen.

#### 4.4. Ontwerpeisen, detectie en behandelingsmethoden van onveiligheid

Ontwerpers en beheerders van wegen hebben onder meer als taak de veiligheid van hun ontwerp of de veiligheid van de wegen onder hun beheer in te schatten. Hale e.a. (1990) beschrijven de behoefte van de ontwerpers als

volgt: Ontwerpers zijn op zoek naar modellen betreffende menselijke prestatie (human performance) en menselijke fouten (human error) die hen helpen om de verbanden vast te stellen met het door hen gekozen ontwerp, de manier waarop het zal worden gebruikt en het soort gedrag dat het uitlokt en wat uiteindelijk tot ongevallen zal leiden.

Ontwerpers van relatief goedkope produkten kunnen hun prototypen uittesten en daarbij letten op gebruikersgedrag onder condities die de werkelijkheid sterk benaderen. Deze optie is niet weggelegd voor ontwerpers van de verkeersinfrastructuur. Het is voor hen niet mogelijk om goedkope werkelijkheidsgetrouwe prototypen van wegen aan te leggen, alleen met het doel gebruikersgedrag te onderzoeken. Om deze redenen, naast andere, is het ontwerpen van wegen voornamelijk een ambacht geweest dat uitgevoerd werd door gemeentelijke ontwerpers, gebaseerd op persoonlijke inzichten en algemene ontwerpprincipes (Quist, 1981). De laatste 20 jaar is er een toename geweest van evaluatiestudies van wegontwerpen, maar daarin werd het gedrag van de individuele weggebruiker onderbelicht, mogelijk vanwege een gebrek aan afstemming tussen de soort vragen van de ontwerpers en de menselijke gedragsmodellen.

Hale stelt: "De vragen van de ontwerpers komen hier op neer. Wat zullen mensen doen wanneer we deze kenmerken (eigenschappen) onderdeel maken van ons wegontwerp". De meest bruikbare informatie voor de ontwerpers heeft de vorm: indien  $x, y$ , en  $z$  in het ontwerp opgenomen worden dan doen weggebruikers  $C$ . Deze vorm komt overeen met de vorm van (psychologische) produktie-regels (zie Hoofdstuk 2). Daarnaast hebben ontwerpers checklists nodig waarop staat onder welke omstandigheden bepaald gedrag van weggebruikers vermeden moet worden: "Wanneer is  $C$  slecht". Volgens Hale is hierbij niet de vraag aan de orde of de produktieregels een "correcte" representatie zijn van het menselijk gedrag, maar of de produktieregels eraan bijdragen dat ontwerpers acceptabele ontwerpbeslissingen nemen.

Er moet een aantal stappen worden gezet om de nog bestaande kloof tussen "human error"-modellen en ontwerper te dichten. Cognitief-psychologen moeten hiervoor het volgende doen:

1. Er moet een 'pool' van produktieregels gemaakt worden die een adequate beschrijving geven van het feitelijke gedrag van de weggebruikers. Hoeveel regels zijn er nodig om een adequate beschrijving te geven? Hoe is te herkennen welke regels horen bij de desbetreffende weggebruiker?



2. Er moet een 'verwarrings'-index gemaakt worden voor regels. Welke kenmerken maken een regels onderling verwarrend?
3. Leg gevallen van "erosie" van regels vast en ontwikkel een diagnostisch instrument voor regels die aan erosie onderhevig zijn.
4. Specificieer de condities waaraan ontwerpers moeten denken in geval van verwacht gedrag en condities van gebruik, wanneer ze hun ontwerp uittesten.
5. Verzamel en classificeer ongevallen en incidenten op een manier dat het mogelijk wordt conclusies te trekken over de kenmerken van het ontwerp welke verantwoordelijk zijn voor specifieke "break downs" in het gebruik van de produktieregels;
6. Verzamel en classificeer informatie over "human recovery from error", met name in routinetaken, met het doel de factoren te kennen die uiteindelijk leiden tot herstel en de noodzakelijke tijdspanne, waardoor het mogelijk is aan te geven welke fouten waarschijnlijk niet (tijdig) te herstellen zijn.

#### 4.5. Permanente zwakheden (failure types) en veiligheid

Elk systeem kent "zwakke plekken". Wagenaar & Reason (1990) stellen dat ongevallen het indirecte gevolg zijn van die zwakke plekken, maar dat in het verkeer de tendens bestaat de directe oorzaken van ongevallen te bestrijden in plaats van te kijken naar de diepere oorzaken. Deze diepere oorzaken noemen zij "failure types".

Wagenaar presenteert op basis van enkele studies (Reason, 1990; Reason et al., 1988; Wagenaar & Groeneweg, 1987; Groeneweg & Wagenaar, 1986, 1989) voor het verkeer de volgende "failure types":

- hardware defecten zoals slecht ontworpen kruispunten en onveilige voertuigontwerpen;
- incompatibele doelen binnen hetzelfde systeem; snelheidslimieten bijvoorbeeld verhogen de veiligheid, maar houden ook tijdverlies in;
- slechte procedures zoals onduidelijke of onlogische regelgeving (bijv. op rotondes);
- inadequate training van beginners (op een te jonge leeftijd, of inadequate examensysteem);
- condities die overtredingen "uitlokken" (overbodig toepassen van verkeerslichten, het ontbreken van handhaving, wegwerkzaamheden die leiden tot langdurig oponthoud, onvoldoende parkeerfaciliteiten)



- gebrek aan organisatie (geen consistent verkeersbeleid, geen systematisch verzamelen van ongevalgegevens, geen adequate reactie op klachten uit de gemeenschap).

Deze lijst is maar in beperkte mate van toepassing op de verkeersinfrastructuur. De meeste belangrijke items die dat wel zijn: regelgeving in relatie tot infrastructuur; de incompatibele doelen; en de infrastructurele oplossingen die onveilig gedrag uitlokken.

De belangrijkste die op basis van ongevallenstudies blijkt is de incompatibele relatie tussen veiligheid en haast/snelheid. Wagenaar en Reason stellen dan ook dat het verkeerssysteem zodanig vormgegeven moet worden dat het net als in het rail- en luchtverkeer niet mogelijk is veiligheid in te ruilen voor snelheid.

#### 4.6. Positieve (be)geleiding (positive guidance)

Voorgaande toepassingsgebieden zijn alleen (nog maar) plannen en hebben het toepassingsstadium nog niet bereikt. "Positive guidance" daarentegen is reeds toegepast. Het betreft een benaderingswijze die tot doel heeft de veiligheid en efficiëntie van de afwikkeling te verbeteren op probleemlocaties. Een centrale aanname in de benaderingswijze is dat verwachtingen van automobilisten en het doorkruisen van die verwachtingen een belangrijke bijdrage kan leveren aan de onveiligheid. Om dit aangenomen negatieve effect te verkleinen worden worden informatiesystemen gebruikt om de eigenschappen van de locatie en de kenmerken of eigenschappen van de automobilisten op elkaar af te stemmen, er vanuit gaande dat aan automobilisten voldoende informatie gegeven kan worden dat het aantal incidenten en ongevallen op probleemlocatie terug zal lopen (Post et al., 1981; Lunenfeld, 1980; Hostetter & Lunenfeld, 1982; Lunenfeld & Powers, 1985). De benadering kent een aantal problemen. Op de eerste plaats is niet aangetoond in hoeverre het mogelijk is daar waar verwachtingen doorkruist worden door de gekozen infrastructurele oplossing, door extra informatie de negatieve effecten van de doorkruising teniet te doen. Het is aannemelijk dat het aanwenden van informatie om het doorkruisen van verwachtingen te vermijden, op zichzelf extra tijden/of inspanning zal vergen voor de verwerking, vooral daar waar ze niet standaard zijn en de automobilist te maken krijgt met een groter aantal keuzemogelijkheden. De verwachting is dan ook dat het aanbieden van extra informatie niet het ongewenste effect volledig opheft, maar alleen ten dele compenseert.

## 5. SAMENVATTING, CONCLUSIES EN DISCUSSIE

### 5.1. Samenvatting en conclusies

Bij het vormgeven van de verkeersinfrastructuur wordt op de tekentafels rekening gehouden met het veronderstelde gedrag van de verkeersdeelnemer. Er wordt uitgegaan van veronderstellingen met betrekking tot zijn snelheidsgedrag, koersbepaling, visuele zoekpatronen, en dat hij bepaalde kenmerken/objecten zal opmerken. Zelden wordt geëvalueerd of het veronderstelde gedrag inderdaad overeenkomt met het "feitelijke" gedrag van de verkeersdeelnemer. Er zijn verschillende redenen om aan te nemen dat er een zekere discrepantie zal bestaan. Deze discrepantie kan het gevolg zijn van het feit dat te weinig rekening is gehouden met: menselijke (on)mogelijkheden, gefixeerde gedragspatronen ten gevolge van het leerproces, de suboptimale conditie waaronder aan het verkeer wordt deelgenomen, de verwachtingspatronen. Ook is het menselijk functioneren verre van "foutloos" (reliable), en sommige fouten treden eerder op, onder bepaalde omstandigheden dan anderen. Verder kent het menselijke gedrag in het verkeer een aantal bijna "wetmatigheden" (zie gefixeerde gedragspatronen) die sterk samenhangen met de kenmerken van de infrastructuur.

Ontwerpers van de verkeersinfrastructuur zullen in hun ontwerp rekening moeten houden met verkeersdeelnemers die ernstig beperkt zijn in hun vermogen om in korte tijd (milliseconden) informatie te verwerken, beslissingen te nemen, en acties uit te voeren. Juist in verkeersdeelname, op tactisch en operationeel niveau, is het nodig de informatieverwerking, beslissingen nemen en handelingen uitvoeren in deze beperkte tijdspanne te doen. Door training slaagt de verkeersdeelnemer (en met name de automobilist) er in aan deze eis te voldoen. Deze training heeft namelijk tot gevolg dat een groot aantal handelingen automatisch zullen verlopen. Hierdoor kunnen meerdere handelingen gelijktijdig worden uitgevoerd en is het niet meer nodig steeds weer beslissingen te nemen. De automatisering heeft ook als voordeel dat een geautomatiseerde routine minder foutgevoelig is (zie Hoofdstuk 3). Een ernstig nadeel is dat handelingen minder flexibel worden en dat als in een geautomatiseerde routine fouten geslopen zijn deze bijna niet meer te corrigeren zijn. Een derde beperking is dat toestanden die een "afwijkingen van normaal" in de verkeersinfrastructuur inhouden minder snel zullen worden opgemerkt en waarschuwingen betreffende afwijkingen over het hoofd gezien dreigen te worden.

Aangenomen wordt dat "verwachtingen" een belangrijke rol spelen, in de zin dat gebleken is dat wanneer een conditie verwacht wordt, er sneller en adequater wordt gereageerd. Echter, er bestaat weinig theoretisch-inhoudelijke kennis over wat "verwachtingen" zijn en hoe ze gevormd worden; amper meer dan "een gewaarschuwd mens telt voor twee". Dit is te meer opmerkelijk omdat in verkeerskundige kringen "verwachtingen" een belangrijk uitgangspunt zijn voor het vormgeven van de verkeersinfrastructuur. Het is daarom van belang nader theorievormend onderzoek te verrichten naar aard, inhoud, vorm en samenhang van "verwachtingen".

Op basis van het gepresenteerde kan geconcludeerd worden dat het wenselijk is de verkeersinfrastructuur zodanig vorm te geven dat het de verkeersdeelnemer de mogelijkheid biedt "routinematig" en "geautomatiseerd" aan het verkeer deel te nemen. Een dergelijke vormgeving faciliteert het leerproces, vermindert fouten en vermindert de mentale belasting waardoor de taak over langere tijd foutloos kan worden uitgevoerd. Verschillende eisen die gesteld kunnen worden aan het infrastructureel ontwerp zijn geïnventariseerd.

In het algemeen gesproken is de consequentie dat de bedoeling van het ontwerp (het beoogde gedrag) bij de gebruiker "bekend" moet zijn. Een bedoeling is bij de weggebruiker "bekend" wanneer hij deze kan afleiden uit het ontwerp (liefst automatisch) en automatisch de "juiste gedragsroutine" opgang gebracht wordt zonder een noodzakelijke "beslissing".

Problemen zullen ontstaan wanneer condities op elkaar lijken, maar in feite anders zijn en ook ander gedrag van de verkeersdeelnemer eisen. Hiervoor zijn twee oplossingen mogelijk. De verkeersinfrastructuur wordt dusdanig aangepast dat de verwarring niet optreedt, of dat de verkeersdeelnemer tijdig naar het "bewuste niveau van informatieverwerking" wordt gebracht. Hoewel deze laatste oplossing financieel gezien goedkoper is (een aantal flitsende lichten zijn snel geplaatst) is deze oplossing in termen van "geïnvesteerde menselijke energie" en "potentiële fouten" duurder.

Zowel met betrekking tot input, verwerking en output is aangetoond dat infrastructureel ontwerp van invloed kan zijn op vertoond verkeersgedrag. Gevonden is dat wegbreedte, vrije-baanbreedte en veronderstelde manoeu-

vreerinspanning van invloed zijn op de rijsnelheid, dat vormgeving, opvallendheid, en het verrassingseffect onder meer bepalen of een object door verkeersdeelnemers gezien wordt of niet, dat infrastructurele ontwerpen zich van elkaar onderscheiden in de mentale belasting voor de verkeersdeelnemer.

Een adequate beschrijving van hoe de aangeven relaties vorm krijgen en zich ontwikkelen ontbreekt tot op heden. Wel zijn er aanwijzingen die de indruk wekken dat ten gevolge van een uitgebreid leerproces de reactie op de verkeersinfrastructuur min of meer automatisch verloopt. Dit lijkt op gespannen voet te staan met het vaak gebruikte begrip "verwachtingen" op basis waarvan de aard van de relatie tussen verkeersinfrastructuur en gedrag wordt beschreven. Dit hoeft echter niet zo te zijn, in de zin dat tijdens de formering van de routines (automatismen) verwachtingen (gedefinieerd als datgene dat men "zich voorstelt" wat in de toekomst kan gebeuren) zeker een rol kunnen hebben gespeeld.

Inzichten in de relatie tussen infrastructuur en verkeersgedrag kunnen leiden of hebben reeds geleid tot een aantal toepassingen:

1. Elk systeem kent zijn zwakke plekken, in de zin dat er condities bestaan die kunnen leiden tot onveiligheid. Deze onveiligheid hoeft niet direct zichtbaar te zijn en op dezelfde tijd en plaats voor te komen als de "zwakke plek". Voorbeeld is bijvoorbeeld het inconsistent toepassen van waarschuwingen. Een gewaarschuwd mens telt voor twee, maar een gewaarschuwd mens die ervaart dat de gevaarlijke situaties waarvoor gewaarschuwd wordt nimmer optreden, zal op den duur de waarschuwingen negeren, en mogelijk dientengevolge een ongeval krijgen. Dit ongeval is niet het gevolg van het overtreden van een verkeersregel, maar het onheuse gebruik van waarschuwingen door wegbeheerders. Inzichten in het menselijk functioneren kunnen gebruikt worden om dit type zwakke plekken te identificeren.
2. Een gebruikelijke methode om na te gaan of beoogd gebruik van een ontwerp overeen komt met feitelijk gebruik is om het prototype aan mensen in gebruik te geven en te onderzoeken wat ze er mee blijken te doen, welke problemen er bestaan in het gebruik, en welke oneigenlijke (en gevaarlijke) gebruikswijzen mogelijk zijn. De merites van een bepaald wegontwerp voor een nieuw traject of het veranderingen van een oude situatie kan niet op deze wijze getest worden. Inzichten in menselijk functioneren kunnen toegepast worden om enerzijds simulaties van bepaalde infrastructurele oplossingen te realiseren, of om systematisch waarschijnlijke en mogelijke menselijke gedragingen/fouten te inventariseren.



3. De bron voor fouten kan gereduceerd worden voor standaard oplossingen te maken voor standaard problemen. Dit biedt aan de verkeersdeelnemer de mogelijkheid van het infrastructurele ontwerp af te leiden welke mogelijke verkeerssituaties er zijn. Door het leren herkennen van deze situaties en het koppelen van deze situaties aan correct verkeersgedrag wordt de verkeerstaak minder complex, de uitvoering minder foutgevoelig. Het categoriseren van wegen op basis van toegestane manoeuvres gecombineerd met toegestane vervoerswijzen is zo'n standaard oplossing voor een standaard probleem.

4. Toch zal het niet mogelijk zijn (veelal om praktische redenen) een optimale infrastructurele oplossing te realiseren vanuit het oogpunt van de weggebruiker. Inzichten in menselijke functioneren geven aanwijzingen hoe de negatieve effecten van de suboptimale oplossingen geminimaliseerd kunnen worden. Dit kan door het optimaliseren van waarschuwingen en het optimaliseren van het toepassen van geleidingsstrepen markeringen.

## 5.2. Discussie

Toen met deze literatuurstudie begonnen werd bleek dat onder de trefwoorden "infrastructuur" en "menselijk gedrag" weinig literatuur beschikbaar was die zich leende voor een samenhangende beschrijving van de relatie tussen menselijk gedrag en infrastructuur. Om zo'n samenhangende beschrijving wel te kunnen maken is teruggegrepen op beschikbare kennis uit andere gebieden van de verkeerspsychologie en verrichtingsleer.

De gekozen methode is om niet uit te gaan van de verkeersdeelnemer als een "gegeven", maar door de vraag te stellen "hoe is het mogelijk dat een mens met zijn beperkte mogelijkheden, zo'n complexe taak - dat deelnemen aan het verkeer blijkt te zijn - zo succesvol uit kan voeren?". Dit is eigenlijk het omgekeerde van de vraag die meestal gesteld wordt "Hoe is het mogelijk dat de mens zoveel fouten maakt?".

Gaandeweg de literatuurstudie bleek dat het juist door de gekozen invalshoek mogelijk was gebieden die geïsoleerd leken (zoals bijvoorbeeld het beginnende automobilisten, verkeersinfrastructuur, verwachtingen) in relatie tot elkaar te plaatsen. Dit heeft tot gevolg dat er enerzijds een geïntegreerd beeld ontstaat over hoe de verkeersdeelnemer, doordat hij oneindig vaak te maken krijgt met infrastructurele kenmerken, in staat is min of meer foutloos aan het verkeer deel te nemen. Anderzijds is ook het

beeld ontstaan van de "schier onmogelijke" opgave voor een beginnende automobilist om - zich gedragend als een expert automobilist - op een veilige manier aan het verkeer deel te nemen. Dit zou zelfs de vraag op kunnen roepen: "hoe is het mogelijk dat niet elke "ongeoefende" automobilist een ongeval krijgt", dit in tegenstelling dat het thema in de vele studies (zie o.a. Twisk, 1991) waarin de vraag gesteld wordt hoe het komt dat zoveel jonge automobilisten bij ongevallen betrokken raken.

Doordat zoveel verschillende gebieden in samenhang tot elkaar behandeld zijn en de beschikbare tijd voor deze literatuurstudie beperkt was, is niet op alle plaatsen voldoende recht gedaan aan de noodzakelijke nuance. Dit geldt met name voor de gebruikte psychologische concepten zoals "aandacht", categorisering, herkenning, visuele selectie, en capaciteit van de aandacht. Elk van deze onderwerpen in relatie tot verkeersdeelname zou een studie op zich rechtvaardigen. Deze literatuurstudie is dan ook verre van compleet en beoogt dat ook niet te zijn, maar heeft als voornaamste resultaat het integreren van ogenschijnlijk geïsoleerde kennisgebieden. De aangegeven verbanden bieden interessante mogelijkheden voor verder onderzoek.

## LITERATUUR

- Adelson, B. (1984). When novices surpass experts: The difficulty of the tasks may increase with expertise. *Journal of experimental psychology: Learning memory and cognition* 10 (3): 483-495.
- Anderson, J.R. (1983). *The architecture of cognition*. Harvard University Press, Cambridge, Ma.
- Biesta, P.W. & Blaauw, G.J. (1976). De invloed van omgevingsfactoren op de maten voor taakbelasting en rijgedrag; Een verkennend onderzoek. IZF 1976-7. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Cooper, D.R.C.; Jordan, P.G. & Young, J.C. (1980). The effect on traffic speeds of resurfacing a road. TRRL SR 571.
- Cummings, R.W. & Croft, P.G. (1973). A review of speed control. Report 16. Austr. Department of Transport.
- De Velde Harsenhorst, J.J. & Lourens, P.F. (1988). Het onderwijsleerproces bij een leerling-automobiliste en specifiek rijgedrag van jonge automobilisten. VK 88-25. Verkeerskundig Studiecentrum, R.U. Groningen, Haren.
- De Velde Harsenhorst, J.J. & Lourens, P.F. (1989). Het onderwijsleerproces bij een leerling-automobiliste; Enkele extra analyses en eindverslag. VK 89-23. Verkeerskundig Studiecentrum, R.U. Groningen, Haren.
- Dijkstra, A. (1991a). Functie en gebruik van de verkeersinfrastructuur; Deel 1: Functie en vormgeving. R-91-50. SWOV, Leidschendam.
- Dijkstra, A. (1991b). Categorisering van wegen; Deel 1: Verkeersplanningologische gezichtspunten. R-51-52. SWOV, Leidschendam.
- Dijkstra, A. & Twisk, D.A.M. (1991). Over beheren en manoeuvreren: Een synthese van verkeerskundige en gedragswetenschappelijke inzichten over functie, gebruik en vormgeving van de verkeersinfrastructuur. R-91-54. SWOV, Leidschendam.
- Enustun, N. (1972). Three experiments with transverse pavement stripes and rumble bars. Final report TSD-RD-216-72. Michigan State Highway Commission.
- Fildes, B.N. & Triggs, T.J. (1982). The effects of road curve geometry and approach distance on judgements of curve exit angle. ARRB Proceedings, Volume 11.
- Fildes, B.N. & Triggs, T.J. (1985). The effects of changes in curve geometry on magnitude estimates of road-like prespective curvature. *Perception & Psychophysics* 37.
- Fildes, B.N.; Fletcher, M.R. & MacCorrican, J.M. (1987). Speed perception 1: Driver's judgments of safety and speed on urban and rural straight roads. RACV Ltd, Victoria, Australia.
- Gelman, R. & Baillargeon, R. (1983). A review of some piagetian concepts. In: Mussen (ed.). (1983).



- Gerson, J.A. & Lunenfeld, H. (1986). Driver expectancy in highway design and traffic operations. FHWA-TO-86-1. U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
- Godthelp, H. (1990). Naar een beheerst wegverkeer. *Verkeerskunde* 41 (1990) 3: 112-116.
- Godthelp, H. (1984). Path error-neglection in straight lane driving. Report IZF 1984-32. TNO Institute for Perception, Soesterberg.
- Griep, D.J. (1971). Analyse van de rijtaak 1. Systeemanalytische gezichtspunten. *Verkeerstechneek* 22 (1971) 6: 303-306.
- Groeneweg, J. & Wagenaar, W.A. (1986). Oorzaken en achtergronden van foute geweldsaanwendingen door de politie. Werkgroep Veiligheid R 86/9. R.U. Leiden.
- Groeneweg, J. & Wagenaar, W.A. (1989). Ongevalspreventie bij de NAM: Een geïntegreerde aanpak. Werkgroep Veiligheid R 89/5. R.U. Leiden.
- 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. & Wittink, R.D. (1988) Het televisieprogramma "Familie Ouderijn"; Een evaluatie-onderzoek naar de eerste acht afleveringen. R-88-36. SWOV, Leidschendam.
- Haight, F. (1980). What causes accidents: A semantic analysis. SAE paper No. 800390.
- Hale, A.R. & Glendon, A.I. (1987). Individual behaviour in the control of danger. Industrial Safety Series 2. Elsevier, Amsterdam.
- Hale, A.R. & Stoop, J. (1988). What happens as a rule? Communication between designers and road users. In: Traffic safety theory and research methods, Session 3: Theoretical analysis and models, Amsterdam, 1988. SWOV, Leidschendam.
- Hale, A.R.; Stoop, J. & Hommels, J. (1990). Human error models as predictors of accident scenarios for designers in road transport systems. *Ergonomics* 33 (10-11): 1377-1388.
- Hancock, P.A. (1988). The effect of gender and time of day upon the subjective estimate of mental workload during the performance of a simple task. In: Hancock & Meshakati (eds.) (1988).
- Hancock, P.A. (1989). The effect of performance failure and task demands on the perception of mental workload. *Applied Ergonomics* 20: 197-205.
- Hancock, P.A. & Meshakati, N. (eds.) (1988). Human mental workload. North-Holland, Amsterdam.

- Hancock, P.A.; Rodenberg, G.J.; Matthews, W. & Vercruyssen, M. (1988). Estimates of duration and mental workload at differing times of the day by males and females. *Proceedings of the Human Factors Society* 32: 857-861.
- Hancock, P.A.; Wulf, G.; Thom, D. & Fassnacht, P. (1990). Driver workload during differing driving maneuvers. *Accid. Anal. & Prev.* 22 (3): 281-290.
- Harms, L. (1986). Driver's attentional responses to environmental variations: A dual-task real traffic study. In: Gale et al. (eds.) (1986).
- Hoeven, W. van der (1987). Relatie tussen rijnsnelheden wegkenmerken en ongevallen, Deel 2. *Verkeerskundig Studiecentrum, R.U. Groningen, Haren.*
- Hostetter, R.S. & Lunenfeld, H. (1982). Planning and field data collection. FHWA-TO-80-2. U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.
- Hoyos, C.G. (1988). Mental load and risk in traffic behaviour. *Ergonomics* 31 (4): 571-584.
- Hughes, P.K. & Cole, B.L. (1984). Search and attention, conspicuity of road traffic control devices. *Australian Road Research* 14, 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. & Gaillard, A.W.K. (1984). Task load and stress in the road: Preliminaries to a model of route choice. IZF 1984 C-10. TNO Institute for Perception, Soesterberg
- Janssen, S.T.M.C. (red.) (1991). De categorie-indeling van wegen binnen de bebouwde kom; Een neerslag van overwegingen binnen de C.R.O.W.-werkgroep. R-91-44. SWOV, Leidschendam.
- Kadiyali, L.R.; Viswanathan, E.; Jain, P.K. & Gupta, R.E. (1981). Effect of the curvature and sight-distance on the free speed of vehicles on curves on two-lane roads. *Highway Research Bulletin* 16. Indian Road Congress, New Delhi.
- Karran, M.A.; Haas, R. & Kher, R. (1977). Effect of pavement roughness on vehicle speeds. In: T.R. Record 602. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Knippenberg, C.W.F. van; Rothengatter, J.A. & Michon, J.A. (eds.) (1989). *Handboek Sociale Verkeerskunde*. Van Gorcum, Assen/Maastricht.
- Kok, G. & Vogel, R. (1989). Voorlichting. In: Van Knippenberg e.a. (eds.) (1989).
- LaBerge, D. (1973). Attention and the measurement of perceptual learning. *Memory & Cognition* 1, 268-276.
- Leplat, J. (1985). *Erreur humaine fiabilite humaine dans le travail*, Armand Colin, Paris.

Levine, S. & Ursin, H. (eds.) (1980). Coping and health. Plenum Press, New York.

Lourens, P.F. (1989). Menselijke fouten; foutenanalyse en toepassingen in verkeers- en vervoerssystemen. Verkeerskunde 40 (1989) 4: 169 t/m 172.

Lourens, P.F. (1990). Theoretical perspectives on error analysis and traffic behaviour. Ergonomics 33 (10-11): 1251-1263.

Lourens, P.F.; De Velde Harsenhorst, J.J. & Molen, H.H. van der (1986). Consistentie en reflectief bewustzijn bij tactische beslissingen bij jonge fietsers; Deel II. VK 86-02. Verkeerskundig Studiecentrum, R.U. Groningen, Haren.

Lunenfeld, H. (1980). Evaluation of traffic operations, safety and positive guidance projects. FHWA-TO-80-1. U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.

Lunenfeld, H. & Powers, R.D. (1985). Improving highway information at hazardous locations; Seven case studies. DOT-1-85-16. U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.

Macdonald, W.A. & Cameron, C. (1973). The use of behavioural methods to assess traffic hazard. In: Proceedings of the 1th International Conference on Driver Behaviour, Zürich, October 1973.

Michels, Th. & Heyden, Th.G.C. van der (1978). De invloed van enkele wegkenmerken op de rijsnelheid op niet-autosnelwegen, Verkeerskunde 29 (6).

Michon, J.A. (1985). A critical review of driver behaviour models; What do we know, what should we do? In: Evans & Schwing (1985).

Michon, J.A.; Smiley, A. & Aasman, J. (1990). Errors and driver support systems. Ergonomics 33 (10-11): 1215-1230.

Moray, N. (ed.) (1979). Mental workload. Its theory and measurement, Plenum Press, New York.

Moray, N. (1990). Designing for transportation safety in the light of perception, attention and mental models. Ergonomics 33 (10-11): 1201-1213.

Mussen, P.H. (1983). Handbook of child psychology, Volume 3: Cognitive development. John Wiley & Sons, New York.

Noordzij, P.C. (1987). Verkeerswetgeving, -gedrag en veiligheid. Werkgroep veiligheid R-87-12. R.U. Leiden.

Petersson, H.E. (1985). Control of road user behaviour through environmental designs, VTI Report 288. VTI, Linköping.

Post, T.J.; Alexander, G.J. & Lunenfeld, H. (1981). A users' guide to positive guidance. 2nd Edition. FHWA-TO-81-1. U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.

Quist, B. (1981). Een nieuwe weg naar veiligheid: Een studie over de veiligheid van het wegverkeer, Sectie Veiligheidskunde, Vakgroep WTS, T.U. Delft.

- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules and knowledge, signals signs and symbols and other distinctions in human performance models. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics SMC 13 (3).
- Rasmussen, J. (1985). Trends in human reliability analysis. Ergonomics 18 (8): 1185-1195.
- Rasmussen, J.; Duncand, K. & Leplat, J. (eds.) (1987). New technology and human error. John Wiley, Chichester.
- Reason, J. (1987). Generic error-modelling system (GEMS): A cognitive framework for locating common human error forms. In: Rasmussen et al. (eds.) (1987).
- Reason, J.T. (1990). Human error. Cambridge University Press, New York.
- Reason, J.T. & Embrey, D.E. (1985). Human factors principles relevant in the modelling of human errors in abnormal conditions of nuclear and major hazardous installations. Report to the European Atomic Energy Community. Human Reliability Associates, Dalton, Lancs.
- Reason, J.T.; Shotton, R.; Wagenaar, W.A.; Hudson, P.T.W. & Groeneweg, J. (1988). TRIPOD: A principal basis for safer operations. Leiden University/ University of Manchester.
- Riemersma, J.B.J. (1984). Driving behaviour in road curves. IZF 1984 C-12. TNO Institute for Perception, Soesterberg.
- Riemersma, J.B.J. (1985). Koershouden op de rechte weg. Verkeerskunde 36 (1985) 8: 367-372.
- Riemersma, J.B.J. (1988a). Zonering en herkenbaarheid; Een experiment. IZF 1988 C-2. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Riemersma, J.B.J. (1988b). Enkelbaans/dubbelbaans autowegen; Beleving van de weggebruiker. IZF 1988 C-4. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Riemersma, J.B.J. (1989). Waarnemen van weg en omgeving en rijtaak. In: Van Knippenberg e.a. (eds.) (1989).
- Roscoe, S.N. (1984). Judgment of size and distance with imaging displays. Human Factors 26 (6): 617-629.
- Roszbach, R. (1990). Strategische keuzen in verkeersveiligheidsbeleid en onderzoek: Naar een inherent veiliger wegverkeer. R-90-36. SWOV, Leidschendam.
- Rothe, J.P. (1987). Rethinking young drivers. Insurance Corporation of British Columbia, North Vancouver, B.C.
- Rothengatter, J.A. (1985). Gedragsbeïnvloeding in het verkeer, methoden en modellen. Verkeerskunde 36 (7): 335-337.
- Rutley, K.S. & Mace, D.G.W. (1972). Heart rate as a measure in road layout design. Ergonomics 15 (2): 165-173.

- Rutley, K.S. (1975). Control of drivers' speed by means other than enforcement. *Ergonomics* 18 (1): 89-100.
- Ryan, W. (1972). *Blaming the victim*. Random House, New York.
- Sabey, B.E. & Staughton, G.C. (1975). Interacting roles of road environment vehicle and road user in accidents. Paper 5th International Conference of the International Association of Accident and Traffic Medicine, London.
- Sanders-Kranenburg, A. (1989). *Analyseren van de verkeersonveiligheid*. A-89-2. SWOV, Leidschendam.
- Schlesinger, L.E. (1976). Human factors in driver training and education. In: Forbes, T.W. (ed.) (1976).
- Schmidt, F. & Tiffin, J. (1969). Distortion of drivers' estimates of automobile speed as a function of speed adaptation. *J. Appl. Psychol.* 53 (6): 536-539.
- 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.
- Shiffrin, R.M. & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic information processing II: Perceptual learning, automatic attending, and a general theory. *Psychological Review* 84, 127.
- Sivak, M. (1981). Human factors and highway-accident causation: Some theoretical considerations. *Accid. Anal. & Prev.* 13 (2): 61-64.
- Sivak, M. (1985). Multiple ergonomic interventions and transportation safety. *Ergonomics* 28 (8): 1143-1153.
- Tenkink, E. (1988). *Determinanten van rijnsnelheden*. IZF 1988 C-3. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.
- Tenkink, E. (1991). *Persoonlijke mededeling*.
- Theeuwes, J. (1989). *Visual selection: Exogenous en endogenous control; A review of the literature*. IZF 1989 C-3. TNO Institute for Perception, Soesterberg.
- Treat, J.R.; Trumbas, N.S.; McDonald, S.T.; Shinar, D.; Hume, R.D.; Mayer, R.E.; Stansifer, R.L. & Castellan, N.J. (1977). *Tri-level study of the causes of traffic accidents: Final report, Vol 1: Casual factor tabulation and assessments*. Report No DOT-HS-034-535-77-TAC(1). Indiana University, Bloomington, Indiana.
- Triggs, T.J. & Wisdom, P.H. (1978). Observations of vehicle lateral position-keeping and the effect of pavement delineations marking. *ARRB Proceedings*, Volume 9.
- Twisk, D.A.M. (1990). *De verkeersonveiligheid van jonge onervaren automobilisten en de invoering van een voorlopig rijbewijs; Een literatuurstudie*. R-90-44. SWOV, Leidschendam.

Twisk, D.A.M. (1991a). Functie en gebruik van de verkeersinfrastructuur; Deel 2: Gebruik en vormgeving. R-91-51. SWOV, Leidschendam.

Twisk, D.A.M. (1991b). Categorisering van wegen; Deel 2: Psycho-ergonomische gezichtspunten. R-91-53. SWOV, Leidschendam.

Twisk, D.A.M. (1991c). Ontwikkeling van riskant rijgedrag. R-91-34. SWOV, Leidschendam.

Ursin, H. & Ursin, R. (1979). Physiological indicators of mental workload. In: Moray (ed.) (1979).

Veling, I.H.; Blaauw, G.J. & Moraal, J. (1978). Anticiperen en autorijden. IZF 1978-C1. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.

Verwey, W.B. (1990). Adaptable driver-car interfacing and mental workload: A review of the literature. IZF 1990 B-3. TNO Institute for Perception, Soesterberg.

Wagenaar, W.A. & Groeneweg, J. (1987). Accidents at sea: Multiple causes and impossible consequences. *International Journal of Man-Machine Studies* 27, 587-598.

Wagenaar, W.A. & Reason, J.T. (1990). Types and tokens in road accident causation. *Ergonomics* 33 (10-11): 1365-1376.

Weiner, B. (1986). An attributional theory of motivation and emotion. Springer Verlag, New York.

Zaidel, D.; Hakkert, A.S. & Barkan, R. (1986). Rumble strips and paint stripes at rural intersection. In: T.R. Record 1069, 7-13.

