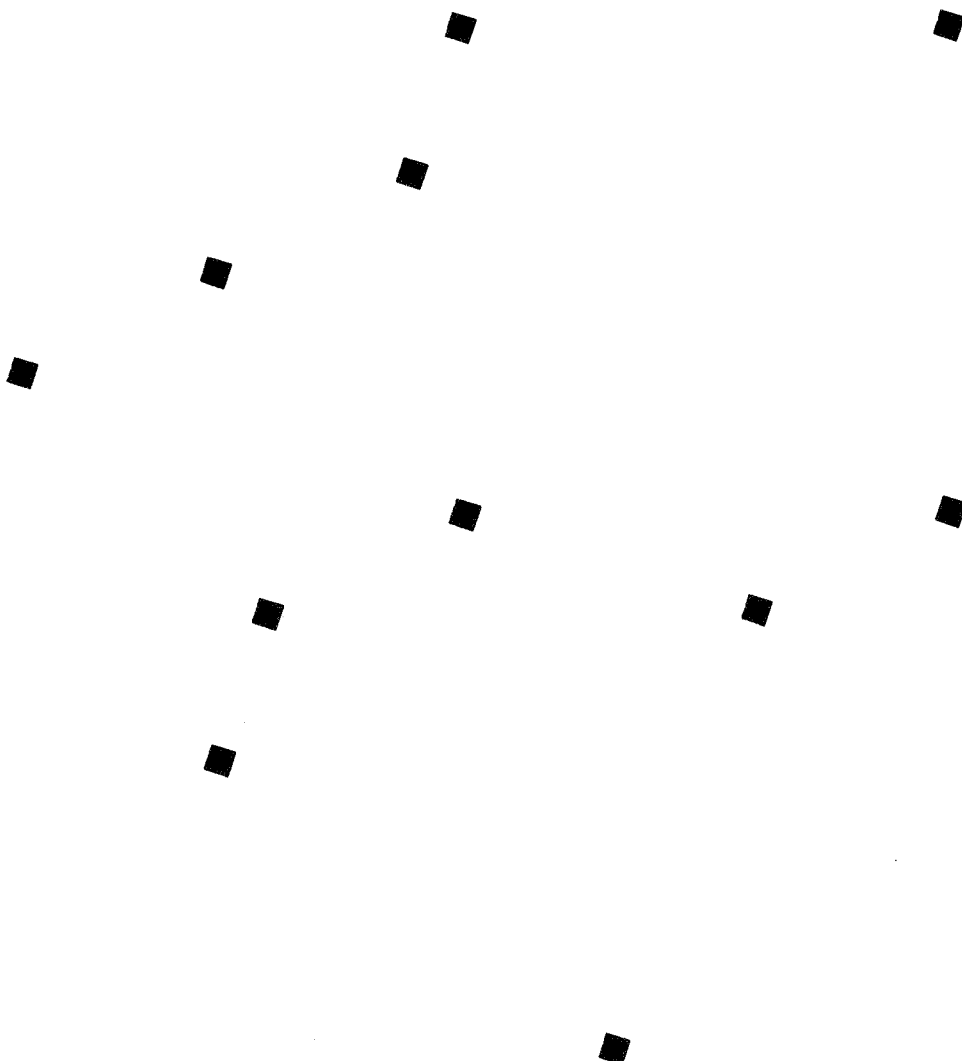


IZF 1989 G-22

J. Theeuwes  
A.R.A. van der Horst

REACTIETIJDEN VAN WEGGEBRUIKERS:  
ADVIES OVER DE BEWAKINGSTIJDEN VAN  
VERKEERSLICHTEN



TNO-rapport

IZF 1989 G-22

J. Theeuwes  
A.R.A. van der Horst

REACTIETIJDEN VAN WEGGEBRUIKERS:  
ADVIES OVER DE BEWAKINGSTIJDEN VAN  
VERKEERSLICHTEN

Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt  
door middel van druk, fotokopie, microfilm  
of op welke andere wijze dan ook, zonder  
voorafgaande toestemming van TNO.  
Het ter inzage geven van het TNO-rapport  
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-  
opdrachten TNO' dan wel de betreffende  
terzake tussen partijen gesloten  
overeenkomst.

TNO

Opdrachtgever: Dienst Verkeerskunde van de Rijkswaterstaat,  
Postbus 1031, 3000 BA ROTTERDAM

Aantal bladzijden: 27

## INHOUD

	Blz.
SAMENVATTING	5
SUMMARY	6
1 INLEIDING	7
2 TYPEN VAN BEWAKING	7
2.1 Conflictbewaking	8
2.2 Roodlichtbewaking	8
2.3 Ontruimingsfasebewaking	9
2.4 Bewaking op meer kleuren tegelijkertijd	9
3 EIGENSCHAPPEN VAN REACTIETIJDEN	10
3.1 Reactietijd opgedeeld in componenten	10
3.2 Factoren die de RT beïnvloeden	14
3.2.1 Aantal keuzen	14
3.2.2 Stimulus aspecten	15
3.2.3 Verwachtingen	16
3.2.4 Respons-aspecten	19
4 SPECIFIEKE ASPECTEN VAN RT IN RELATIE TOT VERKEERSLICHTEN	20
4.1 Aantal keuzen	20
4.2 Stimulus aspecten	21
4.3 Verwachtingen	21
4.4 Respons-aspecten	22
5 CONCLUSIES	22
5.1 Conflictbewaking	23
5.2 Roodlichtbewaking	24
5.3 Ontruimingsfasebewaking	24
5.4 Bewaking op meer kleuren tegelijkertijd	24
6 AANBEVELINGEN	25
REFERENTIES	26

---

**Reactietijden van weggebruikers: advies over de bewakingstijden van verkeerslichten**

J. Theeuwes en A.R.A. van der Horst

**SAMENVATTING**

In het concept van de nieuwe norm voor het ontwerpen van verkeersregeltoestellen worden in afwijking van de huidige norm langere maximale detectietijden toegestaan voor de bewaking van het optreden van onbedoelde groen- of geelfasen in geval van een storing in het regeltoestel. De vier belangrijkste typen van bewaking zijn conflict-, roodlicht-, ontruimingsfasebewaking en bewaking op meer kleuren tegelijkertijd. De meest kritische situatie doet zich voor als twee conflicterende richtingen tegelijkertijd een rijsignaal krijgen zoals "groen tegen groen" en "groen tegen gedoofd". Gegevens uit de literatuur over het reactieproces en de factoren die de verschillende reactietijd componenten beïnvloeden geven aan dat de reactie op een signaalverandering van een verkeerslicht zeer snel kan zijn, omdat de uit te voeren reactie al volledig kan worden klaargezet. Bovendien wordt deze "simpele reactietijd" nog eens versneld door het afwezig zijn van object-, plaats- en tijdonzekerheid. Geconcludeerd wordt dat bij het reageren op een verkeerslicht het reactieproces voor het belangrijkste deel nog slechts bestaat uit een waarnemingscomponent die niet langer zal duren dan 100 ms. Voor het garanderen van conflict- en ontruimingsfasebewaking zijn de in de conceptnorm voorgestelde detectietijden te lang. Geadviseerd wordt deze terug te brengen naar een maximale toelaatbare detectietijd van 100 ms + 0%. De in de conceptnorm voorgestelde detectietijden voor roodlichtbewaking en bewaking op meer kleuren tegelijkertijd zijn voldoende om dit type van bewaking te kunnen garanderen.  *Kort genoeg*

---

Reaction time of road users: recommendations regarding traffic light malfunctioning control

J. Theeuwes and A.R.A. van der Horst

SUMMARY

In a proposal for new technical requirements regarding traffic lights (The Netherlands, NEN 3384), new maximum latencies are recommended for the detection of traffic lights malfunctioning. The control involves the maximum approved latencies for the detection of different types of malfunctioning such as "green versus green" and "green versus extinguished" in conflicting directions. Reaction time literature reveals that a reaction to a traffic light can be extremely fast because the reaction can be completely programmed in advance. In addition, the lack of any object-, location- or time uncertainty makes this simple reaction time even faster. In order to guarantee the different types of malfunctioning management, it is argued that the proposed latencies in the preliminary recommendation are too long and should be reduced to a maximum of 100 ms detection time. For less critical types of malfunctioning management the proposed detection times suffice.

## 1 INLEIDING

In het concept van de nieuwe norm NEN 3384 "Elektrische verkeersregeltoestellen" worden in afwijking van de huidige norm (2<sup>e</sup> druk, september 1982) langere maximale tijden vermeld voor de bewaking van het optreden van onbedoelde groen- of geelfasen in geval van een storing in het regeltoestel. Dit vindt mede zijn oorzaak in de technische haalbaarheid van de oude normen. In het nieuwe voorstel worden bewakingstijden onderscheiden naar het type van bewaking dat noodzakelijk is.

In opdracht van de Dienst Verkeerskunde van de Rijkswaterstaat wordt de huidige kennis over reactietijden geïnventariseerd en op grond hiervan wordt bekeken of de voorgestelde bewakingstijden aan hun doel beantwoorden. Centraal staat daarbij het reactieproces en de verschillende componenten waaruit dit proces is opgebouwd. Het isoleren van de verwerkingstijd van deze afzonderlijke componenten is van belang voor het oplossen van het huidige probleem.

In het eerste deel wordt ingegaan op de vier typen van bewaking en de voorgestelde bewakingstijden. Er zal worden aangegeven waarin deze typen van bewaking van elkaar verschillen (hoofdstuk 2). Vervolgens worden de voor het huidige probleem relevante aspecten van het reactieproces besproken in een algemeen kader (hoofdstuk 3). Relevante gegevens zullen vooral afkomstig zijn uit de informatieverwerkingsliteratuur die reactietijd (RT) gebruikt als meetinstrument om onderliggende processen te bestuderen. Deze benadering veronderstelt dat verwerking van informatie vanaf de aanbidding (stimulus) tot aan de reactie (response) verloopt via diverse discrete stadia (e.g., Sanders, 1980). De duur van verwerking in elk stadium is in grote mate afhankelijk van zowel interne (persoon) als externe (omgeving) variabelen. Vanuit dit kader worden vervolgens de verwerkingstijden van deze stadia gerelateerd aan het type van bewaking waarmee het regeltoestel belast is (hoofdstuk 4). Tot slot wordt aangegeven welke tijden geschikt zullen zijn voor elk type van bewaking (hoofdstuk 5).

## 2 TYPEN VAN BEWAKING

Onder bewaking wordt verstaan "een voorziening ter voorkoming van onveilige verkeerssituaties" (concept NEN 3384, p. 5). Voor de huidige problematiek wordt verondersteld dat zo'n onveilige verkeerssituatie kan ontstaan in geval van storing in het regeltoestel. In de oude NEN norm werd geen onderscheid gemaakt tussen typen van bewaking en werd de eis gesteld dat 0.1 sec (100 ms) na het ontstaan van een ongewenst

lichtenbeeld (b.v. groen voor twee conflicterende richtingen) de installatie overgaat naar geel knipperen.

In de nieuwe conceptnorm worden afhankelijk van het type van bewaking verschillende maximale bewakingstijden voorgesteld. Binnen de marges van deze bewakingstijden dient het regeltoestel een bepaald type storing te detecteren en moeten de daartoe aangewezen lantaarns op geelknipperen schakelen. Als ook de geelknipperfasebewaking faalt, dient het regeltoestel onmiddellijk over te gaan op de toestand gedoofd. Hoewel in de nieuwe conceptnorm ook gesproken wordt over de bewaking van tram- en buslantaarns met wit- en witknipper uitgangssignalen, beperken wij ons in de huidige studie tot de gebruikelijke driekleurige verkeerslantaarns.

## 2.1 Conflictbewaking

In het concept voor de nieuwe NEN norm wordt dit type van bewaking formeel beschreven als een bewaking die "dient te voorkomen dat het rood-uitgangssignaal van een richting langer dan  $0,15 \text{ s} + 0\%$  afwezig is tijdens het afwezig zijn van een rood-uitgangssignaal van een conflictrichting" (NEN concept punt 5.2.2). Met het afwezig zijn van een rood-uitgangssignaal wordt bedoeld dat het verkeerslicht groen dan wel geel aangeeft. In dat geval moet het verkeerslicht in de conflicterende richting ten allen tijde een rood-uitgangssignaal geven want anders kan er een situatie ontstaan dat verkeerslichten in conflicterende richtingen beide groen, groen-geel of geel-geel geven. Deze situaties zullen we vanaf nu definiëren als respectievelijk **groen tegen groen**, **groen tegen geel** en **geel tegen geel**. De conflictbewaking dient deze situatie te detecteren binnen  $0,15 \text{ s}$  (150 ms) en over te gaan naar geel knipperen.

## 2.2 Roodlichtbewaking

Deze bewaking "dient te voorkomen dat het niet intact zijn van een roodstroomketen van een richting langer dan  $0,2 \text{ s} + 0\%$  samenvalt met: a) het afwezig zijn van het rood-uitgangssignaal van een conflictrichting of b) het niet intact zijn van een roodstroomketen van een conflictrichting" (NEN concept punt 5.2.4). Met niet intact zijn van een roodstroomketen wordt bedoeld dat tijdens de roodfase geen lamp achter de rode lens van de lantaarn meer branden kan. Dit betekent dat deze betreffende lantaarn nog wel groen en geel kan geven maar bij overgaan naar de roodfase geen signaal meer afgeeft. Onder "het

afwezig zijn van het rood-uitgangssignaal" wordt verstaan dat het verkeerslicht groen danwel geel afgeeft. Met situatie a) wordt bedoeld dat in één richting het licht gedoofd is terwijl in de conflicterende richting een groen dan wel geel signaal gegeven wordt. Deze situatie zullen we vanaf nu aanduiden met *gedoofd tegen groen* en *gedoofd tegen geel*. In situatie b) geeft ook de lantaarn in de conflictrichting in de roodfase geen signaal af. Dit betekent dat de lantaarns in conflicterende richtingen alleen groen en geel kunnen afgeven. Deze situatie is hetzelfde als onder a) (*gedoofd tegen groen* of *gedoofd tegen geel*) behalve wanneer beide lantaarns tegelijkertijd in de roodfase zijn, want dan zullen door het niet intact zijn van de roodstroomketen beide lantaarns in conflicterende richtingen geen uitgangssignaal afgeven (*gedoofd tegen gedoofd*). Lantaarns in conflicterende richtingen dienen tegelijkertijd een rood-uitgangssignaal te hebben tijdens de ontruimingsfase (zie punt 2.3). De roodlichtbewaking dient deze situaties a) en b) te detecteren binnen 0.20 s (200 ms) en over te gaan naar geel knipperen.

### 2.3 Ontruimingsfasebewaking

Deze bewaking "dient te voorkomen dat het groen- of geeluitgangssignaal van een richting langer dan 0,3 s + 0% aanwezig is gedurende het lopen van één of meerdere garantie-ontruimingstijden naar deze richting" (NEN concept punt 5.2.5). De ontruimingsfase wordt gedefinieerd als "het eerste deel van de roodfase waarin de groenfase van een beschouwde conflictrichting niet aanwezig mag zijn" (NEN concept punt 3.2.2). Deze tijd is opgenomen om het kruispunt vrij te maken van verkeer dat het verkeerslicht passeerde tijdens het einde van de geelfase of het begin van de roodfase. In deze fase dienen de lantaarns in conflicterende richtingen rood te geven. De ontruimingsfase bewaking dient er voor te zorgen dat deze ontruimingstijd gegarandeerd wordt en dat op een groen tegen rood of geel tegen rood situatie tijdens de ontruimingsfase binnen 0,3 s (300 ms) gereageerd wordt.

### 2.4 Bewaking op meer kleuren tegelijkertijd

Deze bewaking "dient te voorkomen dat twee of drie uitgangssignalen van een richting langer dan 0,15 s + 0% gelijktijdig aanwezig zijn" (NEN concept punt 5.2.3). Deze bewaking zorgt ervoor dat de gelijktijdige aanwezigheid van meer signalen op dezelfde verkeerslantaarn

(rood-groen, rood-geel, groen-geel, groen-geel-rood) binnen 0,15 s (150 ms) gedetecteerd wordt.

### 3 EIGENSCHAPPEN VAN REACTIETIJDEN

#### 3.1 Reactietijd opgedeeld in componenten

De tijd die verstrijkt tussen het aanbieden van een extern signaal (stimulus) en het starten van een daarbijbehorende reactie wordt reactietijd (RT) genoemd. Deze tijd bestaat feitelijk uit een combinatie van verwerkingstijden in verschillende stadia. Wanneer er uit een set van mogelijkheden één signaal wordt gegeven waarop één specifiek antwoord gegeven moet worden spreekt men van een keuze-reactie. In het algemeen bestaat een keuze-reactie uit tenminste vier aparte stadia: ten eerste, het signaal moet worden opgevangen door het zintuig en via de zenuwbanen worden doorgegeven naar de hersenen; ten tweede, het signaal moet worden geïdentificeerd; ten derde, er moet een keuze worden gemaakt uit mogelijke responses; ten vierde, de actie waaruit de beweging bestaat dient opgestart te worden (Welford, 1980). In het algemeen kan de reactietijd opgedeeld worden in een perceptuele-, decisie- en motor component (Sanders, 1980). Fig. 1 geeft een schematisch overzicht van de verschillende tijdvertragingen.

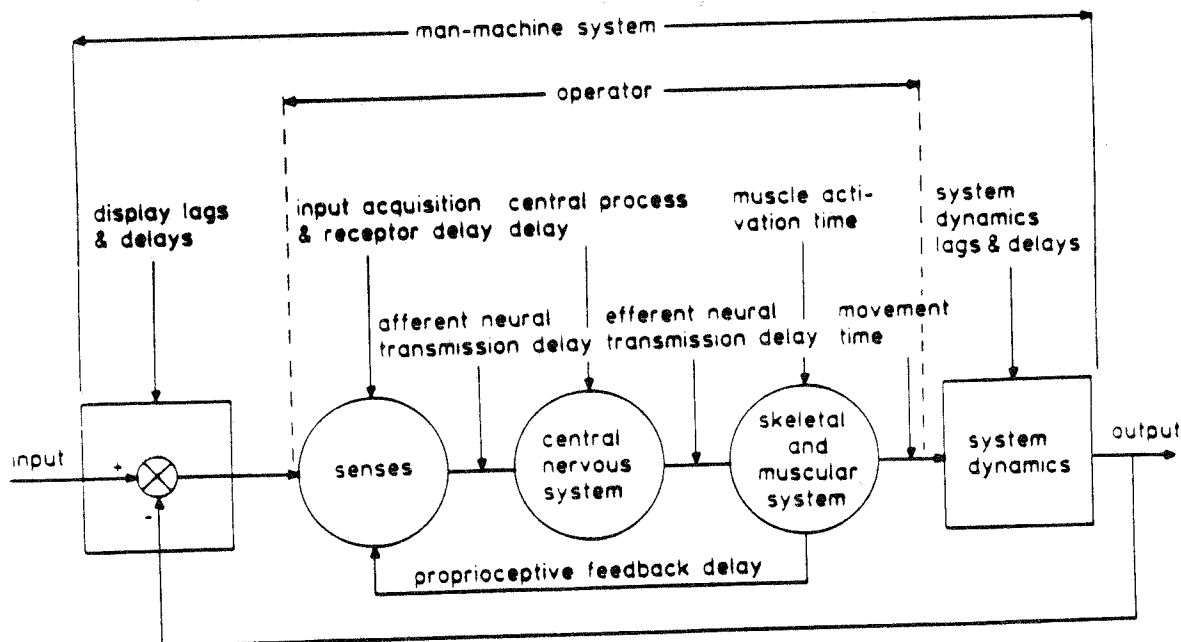


Fig. 1 Schematisch diagram van vertragingen (naar Wargo, 1967).

De in het schema aangegeven bewegingstijd is de tijd die nodig is om een bepaalde beweging uit te voeren. Omdat reactietijd strikt genomen de verwerkingstijd weergeeft van het aanbieden van een signaal tot aan de response is de tijd die het kost om de beweging uit te voeren als zodanig niet interessant. Ook de vertragingen in het te regelen systeem zelf worden niet gerekend tot het RT proces.

De stadia aangegeven in bovenstaand schema zijn slechts hypothetisch en zeer algemeen van aard. Sternberg (1969) was de eerste die in staat was om specifieke stadia van het reactieproces experimenteel te identificeren door de relatie te onderzoeken tussen de effecten van verschillende taakvariabelen op de RT. Sternberg ging ervan uit dat het reactietijd interval bestaat uit een serie van onafhankelijke verwerkingstijden. Elke verwerkingstijd representeert een onafhankelijk verwerkingsstadium. De output van elk verwerkingsstadium dient als input voor het volgende stadium hetgeen derhalve een serieel verwerkingsproces veronderstelt. De redenering achter de door Sternberg ontwikkelde methode van additieve factoren (AFM) was als volgt: als twee of meer taakvariabelen op verschillende stadia zouden aangrijpen dan zouden hun respectievelijke effecten op de RT additief moet zijn terwijl deze effecten een interactie zouden moeten vertonen als ze op hetzelfde stadium ingrijpen (zie ook Sanders, 1980). Het vinden van additieve effecten tussen twee variabelen suggereert derhalve dat er tenminste twee onafhankelijke stadia zijn. Bijvoorbeeld de effecten van stimulus degradatie en stimulus-response (S-R) compatibiliteit zijn additief (Sternberg, 1969). In een reactietijd taak wordt stimulus degradatie meestal gevarieerd door een visueel ruispatroon wel of niet op de stimulus te superponeren. S-R compatibiliteit wordt gevarieerd doordat in één conditie een response gegeven moet worden die compatibel is met de stimulus, bijvoorbeeld antwoorden met "A" of "B" als respectievelijk een A of B wordt aangeboden, terwijl er in een andere conditie een response gegeven moet worden die incompatibel is met de stimulus. In zo'n situatie is de algemene bevinding dat een toename in RT door stimulus degradatie onafhankelijk is van de toename in RT veroorzaakt door S-R compatibiliteit. Het effect van de ene variabele is niet afhankelijk van de moeilijkheidsgraad van de andere (Sanders, 1980). Vervolgens worden, gegeven het karakter van de taakvariabelen, stadia benoemd waarop deze variabelen van invloed zouden zijn, in dit geval de stadia "stimulus codering" en "response-selectie".

Fig. 2 geeft een overzicht van taakvariabelen en de daarvan afgeleide stadia. In tegenstelling tot het hypothetisch schema gepresenteerd in Fig. 1, zijn de stadia die hier aangegeven zijn gebaseerd op experimentele resultaten.

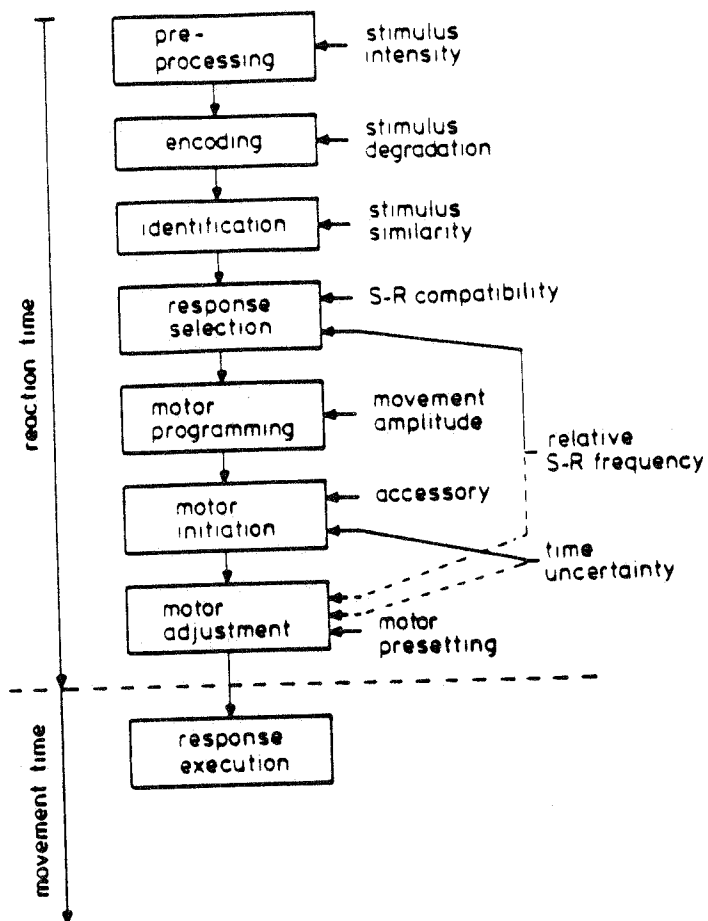


Fig. 2 Taakvariabelen en afgeleide stadia van het RT proces (naar Frowein, 1981).

Het zal duidelijk zijn dat in dit schema het onderscheid tussen perceptuele-, decisie-, en motor componenten ook terug te vinden is. De eerste drie stadia "pre-processing", "stimulus codering" en "identificatie" zijn gericht op de waarneming. "Response selectie" is het beslisdgeelste. De laatste twee stadia "motor initiation" en "motor adjustment" zijn betrokken bij het voorbereiden van de response. Uit het schema komt naar voren dat processen sequentieel worden uitgevoerd, en dat de output van het ene stadium de input voor het volgende stadium is. In dit opzicht is er geen enkele controle van "bovenaf" d.w.z. als het eerste stadium gestart wordt dan verloopt het gehele reactieproces automatisch. De afwikkeling van de processen kan niet meer gestopt worden. Bij het begin van de beweging is controle van "bovenaf", pas weer mogelijk. Dit is bijvoorbeeld terug te zien wanneer men zich voorbereidt op de uitvoering van een bepaalde response en plotseling geconfronteerd wordt met een stop signaal: men kan pas weer ingrijpen wanneer de response uitvoering al gestart is. De

response uitvoering wordt onderdrukt en niet de afwikkeling van de RT stadia.

De verschillende aspecten van het opdelen van het reactieproces in verschillende stadia en de daarbij horende additieve factoren methode is elders uitgebreid besproken. Frowein (1981) geeft een uitgebreid overzicht van de verschillende verwerkingsstadia, Sanders (1980) bespreekt de theoretische achtergrond van de AFM, en Theeuwes (1986) geeft een recent overzicht van experimentele resultaten m.b.t. additieve en niet-additieve effecten van taakvariabelen.

Onderzoek waarbij gebruik wordt gemaakt van de AFM richt zich vooral op het isoleren van discrete stadia. De RT effecten t.g.v. de manipulatie van taakvariabelen zijn doorgaans klein en geven alleen de verandering van de verwerkingstijd van een bepaald stadium. Bijvoorbeeld de RT op een gedegradeerde stimulus is doorgaans 80 ms langer dan de RT op een intacte stimulus. Dit resultaat betekent in het licht van de AFM dat de verwerkingstijd van het coderingsstadium met 80 ms is toegenomen. Manipulatie van taakvariabelen geeft derhalve alleen de toe- of afname van een bepaalde "basis" verwerkingstijd van een stadium.

Om een schatting te kunnen maken van de werkelijke duur (basistijd) van een stadium dient men gebruik te maken van een andere methode. Op de eerste plaats kan de methode ontwikkeld door Salthouse (1982) enig inzicht verschaffen in de duur van de totale waarnemingscomponent. In deze taak dienden proefpersonen zo snel mogelijk te reageren op de eerste van twee sequentieel gepresenteerde visuele stimuli. De tijd tussen de eerste en tweede stimulus werd gevarieerd. Bij korte intervallen (minder dan 100 ms) was de reactie op de eerste stimulus niet meer adequaat. Dit betekent dat bij intervallen langer dan 100 ms, de tweede stimulus de perceptuele verwerking van de eerste niet meer verstoort. Salthouse concludeert dat de stimulus registratie component ongeveer 100 tot 140 ms duurt. In deze studies werd gebruik gemaakt van een keuze reactie waarbij de proefpersonen verschillend dienden te reageren op een aangeboden "X" of "O". Een andere methode die gebruikt kan worden voor het schatten van de perceptuele component is die van "het functionele visuele veld" zoals ontwikkeld door Sanders (1963). In deze taak dienen proefpersonen twee signalen met elkaar te vergelijken die links en rechts in het visuele veld worden aangeboden. Proefpersonen beginnen met het fixeren van het linker signaal, gevolgd door een hoofd- of oogbeweging naar het rechter signaal. De taak van de proefpersoon is om te beslissen of beide signalen hetzelfde dan wel verschillend zijn. De totale keuze RT en de fixatietijd van het linker en rechter signaal wordt gemeten. Van belang is dat de fixatietijd van het eerst aangeboden signaal de tijd weergeeft die nodig is voor het

verwerken van het signaal en het voorbereiden van de daaropvolgende oog- of hoofdbeweging: beslissingen over welke response gegeven moet worden, kunnen pas genomen worden nadat het tweede signaal verwerkt is. Tijdens het bewegen van het oog kan geen nieuwe informatie worden opgenomen, waardoor de kennis over een bepaald object gedurende de oogbeweging niet toeneemt (Sanders, 1963). De fixatietijd van het linker signaal die een indicatie is voor de perceptuele verwerking en de voorbereiding van een oogsprong bedraagt bij "complexe" signalen zoals gedegradeerde cijfers ongeveer 200 ms (Houtmans & Sanders, 1984).

### 3.2 Factoren die de RT beïnvloeden

Verschillende taakvariabelen kunnen de RT verlengen of verkorten. Van een aantal van deze variabelen is bekend welk specifiek stadium (of stadia) wordt beïnvloed door manipulatie van zo'n taakvariabele. Deze variabelen zijn aangegeven in Fig. 2. Manipulatie van zo'n taakvariabele beïnvloedt alleen de verwerkingstijd van het daarbij behorende stadium. De structuur van het reactie proces, d.w.z., de kwaliteit van de output van ieder stadium en de sequentie van de stadia wordt door manipulatie van deze variabelen niet beïnvloed. Alleen de verwerkingstijd van een stadium kan veranderen. Manipulaties van andere variabelen kunnen de structuur van het RT proces veranderen, zodat men niet meer kan aannemen dat deze variabelen een bepaald stadium beïnvloeden.

#### 3.2.1 Aantal keuzen

Men spreekt van een keuze RT wanneer uit een set van signalen een signaal gegeven wordt waarop een specifieke response gegeven moet worden. Deze RT is langer dan de simpele RT waarbij slechts een signaal wordt aangeboden waarop gereageerd moet worden. Voor een compatibele visuele keuzereactie met twee druk-knop-reactie alternatieven is de RT bijvoorbeeld 70 ms langer dan een simpele RT. Simpele RT zijn zo snel omdat de reactie al totaal klaargezet kan worden; er hoeft slechts gewacht te worden het "go" signaal. De simpele RT varieert meestal tussen de 150 en 200 ms, waarbij 200 ms de meest representatieve waarde is. Hierbij moet bedacht worden dat deze 200 ms een gemiddelde waarde representeert die aanzienlijk kan variëren afhankelijk van het niveau en de aard van andere taakvariabelen. In het algemeen neemt de RT toe als een functie van het aantal alternatieve signalen, zoals beschreven in Hick's law (Hick, 1952). Tabel I geeft een indicatie van het effect van het aantal keuzen op de RT.

Tabel I Het effect van het aantal keuzen op RT (naar Damon e.a., 1966).

aantal keuzen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RT (ms)	200	350	400	450	500	555	600	600	650	650

### 3.2.2 Stimulus aspecten

RT is afhankelijk van het zintuig van aanbieding. Zo duurt een simpele visuele reactie ongeveer 50 ms langer dan een auditieve. De RT verschillen t.g.v. het te gebruiken zintuig worden vooral toegeschreven aan verschillen in transporttijden van de betreffende zenuwbanen.

#### *Intensiteit*

Deze variabele houdt verband met de luminantie van de aangeboden stimulus en beïnvloedt het preprocessing stadium (zie Fig. 2). In lijn met de additieve factoren methode wordt het effect van intensiteit toegeschreven aan de tijd die nodig is voor het transport van input via de zenuwbanen. Bijvoorbeeld Frowein (1981) presenteerde digits van  $3,7 \text{ cd/m}^2$  of van  $.09 \text{ cd/m}^2$  op een achtergrond van  $.05 \text{ cd/m}^2$  en vond een RT verschil van 28 ms.

Raab & Fehrer (1962) hebben voor simpele RT het verband gegeven tussen luminantie en aanbiedingsduur van lichtflitsen op een donkere achtergrond. Zoals blijkt uit Fig. 3 neemt de RT met 25% af wanneer de luminantie van zeer laag naar zeer hoog gaat (van 1 tot  $10000 \text{ cd/m}^2$ ). De aanbiedingsduur heeft relatief weinig invloed.

#### *Degradatie*

Volgens de AFM logica beïnvloedt stimulus degradatie het encoding stadium, waar een algemene "clean up" van de stimulus plaatsvindt (Sternberg, 1969). De output van dit stadium kan dienen als input voor het response keuze stadium. Als de alternatieve stimuli sterk op elkaar lijken zou nog een stadium nodig zijn (identificatie stadium) waar een keuze gemaakt wordt tussen de op elkaar lijkende stimuli (Schwartz e.a., 1977). De experimentele evidentie voor dit laatste stadium is slechts gering. Voor de simpele RT speelt encoding en identificatie geen rol omdat het signaal niet herkend hoeft te worden.

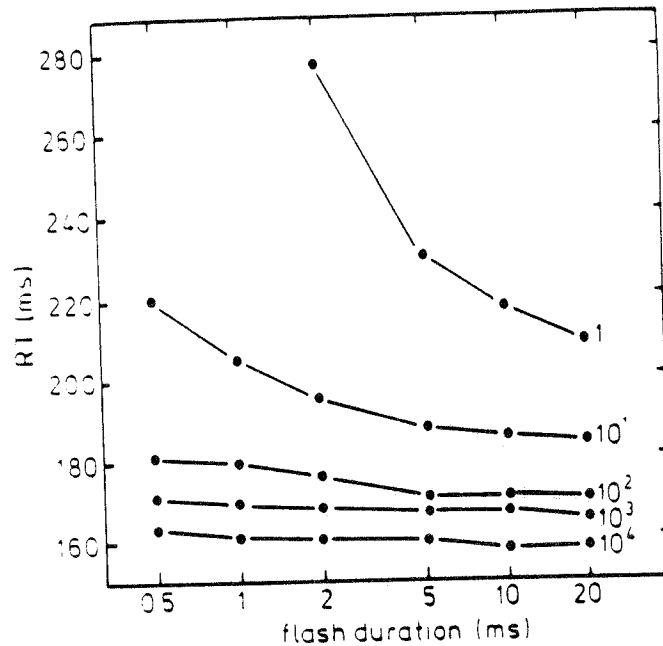


Fig. 3 RT als functie van stimulusduur en luminantie; luminantie in  $\text{cd/m}^2$  (aangepast naar Raab & Fehrer, 1962).

De detectie van licht is voldoende voor het starten van de response. Voorkennis over welke stimulus wordt aangeboden (bijvoorbeeld een "A" of een "B") heeft ook geen RT effect wanneer de proefpersoon op beide stimuli met dezelfde response reageert (Posner e.a., 1980).

### 3.2.3 Verwachtingen

Bekend is dat verwachtingen over het soort object, het tijdstip en de plaats van verschijnen het reactieproces kunnen beïnvloeden. In de literatuur wordt deze verwachtingen aangeduid met het begrip onzekerheid; respectievelijk object-, tijd- en plaatsonzekerheid.

#### *Object onzekerheid*

De verwerking van een visuele stimulus kan vergemakkelijkt of bemoeilijkt worden door verwachtingen t.a.v. een aspect van de stimulus. In experimenten worden verwachtingen geïnduceerd door een waarschuwingsstimulus te laten voorafgaan aan de presentatie van de test stimulus. Wanneer de waarschuwingsstimulus de verwerking van de test stimulus beïnvloedt kan men ervan uitgaan dat verwachtingen een invloed hebben gehad op de verwerking van de stimulus. Dit kan optreden op elk niveau van stimulus verwerking; van zintuiglijke tot aan inhoudelijke verwerking. Bijvoorbeeld Posner en Snyder (1975) lieten zien dat de verwerkingstijd met 40 ms afnam wanneer de test stimulus werd vooraf-

gegaan door een identieke prime stimulus. Dit soort effecten kan worden toegeschreven aan een laag niveau van sensorische beïnvloeding. Anderzijds is bekend dat de presentatie van een prime woord (b.v. brood) de verwerking van de test stimulus (b.v. boter) versnelt. Dit soort beïnvloeding vindt plaats op een cognitief "hoog" niveau waarbij bepaalde semantische codes geactiveerd worden door de prime stimulus. In het RT proces zoals beschreven in Fig. 2 zijn dit soort effecten niet aangegeven, omdat het onbekend is op welke stadia dit soort variabelen een effect heeft.

#### *Tijdonzekerheid*

Wanneer er een lage tijdonzekerheid is over het verschijnen van de stimulus is men in staat de reactie voor te bereiden. Zoals uit Fig. 2 blijkt heeft tijdonzekerheid uitsluitend invloed op de motorische stadia, waarbij "motor initiation" gerelateerd is aan de bereidheid om een response te geven en "motor adjustment" zou te maken hebben met het spannen van de spieren. Tijdonzekerheid wordt in een experimentele setting gevarieerd door manipulatie van de voorperiode duur. Wanneer deze voorperiode te lang wordt is men niet meer in staat om een optimale motorisch anticipatie te handhaven. Bij simpele RT heeft het ontbreken van tijdonzekerheid een relatief groot effect omdat de gehele response voorbereid kan worden. Behalve korte RT's leveren deze condities in het algemeen ook zogenaamde vroegtijdige anticipatie reacties waarbij de proefpersoon reageert voordat het "go" signaal is aangeboden. Sanders (1975) analyseerde het effect van voorperiode duur op simpele en selectieve reacties voor zowel auditieve als visuele stimuli. Fig. 4 geeft een overzicht van zijn resultaten. De figuur laat zien dat de RT toeneemt wanneer er een grotere onzekerheid ontstaat over het tijdstip waarop de stimulus verschijnt. Uit de figuur komt ook naar voren dat een reactie op een auditieve stimulus zo ongeveer 50 ms sneller is dan de reactie op een visuele stimulus (zie 3.2.2). De figuur laat bovendien het effect van oefening zien.

#### *Plaatsonzekerheid*

Wanneer er een grote plaatsonzekerheid is krijgt men te maken met een zoekproces. De tijd die nodig is voor het vinden van een bepaald object in het visuele veld wordt vooral bepaald door de oogbewegingen die op zichzelf voor het reactieproces niet van belang zijn. Als wij ons beperken tot situaties waarbij gereageerd wordt op een signaal dat met een gefixeerd oog wordt waargenomen dan spelen ook daar verwachtingen t.a.v. de plaats van een object een rol.

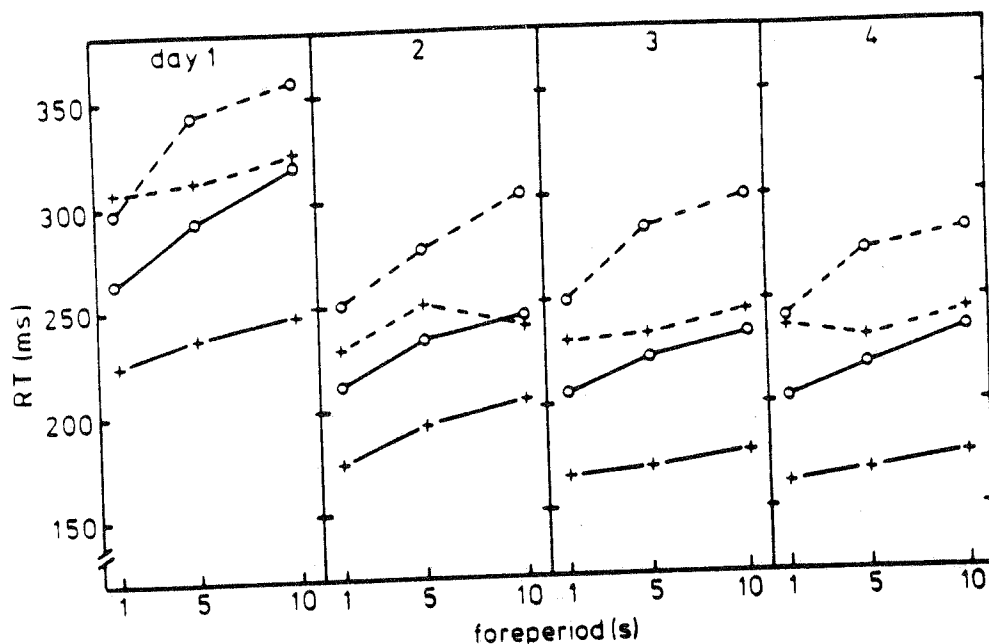


Fig. 4 Gemiddelde RT als functie van modaliteit, voorperiode duur, stimulus situatie en oefening; + auditory; o visual; ---- selective RT; — simple RT (naar Sanders, 1975).

Wanneer proefpersonen het midden van een stimulusveld fixeren en een stimulus verwachten bijvoorbeeld rechts van het fixatiepunt dan is de reactie op deze verwachte stimulus aanzienlijk korter dan wanneer de stimulus verschijnt in het midden van het stimulusveld, ondanks het feit dat het midden van het stimulus veld gefixeerd wordt. Anderzijds, als de stimulus verschijnt op een onverwachte plaats - in dit voorbeeld links van het fixatiepunt - dan is de reactie vertraagd. Dit betekent dat de aandacht verschoven kan worden naar een bepaalde plaats in het visuele veld zonder dat daarbij de ogen worden bewogen (Theeuwes, 1989). Posner, Nissen en Ogden (1978) lieten proefpersonen reageren op het aangaan van een lampje dat rechts of links (3 graden visuele hoek) van het fixatiepunt verscheen, zonder dat daarbij de ogen werden bewogen. Het lampje verscheen hetzij op een verwachte hetzij op een onverwachte plaats. In de neutrale condities kregen de proefpersonen geen informatie over de plaats waar het lampje verscheen. Fig. 5 laat zien dat de RT op een stimulus die verschijnt op een verwachte plaats sneller is dan de neutrale conditie en dat de reactie op een onverwachte stimulus relatief vertraagd is t.o.v. de neutrale conditie.

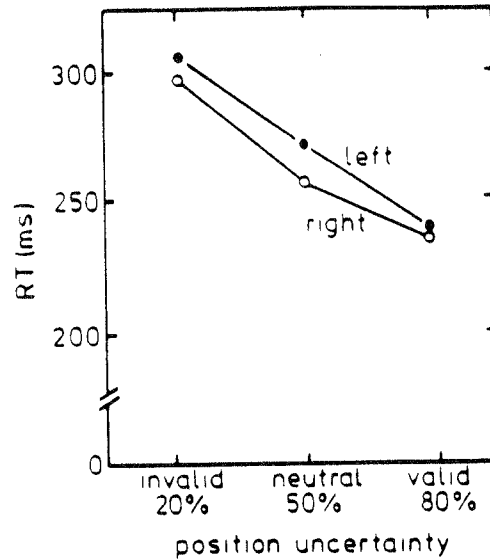


Fig. 5 Simpele RT als functie van plaatsonzekerheid (naar Posner, Nissen and Ogden, 1978).

#### 3.2.4 Response aspecten

##### *Response compatibiliteit*

Volgens de AFM beïnvloedt deze variabele het response selectie stadium. Het effect van compatibiliteit is toe te schrijven aan het vertalen van de perceptie in een actie. Bij compatibele taken zoals antwoorden met "A" en "B" wanneer een A en B worden aangeboden, is deze extra stap niet nodig. In minder compatibele situaties moet er een regel worden toegepast die het signaal koppelt aan de daarbij behorende response. Bijvoorbeeld responderen met "A" wanneer er een "B" wordt aangeboden en andersom. Een dergelijke stap kost extra tijd.

##### *Response modaliteit*

Doorgaans dienen proefpersonen in RT taken te reageren met het indrukken van een response knop. Wanneer verbaal reageren wordt gebruikt dan verandert de verwerkingstijd van een simpele reactie slechts in geringe mate. De verwerkingstijd van een oogbeweging is doorgaans iets sneller dan die van een hand-druk-knop reactie. Posner (1978) vergeleek simpele RT's van oog en handbewegingen. Proefpersonen reageerden op het aangaan van een licht dat geplaatst was 6.9 graden visuele hoek links of rechts van het fixatie punt. Zoals Fig. 6 laat zien is de verwerkingstijd van een oogbeweging in de richting van het oplichtend lampje sneller dan een oogbeweging gemaakt in de tegenovergestelde richting. Voor een reactie met de hand doet deze compatibiliteit er niet toe. Deze resultaten suggereren dat een oogbeweging naar een licht toe reflexmatig van aard is. Desondanks zijn proefpersonen in

staat om met een vertraagde verwerkingstijd hun ogen in de tegengestelde richting te bewegen. De figuur laat zien dat een simpele RT oogbeweging iets sneller is dan een handbeweging.

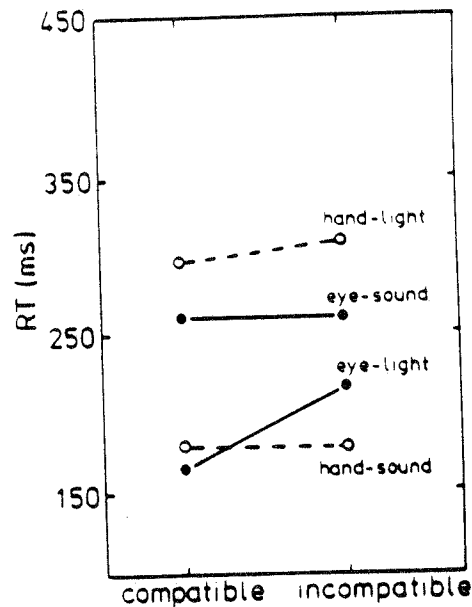


Fig. 6 Simpele RT in de richting van de stimulus ("compatible") of in de tegenovergestelde richting ("incompatible") voor verschillende combinaties van stimulus ("sound" & "light") and response ("hand" & "eye"); (aangepast naar Posner, 1978).

#### 4 SPECIFIEKE ASPECTEN VAN RT IN RELATIE TOT VERKEERSLICHTEN

Het vorige hoofdstuk geeft een algemeen overzicht van de eigenschappen van het informatie verwerkingsproces. Slechts een aantal van deze aspecten zijn relevant voor het huidige probleem.

##### 4.1 Aantal keuzen

In principe is het reageren op de signalen van een verkeerslicht een keuze reactie want bij elk signaal hoort een specifieke reactie. Anderzijds ligt de volgorde van opeenvolgende signalen volledig vast (groen-geel-rood) en is er dus geen sprake van het maken van een keuze op het moment dat een signaal wordt aangeboden. In die zin is met name het reageren op het groene signaal een typisch simpele RT want de response kan volledig worden voorbereid, en er behoeft slechts gewacht te worden op het "go" signaal. Het ligt dan ook voor de hand te veron-

derstellen dat het reageren op een overgang van rood naar groen kan plaatsvinden binnen de 200 ms (zie Tabel I, p. 15).

#### 4.2 Stimulus aspecten

Het contrast van het uitgangssignaal van de verkeerslantaarn met de directe achtergrond zou van invloed kunnen zijn op de snelheid van reageren. Dit effect zal maar klein zijn want zoals besproken onder punt 3.2 neemt de RT slechts 25% af wanneer de luminantie 10000 keer groter wordt. In het algemeen zou gesteld kunnen worden dat de snelste reactie optreedt bij nacht omdat dan het contrast het grootst is. Degradatie (stof, vuil) van het signaal zou de RT enigszins kunnen vertragen.

Bij het reageren op verkeerslantaarns zou het mogelijk zijn dat weggebruikers niet reageren op de "inhoud" van het lichtsignaal maar reageren op de overgang van het ene naar het andere signaal. Detectie van deze overgang gaat bijzonder snel (ongeveer 40 ms) en weggebruikers letten dan slechts op de overgang i.p.v. op de inhoud en de betekenis van het signaal. Bijvoorbeeld wanneer een automobilist een groen verkeerslicht nadert en hij verwacht dat het weldra naar geel gaat dan bestaat de neiging om te reageren wanneer er ergens in het visuele veld (b.v. een voor hem niet van belang zijnd voetgangerslicht) van kleur verandert. De snelle verandering van intensiteit triggert een reactie.

#### 4.3 Verwachtingen

Bij verkeerslichten spelen verwachtingen een belangrijke rol. Zoals gezegd ligt de volgorde van het lichten patroon (groen-geel-rood) volledig vast. Door langdurige consistente training heeft een weggebruiker zeer sterke verwachtingen t.a.v. deze volgorde. Bij een doorbreking van deze volgorde bijvoorbeeld bij het uitschakelen van verkeerslichten reageren weggebruikers zeer aarzelend. Anderzijds wanneer het lichtenpatroon in lijn is met de verwachtingen dan zorgt de consistente training voor een zeer snelle reactie. In dat geval is er nauwelijks sprake van enige object onzekerheid. Tijdonzekerheid bij het reageren op verkeerslichten kan zeer groot zijn. Het schatten van de overgang van een groen naar geel is b.v. moeilijk omdat de periode relatief lang is. Anderzijds is het denkbaar dat de tijdonzekerheid zeer laag kan zijn en dat de reactie in een vergevorderd stadium

klaargezet kan worden. Bijvoorbeeld de overgang van rood naar groen van een verkeerslicht voor automobilisten kan zeer goed getimed worden wanneer een verkeerslicht voor fietsers enige seconden voor die overgang van kleur verandert. De plaatsonzekerheid bij het reageren op verkeerslichten is zeer laag omdat het duidelijk is waar het signaal wordt aangeboden. Er is dan ook geen sprake van visueel zoeken en weggebruikers kunnen vooraf hun ogen richten op het verkeerslicht. Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat dit niet noodzakelijk is; zoals beschreven in 3.2.3 zijn mensen in staat om te reageren op een signaal zonder dat daarbij de ogen gericht zijn op het verkeerslicht. De visuele aandacht kan gericht worden onafhankelijk van de plaats van fixatie.

#### 4.4 Response aspecten

De reacties op de signalen van verkeerslichten zijn zeer lang consistent getraind en zijn daardoor compatibel te noemen. De uiteindelijke reactie op een signaal van een verkeerslicht is het wegrijden of stoppen van het voertuig. Hierbij moet bedacht worden dat deze reactie tot stand komt door een serie van responses die uiteindelijk leiden tot een reactie van het voertuig. Bijvoorbeeld wanneer het licht van rood naar groen gaat kan de weggebruiker alvorens hij het voertuig in gang zet zijn ogen van het verkeerslicht afwenden. De response op het signaal is dan allereerst een oogbeweging i.p.v. het indrukken van het gaspedaal.

## 5 CONCLUSIES

Uit het bovenstaande blijkt dat de reactie op een signaal verandering van een verkeerslicht zeer snel kan zijn. Door de afwezigheid van enige object-, plaats- of tijdonzekerheid mag men aannemen dat met name de centrale en response stadia in een minimum tijd kunnen worden uitgevoerd. Uitgaande van gemiddelde basistijd van 200 ms voor een simpele RT kan gesteld worden dat onder deze omstandigheden de RT nog slechts een waarnemingscomponent bevat die niet langer zal duren dan 100 ms. Deze waarde zoals verkregen door Salthouse (zie 3.1) in een experiment met min of meer complexe stimuli is waarschijnlijk nog aan de lange kant omdat verkeerslicht signalen perceptueel relatief eenvoudig zijn. Dat een simpele RT zeer snel kan worden uitgevoerd komt ook naar voren in Tabel II, waarin Wargo (1967) aangeeft dat de mini-

mum simpele RT ongeveer 113 ms bedraagt. Voor de huidige situatie zal door het afwezig zijn van object en tijdonzekerheid, respectievelijk de centrale procesvertraging en de spiervertraging nog een lagere waarde hebben dan die geschat door Wargo (1967). Bovendien is men is staat te reageren op een transiënte verandering, zodat ook de waarnemingscomponent nog sneller kan worden uitgevoerd. Ook dient men te bedenken dat de reactie op een verkeerslicht kan bestaan uit een oogbeweging, die doorgaans sneller is als een hand of voetbeweging.

Tabel II Schattingen van vertragingen per RT component (naar Wargo, 1967).

type vertraging	vertraging in ms	
	één keuze	twee keuze
receptor vertraging	1- 38	1- 38
afferent transport	2-100	2-100
centrale processen	70-100	90-300
efferent transport	10- 20	10- 20
spier vertraging en activatietijd	30- 70	30- 70
Reactietijd	113-328	133-528

### 5.1 Conflictbewaking

Om een advies te geven over de minimale bewakingstijden van dit type van bewaking dient de meest kritische situatie beschouwd te worden. De meest kritische situatie treedt op wanneer een storing in het regeltoestel het rode signaal nog tijdens de groen fase van de conflicterende richting op groen schakelt. De situatie is dan groen tegen groen waarbij het foutieve groene signaal niet als onverwacht wordt ervaren omdat het optreedt aan het einde van de roodfase. De groen tegen geel en geel tegen geel storingen zijn niet zo kritisch als bovenstaande en spelen dus geen rol bij de keuze van de detectietijd. In de nieuwe concept NEN norm wordt voorgesteld om de detectietijd voor conflictbewaking te stellen op 150 ms + 0%. Als in de groen tegen groen situatie, de weggebruiker het foutieve groene signaal detecteert zonder dat daarbij de ogen gericht worden op de lantaarn of reageert met het afwenden van de ogen dan is het zeer onwaarschijnlijk dat de weggebruiker 150 ms later het geheel onverwachte geel-knipperend signaal (dat de storing aangeeft) nog zal waarnemen. Zelf als de weggebruiker zijn ogen gericht houdt op het signaal is het, vanwege de 100 ms

perceptuele verwerkingstijd, nog onwaarschijnlijk dat het geel-knipperend signaal wordt waargenomen. Het niet waarnemen van het geel knipperend signaal leidt tot het uitvoeren van de response. Derhalve adviseren wij om de conflictbewaking te handhaven op een maximale toelaatbare detectietijd van 100 ms + 0%.

## 5.2 Roodlichtbewaking

Storingen van deze aard leiden tot gedoofd tegen groen en gedoofd tegen geel situaties. Deze situatie is aanzienlijk minder kritisch dan conflictbewaking omdat in de sequentie van groen-geel-rood, een gedoofd licht niet wordt verwacht. Bovendien is de overgang van een lichtsignaal naar het gedoofde signaal niet geassocieerd met een bepaalde gedraging. Zo'n onverwacht signaal leidt tot onzekerheid over het uit te voeren gedrag. Een knipperend geel signaal dat de storing aangeeft is dan min of meer verwacht en lost, althans gedeeltelijk, de onzekerheid op. Op grond hiervan kan geconcludeerd worden dat de in de conceptnorm voorgestelde 200 ms + 0% maximale detectietijd dit type van bewaking kan garanderen.

## 5.3 Ontruimingsfasebewaking

Gedurende het lopen van de garantie-ontruimingstijden dienen alle verkeerslichten op rood te staan zodat het kruispunt kan worden vrijgemaakt. De meest kritische situatie treedt op wanneer een weggebruiker op het einde van de geel fase begin van de roodfase het verkeerslicht passeert en het verkeerslicht in conflicterende richting door een storing in het begin van het lopen van de garantie ontruimingstijd van rood naar groen gaat. Dan is de situatie in principe gelijk aan de situatie die kan ontstaan tijdens de conflictbewaking (5.1). Op grond van de argumenten gegeven onder 5.1 is voor dit type van bewaking de voorgestelde 300 ms + 0% dan ook onvoldoende. Deze bewaking kan alleen gegarandeerd worden wanneer een maximale detectietijd van 100 ms + 0% wordt toegestaan.

## 5.4 Bewaking op meer kleuren tegelijkertijd

Deze storing kan leiden tot verschillende lichtcombinaties (roodfase met storing van groen; roodfase met storing van geel; geelfase met storing van groen; geelfase met storing van rood; groenfase met sto-

ring van rood; groenfase met storing van geel; rood, groen, en geel tegelijkertijd). Het optreden van een groen uitgangssignaal tijdens het lopen van de roodfase is de meest kritische situatie. Het zal duidelijk zijn dat deze situatie als onverwacht wordt ervaren omdat het niet in overeenstemming is met de sequentie van het aan- en uitgaan van de opeenvolgende signalen. Bovendien is het tegelijkertijd aanwezig zijn van twee conflicterende signalen niet geassocieerd met een bepaalde gedraging. Hierbij dient wel bedacht te worden dat het mogelijk is dat de weggebruiker selectief reageert op het aangaan van het groene signaal zonder dat het rode signaal wordt waargenomen. Op grond hiervan kan geconcludeerd worden dat de in conceptnorm voorgestelde  $150 \text{ ms} + 0\%$  een goed compromis vormt en dit type van bewaking kan garanderen.

## 6 AANBEVELINGEN

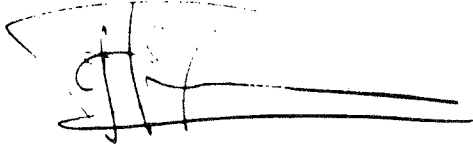
Op grond van de literatuur over het reactieproces en de factoren die de verschillende reactietijdcomponenten beïnvloeden, wordt geconcludeerd dat de reactie op een signaalverandering van een verkeerslicht zeer snel kan zijn en voor het belangrijkste deel slechts bestaat uit een waarnemingscomponent die niet langer zal duren dan 100 ms. Daarom zijn de in het concept voor de nieuwe norm voorgestelde detectietijden voor het garanderen van *conflict-* en *ontruimingsfase*bewaking van resp. 150 en 300 ms te lang en dienen te worden teruggebracht tot max.  $100 \text{ ms} + 0\%$ . De voor *roodlicht*bewaking en bewaking op *meer kleuren tegelijkertijd* benodigde tijden zijn onder meer vanwege het niet verwachte karakter ervan, minder kritisch en daarom zijn de voorgestelde tijden van resp.  $200$  en  $150 \text{ ms} + 0\%$  kort genoeg om deze typen van bewaking te garanderen.

## REFERENTIES

- Damon, A., H.W. Stoudt, & R.A. McFarland (1966). The human body in equipment design. Cambridge, Mass.: Harvard.
- Frowein, H.W. (1981). Selective drug effects on information processing. Tilburg: Doctoral Thesis.
- Hick, W.E. (1952). On the rate of gain of information. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 4, 11-26.
- Houtmans, M.J.M. & A.F. Sanders (1984). Perception of signals presented in the periphery of the visual field. *Acta Psychologica* 55, 143-155.
- Posner, M.I. (1978). *Chronometric explorations of mind*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Posner, M.I. & C.R.R. Snyder (1975). Facilitation and inhibition in processing of signals. In P.M.A. Rabbitt & S. Dornic (eds.), *Attention and Performance V*. New York: Academic Press.
- Posner M.I., M.J. Nissen & W.C. Ogden (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. In H.L. Pick & E. Saltzman (eds). *Modes of Perceiving and processing information*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Posner, M.I., C.R.R. Snyder, & B.J. Davidson (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General* 109, 160-174.
- Raab, D. & E. Fehrer (1962). The effect of stimulus duration and luminance on visual reaction time. *Journal of Experimental Psychology* 64, 326-327.
- Salthouse, T.A. (1982). Durations estimates of two information processing components. *Acta Psychologica* 52, 213-226.
- Sanders, A.F. (1963). The selective process in the functional visual field. Assen: van Gorkum.
- Sanders, A.F. (1975). The foreperiod effect revisited. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 27, 591-598.
- Sanders, A.F. (1980). Satge analysis of reaction processes. In: G.E. Stelmach & J. Requin (eds.), *Tutorials in motor behavior*. Amsterdam: North-Holland.
- Schwartz, S.P., J.R. Pomerantz & H.E. Egeth (1977). State and process limitations in information processing: An additive factor analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 3, 402-410.
- Sternberg, S. (1969). The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method. In W.G. Koster (ed.), *Attention and Performance II*, 276-315 (*Acta Psychologica* 30).

- Theeuwes, J. (1986). Perceptual motor speed and choice reaction time. In A.F. Sanders et al.: Standardization of performance tests. Scientific Report AFOSR-85-0305. London: European Office of Aerospace Research and Development.
- Theeuwes, J. (1989). The effect of location and form cuing on the allocation of attention in the visual field. *Acta Psychologica* 72, 177-192.
- Wargo, M.J. (1967). Human operator response speed, frequency, and flexibility: a review and analysis. *Human Factors* 20, 745-747.
- Welford, A.T. (1980). Choice reaction time: Basic concepts. In A.T. Welford (ed.), *Reaction times*. London: Academic Press.

Soesterberg, 8 november 1989

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'J. Theeuwes', written over a horizontal line.

Drs. Ing. J. Theeuwes