

**WAARNEMEN, AANDACHT EN AFLEIDING**  
**Voorbeelden van human factors rij simulatoronderzoek**

Dr.ir. A.R.A. van der Horst

TNO Defensie en Veiligheid, BU Human Factors  
Postbus 23, 3769 ZG Soesterberg  
Tel. 0346 356 451  
Fax 0346 353 977  
Email: [richard.vanderhorst@tno.nl](mailto:richard.vanderhorst@tno.nl)

## SAMENVATTING

Met het al maar drukker worden op de weg en met verwoede pogingen om het maximale uit het bestaande wegverkeerssysteem te halen, wordt de rijtaak voor de automobilist steeds complexer en wordt het des te belangrijker om in het weg- en verkeersontwerp de mens als de maat der dingen te beschouwen. Succesvolle introductie van nieuwe bestuurdersondersteunende systemen, dynamische verkeersmanagementsystemen of complexe wegontwerpen hangt sterk af van hoe mensen met deze nieuwe ontwikkelingen willen en kunnen omgaan. Dit vereist kennis over wat mensen kunnen en doen in complexe en dynamische taakomgevingen. Allereerst komt in deze bijdrage de menselijke informatieverwerkingscyclus aan bod, bestaande uit de onderdelen waarnemen, verwerken, beslissen, en handelen, elk met zijn eigen, voor het ontwerp relevante, eigenschappen. Tenslotte komt onderzoek naar gedrag van mensen in het verkeer aan bod dat gebruik maakt van geavanceerde human-in-the-loop rijsimulatoren en bespreken we aan de hand van een aantal voorbeeldstudies de mogelijkheden van de inzet van rijsimulatoren voor onderzoek naar nog niet bestaande situaties, onderzoekssituaties waarbij de verkeersveiligheid in het geding kan zijn, of situaties waarin de onderzoeksomstandigheden nauwkeurig gecontroleerd moeten kunnen worden.

## 1 INLEIDING

Wil het daadwerkelijk vertoonde gedrag door weggebruikers zo goed mogelijk aansluiten bij het door de ontwerper beoogde gedrag, dan is het van belang dat algemene inzichten over de mogelijkheden en beperkingen van mensen om informatie op adequate wijze te verwerken, alsmede kennis over menselijk gedrag in relatie tot zowel de wegomgeving als ander verkeer, al zo vroeg mogelijk in het ontwerpproces worden ingebracht.

Algemeen wordt aangenomen dat menselijke fouten in het verkeer (overigens net als in andere mens-machine systemen) de overwegende oorzaak zijn in het ontstaan van ongevallen. Fig. 1 laat zien in welke mate diverse menselijke factoren daarin een rol spelen. Mensen zijn onvolmaakt, maken fouten of moeten nog leren. Daarnaast zoeken mensen soms bewust het risico op door het vertonen van onveilig gedrag. Met 'de mens als maat der dingen' wordt dan ook niet bedoeld op een perfect wezen, maar op een gewone kwetsbare verkeersdeelnemer met tekortkomingen waarmee in het verkeerssysteem zo veel mogelijk rekening gehouden moet worden. Daar staat tegenover dat de mens door oefening beter wordt in het uitvoeren van een taak, deze soepeler uitvoert en minder fouten maakt. Bovendien heeft de mens bepaalde eigenschappen die techniek vooralsnog niet zo goed kan overnemen zoals het - na enige oefening - aanmerkelijk beter in staat zijn om op complexe situaties te anticiperen, die te doorgronden en zo nodig die ook nog -in een kort tijdsbestek- het hoofd te bieden. De mens neemt bij elke verplaatsing vele beslissingen, verreweg de meeste feilloos.

De in Fig. 1 gehanteerde indeling slaat op zaken die onmiddellijk aan het ongeval voorafgaan en de mate waarin diverse menselijke factoren daarbij een rol kunnen hebben gespeeld bij het ontstaan van het ongeval. De studie waarnaar Shinar (1978) refereerde, gebruikte twee datasets (2258 ongevallen die ter plekke uitgebreid geanalyseerd zijn (On-site) en 420 ongevallen die achteraf gedetailleerd zijn geanalyseerd (In-depth)). Deze datasets gaven vergelijkbare resultaten. Uiteraard kan men zich afvragen waar die fouten, in die specifieke omstandigheden, dan wel vandaan komen: had het er op na houden van een 'false assumption' misschien iets te maken met de manier waarop de weg was ingericht, c.q. met een eigenaardigheidje in het wegbeeld waardoor de bestuurder op het verkeerde been werd gezet? Was de bestuurder misschien een dom persoon, of onder de invloed van alcohol? Klaarblijkelijk is het zo dat hoewel het een open deur is om te zeggen dat er in het ontwerp van wegverkeerssystemen rekening moet worden gehouden met wat mensen doen en kunnen, of dat de mens de maat aller dingen is, het nog niet mee zal vallen om aan te geven wat het dan precies is

waarmee rekening moet worden gehouden. Weggebruikers interacteren kennelijk met hun omgeving, en als er aan één element daarvan gesleuteld wordt, bestaat er een grote kans dat alles mee gaat verschuiven. Hoe kunnen we daar grip op krijgen, en uiteindelijk daaruit consequenties voor het inrichten van de weg afleiden?

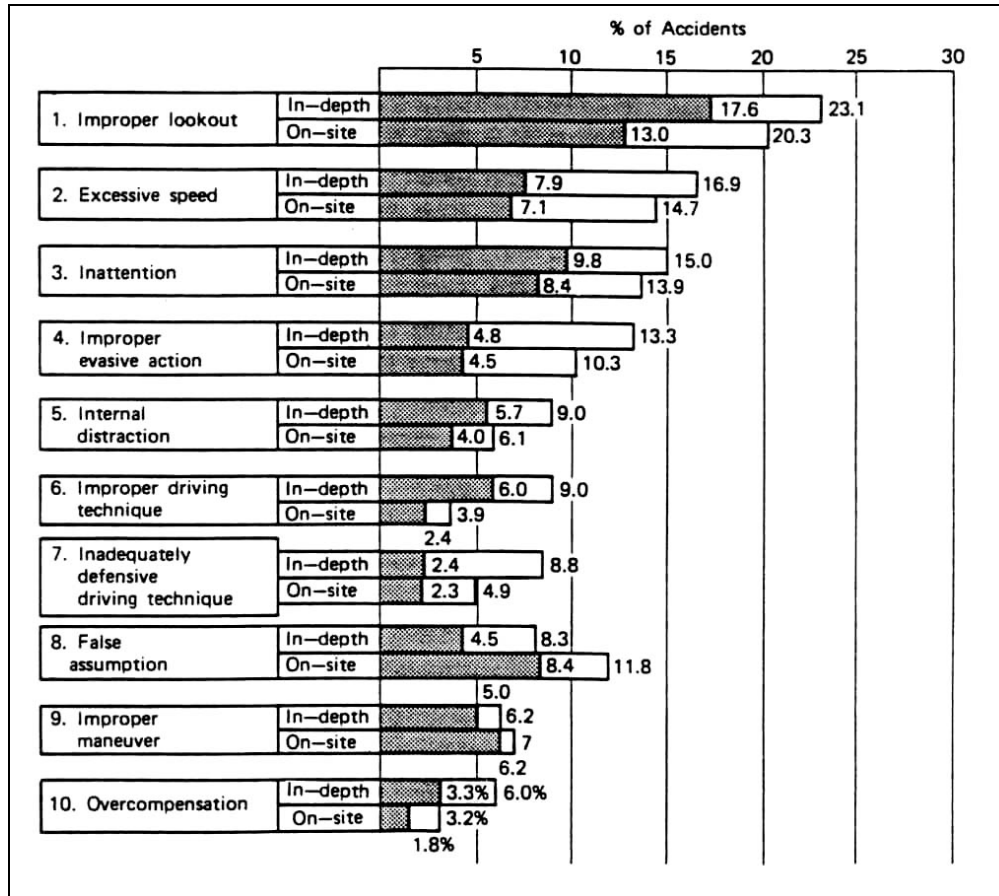


Fig. 1: Ongevalsoorzaken en hun relatieve bijdragen aan ongevals aantallen (naar Shinar, 1978).

In de USA werd een zeer grootschalige studie uitgevoerd waarbij 100 autobestuurders een jaar lang gedetailleerd werden geobserveerd in het voertuig tijdens het rijden om meer inzicht te krijgen in de pre-crash fase van ongevallen, de zogenaamde 100-car naturalistic driving study (Neale, Dingus, Klauer, Sudweeks & Goodman, 2005). Hierdoor kon men, wanneer zich ongevallen voordeden, precies zien wat er zich direct voorafgaand aan het ongeval voerde en onder welke omstandigheden, zoals bijvoorbeeld op welke wegen, onder welke weersomstandigheden, tijdens welke activiteiten van de bestuurder, enzovoort. Stel dat men vond dat iemand aan het bellen was en er gebeurde een ongeval, dan kon men dit vergelijken met andere situaties waarin men ook belde maar er zich geen ongeval voerde. Dit gaf dus een goede inschatting van het daadwerkelijke risico dat verbonden is aan, in dit voorbeeld, bellen. Aangezien men hierbij dus ook informatie heeft over het niet optreden van ongevallen onder dezelfde omstandigheden is dit een uitermate waardevol onderzoek. Bij een ongevallenanalyse heeft men alleen informatie over het ongeval als resultaat en vrijwel nooit informatie over wat er direct aan vooraf ging. Om een voorbeeld te geven: Zo blijkt uit het Amerikaanse onderzoek dat bijna alle ongevallen gebeurden op rechte wegen. Echter, ook alle niet-ongevallen gebeurden bijna allemaal op rechte wegen. Hieruit blijkt dus dat we op moeten passen

met het interpreteren van ongevalenstatistieken ten aanzien van ongevalen oorzaken. Het grootste deel van de wegen bestaat namelijk uit rechte wegen. Zo mag men bijvoorbeeld nooit concluderen dat mobiel bellen tijdens het rijden heel gevaarlijk is uit het gegeven dat bij 85% van de ongevallen iemand aan het bellen was. Als namelijk blijkt dat in zijn algemeenheid tijdens het rijden 85% van de mensen mobiel belt, zegt zo'n getal niets en weerspiegelt het slechts de uitgangssituatie. Dit voorbeeld geeft aan dat het uitermate belangrijk is om te weten hoe vaak iets voorkomt bij niet-ongevallen (expositie maat). In deze studie werden 82 crashes geregistreerd en 761 near-crashes (gedefinieerd als een conflict situatie die een plotselinge en heftige actie vereist om een botsing te voorkomen). Fig. 2 geeft een voorbeeld van een indeling van deze gebeurtenissen in situaties waarbij de bestuurder oplettend of onoplettend was. Onoplettend was daarbij onderscheiden naar secondary task engagement, fatigue, driving-related inattention to the forward roadway en non-specific eye-glance away from the forward roadway. Deze werden op basis van handmatige oogbewegingsanalyses vanaf video bepaald. Het blijkt dat een groot deel van de gebeurtenissen (78% van de botsingen en 65% van de bijna-botsingen) onoplettendheid van de bestuurder als een bijdragende factor hebben.

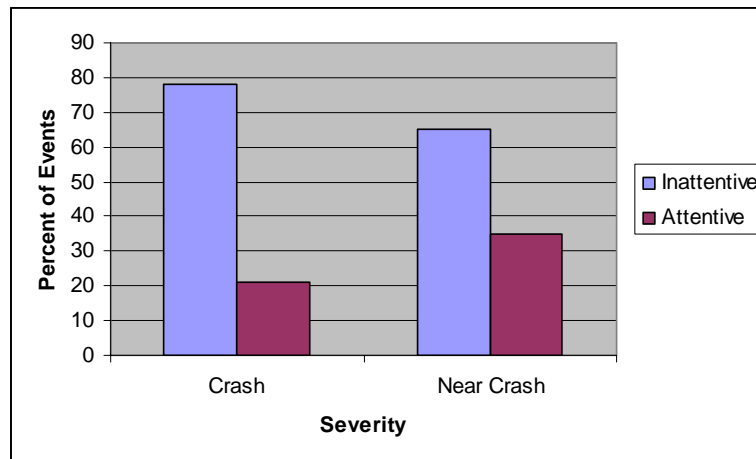


Fig. 2: Percentage van botsingen en bijna botsingen met onoplettendheid/aflleiding als bijdragende factor (Neale, e.a., 2005).

Uit de Amerikaanse studie blijkt ook dat iets anders doen (secundaire taak) tijdens het rijden van invloed is op de ongevallenkans. Echter, een van de grootste bijdragen aan de kans op een ongeval is vermoeidheid, zie Tabel I. Hierbij is duidelijk te zien dat bepaalde zaken de kans op een ongeval of bijna-ongeval sterk doen toenemen. Zo geeft 'Insect in de auto' wel een hoge score, maar zal dit zo weinig zijn voorgekomen dat niet eenduidig is vast te stellen of er werkelijk een effect is. Een passagier op de bijrijderstoel blijkt in dit onderzoek de kans op een (bijna) ongeval significant te doen afnemen. Naast dat de aanwezigheid van de ander invloed kan hebben op het gedrag van de bestuurder of hem alert houdt, kan de passagier ook meekijken wat er op de weg gebeurt en zo nodig waarschuwen. Overigens kan het effect van bepaalde invloedsfactoren wel doelgroep afhankelijk zijn. Zo is uit ander onderzoek bekend dat de aanwezigheid van bijrijders van mannelijke jongeren meestal wel tot een hogere kans op een ongeval leiden.

Tabel I: Soort afleiding en de factor waarmee de ongevallen( of bijna-ongevallen)kans toe- of afneemt. Vetgedrukt zijn de factoren die significant van 1 afwijken (een verhoogde of verlaagde ongevallenkans. De cijfers tussen haakjes verschillen niet significant van 1 (geen verhoogde of verlaagde ongevallenkans).

Type afleiding	Kans van toe- of afname van ongeval of bijna-ongeval (1 = neutraal)
<b>Gemiddelde tot zware vermoeidheid</b>	<b>6.23</b>
<b>Complexe secundaire taak*</b>	<b>3.10</b>
<b>Gewone secundaire taak*</b>	<b>2.10</b>
Simpele secundaire taak*	(1.18)
<b>Reiken naar een bewegend object</b>	<b>8.82</b>
Insect in de auto	(6.37)
<b>Kijken naar extern object</b>	<b>3.70</b>
<b>Lezen</b>	<b>3.38</b>
<b>Make-up opdoen</b>	<b>3.13</b>
Intoetsen nummer op telefoon in hand	(2.79)
CD wisselen	(2.25)
Eten	(1.57)
Reiken naar niet-bewegend object	(1.38)
Praten in of luisteren naar telefoon in hand	(1.29)
<b>Passagier op stoel bijrijder</b>	<b>0.50</b>
Passagier op achterbank	(0.39)
Kind op achterbank	(0.33)

\* Onder Complexe secundaire taak verstond men zaken als een telefoonnummer draaien, een Personal Digital Assistant (PDA) gebruiken, lezen, make-up opdoen, etc. Onder Gewone secundaire taak verstond men dingen als praten of luisteren naar telefoon, apparaat in de hand houden, CD wisselen, eten, etc. Onder Simpele secundaire taken verstond men het switchen van een radiostation, het praten met een passagier, drinken, roken, etc.

De benadering die in deze bijdrage wordt voorgestaan is die van de weggebruiker als informatieverwerkend systeem. Dat ligt voor de hand, omdat het in het verkeer een essentiële vraag is of alle informatie die – op een groot aantal verschillende manieren – aan de weggebruiker wordt toegediend ook werkelijk zijn beoogde effect heeft. Meer in het bijzonder kan de menselijke informatieverwerking gedacht worden als een cyclus van waarnemen, verwerken, beslissen en handelen.

Bij het uitvoeren van de taak van de weggebruiker speelt visuele waarneming een cruciale rol. Waarnemen is geen passief proces, het is een constructie-proces: het is altijd een wisselwerking tussen wat via het zintuig beschikbaar komt en de verwachtingen van de weggebruiker. Alvorens nader in te gaan op de cyclus van de menselijke informatieverwerking in het verkeer en de rol die verwachtingen spelen bij het gedrag van weggebruikers, zullen we eerst nader ingaan op de taak van de weggebruiker.

## 2 DE RIJTAAK

De rijtaak wordt vaak genoemd als één taak. Dit is echter niet terecht. Enerzijds gaat het om een combinatie van taken, te weten het besturen van het voertuig (met subcomponenten als sturen, gas

geven, remmen, etc), het in de gaten houden van ander verkeer (checken van spiegels, letten op voorliggers, etc), het letten op borden en verkeerslichten, etc. en het rijden van een route (b.v. op basis van bebording de juiste route kiezen). Een model dat deze deeltaken van de weggebruiker goed omschrijft, onderscheidt drie niveaus, te weten het strategisch, het manoeuvre- en het regelniveau (o.a. Michon (1971).

Het hoogste niveau wordt het 'strategische niveau' genoemd. Dit omvat planningaspecten van de rijtaak, zoals bijvoorbeeld het reisdoel (waar ga ik heen?), vervoermiddelkeuze (ga ik met de auto?) en de te volgen route (via welke weg rijd ik er heen?). Tijdens het rijden zelf (indien men eenmaal van huis is vertrokken) vinden informatieverwerking en beslissingen op dit niveau maar af en toe plaats, met soms minuten tussentijd tot zelfs uren (bij langere ritten). Het middelste niveau is het 'manoeuvre niveau'. Dit heeft betrekking op taken die te maken hebben met de interactie met zowel de weg(omgeving) zoals bochten, rijstroken, verkeersborden, verkeerslichten, e.d.) als andere weggebruikers (andere automobilisten, maar ook fietsers en voetgangers). Activiteiten op dit niveau komen tijdens het rijden zelf regelmatig voor, met enkele seconden tot enkele minuten tussentijd. Het laagste niveau is het 'regelniveau'. Op dit niveau regelt men direct de beweging van het voertuig door middel van sturen, gas geven, remmen. Activiteiten vinden op dit niveau tijdens het rijden het meest frequent plaats, eigenlijk vrijwel continue met soms korte onderbrekingen (in intervallen van seconden tot tienden van seconden). Alexander en Lunenfeld (1986) hebben hieraan toegevoegd dat de rijtaak verschillende lagen van complexiteit heeft (zo is binnen de lijnen rijden minder complex dan een route vinden in een onbekende stad) en verschillende lagen van urgentie, zie Fig. 3. De meest urgente taak gaat altijd voor, en dat is daarmee altijd de taak die zich op dat moment op een lager niveau bevindt (manoeuvre of regelniveau). Bijvoorbeeld een plotselinge rukwind of een klapband zal alle aandacht naar het laagste niveau (regelniveau) verschuiven om het voertuig op de weg te houden en zal informatieverwerking voor de te nemen route op strategisch niveau volledig onderbreken.

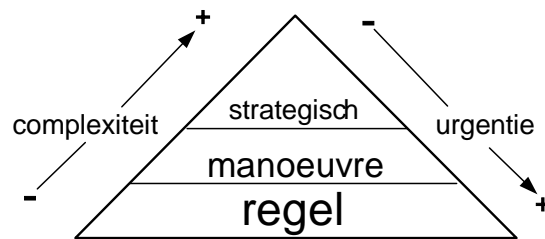


Fig. 3: De drie niveaus van de taak van de weggebruiker in onderlinge samenhang naar Alexander en Lunenfeld (1986).

De manier waarop een weggebruiker deze taken uitvoert, hangt echter ook sterk af van de routine die men heeft bij de taakuitvoering. Bij de ene taak moet men namelijk de volle aandacht hebben en andere dingen gaan min of meer automatisch. Deze verschillende niveaus van taakuitvoering worden vaak beschreven aan de hand van het model van Rasmussen (1985). Het model van Rasmussen is een algemeen model en toepasbaar op veel verschillende soorten taken, zo ook is het geschikt om de rijtaak te beschrijven. De drie taakuitvoeringsniveaus die Rasmussen onderscheidt, zijn 'beredeneerd' (knowledge-based), 'regelgestuurd' (rule-based) en 'automatisch' (skill-based) gedrag:

- 1) *Beredeneerd gedrag* heeft betrekking op nieuwe situaties (zoals bijvoorbeeld het geval is als men op een onbekende plek de weg moet zoeken) en staat voor een geavanceerd niveau van redeneren. Dit niveau vergt de meeste aandacht en tijd en is daarmee het meest belastend. Een voorbeeld is een onervaren automobilist die nog steeds na moet denken over het schakelen naar de volgende versnelling of een ervaren automobilist die in het centrum rijdt van een onbekende stad. Er moet continue nieuwe kennis worden opgedaan en toegepast op de situatie om te kijken wat het beste werkt

en het gaat dus om een hele bewuste manier van informatie verwerken en gedrag. Omdat het erg belastend is er een grote kans op het maken van fouten, zeker bij relatief hoge snelheid als men weinig tijd beschikbaar heeft om te reageren op veranderende of onverwachte omstandigheden.

- 2) *Regelgestuurd gedrag* wordt gekenmerkt door het gebruik van regels en procedures om gedrag te selecteren in een bekende omgeving. De regels zijn vaak een serie instructies, bijvoorbeeld als..... dan..... Deze regels worden door een persoon geleerd door ervaring of gegeven door een andere persoon. Een voorbeeld is het geven van voorrang, waarin weggebruikers hebben geleerd dat als een voorrangsbord aanwezig is en men ziet haaiantanden, dan moet men voorrang verlenen. Regelgestuurd gedrag is van toepassing op het interpreteren van alledaagse situaties en scenario's. Na verloop van tijd ontstaat een regel hoe om te gaan met een bepaalde situatie en zal herkenning leiden tot het uitvoeren van voor die situatie geschikt gedrag. Het probleem bij regelgestuurd gedrag kan zijn dat men de verkeerde regel selecteert en deze vervolgens toch toepast. Een eenmaal gestarte serie van vaste gedragingen valt soms moeilijk te onderbreken.
- 3) *Automatisch gedrag* staat voor een vorm van gedrag waarbij weinig of geen bewuste controle nodig is om de taak uit te voeren. Men voert de taak in feite min of meer automatisch uit. Een voorbeeld is een ervaren automobilist die de auto binnen de lijnen houdt. De automobilist hoeft hier niet over na te denken en kleine afwijkingen van zijn positie vragen automatisch om een stuurcorrectie. Automatisch gedrag treedt op wanneer een taak heel veel geoefend is, zoals schakelgedrag bij ervaren automobilisten.

Deze drie taakuitvoeringsniveaus hebben alleen betrekking op de ervaren weggebruiker. Een onervaren weggebruiker beschikt nog vrijwel niet over het derde automatische niveau en zal voor de taakuitvoering van alle deeltaken min of meer bewuste aandacht nodig hebben.

Als we dit model koppelen aan de indelingen die hiervoor de revue gepasseerd zijn, leidt dit tot de representatie van de taak van de weggebruiker van Fig. 4. In zijn algemeenheid zal op het strategische niveau veelal beredeneerd gedrag plaatsvinden, op het manoeuvre niveau regelgestuurd gedrag, en op het regelniveau veelal automatisch gedrag.

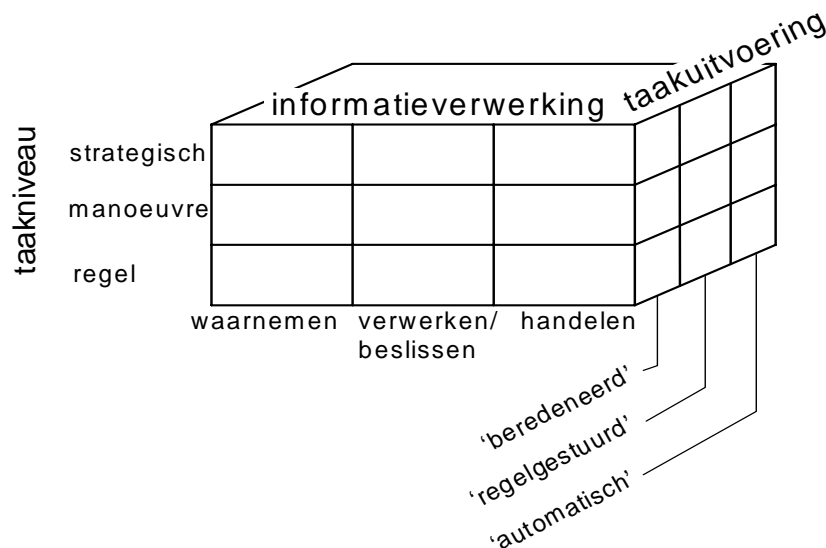


Fig. 4: De taak van de weggebruiker in drie dimensies (o.a. Theeuwes, 1993).

Dit model is echter geen verklarend model. Er spelen nog veel meer factoren een rol op hoe de

weggebruiker dingen ervaart of interpreteert. Zo spelen bijvoorbeeld het ontwerp van de omgeving, gedrag van andere personen en overtuigingen van de bestuurder een belangrijke rol. Een veel gebruikt theoretisch model in de verkeerspsychologie is de theorie van gepland gedrag van Ajzen (1985) waarbij gedrag dat wordt vertoond mede is gebaseerd op zijn/haar intenties. Sommige mensen doen bewust iets fout, terwijl ze alle informatie precies hetzelfde interpreteren als mensen die zich aan door autoriteiten gestelde regels houden. Intenties worden weer bepaald door houding (attitude), subjectieve norm en ingeschat vermogen om zelf invloed te hebben op eigen gedrag. Fig. 5 geeft een gecombineerd gedragsmodel weer (van der Horst, 1998).

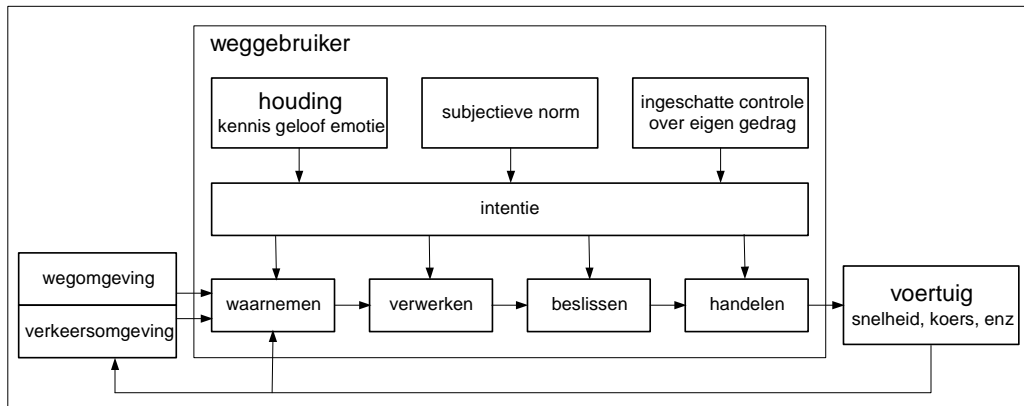


Fig. 5: Gecombineerd gedragsmodel van factoren die het gedrag van weggebruikers beïnvloeden.

Als het resulterende gedrag van een weggebruiker als onveilig bestempeld wordt dan valt dit grofweg onder te verdelen in *bewust onveilig* en *onbewust onveilig* gedrag (van der Horst & Martens, 2004). Bij bewust onveilig gedrag is de weggebruiker zich bewust van het feit dat hij dingen doet die niet mogen of die gevaarlijk zijn (hij heeft eigen redenen om dat risico te nemen) en bij onbewust onveilig gedrag heeft de weggebruiker het idee dat hij het juiste gedrag vertoont en is zich er dus niet van bewust dat hij zich onveilig gedraagt. Bij bewust onveilig gedrag liggen maatregelen om het gedrag te beïnvloeden vooral op het vlak van afdwingen en handhaving terwijl onbewust onveilig gedrag voorkomen veel meer ligt op het vlak van een zo goed mogelijk op de verwachtingen van de weggebruiker afgestemd ontwerpen van weg- en verkeersomgeving.

### 3 DE WEGGEBRUIKER ALS INFORMATIEVERWERKEND SYSTEEM

#### 3.1 Het waarnemen

##### 3.1.1 Aandacht

Visuele waarneming speelt een cruciale rol bij het uitvoeren van de rijtaak. Waarnemen is zoals gezegd een *constructie-proces*: het is altijd een wisselwerking tussen wat via het zintuig beschikbaar komt en de verwachtingen van de weggebruiker. Aan het eigenlijke waarnemen gaat een fase vooraf waarin de waarnemer zich in de omgeving oriënteert en zich richt op een object. Er zijn twee manieren waarop dit *aandachtsproces* gestuurd kan worden, namelijk 'top-down' en 'bottom-up' of 'data-driven'. In het eerste geval is men al actief naar bepaalde informatie aan het zoeken, op grond van een zeker verwachtingspatroon over wat men denkt aan te zullen treffen. In het tweede geval is men niet expliciet naar iets op zoek, maar wordt de aandacht gestuurd vanuit het object zelf: het object 'trekt', zoals men zegt, de aandacht. In een verkeersomgeving, waarbij de weggebruiker zeker niet in staat is om alle aangeboden informatie te verwerken, zal de visuele waarneming voor een belangrijk deel "top-down" gestuurd worden (Theeuwes, 1992), d.w.z. bij toepassing in het



wegverkeer dat wat wordt waargenomen, wordt vooral bepaald door de *verwachtingen* van de weggebruiker

Het onderscheid is in veel omstandigheden van belang. In het bijzonder is dat het geval wanneer een weggebruiker ‘top down’ aan het werk is en men hem dwingt tot een ‘data-driven’ vorm van zoeken, met name door hem informatie voor te zetten die niet in zijn verwachtingspatroon past. Er moeten dan meerdere, en langer durende, inspecties (oogfixaties) van de onverwachte informatie worden gepleegd. Dat levert in ieder geval tijdverlies op, en daarnaast het risico van de bedoelde informatie uiteindelijk in het geheel niet kunnen vinden (Theeuwes & Hagenzieker, 1993). Het is dus zaak om, in concrete gevallen, zich af te vragen of de aard van de informatie die men wil geven, en ook de positie waarop men de informatiedrager plaatst, past in het verwachtingspatroon dat een weggebruiker op die plaats en op dat tijdstip zal hebben. Een wegbeeldanalyse kan een goed middel zijn om zich daarin te verplaatsen.

Ook de mate waarin objecten intrinsiek de aandacht trekken kan verschillen. Ofwel: objecten variëren in hun mate van *opvallendheid*. Zo zijn er objecten die onontkoombaar in het oog springen (reclamemakers weten daar alles van – vandaar ook dat ze zich in vreemde bochten moeten wringen om vervolgens uit te moeten leggen dat hun boodschappen zo zijn aangebracht dat ze de aandacht van passerende automobilisten *niet* trekken, en dus geen veiligheidsrisico vormen!). Een goede operationalisatie van opvallendheid luidt: ‘visuele opvallendheid (‘conspicuity’) van een object is de grootte van het gezichtsveld waarin dit object in zijn achtergrond kan worden ontdekt’ (Engel, 1974, 1977). Opvallendheid kan dus uitgedrukt worden als de maximale excentriciteit van een object in het gezichtsveld, dat wil zeggen, de maximale hoek waarbij het object nog gedetecteerd kan worden terwijl men er naast kijkt (en wel naar het centrum van het gezichtsveld). Hoe groter deze hoek, hoe opvallender het object. Er bestaat een optisch instrument waarmee men opvallendheid in concrete situaties snel en betrouwbaar kan bepalen (de ‘opvallendheidsmeter’; Wertheim, 1986).

### 3.1.2 Eigenschappen van zintuigen

Het eigenlijke waarnemen gebeurt met behulp van de zintuigen, waarvan het gezichtszintuig en het gehoor in het verkeer van het meeste belang zijn. Soms is ook de evenwichtszin van belang, namelijk als er zodanige langs- of dwarsversnellingen of vibraties optreden dat die een melding naar de bestuurder vormen van een mogelijke gevaarlijke ontwikkeling (uit de bocht vliegen; omkiepen).

Alle zintuigen hebben een aantal elementaire eigenschappen gemeen, als volgt:

- (1) Er is een absolute *waarnemingsdrempel*. De hoeveelheid op het zintuig vallende energie (licht, geluid) moet meer zijn dan een zeker minimum wil er van een gewaarwording sprake zijn.
- (2) Er is een zg. *verschildrempel*, toegerust met een ‘constante fractie’- mechanisme. Het verschil tussen twee fysische prikkels (‘stimuli’) moet groot genoeg zijn wil er een verschil waargenomen worden. De drempelwaarde voor dit verschil is nu ruwweg een constante fractie (de zg. Weberfractie) van de prikkel waartegen een verschil vastgesteld moet worden. Bijvoorbeeld: als men 100 munten in de hand houdt, dan wordt het toevoegen van één enkel extra munt niet opgemerkt. Dat gebeurt, zoals proefondervindelijk valt vast te stellen, pas bij ongeveer vijf extra munten. Echter: wanneer er wordt uitgegaan van duizend munten moeten er niet vijf aantoegevoegd worden om een verschil te kunnen voelen, maar ongeveer vijftig. De Weberfractie, ofwel het juist waarneembare relatieve verschil, voor gewicht is dus 5%. Deze fractie verschilt per zintuig.
- (3) Zintuigen vertonen het verschijnsel van *adaptatie*: naarmate een prikkel van constante grootte langer wordt volgehouden daalt de reactie van het zintuig op die prikkel. Adaptatie van het oog aan het licht, respectievelijk donker (bioscoop!), is een alledaags voorbeeld. In dit voorbeeld is het van belang te weten dat adaptatie aan het donker veel langzamer verloopt dan aan het licht. Adaptatie aan een werkelijk donkere omgeving kan wel een uur duren, terwijl adaptatie aan fel licht binnen enkele

seconden compleet is. Tunnelingangen zijn, om deze reden, dan ook kritischer dan tunneluitgangen.

(4) Het verband tussen de in fysische eenheden uitgedrukte prikkelsterkte en de resulterende gewaarwording is (bijna) nooit lineair. De gewaarwording van elektrische stroomsterkte is een extreem voorbeeld: het verdubbelen van het aantal micro-ampères dat aan een vingertop voelbaar wordt gemaakt leidt tot een liefst vier maal zo sterke gewaarwording. Daartegenover staat de gewaarwording van de lichtsterkte van een lamp. Wordt die objectief verdubbeld dan neemt de gewaarwording slechts met 25% toe.

De bovengenoemde eigenschappen laten zich goed illustreren aan de hand van het waarnemen van beweging en snelheid in het verkeer.

Ad (1) en (2). De absolute drempelwaarde voor beweging van een object ligt, in hoekmaat uitgedrukt, in de orde van 2 boogminuten/s. Omdat de bewegingsdrempel in hoekmaat is uitgedrukt kan het bewegende object dichtbij zijn en langzaam bewegen dan wel verder weg en snel bewegen. Zonder verdere diepte'cues' kan het oog niet uitmaken wat het geval is. Waartoe dat kan leiden is te zien in onderstaande tabel (Tabel II). Daarin staan gemeten waarden aan proefpersonen voor het snelheidsverschil met een voorligger dat, vanaf bepaalde volgafstanden, nog juist waargenomen kan worden. Te constateren valt dat het benodigde snelheidsverschil meer dan verdubbelt met het verdubbelen van de waarnemingsafstand. In termen van tijd uitgedrukt wordt het dus riskanter naarmate er op grotere afstand gevolgd wordt. Het oog, dat moet werken op basis van hoeken en hoeksnelheden, kan hier weinig aan doen. Het valt namelijk, op grond van een analyse van wat er met deze grootheden gebeurt wanneer een bewegend object op verschillende afstanden wordt gezien, aan te tonen dat een oog met een vaste gevoeligheid voor beweging minder kan presteren wanneer er van verder weg wordt gekeken. Om soortgelijke redenen is het ook moeilijker om het zelf naderen (inlopen) van een object vast te stellen dan door het object genaderd worden.

*Tabel II: Juist waarneembaar snelheidsverschil met voorligger (gemeten in het donker, dus op basis van het waarnemen van de relatieve beweging van de achterlichten van de voorligger; voor donkergeadapteerde proefpersonen, bij een kijktijd van 1s).*

Waarnemingsafstand (in meters)	Waarneembaar snelheidsverschil (in km/u)
40	5
80	11
160	27
320	64
640	151

Ad (3). Ook het verschijnsel adaptatie doet zich voor in de bewegings/snelheidswaarneming. Gewenning aan de eigen rijnsnelheid is, met name, een fenomeen om in de gaten te houden, bijvoorbeeld wanneer men vanaf een autosnelweg een weg van lagere orde oprijdt. De langdurige gewenning aan de hoge eigen rijnsnelheid op de snelweg leidt in zo'n geval tot de gewaarwording dat een lagere snelheid absurd laag lijkt, met als consequentie dat die weer opgevoerd zal worden – wat juist allerminst gewenst is. Er is bovendien gevonden dat adaptatie aan een hoge snelheid binnen korte tijd (1-2 minuten, op de snelweg) voltooid is, maar dat 'ontwenning' daarentegen veel trager verloopt.

Ad (4). Het verband tussen de objectieve en de subjectief ervaren eigen rijnsnelheid staat in Fig. 6 weergegeven. Fysische en ervaren snelheid wijken van elkaar af: tot ca. 65 km/u treedt subjectieve overschatting op, daarboven onderschatting. Natuurlijk is dit een gemiddelde: afhankelijk van de precieze omstandigheden kan het verband iets anders liggen.

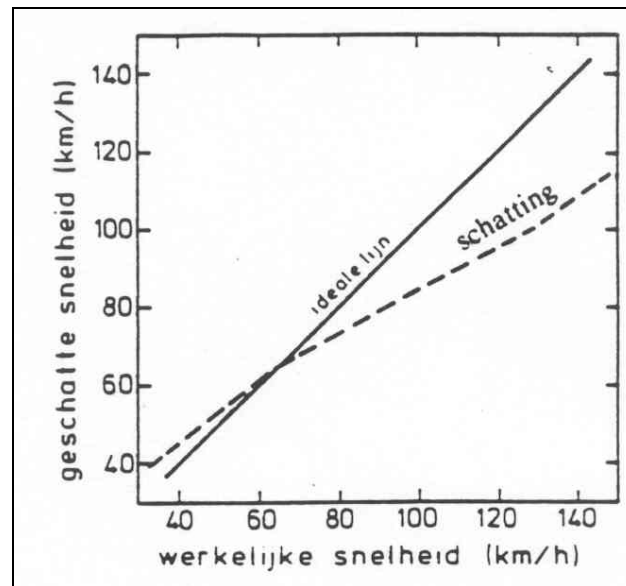


Fig. 6: Verband tussen werkelijke en ervaren eigen rijnsnelheid.

Overigens is er nog een andere belangrijke factor die het subjectieve snelheidsgevoel beïnvloedt, namelijk de hoogte waarop men zich boven het grondvlak bevindt. In concreto: de snelheidsimpressie is evenredig aan het aantal eigen ooghoogten boven het grondvlak dat men per seconde in de bewegingsrichting aflegt. Een voetganger legt in voorwaartse richting ca. 1 ooghoogte per seconde af, een automobilist in een personenauto ca. 10, en in een vrachtwagen ca. 4. Dat is de reden waarom men, gezeten in een vrachtwagen, zoveel langzamer lijkt te gaan dan in een personenauto die met dezelfde snelheid rijdt. In het extreme geval van een vliegtuig ligt de bewuste verhouding in de orde van 0.03: daarom lijkt men in dat transportmiddel zo langzaam voort te bewegen wanneer het eenmaal op hoogte is.

### 3.2 Verwerken van informatie

In het voorgaande hoofdstuk zijn een aantal fundamentele eigenschappen van zintuigen aan de orde geweest. In dit hoofdstuk gaat het om de fasen daarna, waarin informatie herkend en geïnterpreteerd wordt.

#### 3.2.1 Herkennen

Van 'herkennen' – of ook: identificeren – is sprake als de aangeboden informatie valt in de set van dingen die een weggebruiker al eens eerder gezien of meegemaakt heeft. Daarin bestaan natuurlijk gradaties: sommige dingen ziet men iedere dag, andere bijna nooit. Indien men bepaalde verwachtingen heeft over wat er gaat komen wil dat zeggen dat de set van herkenbare dingen bij voorbaat al enigszins ingeperkt is (cf. wat eerder gezegd is over 'top-down' en 'data-driven' aandachtsprocessen).

Een en ander valt te illustreren aan de hand van de discussie over de zg. leestijdformule, ofwel het verband tussen het aantal namen op een bord (wegwijzer), inclusief andere elementen zoals wegnummers, en de tijd die nodig is om het bord te lezen. Daarvoor werd altijd de volgende formule gehanteerd:

$$T = N/3 + 2 \text{ (seconden)}$$

Waarin: T = benodigde leestijd

N = aantal elementen op het bord.

Met deze formule kon dan verder worden gerekend om te bepalen hoeveel namen er, gegeven een zekere rijnsnelheid (die de voor de automobilist beschikbare tijd bepaalt), ten hoogste op een wegwijzer konden worden geplaatst. Dat aantal werd nooit hoog: op een autosnelweg maximaal 5 of 6.

Een aanzienlijk liberaler, en realistischer, uitgangspunt is dat de automobilist niet alle namen hoeft te lezen wanneer hij al naar een zekere bestemming zoekt, en dus weet waarnaar hij zoekt. Staat de gezochte bestemming op het bord dan zal men immers gemiddeld gesproken maar de helft van het bord hoeven na te lopen voor men de gezochte naam vindt.

Onderzoek waarin dit uitgangspunt werd gehanteerd (Alblas & Janssen, 1987, 1989) had dan ook als resultaat dat het aantal plaatsnamen op wegwijzers best wat hoger zou kunnen zijn dan tot dan toe, op basis van de leestijdformule, werd aangenomen (zie Fig. 7). De beslissingsafstand – de afstand waarop men in staat is uit te maken of een gezochte bestemming al dan niet op de wegwijzer staat – neemt slechts langzaam af met het aantal namen dat op de wegwijzer staat. Zelfs bij 10 namen is er nog geen sprake van te korte beslissingsafstanden. (Staat de gezochte naam er *niet* op dan zijn de beslissingsafstanden op zich uiteraard al lager, omdat er dan *wel* doorgezocht moet worden tot en met de laatste naam, en valt de grafiek ook iets sneller af. Deze situatie is echter minder kritisch dan de 'ja'-situatie, al mag men vermoeden dat bij ongeveer 10 namen het eind wel in zicht komt van wat men aan weggebruikers kan aanbieden).

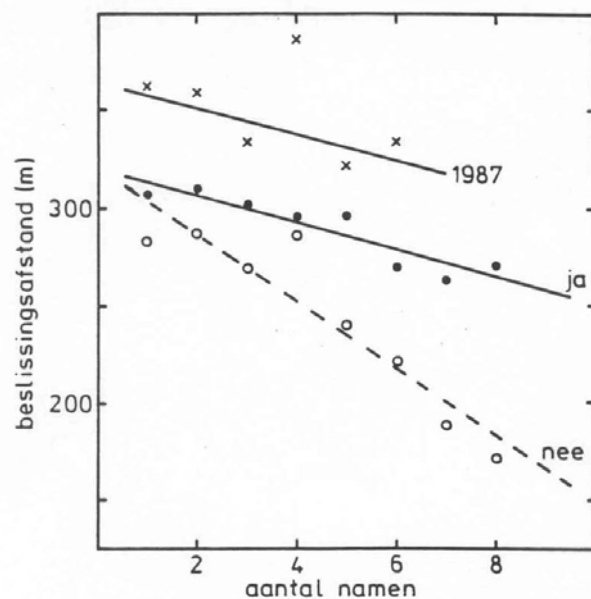


Fig. 7: Beslissingsafstand als functie van het aantal namen op een wegwijzer (uit Alblas & Janssen, 1989). Gegevens uit een eerdere proef (Alblas & Janssen, 1987) zijn eveneens ingetekend, voor 'ja'-gevallen, dus waarbij de gezochte naam inderdaad op de wegwijzer stond.

Een harde eis waaraan de lay-out van borden boven of langs de weg natuurlijk wel moet voldoen is

dat men klaar moet zijn met zoeken voordat het bord uit het gezichtsveld verdwijnt. Die afstand bedraagt voor een bord dat terzijde van de weg staat  $a/\tan\alpha$ , waarbij  $a$  de zijdelingse afstand tussen de waarnemer en het bord is en  $\alpha$  de hoek tussen de lijn waarnemer-bord en de normaal op het bord. De afstand tot het bord waarop men het opzoekproces voltooid moet hebben ligt dan in de orde van 50 m. Ook voor boven de weg geplaatste borden en panelen geldt een dergelijke waarde.

Een tweede harde eis aan de lay-out van borden is dat letter- en symboolgrootten zodanig zijn dat weggebruikers echt kunnen onderscheiden wat er staat. Bij een gegeven lettertype is de maximale leesbaarheidsafstand van een tekst evenredig met de gezichtsscherpte van de waarnemer, de letterhoogte, en de zg. leesbaarheidscoëfficiënt van de gebruikte letter. Deze laatste wordt uitgedrukt in m per cm letterhoogte. De gezichtsscherpte van Nederlandse weggebruikers van 18 jaar en ouder is normaal verdeeld, met een gemiddelde van 1.61 en een standaarddeviatie van 0.54. Hieruit volgt dat 85% van deze populatie een gezichtsscherpte heeft van 1.06 of meer. Het is gebruikelijk om deze 85e-percentielwaarde te kiezen voor het ontwerp van teksten in het wegverkeer.

### 3.2.2 Begrijpen

Een boodschap kan uitstekend leesbaar zijn, goed te herkennen, en toch niet te begrijpen. De *begrijpelijkheid* van een boodschap valt uit te drukken als de kans dat gebruikers er de bedoelde betekenis aan toekennen. Het voorbeeld in Fig. 8 (Zwaga, 1978) geeft een illustratie die betrekking heeft op pictogrammen waarmee aangeduid moet worden waar zich de uitgang van een gebouw bevindt.

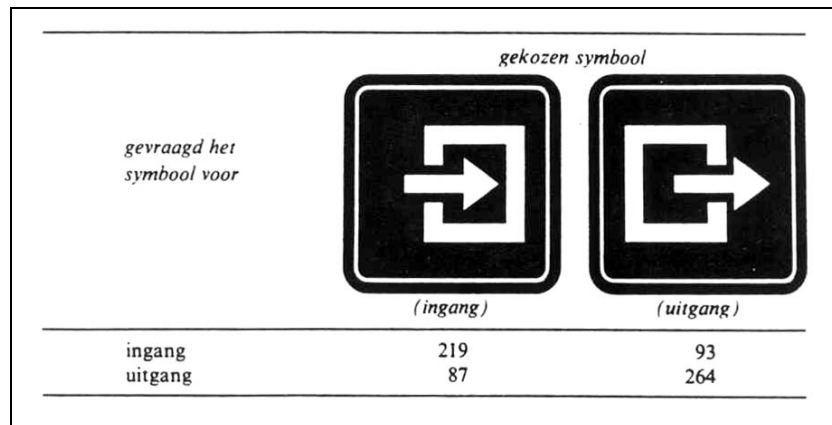


Fig. 8: *Begrijpelijkheid van boodschappen in grafische vorm (pictogrammen): de verwarring tussen 'ingang' en 'uitgang'. Te zien valt bijvoorbeeld dat van de ruim 300 proefpersonen die gevraagd werden het symbool voor 'ingang' aan te wijzen er 93 dat voor 'uitgang' kozen. Als naar het symbool voor 'uitgang' gevraagd werd wezen 264 van de ruim 350 proefpersonen het juiste symbool aan, terwijl 87 van hen het symbool voor 'ingang' aanwezen.*

Het is niet eenvoudig om van een wegontwerp in zijn algemeenheid, te zeggen wanneer het begrijpelijk is. Categorisering van wegen is zeker een manier om, op hoog niveau, daaraan iets te doen.

### 3.3 Beslissen

Nadat de weggebruiker informatie verzameld en verwerkt heeft, moet hij nog beslissen wat ermee te doen. Ook wanneer het opnemen van de verstrekte informatie tot dan toe uitstekend is verlopen, kan de weggebruiker in dit stadium natuurlijk nog speelruimte hebben in wat hij gaat beslissen om met de

informatie te doen. Een aardige illustratie levert een onderzoek van Lewis en Cook (1969). Het waarschuwingsbord voor vallend gesteente, welbekend uit Alpine landen, is qua waarnemen en begrijpelijkheid gesproken een uitstekend bord. Lewis en Cook vroegen nu echter hun proefpersonen wat zij zouden *doen* als zij dit bord zagen. De ene helft van de proefpersonen gaf te kennen snelheid te zullen meerderen, teneinde de kans te verminderen om door net op dat ogenblik vallend gesteente getroffen te worden. De andere helft zou snelheid minderen teneinde het mogelijk reeds gevallen en op de weg liggend gesteente beter te kunnen ontwijken. Een op zichzelf uitstekend bord kan dus tot uiteenlopende beslissingen leiden.

Een ander element van het beslisproces is dat een weggebruiker zich niet uitsluitend hoeft te laten leiden door de zojuist ter plekke opgepikte informatie, maar ook door eigen motieven. Dat kan leiden tot het fenomeen van de zg. 'risico-compensatie', de constatering dat bestuurders hun gedrag na een de veiligheid bevorderende ingreep dusdanig wijzigen dat het gunstige effect daardoor weer teniet wordt gedaan. Daaronder valt ook het laten dalen van de oplettendheid, omdat men weet dat niet opletten nu niet zo'n grote kans met zich meebrengt om afgestraft te worden. Er zijn drie vragen te beantwoorden:

*(1) Waarom zouden weggebruikers tot dergelijke gedragswijzigingen overgaan?*

Het antwoord moet luiden: niet omdat ze vervelend willen zijn, maar omdat hen dat nuttig lijkt. Omdat de objectieve veiligheid verbeterd is, kan men, bijvoorbeeld, sneller rijden tegen dezelfde portie veiligheid. De winst van de maatregel komt dan dus niet als 'verhoogde veiligheid' in de boeken, maar als 'verbeterde mobiliteit'.

*(2) Wanneer – in welke situaties, onder welke omstandigheden – vertonen weggebruikers dergelijk compenserend en misschien wel contraproductief gedrag?*

Deze vraag valt op dit ogenblik niet in zijn algemeenheid te beantwoorden. Er zijn in ieder geval onderzoeken bekend waaruit blijkt dat het gedrag zich in ongunstige zin wijzigt wanneer men in een auto met ABS gaat rijden (Aschenbrenner, Biehl & Wurm, 1988), en wanneer men de autogordel gaat dragen (Janssen, 1994). Ook het toepassen van ZOAB heeft, naar verluid, dit effect – in dit geval in de vorm van een hogere rijsnelheid.

*(3) Hoe kan risico-compensatie onderdrukt worden, liefst voor het zich voordoet?*

Gaat men er van uit dat weggebruikers een doelbewuste afweging maken tussen de kosten en baten van, respectievelijk, veiligheid en mobiliteit dan valt er van klassieke middelen als voorlichting of educatie weinig te verwachten: wat men zou willen vertellen is immers al bekend of wordt in een nieuwe afweging meegenomen, met hetzelfde contra-productieve resultaat. De enige optie zou dan zijn het sleutelen aan de kosten-baten balans door selectief belonen en straffen van veilig en onveilig gedrag, zoals nu bijvoorbeeld al gebeurt door middel van bonus-malis verzekeringsconstructies.

Als uiting van risico-compensatie kan ook gezien worden het in de literatuur beschreven verschijnsel van 'ongevalsmigratie'. Daarmee wordt bedoeld dat wanneer het lukt om ongevals aantallen op een zekere locatie ('black spot') te reduceren ze daardoor op nabijgelegen, niet behandelde locaties toenemen. Er woedt al heel lang een dispuut over de vraag of dit verschijnsel zich werkelijk voordoet. Diegenen die stellen dat het zich wel degelijk voordoet hebben ook een verklaring bij de hand: een 'black spot' houdt verkeersdeelnemers scherp, en neemt men dat weg dan gaan ze in het algemeen minder oplettend, met meer ongevallen op nabijgelegen locaties als resultaat. Een meer prozaïsche verklaring is dat het hier om niets anders gaat dan een statistisch artefact, namelijk regressie naar het gemiddelde. Op de behandelde black spot dalen ongevals aantallen schijnbaar (hetgeen ze uit zichzelf ook gedaan zouden hebben, na de toevallige piek die aanleiding was voor hun behandeling), op niet behandelde nemen ze tegelijkertijd schijnbaar toe, zodat het om een toevallige correlatie gaat en niet om een oorzakelijk verband. Het laatste woord is over dit onderwerp nog niet gesproken.

### 3.4 Handelen

Is eenmaal besloten wat er gedaan moet worden dan moet er een handeling volgen. Een belangrijk aspect van het uitvoeren van een handeling is de reactietijd, dat is de verstreken tijd vanaf het ogenblik waarop zich het gegeven voordeed waarop gereageerd moest worden tot het daadwerkelijk uitvoeren van de reactie. Alhoewel deze reactietijd pas ‘zichtbaar’ wordt in het eigenlijke handelen is hij uiteraard de optelsom van alle voorgaande stadia in de informatieverwerking.

Het moeilijke van het werken met een reactietijd is dat het geen vaste waarde is, alhoewel die indruk vaak wel wordt gewekt. Zo hanteert AASHTO (1982) een ‘design standard’ van 2.5 s, zijnde de optelling van 1.5 s voor waarnemen + verwerken + beslissen, en 1.0 s voor de eigenlijke reactie. Het feit is echter dat de reactietijd afhankelijk is van een groot aantal factoren, zodat het hanteren van een vaste waarde eigenlijk niet verantwoord is.

De belangrijkste factor is de situatie waarin gereageerd moet worden. Als daarmee rekening wordt gehouden ontstaat er als vanzelf een differentiatie, zoals naar stopzicht, afremzicht, rijzicht, inhaalzicht, oprijzicht, kruisingszicht, en stuurzicht (zie bijvoorbeeld Godthelp & Tenkink, 1990).

## 4 RIJSIMULATORONDERZOEK

### 4.1 Waarom rijsimulatoronderzoek?

In veel gevallen is het van belang om een ontwerp, een verkeerssituatie, een verkeersmanagementmaatregel dynamisch (al rijdend) te beoordelen (van der Horst, Hoekstra & Theeuwes, 1995) en/of om na te gaan hoe weggebruikers zich, gegeven het ontwerp bijvoorbeeld in combinatie met verkeersmanagementmaatregelen en in interactie met ander verkeer, zullen gaan gedragen. Een andere vraag die wel gesteld wordt, is of een bepaalde innovatief idee wel veilig genoeg is om op de weg in het echte verkeer uit te proberen. Een rijsimulatorstudie kan dan uitkomst bieden.

Een rijsimulator is één van de middelen die kunnen worden ingezet bij onderzoek naar verkeersgedrag. TNO Human Factors doet gedragsonderzoek met behulp van een hele range van methoden en technieken, van ongevalsanalyses, video-observaties in het werkelijke verkeer, geïnstrumenteerde voertuigen, rijsimulatoren, laboratorium experimenten tot mathematisch modelleren van gedrag ten behoeve van microscopische verkeerssimulaties. Redenen waarom een rijsimulator bij empirisch en systematisch gedragsonderzoek in een dynamische taakomgeving de voorkeur krijgt boven rijden in een echt voertuig op de weg, kunnen onder andere zijn:

- In de simulator is het mogelijk (nog) niet bestaande situaties te onderzoeken (speciaal bij nieuwe telematicatoepassingen ontbreekt simpelweg de infrastructuur nog),
- In de simulator is er sprake van systematische controle over omstandigheden en kun je specifieke situaties creëren en conditioneren (bijvoorbeeld afremmende voorligger, invogend verkeer, werklast, afleiding, file, duisternis, mist) en is het gemakkelijk om verschillende ontwerpvarianten met elkaar te vergelijken,
- In de simulator is het mogelijk situaties en omstandigheden te onderzoeken die (te) gevaarlijk zijn om ze bij voorbaat al op de weg uit te voeren omdat de (verkeers)veiligheid in het geding kan zijn.

Een kernbegrip met betrekking tot het toepassen van simulatoren bij gedragsonderzoek is het begrip *validiteit*. Onder validiteit van een rijsimulator voor het beantwoorden van een bepaalde onderzoeksvraag wordt verstaan de mate waarin de simulator hetzelfde gedrag uitlokt als onder

gelijksoortige condities in werkelijkheid zou worden vertoond (Korteling & Padmos, 1990). Het is echter betekenisloos om te spreken over de validiteit van een meetinstrument, zoals een simulator, als zodanig. Validiteit kan alleen worden gedefinieerd in relatie tot het beantwoorden van een specifieke onderzoeksvraag. Bij elk gebruik van een rijnsimulator dient de vraag te worden gesteld of de simulator voldoende valide is met betrekking tot de taak of vaardigheid die wordt onderzocht. Omdat mensen zelden alle beschikbare informatie bij een taak nodig hebben, of kunnen verwerken, is het niet per definitie noodzakelijk dat de aangeboden informatie in de simulator en in werkelijkheid op de weg volledig identiek zijn. Een onderscheid dient gemaakt te worden tussen absolute en relatieve validiteit (o.a. Kaptein, Theeuwes & van der Horst, 1995). Het verschil tussen absolute en relatieve validiteit kan het best geïllustreerd worden aan de hand van een voorbeeld. Als men geïnteresseerd is in de vraag of een bepaalde snelheidsbeperkende maatregel zinvol is, is het snelheidsgedrag met en zonder maatregel van belang. Een simulator bezit ten aanzien van deze vraag relatieve validiteit als het effect van de maatregel op het snelheidsgedrag in de simulator qua richting en relatieve grootte overeenkomt met die in de werkelijkheid. Bij onderzoek om van een aantal voorgestelde maatregelen te bepalen welke de grootste snelheidsreductie geeft, dient de simulator relatief valide te zijn: de rangorde van effecten van de verschillende maatregelen in de praktijk moet hetzelfde zijn als de volgorde van de effecten in de rijnsimulator, zodat een juiste keuze kan worden gemaakt. De simulator bezit absolute validiteit als ook de absolute grootte van het effect in de rijnsimulator vergelijkbaar is met dat in werkelijkheid. Indien de vraag in dit voorbeeld is hoeveel snelheidsreductie te verwachten is, dan is absolute validiteit nodig. De afgelopen jaren zijn diverse onderzoeken uitgevoerd over de validiteit van de TNO rijnsimulator. Kaptein, Theeuwes en Van der Horst (1995) geven daarvan een goed overzicht. Meer recent had in het kader van het onderzoek naar BKA fase 2 (Basiskwaliteit Autosnelwegen) één van de rijnsimulatorexperimenten tot doel om het rijgedrag in de rijnsimulator te vergelijken met het rijgedrag op de plusstrook van de A27 om inzicht te verkrijgen in de validiteit van de simulator als het gaat om het rijden op versmalde rijstroken (Hoedemaeker, Janssen & Brouwer, 2002). Het patroon van verschillen tussen rijstroken met verschillende rijstrookbreedten dat op de weg werd gevonden, werd zo goed als altijd in hoge mate in de rijnsimulator gereproduceerd. De rijnsimulator bezat ten aanzien van het koershouden tenminste een goede relatieve validiteit en in veel situaties ook absolute validiteit.

Het begrip *face validity* is bij simulatoren ook van belang en is de mate waarin een proefopstelling (zoals een rijnsimulator, maar ook een geïnstrumenteerd voertuig) op de bestuurder realistisch overkomt. Dit hoeft in directe zin niet belangrijk te zijn voor de validiteit van het onderzoek maar kan bijvoorbeeld wel van belang zijn voor de motivatie van de bestuurder en daarmee indirect invloed hebben op de onderzoeksresultaten.

## 4.2 Rijsimulatoren

Een prototypische rijnsimulator bestaat uit een voertuig mock-up en een beeldgeneratie- en projectiesysteem. De mock-up is uitgerust met dezelfde bedieningsmiddelen als in een echt voertuig (stuur, rem, gaspedaal, e.d.) en wordt in principe op dezelfde manier bediend. Het beeldgeneratiesysteem berekent – aan de hand van een voertuigmodel – de momentane positie en oriëntatie van het virtuele voertuig en projecteert de bijbehorende visuele informatie op een scherm dat voor de mock-up is geplaatst. Naast visuele informatie (buitenbeeld, dashboardinformatie) vindt terugkoppeling aan de bestuurder plaats van geluiden en van krachten op bedieningsmiddelen. Meestal wordt geluid gegenereerd dat onder andere afhankelijk is van het motortoerental en snelheid van het virtuele voertuig en van de positie en snelheid van ander verkeer. Sommige simulatoren beschikken over een moving-base, waardoor, in tegenstelling tot fixed-base simulatoren, de mock-up kan bewegen afhankelijk van de bewegingen van het gesimuleerde voertuig. Een rijnsimulator biedt de mogelijkheid om als het ware door het ontwerp of in de te onderzoeken situatie te rijden. Enerzijds



kunnen ontwerpers hun ontwerp nog eens zorgvuldig vanuit elk gewenst punt visueel beoordelen, anderzijds kan met een rijnsimulator onderzoek worden gedaan naar de consequenties van een ontwerp of systeem voor het rijgedrag van weggebruikers. TNO heeft een hele reeks van simulatorfaciliteiten van eenvoudig tot zeer complex tot haar beschikking waaruit afhankelijk van de specifieke vraagstelling een effectieve en efficiënte keuze kan worden gemaakt, zie Fig. 9.



Fig. 9 Rijnsimulatorfaciliteiten bij TNO: **Linksonder:** De TNO rijnsimulator met truck cabine als mock-up; **rechtsboven:** Low-cost fixed-base rijnsimulator; **midden:** High-fidelity moving-base rijnsimulator opstelling; **linksonder:** Mini-simulator die ingezet wordt bij begrijpelijkheidsstudies; **rechtsonder:** Geavanceerd bewegingsplatform DESDEMONA dat zowel voor het simuleren van complexe vliegmanoeuvres als voor rijden in meer extreme situaties (scherpe bochten rijden, slalommen, van de weg raken, e.d.) kan worden ingezet.

Voor het beantwoorden van onderzoeksvragen waarbij het vooral gaat om de begrijpelijkheid van bepaalde oplossingen of keuzes die weggebruikers maken is het soms voldoende om scenario's dynamisch aan te bieden op een computerscherm terwijl de proefpersoon de beschikking heeft over een stuurtoestel, een gaspedaal en een rem, zodat men zelf over een wegvak kan rijden en bij draaien aan het stuur het beeld verandert zoals dat normaal ook in de rijnsimulator zou gebeuren en met het gaspedaal en rem de snelheid waarmee men over de weg rijdt, varieert. Fig. 9 (linksboven) geeft een voorbeeld van een dergelijke mini-simulator. Een studie naar de begrijpelijkheid van een aantal varianten van spitsstroken langs aansluitingen op autosnelwegen is een goed voorbeeld waarbij deze mini-simulator opstelling werd ingezet. Proefpersonen reden over een autosnelweg met een (al dan niet opengestelde) spitsstrook. Op basis van de aangeboden bebording en pijlen en kruisen boven de stroken moest men zelf beslissen of de strook beschikbaar was of niet, terwijl men soms de weg moest vervolgen, soms moest invoegen en soms juist moest uitvoegen (Martens & Ridder, 2002).

Fig. 9 (rechtsboven) geeft de mede door TNO ontwikkelde low-cost fixed-base rijnsimulator weer, een systeem dat oorspronkelijk voor trainings- en opleidingsdoeleinden was ontwikkeld, maar nu ook inzetbaar is als onderzoekrijnsimulator. Deze low-cost rijnsimulator is bijvoorbeeld recent ingezet bij een studie waarbij verschillende vormen van snelheidsinformatie aan de bestuurder (wegkant en in-car) bij het toepassen van een groene golf van verkeerslichten met elkaar werden vergeleken (Duivenvoorden, e.a., 2008). Een ander voorbeeld is de ontwikkeling en het testen van een Intelligent Cooperative Intersection Safety System (IRIS), een systeem dat door middel van voertuig-infrastructuur communicatie bewegingen van individuele voertuigen volgt en analyseert en op kruispunten potentieel gevaarlijke situaties detecteert en bestuurders waarschuwt. Een eerste waardering en acceptatie door gebruikers ervan werd onderzocht met behulp van een rijnsimulatorstudie (Vreeswijk, e.a., 2008).

Fig. 9 (midden) geeft een overzicht van de TNO high-fidelity moving-base rijnsimulator opstelling met 180° voorwaarts beeld, en achtritkijschermen voor beide buitenspiegels. Deze opstelling kan ook worden gebruikt voor onderzoek naar het rijgedrag van vrachtwagenbestuurders. Daarvoor wordt de BMW mock-up vervangen door een cabine van een DAF CF 65.180 truck (zie Fig. 9, linksonder) met uiteraard een aangepast voertuigmodel.

Recent heeft TNO een geavanceerd bewegingsplatform in gebruik genomen, genaamd DESDEMONA, zie Fig. 9 (rechtsonder). Dit systeem was oorspronkelijk ontwikkeld voor desoriëntatietrainingen voor vliegers, maar wordt nu ook ingezet als rijnsimulator voor die scenario's waar voertuigbewegingen een essentiële rol spelen zoals bij het rijden van scherpe bochten, het van de weg af raken, terrein rijden, e.d. DESDEMONA combineert beperkte lineaire beweging in een willekeurige richting met centrifugale acceleratie en ongelimiteerde rotaties. Een eerste studie naar het rijden in scherpe bochten met verschillende vormen van bewegingssimulatie (DESDEMONA motion cueing algoritme, klassiek wash-out filter, geen beweging) is inmiddels uitgevoerd en daarbij bleek het DESDEMONA algoritme goed te scoren en overeen te komen met het gevoel tijdens het rijden van bochten in werkelijkheid (Wentink, e.a., 2008).

In het navolgende richten we ons vooral op de TNO high-fidelity moving-base rijnsimulator (Fig. 9, midden) en onderzoeken die daarmee zijn uitgevoerd.

## **5 ENKELE VOORBEELDEN VAN RIJSIMULATORONDERZOEKEN IN DE PRAKTIJK**

### **5.1 Contraflow systemen: effecten op rijgedrag**

In een studie voor de Dienst Verkeer en Scheepvaart van Rijkswaterstaat werd een rijnsimulatorstudie uitgevoerd naar de effecten op de rijprestatie van weggebruikers van lange contraflow systemen (tot 12 km) bij werk-in-uitvoeringssituaties op autosnelwegen (Martens & Brookhuis, 1998). Bij een contraflow systeem wordt het verkeer van een rijbaan deels (3-1 systeem) of geheel (4-0 systeem) naar de andere rijbaan met versmalde rijstroken geleid, zie Fig.10. Tot dan toe mocht een contraflow systeem volgens de toenmalige richtlijnen voor maatregelen bij werken in uitvoering op autosnelwegen (CROW, 1995) maximaal 4 km lang zijn, aangezien een dergelijk systeem over grotere weglengten automobilisten wellicht te veel zou kunnen belasten. Het onderzoek draaide om de vraag of het in termen van rijgedrag, rijcomfort en belasting verantwoord is om een 3-1 dan wel een 4-0 contraflow systeem over een lengte tot 10 kilometer aan te leggen. Twee rijstrookbreedten werden in het onderzoek meegenomen. In het geval van een smal contraflow systeem was de breedte van de linker rijstrook 2.50m en van de rechterrijstrook 3.00m. Bij de bredere variant werden rijstrookbreedtes van respectievelijk 2.75m en 3.25m gehanteerd. Een betonnen barri re scheidde het verkeer in tegengestelde richtingen. In het onderzoek was ander verkeer ook gesimuleerd, waarbij bij het 4-0 systeem ook vrachtverkeer op de smalle rechterrijstrook reed. De linkerrijstrook was altijd vrij voor de proefpersonen, zodat men in zijn of haar snelheidskeuze niet gehinderd werd door ander verkeer. Naast snelheid is ook de stuurinspanning gemeten, waarbij een hogere stuurinspanning inhoudt dat men meer moeite doet om een goede positie binnen de rijstrook in te nemen. Ook is gekeken naar de standaardafwijking van de laterale positie, hetgeen een maat is voor slingeren, en het percentage lijnoverschrijdingen.

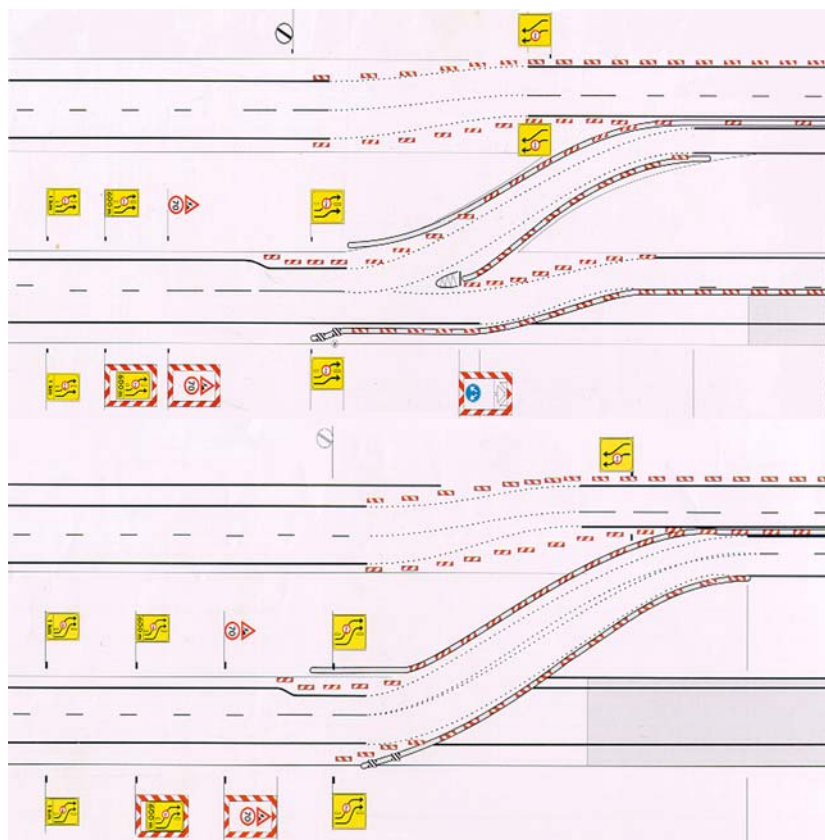


Fig.10 Voorbeelden van contraflow systemen. Boven: 3-1 systeem waarbij verkeer van de linkerrijstrook van de rechterbaan geleid wordt naar een aparte   nstrooks rijbaan van de linkerbaan. Verkeer van de rechterrijstrook wordt naar een aparte   nstrooks rijbaan op de rechterbaan geleid. Beneden: 4-0 contraflow systeem waarbij verkeer van beide rijstroken van de rechterbaan geleid wordt naar een aparte tweestrooks rijbaan op de linkerbaan.

Een resultaat dat direct bleek was dat proefpersonen ook in de simulator soms problemen hebben met het inhalen van vrachtverkeer. Men durft het in die gevallen als het ware niet aan om op een smalle rijstrook een brede vrachtwagen in te halen. Dit is een fenomeen dat in werkelijkheid ook waar te nemen is en dat aangeeft dat we er in het onderzoek in geslaagd zijn om weggebruikers ook in de rijnsimulator het gevoel van engte op smalle rijstroken over te brengen, enerzijds door de visueel smalle rijstroken maar ook door de gesimuleerde betonnen barri er. Het rijnsimulatoronderzoek liet verder zien dat het rijgedrag op de enkele strook van het 3-1 systeem doorgaans veiliger was dan op de dubbele strook van het 4-0 systeem. Ook bleek een bredere rijstrook te leiden tot veiliger rijgedrag. In een aantal gevallen was de meest duidelijke indicatie voor onveilig gedrag dat er een hoog percentage lijnoverschrijdingen was, dat men steeds meer stuurinspanning vertoonde naarmate men langer in het werkvak reed terwijl dit toch gepaard ging met meer slingeren. In de meeste gevallen zette deze verslechtering zich al na 4 km in. Op basis van deze studie is aanbevolen dat alleen bij een 3-1 systeem met een linkerijstrook van minimaal 2.75m een werkvak tot 8 kilometer lengte acceptabel is in termen van verkeersveiligheid.

## 5.2 Westerscheldetunnel

De Westerscheldetunnel (zie Fig. 11) is uitgevoerd met twee afzonderlijke tunnelbuizen van 6.6 km lang, met elk twee rijstroken. Uit financiële overwegingen is er geen aparte voetgangersbuis voor eventuele evacuatie aangelegd. Om nu in het geval van een benodigde evacuatie vluchtende automobilisten naar de andere (lees 'veilige') tunnelbuis te laten gaan zijn elke 250 m dwarsverbindingen tussen de buizen aangelegd. Deze dwarsverbindingen komen echter direct uit op de rijbaan van de veilige tunnelbuis, waar dan nog verkeer aanwezig is. De confrontatie van het rijdende verkeer met vluchtende automobilisten kan opnieuw aanleiding geven tot een onveilige situatie. TNO Human Factors heeft toendertijd in opdracht van de Dienst Verkeer en Scheepvaart van Rijkswaterstaat een rijnsimulatorstudie uitgevoerd, waarin een aantal signaleringsvarianten om voor de vluchtende automobilisten een veilige situatie te cre eren zijn onderzocht (Martens, Koster & Lourens, 1998). Deze maatregelen zouden binnen  en minuut effectief moeten zijn, aangezien na  en minuut al de eerste vluchtende automobilisten in de 'veilige' tunnelbuis te verwachten zijn.

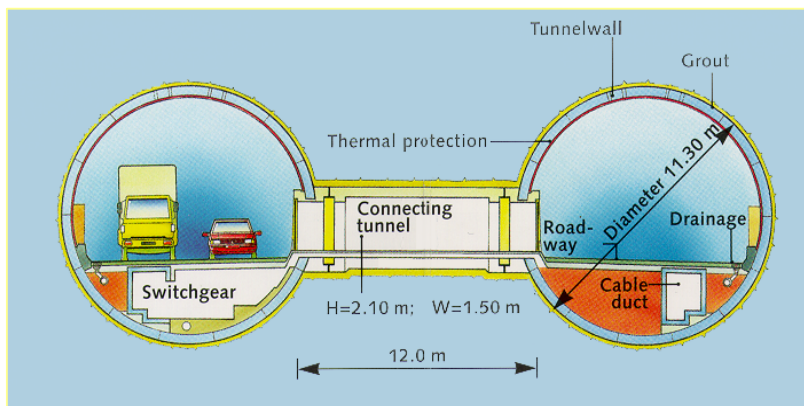


Fig.11 Dwarsdoorsnede van de Westerscheldetunnel.

In de "verdrrijf-variant" werd het verkeer in de veilige buis zo snel mogelijk van de linker rijstrook naar de rechter rijstrook verdreven. Dit zorgt ervoor dat wanneer vluchtenden op de linkerijstrook uitkomen hier geen verkeer meer rijdt. Op de rechterijstrook werd de snelheid er voor een groot deel uitgethaald door verkeerssignalering. Ook werd een argumentatiebord getoond om de automobilisten te waarschuwen voor voetgangers in de tunnelbuis. Fig. 12 geeft de hierbij horende signalering.

Hierbij werd de linkerrijstrook eerst verdreven met een gele pijl en 10s later pas werd deze afgekruid. Voor de rechterrijstrook gold een snelheidsbeperking die van 70 km/u naar 50 km/u naar 30 km/u werd afgebouwd. Bij dit alles werd een argumentatiebord getoond.



Fig. 12: De verdrijfvariant, waarin het eerste bord 10s werd getoond, het tweede bord gedurende 10s en het laatste bord de resterende tijd.



Fig. 13: De stopvariant, waarbij elke combinatie borden gedurende 10s werd getoond. De laatste twee borden ("Stop" en "Ongeval") alterneerden.

In de "stop-variant" (Fig. 13) werd het verkeer zo snel mogelijk stopgezet. Gekeken werd of weggebruikers begrepen wat er van hen verwacht werd bij het tonen van een dergelijke signalering, of men dit gedrag ook daadwerkelijk vertoonde, of de manoeuvres veilig werden uitgevoerd en of dit binnen één minuut plaatsvond. In de stop-variant kreeg men eerst een snelheidsbeperking "70" te zien met een argumentatiebord "Ongeval" gedurende 10s. Hierna een snelheidsbeperking "50" met op de verkeerlichten een knipperend oranje (zoals bij het afsluiten van tunnelbuizen gebruikt wordt), daarna "30" met vast oranje en daarna geen snelheden meer maar een rood verkeerslicht, waarbij het argumentatiebord "Ongeval" alterneerde met het woord: STOP!

Omdat weggebruikers dergelijke signalering maar heel weinig tegen zullen komen (alleen in het geval van een evacuatie vanuit de andere tunnelbuis) en er dus onder die omstandigheden niet op bedacht zijn, lieten we proefpersonen eerst 3 ritten door de Westerschelde-tunnel maken waarin er niets gebeurde. Ook werd van tevoren niet verteld dat er eventueel een calamiteit op zou treden waarop men moest reageren. In de vierde rit werd men met één van de maatregelen (verdrijven of stoppen) geconfronteerd. Het idee was nu ook te kijken of men het gewenste rijgedrag zou vertonen op basis van de getoonde signalering. Maar hoe men reageert, hangt vaak ook af van het overige verkeer: Als je het overige verkeer zo programmeert dat het stopt in de stopconditie kan de proefpersoon niets anders doen dan zelf ook stoppen, terwijl we juist wilden onderzoeken wat een proefpersoon uit zichzelf zou doen. In het experiment was ander verkeer aanwezig, dat zo geprogrammeerd was dat het pas actie ondernam wanneer de proefpersoon zelf actie ondernam. Hiermee werd de situatie gecreëerd dat een proefpersoon uit zichzelf zijn rijgedrag aanpast en niet simpelweg reageert op stoppende of invoegende voorliggers. Pas wanneer een proefpersoon bijvoorbeeld was ingevoegd volgde het overige verkeer door ook langzaam in te voegen. Als de proefpersoon afremde, remde het overige verkeer pas als reactie hierop ook af. Op deze wijze wordt het rijgedrag van een proefpersoon ingegeven door eigen initiatief en weerspiegelt het overige verkeer de keuzes die de proefpersoon zelf maakt, zonder dat opvalt dat het verkeer de proefpersoon nadoet. Dit resulteerde in een zeer natuurlijk verkeersbeeld.

Dit onderzoek liet zien dat bij de verdrijfstrategie binnen 30 seconden de linker rijstrook volledig werd ontruimd, zodat het betreden van de tunnelbuis door een vluchtende na 1 minuut niet voor problemen zou zorgen. Hierbij werd geen onveilig rijgedrag vertoond. Ook in vragenlijsten gaf men

aan goed te weten wat er van hen verwacht werd. Ondanks het feit dat de rijksnelheden ongeveer 15 tot 20 km hoger lagen dan de aangegeven 30 km/u is de snelheid duidelijk teruggebracht. Wanneer men in de simulatie ook daadwerkelijk met een voetganger in de tunnelbuis werd geconfronteerd vertoonden men geen schrikreacties. In de vragenlijsten gaf men aan ook niet te schrikken aangezien men op basis van het argumentatiebord al voetgangers had verwacht. Bij het stilzetten van het verkeer werd de doelstelling (het stoppen van het verkeer binnen 1 minuut) niet gerealiseerd. De grootste groep proefpersonen stopte pas wanneer de vluchtende voetganger in de tunnelbuis verscheen, waarbij een redelijk deel zelfs een ongeval veroorzaakte door, ondanks hard remmen, de voetganger aan te rijden. Uit de vragenlijsten kwam ook naar voren dat proefpersonen niet begrepen wat er van ze werd verwacht. De meeste proefpersonen gaven aan dat ze dachten op een file-staart af te rijden, en dat ze maar bleven rijden omdat het overige verkeer ook maar bleef rijden.

Het rijnsimulatoronderzoek heeft geleid tot de conclusie dat de verdrijfmethode zonder problemen, binnen de tijd en zonder onveilig rijgedrag verloopt, en dat het stilzetten van het verkeer voor problemen zorgt, omdat men niet geneigd is te stoppen, men de maatregel niet begrijpt en daarnaast ook onveilig rijgedrag vertoont. De keus is dan ook gevallen op de verdrijfmethode voor toepassing in de Westerscheldetunnel in het geval van calamiteiten met evacuatie. In een vergelijking met in de praktijk genomen video-observaties waarin de linkerrijstrook op een tweestrooks autosnelweg werd voorzien van pijlen en kruisen, zonder dat hier direct iets op de linkerrijstrook gebeurde (dus vergelijkbaar met de omstandigheden in de Westerscheldetunnel) werd gevonden dat de tijden waarbinnen een rijstrook werd vrijgemaakt door de automobilisten nauwkeurig overeenkwam met de resultaten van de rijnsimulator.

### **5.3 Lane Departure Warning Assistant (LDWA) systemen, smalle rijstroken en afleiding**

In een grootschalig onderzoeksprogramma naar de effecten van LDWA systemen heeft Rijkswaterstaat als onderdeel van het Wegen naar de Toekomst innovatieprogramma een Field Operational Test uitgevoerd. Een LDWA systeem ondersteunt de bestuurder bij de uitvoering van de laterale rijtaak door een waarschuwing te geven als de bestuurder onbedoeld zijn rijstrook dreigt te verlaten, opdat de bestuurder zijn koers tijdig kan corrigeren. Een uitgebreide praktijkproef met vrachtwagens en bussen werd uitgevoerd waarin verschillende LDWA systemen werden geëvalueerd in termen van rijgedrag en acceptatie door gebruikers. Tevens werden effecten van LDWA op doorstroming ingeschat en werd een inventarisatie gemaakt van infrastructurele gevolgen van LDWA systemen. Voor een overall rapportage wordt verwezen naar Hoedemaeker en De Ridder (2003).

Eén van de onderdelen van deze studie betrof een rijnsimulatoronderzoek naar de effecten van een LDWA systeem in condities die zich niet lenen voor onderzoek op de weg (Brouwer & De Ridder, 2003). Deze condities betroffen de vraag of met een LDWA systeem wellicht rijstrookbreedten smaller zouden kunnen zijn en of in situaties waarin een bestuurder wordt afgeleid negatieve verkeersveiligheidseffecten achterwege blijven. Het onderzoek is uitgevoerd in de TNO rijnsimulator met de DAF cabine als mock-up (zie Fig. 9, linksonder). Als proefpersoon deden professionele vrachtwagenchauffeurs mee. De condities werden gecreëerd door het combineren van vier dwarsprofielen met twee niveaus van het LDWA systeem (aan of uit) en de aan- of afwezigheid van een tweede taak. Het dwarsprofiel was een driestrooks rijbaan (autosnelweg) waarbij de rijstrookbreedtes varieerden. De rechter rijstrook waarin de proefpersonen reden was 3.50 m, 3.10 m of 2.90 m met een vluchtstrook ernaast of 3.10 m zonder een vluchtstrook ernaast. Proefpersonen waren geïnstrueerd om in de rechter rijstrook te blijven. Wanneer het LDWA systeem aan stond was er een luide toon te horen wanneer links of rechts de rijstrookmarkering werd overschreden. De tweede taak bestond uit het intikken van vier cijfers op een numeriek toetsenbordje. Er werd een positief effect gevonden van het LDWA systeem op rijgedrag met betrekking tot rijstrookbreedtes. Wanneer het systeem in werking was, nam de duur van lijnoverschrijdingen af, werd er minder

geslingerd binnen de rijstrook, en nam het gemiddelde van de minimum TLC (Time-to-Line Crossing) toe. De ‘verbetering’ van het rijgedrag werd niet gevonden voor alle rijstrookbreedtes. De proefpersonen hadden meer profijt van het systeem op de versmalde rijstroken ( $< 3.50$  m). In het algemeen verslechterde de rijprestatie onder invloed van de tweede taak. Dit effect werd verminderd door het LDWA systeem. Als proefpersonen de tweede taak moesten uitvoeren was het rijgedrag beter met het LDWA systeem dan zonder. Opvallend was dat het rijgedrag zelfs beter was als proefpersonen de tweede taak moesten uitvoeren en het systeem aanstond dan wanneer ze onder normale omstandigheden moesten rijden (zonder LDWA systeem en tweede taak). Tegenover de positieve effecten van LDWA stond dat het proefpersonen meer inspanning kostte wanneer ze reden met het LDWA systeem.

#### 5.4 Wijzer op Weg rijsimulatorstudie

In de pilot ‘Wijzer op Weg’ (WoW) werd in het innovatieprogramma Wegen naar de Toekomst (WnT) van Rijkswaterstaat onderzocht welke informatie geschikt is om direct in de auto aan te bieden, welke mogelijkheden dit biedt voor verkeersbeheersing en wat dit kan betekenen voor de verkeersveiligheid. Voorafgaand aan een velddemonstratie waarin het WoW-concept op de openbare weg is gedemonstreerd door een vloot uit te rusten met het WoW in-car systeem, heeft TNO Human Factors in opdracht van de Dienst Verkeer en Scheepvaart van Rijkswaterstaat een onderzoek uitgevoerd in de rijsimulator om na te gaan of het conceptstelsel in de velddemo de verkeersveiligheid niet nadelig beïnvloedt (Hogema, 2005). De diensten die in-car werden aangeboden in de rijsimulator betroffen onder andere de waarschuwing voor een komende scherpe bocht, een continue weergave van de geldende snelheidslimiet, route-informatie en –geleiding, file- en verkeersinformatie, waarschuwing voor snelheidsovertredingen en nieuwsflitsen.

Proefpersonen reden verschillende ritten, deels met en deels zonder WoW-systeem. Hierbij waren er verschillende scenario’s: normaal rijden op de snelweg, werk in uitvoering en file. Fig. 14 geeft een voorbeeld van het WoW systeem in de TNO rijsimulator en het werk-in-uitvoeringsscenario.



Fig. 14 Voorbeeld van het Wijzer op Weg in-car systeem in de TNO rijsimulator en het scenario Werk-in-uitvoering.

Ook werden de proefpersonen af en toe geconfronteerd met onverwacht remmende voorliggers of invoegers voor hen. Werkbelasting werd gemeten met behulp van een vragenlijst en met behulp van de Perifere Detectie Taak (PDT). De selectiecriteria voor de proefpersonen waren gebaseerd op de beoogde groep deelnemers aan de velddemo (ervaren bestuurders, leeftijd tussen 28 en 55, ervaren PCgebruikers, gemotiveerd om aan dit onderzoek deel te nemen).

De gemiddelde snelheid nam af bij rijden met WoW. Met WoW bevonden de proefpersonen zich minder frequent in een volgsituatie, en als ze volgden was dat met een langere volgtijd. Verder werd er minder frequent van rijstrook gewisseld. Deze effecten konden worden toegeschreven aan de WoW-diensten die de bestuurder visueel de (statische) snelheidslimiet toonde respectievelijk middels een geluidssignaal waarschuwde als de limiet werd overschreden. Bij snelheidslimieten op matrixborden (die niet via deze WoW-diensten aan de bestuurder worden gemeld) was er geen effect van WoW op het rijgedrag. WoW was niet van invloed op het gedrag bij kritischer gebeurtenissen als plotseling remmende voorliggers. Wel bleek uit de PDT dat onder normale omstandigheden het rijden met WoW een hogere werkbelasting gaf dan zonder. Kritischer verkeerssituaties bleken belastender dan rijden onder normale omstandigheden, maar een verdere toename van de werkbelasting ten gevolge van WoW deed zich hier niet voor. Dat gold voor de scherpe bocht na de afrit van de snelweg, bij het naderen van een file, bij een invoegmanoeuvre vlak voor de bestuurder, en bij een plotseling remmende voorligger. WoW bleek niet te resulteren in ongewenste gedragsaanpassingen, en gaf in kritischer situaties geen verhoging van de werkbelasting. Al met al werd op grond van de rijnsimulatorstudie daarom geconcludeerd dat er vanuit veiligheidsoogpunt voor de beoogde groep deelnemers geen bezwaren waren tegen het toepassen van het WoW-systeem in de velddemo.

## **5.5 Rijnsimulatorstudie naar het effect van omgevingscomplexiteit op taakbelasting**

In opdracht van de Dienst Verkeer en Scheepvaart van Rijkswaterstaat voerde TNO een project uit in het kader van de ontwikkeling van een standaardmethode voor het meten van diverse soorten werkbelasting die automobilisten op autosnelwegen kunnen ondervinden. De vraagstelling in deze studie was om na te gaan welke methode het meest geschikt is om effecten van de omgevingskenmerken van de snelweg meetbaar te maken (Hoedemaeker, Hogema & Pauwelussen, 2006). In de TNO rijnsimulator werden twee situaties met elkaar vergeleken die a-priori de extremen representeren die een bestuurder qua omgevingscomplexiteit op een autosnelweg kan hebben: een 'minimum' (zo kaal mogelijke) en een 'maximum' (zo complex mogelijk aangeklede) variant van hetzelfde autosnelwegtraject. Het gemodelleerde autosnelwegtraject was een simulatie van een deel van de A10 ringweg rond Amsterdam. Fig. 15 geeft een impressie van beide varianten.

In de maximum-variant is tevens op een deel van het traject een Werk In Uitvoering (WIU) situatie gesimuleerd, waar men op één strook moest gaan rijden. Als meetmiddel voor de werkbelasting is gebruik gemaakt van neventaken: de prestatie op de neventaak dient als indicator voor de werkbelasting. De proefpersonen kregen hierbij de instructie om altijd vlot met het andere verkeer mee te rijden. Twee neventaken werden beproefd, allebei visuele detectietaken: de Perifere Detectie Taak (PDT) en de cijfertaak. Verder zijn het rijgedrag en de subjectieve mentale inspanning geregistreerd.

Van een verandering in taakprestatie op de neventaak onder invloed van een complexe omgeving van de snelweg is niets gebleken. De gedragsdata lieten zien dat de proefpersonen bij WIU wel hun gedrag aanpasten: de gemiddelde snelheid nam hier af, en de gemiddelde volgtijd nam (dus) toe. Onder invloed van WIU verschoof de gemiddelde laterale positie circa 0.25m naar rechts, weg van de barriër in de richting van de vluchtstrook. Bij WIU was de neventaakprestatie tijdens de overgang van



drie rijstroken naar de ene resterende rijstrook slechter dan tijdens het rijden in die enkele rijstrook. Uit de subjectieve resultaten kwam naar voren dat de proefpersoon het rijden met de maximum variant als meer inspannend ervaart dan de minimum variant. Het rijden met neventaak werd als meer inspannend ervaren dan rijden zonder neventaak. Dit gold voor de cijfertaak sterker dan voor de PDT.



*Fig. 15 Impressies van de minimum (boven) en maximum (onder) variant van de A10 in de TNO rijnsimulator.*

De minimum en de maximum variant uit het huidige project kenden grote verschillen in omgevingscomplexiteit. Desondanks hebben we met de neventaak-methoden geen werkbelastingseffecten gevonden. De subjectieve werkbelasting was wel groter in de maximum variant, maar de oorzaak (hoge omgevingscomplexiteit of WIU) is niet bekend. In de setting van het huidige experiment waren de proefpersonen blijkbaar goed in staat om afleiding door de visueel complexe omgeving te negeren en heeft omgevingscomplexiteit geen direct effect op werkbelasting. De huidige studie geeft echter wel een aantal aanknopingspunten waar de werkbelasting van bestuurders dan wél door wordt verhoogd. Het lijkt erop dat vooral verkeersgerelateerde of

rijtaakgerelateerde veranderingen in de weg, zoals bochten, weefvakken, invoegvakken en Werk In Uitvoering de momentane werkbelasting van de bestuurder verhogen.

## 6 TOT SLOT

De weggebruiker beschouwen als informatieverwerkend systeem (met de cyclus van waarnemen, verwerken, beslissen en handelen) geeft inzicht in wat weggebruikers kunnen en doen en daarmee in wat men als wegontwerper of verkeerskundige wel en niet van hen mag verwachten. Onoplettendheid en afleiding blijken een belangrijke oorzaak voor het ontstaan van ongevallen. Visuele waarneming speelt een belangrijke rol bij het uitvoeren van de rijtaak en is een wisselwerking tussen wat via het zintuig beschikbaar komt en de verwachtingen van de weggebruiker. Na het detecteren, zijn herkennen en begrijpen sleutelbegrippen bij het verwerken van informatie. Omdat verwachtingen zo'n belangrijke rol spelen, is het van belang dat het wegontwerp, wegbeeld en verkeerssituatie zo veel mogelijk zijn afgestemd op deze verwachtingen en als vanzelf verkeersveilig gedrag uitlokken leidend tot Self-Explaining Roads. Een beperkte set goed herkenbare en onderscheidbare wegcategorieën kan in belangrijke mate bijdragen aan het self-explaining maken van wegomgevingen.

Rijsimulatorstudies zijn een waardevolle aanvulling op het scala aan onderzoeksmethoden voor het doen van onderzoek naar het gedrag van weggebruikers in complexe en dynamische taaksituaties. Moderne computertechnieken maken het mogelijk op zeer realistische wijze de weg- en verkeersomgeving voor bestuurders van motorvoertuigen in real-time na te bootsen. Gebruik als visualisatietool kan nuttig zijn voor ontwerpers om hun ontwerp in een vroeg stadium van het ontwerpproces te beoordelen vanuit het oogpunt van de beoogde gebruiker. De gegeven voorbeelden van het gedragsonderzoek met behulp van de rijnsimulator laten zien dat het goed mogelijk is om een beoordeling te geven van rijgedrag, werkbelasting, comfort en veiligheid in complexe taaksituaties. Dit is van toenemend belang met het opkomen van allerlei nieuwe telematica-toepassingen in het wegverkeer zowel aan de wegwijk als in het voertuig. Een rijnsimulator biedt dan speciaal mogelijkheden voor onderzoek naar het gedrag in (nog) niet bestaande situaties of in situaties waarbij het mogelijk als te gevaarlijk geacht wordt om het in het werkelijke verkeer op de weg te testen. Een systematische controle over de experimentele condities met betrekking tot wegontwerpelementen, verkeersmanagement, ander verkeer, weersomstandigheden maakt onderzoek in een rijnsimulator aantrekkelijk. Echter, empirisch gericht onderzoek in echte voertuigen en in het echte verkeer blijft nodig, al is het maar voor validatie en verificatie van resultaten uit rijnsimulatoronderzoek.

## REFERENTIES

- AASHTO (1982). A policy on the geometric design of highways and streets.
- Ajzen, I. (1985). From intentions to actions: a theory of planned behaviour. In: *J. Kuhl & B. Brehmer (eds). Action control. From Control to Behaviour*. Springer Verlag, Berlin, 11-39.
- Alblas, B.P. & Janssen, W.H. (1987). *Een veldstudie over de informatiehoeveelheid op wegwijzers*. (Rapport TNO IZF 1987 C-31). Soesterberg: TNO Instituut voor Zintuigfysiologie.
- Alblas, B.P. & Janssen, W.H. (1989). *Een veldstudie over de informatiehoeveelheid op wegwijzers II*. (Rapport TNO IZF 1989 C-14). Soesterberg: TNO Instituut voor Zintuigfysiologie.
- Alexander, G.J. & Lunenfeld, H. (1986). *Driver Expectancy in Highway Design and Traffic Operations*. (Report FHWA-TO-86-1). Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Allen, T.M., Lunenfeld, H. & Alexander, G.J. (1971). Driver Information Needs. *Highway Research Record, no. 366*, 102-115.
- Aschenbrenner, M., Biehl, B. & Wurm, G. (1988). *Mehr Verkehrssicherheit durch bessere Technik?*

- Felduntersuchungen zur Risikokompensation am Beispiel des Antiblockiersystems (ABS)*. BAST, Mannheim.
- Ball, K., Owsley, C., Sloane, M.E., Roenker, D.L. & Bruni, J.R (1993). Visual attention problems as a predictor of vehicle crashes in older drivers. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 34, 3110-3123.
- Brouwer, R.F.T & S.N. de Ridder (2003). *Narrow lanes and distraction: Will LDWA come to rescue?* (TNO report TM-03-C020). Soesterberg: TNO Human Factors.
- CROW (1995). *Richtlijnen voor maatregelen bij werken in uitvoering op autosnelwegen*. (CROW Publicatie 96a). Ede: Centrum voor Regelgeving en Onderzoek in de Grond-, Water- en Wegenbouw en de Verkeerstechniek.
- Duivenvoorden, K., Schaap, N., Horst, R. van der, Feenstra, Ph. & B. van Arem (2008). *Roadside versus in-car speed support for a green wave: a driving simulator study*. Paper 08-1185, TRB 87<sup>th</sup> Annual Meeting, Washington, D.C. January 13-17, 2008
- Engel, F.L. (1974). Visual conspicuity and selective background interference in eccentric vision. *Vision Research*, 14, 459-471.
- Engel, F.L. (1977). Visual conspicuity, visual search and fixation tendencies of the eye. *Vision Research*, 17, 95-108.
- Godthelp, J. & Tenkink, E. (1990). *Zichtcriteria voor wegen en informatiedragers langs de weg*. (Rapport TNO IZF 1990 C-10). Soesterberg: TNO Instituut voor Zintuigfysiologie.
- Gregersen, N.P. & Berg, H.Y. (1994). Lifestyle and accidents among young drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 26, 297-303.
- Hoedemaeker, M., Hogema, J.H. & J. Pauwelussen (2006). *Rijsimulatorstudie naar het effect van omgevingscomplexiteit op de werkbelasting*. (TNO rapport TNO-DV3 2006-C244). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Hoedemaeker, M., Janssen, W.H. & R.F.T. Brouwer (2002). *Evaluatie van versmalde dwarsprofielen op het hoofdwegennet. Deelrapport 2: Validatiestudie A27, rijden op een spitsstrook op de weg en in de simulator*. (TNO rapport TM-02-C020). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Hoedemaeker, M. & S.N. de Ridder (2003). *The Dutch Experience with LDWA Systems*. (TNO report TM-03-C020). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Hogema, J.H. (2005). *Wijzer op Weg rijnsimulatorstudie*. (TNO rapport TNO-DV3 2005-C 008). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Horst, A.R.A. van der (1998). *Factors influencing drivers' speed behaviour and adaptation*. (TNO Report TM-98-D006). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Horst, A.R.A. van der, Hoekstra, W. & J. Theeuwes (1995). Visualization of the Ekeberg tunnel for assessing human factors aspects in the design phase. In: Arthur Roberts (Ed.) *Pioneers in 3D Visualization and Simulation for Transportation. Transportation Research Board 1993 and 1994 Annual Meetings*. Washington, D.C.: Transportation Research Board.
- Horst, R. van der & Martens, M. (2004). De weggebruiker central bij het ontwerpen van wegen. In: *Congresbundel Verkeerstechnische Leergang 2004, 30 november 2004, Utrecht*. Den Haag: ANWB.
- Horst, A.R.A. van der & J. Theeuwes (1993). *Advies over wegbeeld- en belevingsaspecten van een drietal varianten van een geboorde tunnel onder de Westerschelde*. (Memo IZF 1993-M9). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Janssen, W.H. (1994). Seat-belt wearing and driving behavior: an instrumented-vehicle study. *Accident Analysis and Prevention*, 26, 249-261.
- Kaptein, N.A., Theeuwes, J. & A.R.A. van der Horst (1995). *De validiteit van de TNO-TM rijnsimulator voor gedragsonderzoek naar het ontwerp van de tweede Beneluxtunnel*. (TNO rapport TNO-TM 1995 C-11). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Korteling, J.E. & P. Padmos, (1990). *De Leopard II rijnsimulator als leerhulpmiddel*. (TNO rapport IZF 1993 A-3). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Lewis, B.N. & Cook, J.A. (1969). Towards a theory of telling. *International Journal of Man-Machine*

- Studies, 1, 7-15.*
- Martens, M.H. & K.A. Brookhuis (1998). *4-0 en 3-1 contraflow-systemen; effecten op rijgedrag.* (TNO rapport TM-98-C049). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Martens, M.H., Koster, E.R. & P. Lourens (1998). *Westerscheldetunnel: Verkeersveiligheid tijdens calamiteiten met evacuatie.* (TNO rapport TM-98-C033). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Martens, M.H. & S.N. de Ridder (2002). *Spitsstroken langs aansluitingen op autosnelwegen: een begrijpelijkheidsstudie.* (TNO rapport TM-02-C047). Soesterberg: TNO Human Factors.
- Michon, J.A. (1971). *Psychonomie onderweg.* Inaugural lecture University of Groningen. Groningen. Groningen: Wolters Noordhof.
- Neale, V.L., Dingus, T.A., Klauer, S.G., Sudweeks, J. & Goodman, M. (2005). An overview of the 100-car naturalistic study and findings. In: *Proceedings 19<sup>th</sup> Enhanced Safety Vehicles Conference, Washington, D.C., June 2005.* Paper number 05-0400.
- Rasmussen, J. (1985). Trends in human reliability analysis. *Ergonomics* 28(8), 1185-1195.
- Shinar, D. (1978). *Psychology on the Road.* New York, Wiley.
- Theeuwes, J. (1992). *Selective Attention in the Visual Field.* PhD thesis. Amsterdam Vrije Universiteit.
- Theeuwes, J. (1993). Visual Attention and Driving Behaviour. In: *Proceedings of the International Seminar Human Factors in Road Traffic.* 5-6 April 1993, Braga, Portugal: Universidade do Minho, 103-123.
- Theeuwes, J. & Hagenzieker, M. (1993). Visual search of traffic scenes: on the effect of location specifications. In: *A.R. Gale (Ed.), Vision in Vehicles IV.* Amsterdam, Elsevier, 149-158.
- Vreeswijk, J., Schendzielorz, T., Mathias, P., Feenstra, Ph. & J. Pauwelussen (2008). Driving simulator study for Intelligent Cooperative Intersection Safety system (IRIS). In: *Proceedings 7<sup>th</sup> European ITS Congress, Geneva, June 4-6, 2008.*
- Wentink, M., Valente Pais, R., Mayrhofer, M., Feenstra, Ph. & W. Bles (2008). First curve driving experiments in the Desdemona simulator. In: *Proceedings DSC Europe 2008 conference, January 2008, Monaco.*
- Wertheim, A.H. (1986). *Over het meten van visuele opvallendheid van objecten in het verkeer.* (Rapport TNO IZF 1986 C-25). Soesterberg: TNO Instituut voor Zintuigfysiologie.
- Zwaga, H.J.G. (1978). Tekens in plaats van woorden: hoe functioneel zijn grafische symbolen? In: *Wagenaar, W.A., Vroon, P.A. & Janssen, W.H. (Red.) Proeven op de Som: Psychonomie in het dagelijks leven.* Deventer, Van Loghum Slaterus, 39-48.