

De rol van psychologische processen bij tijdelijke verkeersmaatregelen

door Maks Keppel



Student: Maks Keppel
Studentnummer: 4071123
Studie: Toegepaste Cognitieve Psychologie, MSc
Instelling: Universiteit Utrecht
Product: Stageverslag "De rol van psychologische processen bij tijdelijke verkeersmaatregelen"
Datum: donderdag 19 januari 2017

Int. begeleider: dr. Estrella Montoya
Ext. begeleider (1): mr. drs. Herbert Korbee
Ext. begeleider (2): ing. Rob van Baal
Bedrijf (1): Korbee & Hovelynck
Bedrijf (2): Van Rens Mobiliteit B.V.

Samenvatting

Het doel van dit stageverslag is het leggen van een theoretische basis voor een ontwerp van tijdelijke verkeersmaatregelen vanuit de weggebruiker. Dit design wordt ontwikkeld als alternatief op het te strikt toepassen van richtlijnen die in sommige verkeerssituaties een onveilig wegbeeld opleveren voor de weggebruiker. De leidende onderzoeksvraag is welke psychologische processen een rol spelen bij tijdelijke verkeersmaatregelen. Om deze vraag te kunnen beantwoorden, is een literatuuronderzoek uitgevoerd. Als leidraad voor dit onderzoek is een informatieverwerkingsmodel gebruikt met drie stadia: perceptie (waarneming), cognitie (informatieverwerking), en actie (gedrag). Aan de hand van dit model zijn zowel de mogelijkheden van de weggebruiker als de limitaties van de weggebruiker besproken. Kernpunten die van belang zijn bij tijdelijke verkeersmaatregelen is zichtbare en opvallende informatie, het minimaliseren van de mentale belasting van de weggebruiker, en het duidelijk vormgeven van de regels om te voorkomen dat weggebruikers zelf hun eigen manier van handelen bepalen. Deze en andere suggesties kunnen worden meegenomen in vervolgonderzoek naar een concreet design van tijdelijke verkeersmaatregelen vanuit de weggebruiker.

Voorwoord

Dit verslag dient als stageproduct voor de masterstudie Toegepaste Cognitieve Psychologie aan de Universiteit Utrecht. Er is een stageopdracht uitgevoerd in opdracht van zowel het bedrijf Van Rens Mobiliteit B.V., te Utrecht, als het bedrijf Korbee & Hovelynck, te De Bilt. De stageperiode besloeg een periode van ongeveer 2.5 maanden.

Het doel van de stageopdracht is het vaststellen van psychologische processen die een rol spelen bij tijdelijke verkeersmaatregelen, met als resultaat een lijst van aandachtspunten voor het ontwerpen van een nieuw wegdesign. Deze aandachtspunten zijn ontwikkeld vanuit een literatuuronderzoek.

Graag wil ik dr. Estrella Montoya van de Universiteit Utrecht, ing. Rob van Baal van Van Rens Mobiliteit B.V., en mr. drs. Herbert Korbee van Korbee & Hovelynck bedanken voor hun ondersteuning en inspiratie bij dit project.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	pg 5
1.1	Introductie van human Factors	pg 6
1.2	Drie-stadia model	pg 6
2	Perceptuele stadium	pg 9
2.1	Zicht in het verkeer	pg 9
2.1.1	Het visuele veld	pg 9
2.1.2	Donker en licht	pg 10
2.1.3	Conclusie: Zicht	pg 10
2.2	Sensorische informatie	pg 11
2.2.1	Contrast	pg 11
2.2.2	Grootte	pg 12
2.2.3	Luminantie	pg 12
2.2.4	Onderzoek naar contrast, grootte, en luminantie	pg 13
2.2.5	Opvallendheid	pg 14
2.2.6	Conclusie: Sensorische informatie	pg 15
2.3	Visuele perceptie	pg 15
2.3.1	Patroonorganisatie	pg 15
2.3.2	Herkenning	pg 16
2.3.3	Conclusie: Visuele perceptie	pg 17
2.4	Aandacht en perceptie	pg 17
2.4.1	Conclusie: Aandacht	pg 18
3	Cognitieve stadium	pg 19
3.1	Denken	pg 19
3.1.1	Automatisch denken	pg 19
3.1.2	Bewust denken	pg 19
3.1.3	Mentale belasting	pg 20
3.1.4	Conclusie: Denken	pg 21
3.2	Geheugen	pg 21
3.2.1	Kortetermijngeheugen	pg 21

3.2.2	Langetermijngeheugen	pg 21
3.2.3	Conclusie: Geheugen	pg 22
3.3	Het nemen van beslissingen	pg 22
3.3.1	Beslischulp	pg 23
3.3.2	Conclusie: Beslissen	pg 24
3.4	Aandacht en cognitie	pg 25
3.4.1	Stress en aandacht	pg 25
3.4.2	Conclusie: Aandacht	pg 26
4	Actiestadium	pg 27
4.1	Autorijden	pg 27
4.1.1	Gedragsmodi	pg 27
4.1.2	Menselijke fouten en de modi van gedrag	pg 29
4.1.3	Fouten in het wisselen van modi	pg 29
4.1.4	Conclusie: Actie	pg 30
5	Aandachtspunten van psychologische processen bij tijdelijke verkeersmaatregelen	pg 32
5.1	Aandachtspunten	pg 32
5.2	Conclusies uit dit verslag	pg 33
6	Bijlagen	pg 35
Bijlage 1:	Het berekenen van de visuele hoek	pg 35
Bijlage 2:	Het drie-stadia model	pg 36
Bijlage 3:	Schematische weergave van het Generic Error Modelling System (GEMS)	pg 37
Bijlage 4:	Referenties	pg 38

1. Inleiding

Tijdelijke verkeersmaatregelen zijn maatregelen die voor het verkeer worden getroffen wanneer er tijdelijk sprake is van een afwijkende situatie op de weg. Wegwerkzaamheden zijn hier een voorbeeld van, zoals onderhoud, reconstructie, of het aanleggen van nieuw wegdek [1]. Wanneer deze werkzaamheden plaatsvinden, is er werkruimte nodig zodat het wegwerkpersoneel zijn werk kan verrichten.

Om de verkeersdoorstroom zo min mogelijk te belemmeren, wordt vaak slechts een deel van de weg afgesloten voor deze werkruimte. Op deze manier wordt er een balans gevonden tussen zowel de doorstroom van het verkeer als de werkzaamheden van het wegwerkpersoneel. Deze afsluiting betekent voor de weggebruiker dat de verkeerssituatie wordt aangepast; het beschikbare wegdek is bijvoorbeeld meer beperkt, de verkeersdruk kan toenemen, of er kunnen andere verkeersregels gelden.

Of er aan de weg gewerkt dient te worden, wordt bepaald door een opdrachtgever, zoals bijvoorbeeld de gemeente. Een opdrachtnemer zal de werkzaamheden daadwerkelijk realiseren. Voor diegene is het een belangrijk doel om, naast het uitvoeren van de werkzaamheden aan het wegdek zelf, het verkeer veilig te geleiden over het daarvoor beschikbare wegdek. Opdrachtgevers van projecten kiezen voor het ontwerp van tijdelijke verkeersmaatregelen vaak voor de richtlijnen van CROW, een non-profit kennispartner van onder andere overheden en adviesbureaus. De opdrachtgevers in de wegenbouw hechten veel waarde aan de CROW-richtlijnen: volgens hen bieden deze richtlijnen een garantie op veiligheid.

Het strikt implementeren van richtlijnen is echter alleen gewenst wanneer de verkeerssituatie daarvoor geschikt is. Elk wegwerkproject is anders omdat vaak ieder project op een ander stuk weg plaatsvindt met ieder zijn eigen karakteristieken zoals wegbreedte, wegtype, en algehele verkeersomstandigheden. Wanneer een tijdelijke verkeerssituatie erom vraagt, mag of moet er zelfs afgeweken worden van de CROW-richtlijnen om een veilige en efficiënte verkeerssituatie te kunnen waarborgen voor elke specifieke situatie. Zelfs al hebben deze richtlijnen dus geen juridische status, staan ze echter wel bekend als *best practice* in het werkveld. De opdrachtgevers zullen om die reden dan ook niet vaak van deze richtlijnen afwijken. Dit kan ervoor zorgen dat de richtlijnen geforceerd worden toegepast op de weg waar ze niet goed passen in het wegontwerp, met onveilige tijdelijke verkeersmaatregelen als gevolg.

Om dit te voorkomen, dient de opdrachtnemer een tweetal problemen op te lossen: 1) er dient van de bestaande richtlijnen te worden afgeweken, of deze dienen creatief te kunnen worden geïnterpreteerd, zodat tijdelijke verkeersmaatregelen 'beter' (veiliger) zijn dan met toepassing van de richtlijnen, en 2) een dergelijke afwijking dient zo gepresenteerd te worden aan de opdrachtgever dat hij met de afwijking akkoord gaat.

Om dit tweetal problemen op te lossen, is een veilig ontwerp nodig dat een valide alternatief biedt op de bestaande CROW-richtlijnen wanneer deze niet passen bij de

verkeerssituatie. Op deze manier kan er een meer gepast ontwerp voorgesteld worden aan de opdrachtgever door de opdrachtnemer waardoor de veiligheid van de weggebruikers gewaarborgd blijft.

Om dit ontwerp te kunnen ontwikkelen, zal er in dit oriënterende onderzoek worden ingegaan op de vraag hoe een tijdelijke verkeerssituatie vanuit de weggebruiker ontworpen zou worden, zonder hierbij rekening te houden met de bestaande CROW-richtlijnen. Om deze vraag te beantwoorden, wordt een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de psychologische processen die een rol spelen bij het functioneren van de weggebruiker in het algemeen, en specifiek bij tijdelijke verkeersmaatregelen. Deze processen worden vertaald in aandachtspunten, en zouden in een vervolgonderzoek vertaald kunnen worden naar een concreet en testbaar design dat ingezet kan worden in de praktijk.

Om dit onderzoek uit te voeren, zal eerst kort *human factors* worden geïntroduceerd. Vervolgens zal een model worden gepresenteerd dat zal dienen als een leidraad voor het behandelen van de literatuur over verschillende psychologische processen. Aan de hand van het model zullen drie stadia, perceptie (waarneming), cognitie (informatieverwerking door de mens), en actie (gedrag) behandeld worden. Aan het einde van elke hoofdpagina zullen kernpunten worden samengevat; deze worden tevens weergegeven, en aan elkaar gerelateerd, in een lijst van aandachtspunten aan het einde van het verslag. Dit vormt de eerste stap in de ontwikkeling van tijdelijke verkeersmaatregelen vanuit de psychologische processen van de weggebruiker.

1.1 Introductie van human factors

Het aanpassen van de omgeving naar het functioneren van de mens wordt ook wel ergonomie of *human factors* genoemd. Het vormt het ontwerpen van producten, systemen of processen waarbij hoofdzakelijk de interactie met de mensen die deze onderdelen gebruiken in acht wordt genomen [2].

Wat terminologie betreft, wordt in het vakgebied van human factors vaak gesproken over het systeem en de gebruiker. Het systeem slaat in dit verslag op een wegdek met diens markeringen en borden; de gebruiker slaat in dit geval op de weggebruiker. Het belangrijkste doel van human factors is om de kans op een menselijke fout van de gebruiker te minimaliseren en de prestatie van het systeem te optimaliseren [2].

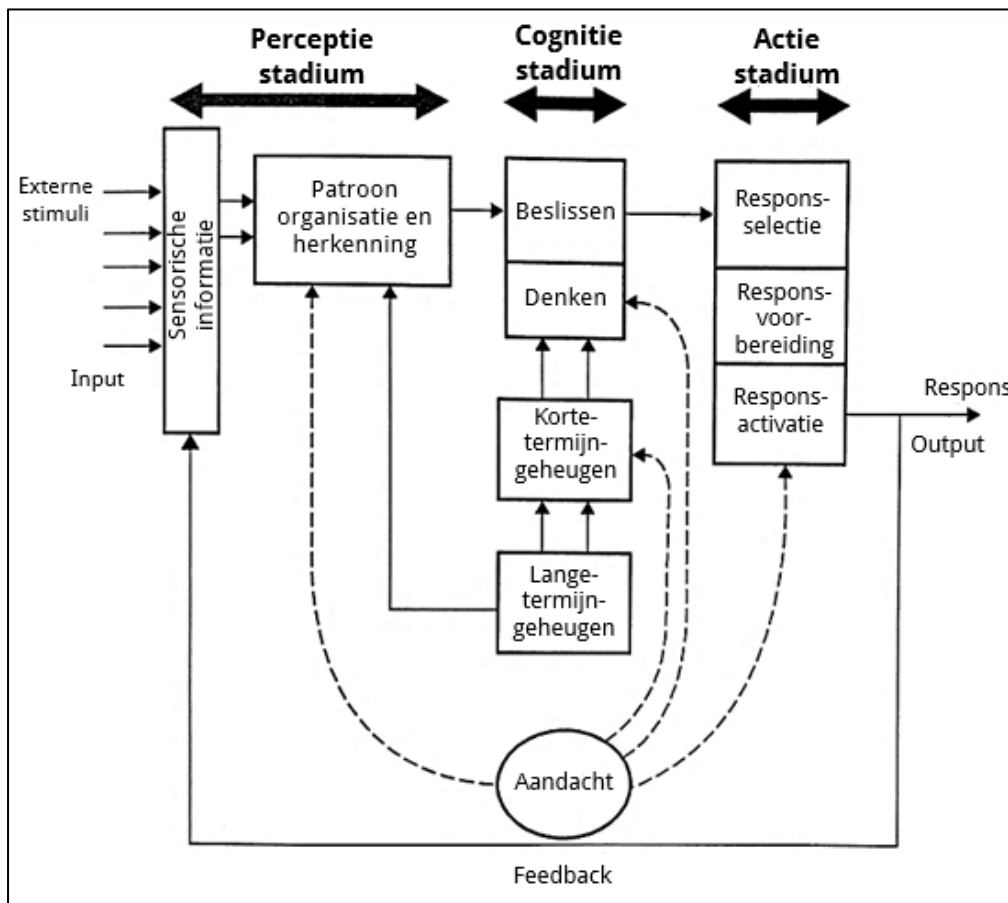
Om een systeem te ontwikkelen vanuit kenmerken van de gebruiker, is het van belang om kennis te hebben van zowel de mogelijkheden als de limitaties van de gebruiker.

1.2 Drie-stadia model

Zoals omschreven zal het literatuuronderzoek zich richten op de psychologische processen bij tijdelijke verkeersmaatregelen aan de hand van een model. Psychologische modellen zijn voornamelijk bedoeld om aan te geven hoe psychologische processen aan elkaar gerelateerd zijn en hoe zij elkaar beïnvloeden. Daarnaast kan een model schematisch de invloeden van psychologische processen op elkaar weergeven waardoor deze mogelijk

beter inzichtelijk zijn. Ook helpt het om grenzen te stellen in wat er in dit literatuuronderzoek wel en wat er niet wordt behandeld.

Er is gekozen voor een algemeen informatieverwerkingsmodel: het *drie-stadia model*, zie **Figuur 1.1** [3]. Informatieverwerkingsmodellen zijn bedoeld om de *flow* van informatie vanuit een systeem naar de gebruiker, en vice versa, te modelleren. Dit algemene informatieverwerkingsmodel biedt een toegankelijk raamwerk voor het begrijpen en organiseren van meerdere human factors problemen.



Figuur 1.1 Het drie-stadia model (vertaalde versie, originele bron: [3]).

In het model zijn drie stadia gerepresenteerd:

- **Perceptiestadium**

Het *perceptiestadium* betreft hoe informatie is weergegeven en welke kenmerken bepalen of informatie waarneembaar is voor een gebruiker. In dit stadium worden *externe stimuli* (objecten uit de omgeving), *sensorische informatie* (hetgeen dat in de omgeving waarneembaar is), *patroonorganisatie* (patronen in de omgeving herkennen), en *herkenning* op zich (een object zien dat eerder gezien is) behandeld. Deze aspecten vatten daarmee samen aan welke criteria zichtbare informatie voldoet.

- **Cognitiestadium**

Het *cognitiestadium* heeft betrekking op mentale aspecten van gebruikers. Belangrijk bij dit stadium is dat gebruikers informatie mentaal door middel van *denken* kunnen verwerken, maar hier een verwerkingscapaciteit aan zit. Daarnaast speelt ook opgeslagen informatie uit het geheugen een rol: informatie kan zowel kort vastgehouden worden door het *kortetermijngeheugen*, als lang door het *langetermijngeheugen*. Informatie die voor gebruikers beschikbaar is, beïnvloedt bijvoorbeeld de kwaliteit van *beslissingen* en heeft invloed op het redeneren van gebruikers.

- **Actiestadium**

Het *actiestadium* heeft betrekking op het gedrag van gebruikers, en de acties die zij ondernemen. Hierbij speelt *responsselectie* (het kiezen van de actie), *responsactivatie* (het activeren van de actie) en *responsvoorbereiding* (het voorbereiden van de actie) een rol. Het uitvoeren van de juiste actie is een belangrijk systeemdoel: zo wordt de kans op een menselijke fout geminimaliseerd.

- *Aandacht*

In het model speelt ook *aandacht* een rol. Aandacht heeft bij alle drie de stadia de rol als focus: wat belangrijk is, kan met behulp van aandacht 'beter' worden verwerkt. Dit zal per stadium expliciet worden toegelicht.

De assumptie van het drie-stadia model is dat de stadia elkaar opvolgen: een goede waarneming leidt tot een goede opname van informatie, en wanneer de informatie volledig en begrijpelijk is, zal de weggebruiker de juiste actie kiezen [3]. Een gesimplificeerd voorbeeld hiervan is de waarneming van een stopbord: wordt het stopbord goed waargenomen en herkend (perceptie), en heeft de weggebruiker voldoende tijd en mogelijkheden om de informatie van het bord goed te begrijpen (cognitie), dan zal hij de juiste actie kiezen en stoppen voor het stopbord (actie). In dit geval, is het systeemdoel bereikt.

2. Perceptie

In het drie-stadia model is het eerste stadium perceptie. Perceptie betekent het geven van betekenis aan een waarneming. Een waarneming staat gelijk aan het registreren van sensorische informatie uit de omgeving. *Sensorische informatie* is de informatie die door de zintuigen waargenomen wordt [4].

Waarneming is mogelijk met een of meer van de vijf menselijke zintuigen; voor dit literatuuronderzoek zal zicht behandeld worden omdat autorijden voornamelijk een visuele taak is [5].

Allereerst zal kort geïntroduceerd worden wat zicht is. Zicht staat buiten het model, zoals weergegeven in **Figuur 1.1**, maar dient ter introductie van de andere onderwerpen in het perceptiestadium.

Daarna zullen *sensorische informatie*, *patroonorganisatie*, en *herkenning* behandeld worden. Ook zal de rol van *aandacht* bij perceptie, zoals weergegeven in **Figuur 1.1**, behandeld worden.

2.1 Zicht in het verkeer

2.1.1 Het visuele veld

Achterin het oog bevindt zich het netvlies, welke allerlei cellen bevat. Deze cellen kunnen reageren op licht: wanneer licht op het netvlies valt, activeert dit cellen die vervolgens signalen doorgeven aan de hersenen. In de hersenen worden deze signalen samengevoegd, en wordt er een kloppend beeld van gemaakt [4]. Het beeld dat men ziet en waar men dus op kan reageren, wordt ook wel het visuele veld genoemd [6].

In **Figuur 2.1** is het visuele veld van een mens gesimuleerd. Het midden van het visuele veld is scherp: fijne details zijn hier goed waarneembaar. In de zijranden van het visuele veld wordt de waarneming steeds minder scherp. Deze zijranden worden de periferie genoemd [4].

Stel, er verschijnt een object in de periferie, en iemand wil dat object scherp waarnemen, dan dient het visuele veld verplaatst te worden. Deze verplaatsing dient ervoor te zorgen dat het object in het midden van het visuele veld valt, zodat het scherp waargenomen kan worden. Mensen kijken voornamelijk eerst met hun ogen naar een object, en als het object zich meer dan ongeveer 15 graden uit het huidige zicht bevindt, zal ook het hoofd draaien. Het heeft dan uit praktisch oogpunt ook de voorkeur om



Figuur 2. 1. Het visuele veld van een mens. Er is sprake van scherp zicht in het centrum van het visuele veld, en minder scherp zicht in de periferie.

hier rekening mee te houden: door objecten maximaal 15 graden uit elkaar te plaatsen, kan met slechts een oogbeweging het object worden waargenomen [7]. Bij de plaatsing van bijvoorbeeld verkeersborden speelt verwachting ook een rol: weggebruikers verwachten dat deze aan de rechterzijde van de weg staan [8]; zie § 3.2.2, *Langetermijngeheugen*, voor meer informatie.

2.1.2 Donker en licht

Twee typen cellen in het netvlies zijn de kegeltjes en de staafjes. Kegeltjes, die zich voornamelijk bevinden in het midden van het netvlies, zijn cellen die goed functioneren bij zicht overdag. Zien overdag wordt ook wel fotopisch zicht genoemd, zicht onder goede lichtomstandigheden. Bij fotopisch zicht zorgen de kegeltjes ervoor dat er scherp waargenomen kan worden in het centrum van het visuele veld, maar ook dat kleuren en snelle veranderingen in het visuele veld goed waargenomen worden [4].

Staaftjes bevinden zich voornamelijk aan de zijranden van het netvlies en functioneren goed bij scotopisch zicht: zicht bij weinig licht. De staafjes zijn erg lichtgevoelig en helpen met het zien in het donker, en nemen tevens bewegingen waar. Hierdoor is het waarnemen van bewegingen nog steeds mogelijk in het donker. Het is echter wel het geval dat staafjes langzamer zijn dan kegeltjes [4].

Wanneer iemand van een sterk verlichte omgeving plotseling naar een donkere omgeving gaat, kan dit ervoor zorgen dat het lang duurt voordat diegene goed kan zien in het donker. In dat geval zijn de staafjes door de lichte omgeving gebleekt. Na ongeveer acht minuten zullen de staafjes weer kunnen helpen om de donkere omgeving goed waar te nemen. Het wennen aan de donkere omgeving vanuit een lichte omgeving wordt donkeradaptie genoemd [9]. Omdat in het donker de staafjes voornamelijk zicht voor hun rekening nemen, en staafjes langzamer zijn dan kegeltjes, zal een weggebruiker in het donker minder snel kunnen reageren op snelle veranderingen in het visuele veld [10].

Er kan ook sprake zijn van lichtadaptatie. Hierbij gaat iemand van een donkere omgeving naar een lichte omgeving. De kegeltjes zullen ook tijd nodig hebben voordat zij kunnen helpen bij waarnemen in het licht [9].

Verschillende onderzoeken stellen dat autorijden in het donker de kans op een ongeluk vergroot [10,1] dit is tevens specifiek aangetoond voor verkeerssituaties tijdens wegwerkzaamheden in een Amerikaanse staat [12]. Om deze reden zijn goede lichtomstandigheden van groot belang om de veiligheid bij tijdelijke verkeersmaatregelen te vergroten (zie voor meer informatie § 2.2.3, *Luminantie*).

2.1.3 Conclusie: Zicht

Op basis van factoren die een rol spelen bij zicht, heeft de weggebruiker baat bij deze aanbevelingen:

- Objecten dienen bij voorkeur niet verder dan 15 graden uit elkaar te worden geplaatst zodat zij snel kunnen worden waargenomen

- Objecten dienen bij voorkeur in het midden van het visuele veld van de weggebruiker gepresenteerd te worden zodat scherpe details kunnen worden waargenomen
- Objecten die in de periferie van de weggebruiker staan, dienen bij voorkeur grove elementen te bevatten zodat deze objecten vanuit de periferie herkend kunnen worden
- Tijdelijke verkeersmaatregelen dienen verlicht te zijn zodat het visuele systeem snel kan reageren op veranderingen

2.2 Sensorische informatie

Sensorische informatie is informatie die door de zintuigen waargenomen wordt [4]. Een voorbeeld van sensorische informatie is de waarneming van een verkeersbord. Bij het waarnemen van bijvoorbeeld een stopbord kan het visuele systeem de rode kleur waarnemen, de witte letters, en de vorm van het bord. Als er een specifiek object in de omgeving waargenomen kan worden, wordt dat object ook wel een stimulus genoemd.

Sensorische informatie is zeer divers: veel verschillende kleuren, vormen en grootten kunnen in de omgeving voorkomen en door het visuele systeem worden waargenomen. Echter heeft het visuele systeem wel bepaalde voorkeuren die de waarnemingskans vergroten, zoals *contrast*, *grootte*, en *luminantie*.

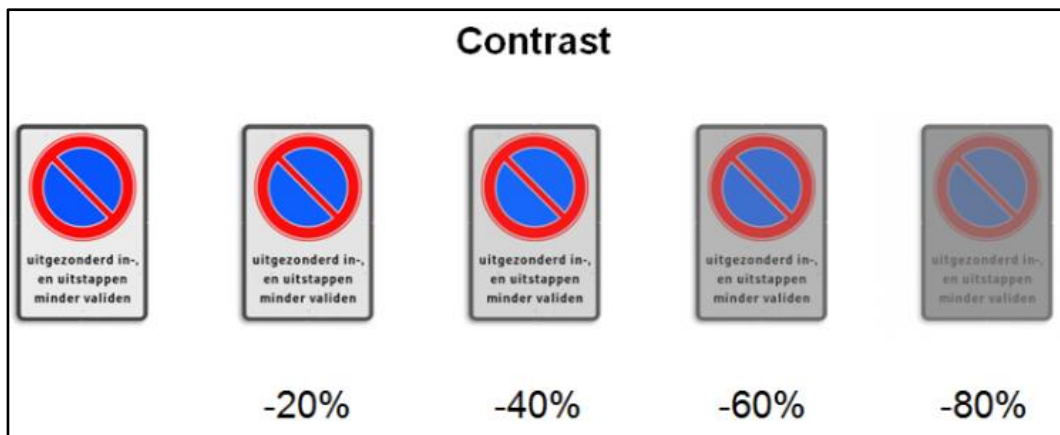
2.2.1 Contrast

Contrast is het verschil tussen luminantie tussen een object en zijn achtergrond, of tussen lichtere en donkere onderdelen van eenzelfde object [13]. Hoe meer contrast er is, hoe groter het verschil in luminantie is. Luminantie is de intensiteit van de energie van een lichtbron (§ 2.2.3).

Figuur 2.2 dient ter illustratie van de werking van contrast op het visuele systeem. In dit figuur is een verkeersbord zichtbaar met variërende contrasten van een hoog contrast (links) tot een laag contrast (rechts).

Op het eerste verkeersbord zijn de zwarte letters waarneembaar op de witte achtergrond. Doordat er een verschil zit tussen zwarte belettering en de witte achtergrond, kan het visuele systeem dit goed waarnemen: het visuele systeem is hier namelijk gevoelig voor.

Het meest rechterbord is minder goed leesbaar omdat er bij dit bord 80% minder contrast is dan bij het eerste bord. De zwarte letters zijn lichter geworden, terwijl de witte achtergrond donkerder geworden is. Het visuele systeem is minder goed in het waarnemen van kleine verschillen tussen de ene en de andere grijswaarde. Zelfs al zijn de letters bij het verkeersbord met weinig contrast leesbaar, duurt het vaak langer om ze te herkennen.



Figuur 2.2. Een verkeersbord (E01-OB) met verminderd contrast, van hoog (links) tot laag (rechts).

Contrast is een eigenschap die in het ontwerp vanuit het ontwerp van Nederlandse verkeersborden reeds bepaald is. Factoren die een negatieve invloed kunnen uitoefenen op contrast zijn bijvoorbeeld weersomstandigheden zoals mist. Een goed verlichte omgeving kan ervoor zorgen dat contrast beter waargenomen wordt door weggebruikers [14]; zie § 2.2.3, *Luminantie*, voor meer informatie.

2.2.2 Grootte

Ook voor grootte heeft het visuele systeem een bepaalde voorkeur. Deze geschreven woorden zijn op de huidige afstand waarschijnlijk goed leesbaar. Het waarnemen van deze letters wordt echter lastiger op bijvoorbeeld zes meter afstand: de verschillen tussen letters zullen wazig worden en woorden kunnen mogelijk niet meer los van elkaar onderscheiden worden. Kort gezegd zullen zeer fijne details ook alleen op een korte kijkafstand zichtbaar zijn. Grote elementen op bijvoorbeeld een afbeelding zijn wel vanaf een grotere kijkafstand waarneembaar.

Voor het bepalen van de zichtbaarheid van een stimulus op basis van de grootte, is het van belang om te kunnen bepalen hoe groot een stimulus zal lijken in het visuele veld. Deze grootte kan bepaald worden door middel van de visuele hoek, welke berekend wordt aan de hand van de a) de afstand tot de stimulus, en b) de grootte van de stimulus zelf. In *Bijlage 1* is een voorbeeld opgenomen van een berekening van de visuele hoek.

2.2.3 Luminantie

Luminantie is een bewoording voor de hoeveelheid energie die voortgebracht wordt door een lichtbron [9]. Bij een auto die in het donker rijdt, zal de luminantie vanuit de koplampen toenemen wanneer deze ingeschakeld worden. Dit zal ervoor zorgen dat de waargenomen helderheid van de auto groter wordt. Hierdoor is hij (beter) zichtbaar in het donker.

Luminantie vanaf de auto kan zorgen voor illuminantie van de omgeving. Illuminantie is een benaming voor reflecterend licht vanaf objecten [9]. Een voorbeeld hiervan is een

verkeersbord: door licht te schijnen op een verkeersbord, zal er licht terugkaatsen. Het waarnemen van dit licht zorgt ervoor dat het bord waargenomen kan worden.

Op een zonnige dag is er sprake van een hoge mate van luminantie door het directe zonlicht, en het zonlicht dat weerkaatst wordt door oppervlakten. In dit geval zal het effect van de luminantie van de koplampen niet veel toevoegen aan de waargenomen helderheid van de auto, of de illuminantie van de omgeving. Hieruit blijkt dat luminantie op zichzelf niet direct bepaalt hoe helder een stimulus waargenomen wordt, maar dat de omgeving hierop ook een invloed op heeft [9].

Een ander voorbeeld hiervan is het gebruiken van een knipperlicht bij een verkeersbord: de kans is groter dat dit licht wordt waargenomen bij bewolking dan op een zonnige dag [15].

Een te hoge mate van luminantie kan zorgen voor een glare-effect. Dit houdt in dat een lichtbron van hoge intensiteit ervoor zorgt dat het waarnemen van stimuli met een lage intensiteit in het visuele veld bemoeilijkt wordt [16]. Glare kan er bij weggebruikers voor zorgen dat zij langzamer rijden, en bepaalde elementen in de omgeving niet goed waar kunnen nemen [17]. Het is om deze reden altijd van belang om bijvoorbeeld fel werklicht van wegwerkpersoneel naar beneden te richten zodat het zicht van weggebruikers hierdoor niet negatief beïnvloed wordt [18,19].

Slechte zichtomstandigheden kunnen het zoekgedrag van weggebruikers negatief beïnvloeden [20]; voor meer informatie over zoekgedrag, zie § 2.2.5, *Opvallendheid*. Ook blijkt uit analyses van ongevallen bij tijdelijke verkeersmaatregelen dat slechte lichtomstandigheden een oorzaak kunnen vormen bij het ontstaan van ongelukken [21] en/of bijdragen aan de kans op fatale ongelukken [22]. Om deze reden is het wenselijk goede lichtomstandigheden te realiseren bij wegwerkzaamheden in het donker, en gebruik te maken van reflecterende materialen [22].

Voor de belichting van tijdelijke verkeersmaatregelen is helder licht belangrijk dat een breed kleurenspectrum kan reflecteren. Licht dat alle kleuren kan representeren, kan zorgen voor een snelle objectherkenning omdat kleur een basisaspect is van objectwaarneming (voor meer informatie, zie § 2.3.2, *Herkenning*). Daarnaast kan helder licht, van 1fL (= 3.426 lux, een eenheid voor luminantie) of meer, de waarneming van contrast verbeteren voor weggebruikers die in het donker rijden [23].

2.2.4 Onderzoek naar contrast, grootte, en luminantie

De mate van visuele efficiëntie groeit naarmate grootte, belichting, en contrast toenemen [24].

In onderzoek naar de zichtbaarheid van verkeersborden is gevonden dat de informatie-acquisitietijd, de tijd die men nodig heeft om informatie van een bord in zich op te nemen, afneemt naarmate luminantie en grootte toenemen [25]. Uit ander onderzoek blijkt dat dit luminantie-effect alleen bestaat in gebieden waar er sprake is van veel verschillende afleidende stimuli, bijvoorbeeld op een drukke weg waar veel te zien is [26]. In het donker is

de waarnemingsafstand van verkeersborden groter bij verkeersborden met reflecterend materiaal, en bij grotere borden [27]. In een ander onderzoek is gevonden dat zowel luminantie als contrast een rol spelen bij de herkenningsafstand van symbolen op verkeersborden [28].

Een praktische toepassing van deze kennis kan bijvoorbeeld zijn dat verkeersborden goed schoongemaakt dienen te zijn, zodat zowel reflectieve eigenschappen als het contrast optimaal blijven [28]. Wanneer weggebruikers actief zoeken naar een verkeersbord, zijn voornamelijk het contrast met de achtergrond en de grootte van het bord belangrijk [29].

2.2.5 Opvallendheid

Opvallendheid is een term voor de mate waarin een stimulus afwijkt van zijn omgeving [13]. Een opvallende target, datgene waar iemand naar op zoek is, is een stimulus die eenvoudig vindbaar is tijdens een zoektaak zonder dat het aantal niet-relevante stimuli hier een invloed op heeft. Een stimulus kan opvallen tussen andere stimuli omdat deze afwijkt op een bepaalde dimensie zoals kleur, oriëntatie, of beweging [30].

In **Figuur 2.3** valt het jongetje links tussen de verkeersborden niet goed op wanneer er gefocust wordt op het fixatiepunt in het midden van de afbeelding. Dit heeft drie redenen: 1) het shirt van het jongetje heeft een kleur die niet opvallend is omdat de borden om hem heen dezelfde kleur hebben, 2) het jongetje bevindt zich in de periferie van het visuele veld waardoor fijne details niet goed kunnen worden waargenomen en de vorm van het jongetje niet herkend wordt (§ 2.1.1 *Het visuele veld*, § 2.3.2 *Herkenning*), en 3) de waarneming wordt belemmerd door een *crowding-effect*: omliggende objecten rondom de target beïnvloeden de waarneembaarheid van de target [31]. Het jongetje rechts is wel waarneembaar omdat de genoemde problemen bij zijn weergave niet gelden.

Deze kennis kan relevant zijn voor de kleding van wegwerkers. Wanneer zij bijvoorbeeld oranje kleding dragen en tussen oranje pionnen lopen, is de kans kleiner dat een weggebruiker hen ziet vanuit zijn ooghoek. In dat geval



Figuur 2.3. Overzicht van een natuurlijke omgeving waarin er sprake is van wegwerkzaamheden. Het jongetje (onderin de afbeelding) is, bij het fixeren op het fixatiepunt in het midden van de afbeelding, beter zichtbaar aan de rechterzijde dan aan de linkerzijde. Bron: [31].

zouden de wegwerkers hun zichtbaarheid kunnen verhogen door gele kleding te dragen, waardoor hun visuele eigenschappen daarmee afwijken van hun directe omgeving.

Tevens geldt in **Figuur 2.3** dat de opdracht “Vindt het jongetje met het gele shirt”, zonder hierbij te focussen op het fixatiepunt, eenvoudiger is zonder de gele borden dan met de gele broden. Omdat het jongetje nu alleen afwijkt op zijn vorm, duurt het langer om hem te vinden. Als er geen gele borden zijn, en hij dus ook van zijn omgeving afwijkt vanwege zijn gele kleur, valt het jongetje direct op.

Uit onderzoek onder automobilisten blijkt dat het vinden van een specifiek verkeersbord lastiger is in een omgeving met veel verkeersborden dan in een omgeving zonder verkeersborden. [32].

2.2.6 Conclusie: Sensorische informatie

Op basis van factoren die een rol spelen bij sensorische informatie, heeft de weggebruiker baat bij deze aanbevelingen:

- Goed zichtbare objecten zijn groot, hebben een hoge luminantie, en hebben een goed contrast
 - De grootte van een stimulus op het netvlies kan berekend worden aan de hand van de visuele hoek (*Bijlage 1*)
 - Luminantie van licht bij wegwerkzaamheden dient minimaal 1 fL (= 3.426 lux, een eenheid voor luminantie) te zijn en het volledige kleurenspectrum te representeren
 - Contrast is vastgesteld op het verkeersbord zelf. Invloeden als mist kunnen het contrast verminderen, invloeden als helder licht kunnen contrast verbeteren
- Opvallende objecten dienen af te wijken op een of meer dimensies van hun omgeving om opvallend te zijn
- Werklicht van wegwerkers dient naar beneden te zijn gericht om een glare-effect voor de weggebruikers te voorkomen

2.3 Visuele perceptie

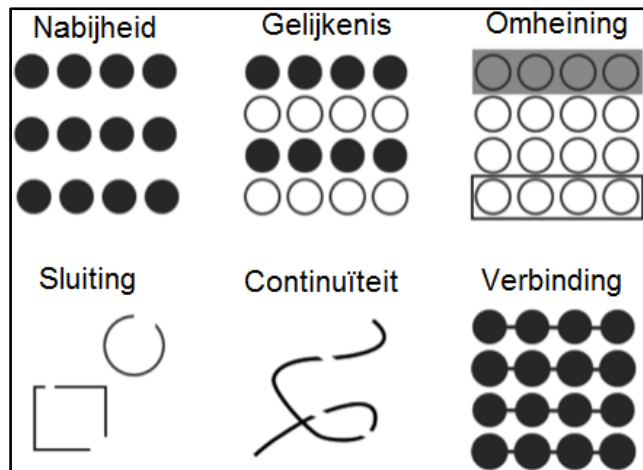
Na waarneming van visuele informatie volgt perceptie. Perceptie betekent het geven van waarde aan een waarneming [4]. De informatie die de ogen doorgeven aan de hersenen dienen geïnterpreteerd te worden: *patroonorganisatie* en *herkenning* spelen hierbij een belangrijke rol.

2.3.1 Patroonorganisatie

Op basis van onder andere eerdere visuele ervaringen leert het visuele systeem over bepaalde “regels” en patronen waarvan sprake is in de omgeving tussen verschillende elementen. Doordat het visuele systeem deze informatie opgeslagen heeft, kan het categoriseren en objecten in de omgeving aan elkaar relateren. Voorbeelden van geleerde patronen zijn vastgelegd in regels en worden Gestalt-wetten genoemd (**Figuur 2.4**).

De wetten kunnen als volgt worden omschreven:

- *Nabijheid*
Dicht-bij-elkaar-geplaatste elementen worden gezien als één groep. In het figuur zijn er twaalf zwarte cirkels zichtbaar, maar door hun plaatsing ziet het visuele systeem drie rijen van vier cirkels.



- *Gelijkenis*
Gelijke elementen worden gegroepeerd. Zwarte cirkels zijn anders dan witte cirkels dus worden zwarte cirkels samen met andere zwarte cirkels gegroepeerd, en witte cirkels samen met witte cirkels.

Figuur 2.4. Een aantal Gestalt-wetten: nabijheid, gelijkenis, omheining, sluiting, continuïteit, en verbinding.

- *Omheining*
Losse elementen worden als een groep worden gezien als deze gemarkeerd of omheind zijn.
- *Sluiting*
Niet-complete vormen worden ingevuld terwijl er sprake is van onderbrekingen. Cirkels en vierkanten zijn normaliter compleet.
- *Continuïteit*
Een lijn wordt als compleet gezien, zelfs al is deze onderbroken. Dit principe is goed zichtbaar bij een onderbroken streep op het wegdek.
- *Verbinding*
Elementen die met elkaar verbonden zijn, worden gezien als een losse groep.

Deze Gestalt-wetten laten zien hoe men objecten en relaties tussen objecten waarneemt, zelfs wanneer de informatie vanuit het visuele veld incompleet is [33]. Het advies is om elementen in de omgeving te groeperen, hierdoor kunnen relaties binnen en tussen objecten worden waargenomen wat kan helpen bij het organiseren van informatie.

2.3.2 Herkenning

Herkenning betekent dat een object dat wordt waargenomen overeenkomt met een object dat eerder is waargenomen. Verschillende theorieën over objectherkenning stellen dat de losse elementen, zoals kleur en vorm, eerst worden waargenomen door een eenvoudig eerste systeem. Een tweede systeem zal deze combinatie van elementen opzoeken en matchen met een opgeslagen beeld in het geheugensysteem [34].

Dit opgeslagen beeld bestaat voor verschillende perspectieven. Zodra genoeg kenmerken van bijvoorbeeld een stopbord waargenomen worden vanuit een bepaald perspectief, zal dit een match vormen met het opgeslagen prototype van dit bord. Hoewel objecten dus vanuit verschillende oogpunten worden herkend, kan een object wel mogelijk sneller herkend worden vanuit een goed-geleerd oogpunt [33,35]. Voor verkeersborden mag verwacht worden dat dit vanuit het oogpunt is dat de inhoud van het bord kan worden waargenomen.

Vanuit deze kennis is het van belang om verkeersborden zo te presenteren dat weggebruikers vanuit een geleerd oogpunt het bord waar kunnen nemen waardoor de herkenningssnelheid optimaal is. Hierbij spelen voornamelijk de kleur en de vorm van het bord een belangrijke rol [36]. Belichting bij tijdelijke verkeersmaatregelen dient de kleur en de vorm van het bord duidelijk te representeren.

2.3.3 Conclusie: Visuele perceptie

Op basis van factoren die een rol spelen bij visuele perceptie, heeft de weggebruiker baat bij deze aanbevelingen:

- Elementen in de omgeving dienen gegroepeerd te worden met behulp van Gestalt-regels. Hierdoor kunnen relaties binnen en tussen objecten worden gevonden
- Objecten moeten zo geplaatst zijn dat vormaspecten en de kleur van objecten waarneembaar zijn zodat objectherkenning plaats kan vinden
 - Voor objectherkenning geldt een voorkeur vanuit de weggebruiker vanuit het meest "typische oogpunt" (voor verkeersborden: van voren)
 - Belichting dient vorm te kunnen laten zien, en dient de kleur te representeren

2.4 Aandacht en perceptie

Aandacht omvat een aantal mechanismen die het mogelijk maken om te focussen op sommige stimuli, ten koste van de waarneming van andere stimuli [7]. In sommige gevallen wordt aandacht vergeleken met een *spotlight*: alles in de spotlight kan sneller of efficiënter worden verwerkt, alles buiten de spotlight wordt in mindere mate of helemaal niet verwerkt [37].

Er zijn twee vormen van aandacht: exogeen en endogeen. Endogene aandacht omvat aandacht vanuit bepaalde kennis; dit wordt behandeld in de paragraaf § 3.4, *Aandacht en cognitie*. Exogene aandacht is aandacht die getrokken wordt uit de omgeving doordat een stimulus opvalt.

Uit onderzoek is gebleken beide manieren met elkaar samenwerken: wanneer er een verwachting is over hoe de target eruitziet, dan kan het visuele systeem ervoor zorgen dat er een focus komt te liggen op de visuele kenmerken van de target [38,39,40]. Wanneer bekend is dat er een target zal verschijnen waarvan de identiteit en locatie bekend zijn, kan er voor beiden voorbereid worden door aandacht en het visuele systeem zich klaar te laten maken voor de waarneming van deze target [41]. Dit is ook specifiek voor een verkeerscasus

aangetoond: observatoren gebruikten zoekstrategieën om targets te vinden, en konden efficiënter de target vinden wanneer deze zich op een verwachte plek bevond [8 42,44].

Exogene aandacht werkt het sterkst wanneer een stimulus zich in de periferie bevindt. Daarnaast werkt exogene aandacht vaak sterker dan endogene aandacht. Exogene aandacht kan de weggebruiker helpen om te bepalen welke informatie wel en welke informatie niet belangrijk is.

Voor het ontwikkelen van een design voor tijdelijke verkeersmaatregelen kan het trekken van aandacht van weggebruikers dan ook zowel voordelig als nadelig werken. Wanneer informatie van essentieel belang is voor de weggebruiker, kan de aandacht van de weggebruiker worden getrokken door bijvoorbeeld het plaatsen van een knipperlicht [45], waardoor de kans op een succesvolle waarneming van deze informatie groter is. Dit betekent echter wel dat hierdoor andere stimuli in mindere mate, of helemaal niet, verwerkt worden. Het is om deze reden belangrijk om bij het gebruik van een aandachttrekkende stimulus er rekening mee te houden dat andere informatie pas na de aandachttrekkende stimulus gepresenteerd moet worden aan de weggebruiker.

2.4.1 Conclusie: Aandacht

Op basis van factoren die een rol spelen bij aandacht, heeft de weggebruiker baat bij deze aanbevelingen:

- Aandacht dient alleen getrokken te worden bij informatie die een hoge prioriteit heeft
- Het trekken van de aandacht zorgt ervoor dat overige informatie in mindere mate of niet wordt waargenomen
 - Neem de prioriteit van overige omgevingsinformatie in acht, en plaats overige informatie bij voorkeur ná een aandachttrekkende stimulus

3 Cognitie

Het tweede stadium in het drie-stadia model is cognitie. Cognitie is de benaming voor de set van processen die het mogelijk maken om informatie uit de omgeving te halen, deze informatie vast te houden in het geheugen, en het te gebruiken voor denken en het bereiken van doelen [46].

In deze sectie komt eerst *denken* aan bod, wat gerelateerd is aan mentale inspanning, de moeite die mentale processen kosten. Ook zullen het nemen van *beslissingen*, het *korte- en langetermijngeheugen*, en *aandacht* behandeld worden.

3.1 Denken

Denken vormt de activiteit in het hoofd om informatie te kunnen verwerken. Het speelt bijvoorbeeld een rol bij redeneren, het nemen van beslissingen, herinneren, en herkennen. Door middel van mentale inspanning kan met denken informatie verwerkt worden. Het is op te delen in twee vormen: automatisch denken, en bewust denken [47].

3.1.1 Automatisch denken

Automatisch denken is denken dat onbewust, onbedoeld, onvrijwillig, en moeiteloos is [47,48]. Het is snel en efficiënt: het wordt gestuurd door input uit de omgeving, en strookt met de gewoonten die aangeleerd zijn [49]. Bij automatisch denken wordt bij het waarnemen van de omgeving voornamelijk een beroep gedaan op bestaande kennis om de omgeving snel te kunnen begrijpen (zie § 3.2.2, *Langetermijngeheugen*).

Gedachteprocessen die uit te voeren zijn met automatisch denken hebben verschillende voordelen. Processen die weinig inspanning vergen kunnen vaak gecombineerd uitgevoerd worden. Het is bij deze processen immers niet nodig om actief te monitoren, en hierdoor kan er mentale inspanning aan meer belangrijke taken besteed worden.

Echter, wanneer eigen mentale processen gestuurd dienen te worden, of wanneer er voorkomen moet worden dat er slechts op de omgeving wordt gereageerd, is er een grotere vorm van controle nodig, en dus bewust denken [49].

3.1.2 Bewust denken

Bewust denken is denken dat bewust, bedoeld, en vrijwillig is, met een hoge mentale inspanning [47]. In tegenstelling tot automatisch denken is bewust denken minder efficiënt maar wel beter controleerbaar. Het is tevens beter op de hoogte van processen die actief zijn in het huidige moment [49]. Voorbeelden van processen waarbij bewust denken een rol speelt zijn rekenen, of het begrijpen van een ingewikkelde tekst.

Bij het uitoefenen van bewust denken speelt het werkgeheugen een rol. Het werkgeheugen is een geheugensysteem dat ervoor zorgt dat bepaalde zaken onthouden kunnen worden, tegelijkertijd met het uitvoeren van complexe taken [50]. Het is het werkgeheugen dat een mentale werkruimte biedt, en verbonden is met onder andere

aandacht en andere vormen van geheugen. Een voorbeeld van het gebruiken van het werkgeheugen is het lezen van een verkeersbord: de informatie wordt opgenomen, en wordt vastgehouden zodat het gebruikt kan worden om de rijrichting te bepalen.

Het kan per persoon verschillen wanneer bewust denken nodig is om een taak uit te voeren of wanneer een taak ook uitgevoerd kan worden met automatisch denken. Over het algemeen geldt: wanneer er een beroep gedaan kan worden op bestaande kennis en gewoonten, dat automatisch denken voldoet. Kan hier geen beroep op worden gedaan, dan zal vaak het bewuste denken nodig zijn om een taak te kunnen voltooien [49]. Automatische kan dus ontstaan als gevolg van een leereffect, waarbij de gegeven situatie constant blijft.

3.1.3 Mentale belasting

Mentale belasting betekent de hoeveelheid cognitieve moeite die nodig is om een taak uit te voeren [16]. Voor een kleine mate van mentale belasting voldoet automatisch denken, voor een verhoogde mentale belasting is het bewuste denken nodig (zie § 3.1.1 *Automatisch denken*, en § 3.1.2, *Bewust denken*).

In een situatie van tijdelijke verkeersmaatregelen kan een weggebruiker een hoge mentale belasting ervaren, en fluctuerende informatieverwerkingscapaciteiten [51]. Wanneer de mentale belasting die van een taak gevraagd wordt, hoger is dan de capaciteit van de weggebruiker, is het mogelijk dat weggebruikers informatie missen die relevant is voor hun veiligheid. Mentale belasting kan daarnaast ervoor zorgen dat er verminderde controle is over het voertuig, er sprake is van langere reactietijden, er een verminderde snelheid wordt aangehouden, en er verminderd gebruik wordt gemaakt van cues uit de omgeving om te bepalen wanneer er geremd moet worden (zoals omschreven in: [52,53,54,55]). Voornamelijk in het geval van tijdelijke verkeersmaatregelen is het van belang dat de weggebruiker informatie uit de omgeving gebruikt om diens manier van handelen te bepalen (zie § 4.1.4, *Conclusie: Actie*).

Vanuit deze gegevens is het wenselijk om mentale belasting voor de weggebruiker zo laag mogelijk te houden. Dit kan bereikt worden door weggebruikers zoveel mogelijk een beroep te laten doen op de kennis die zij al hebben, zodat er gebruikt wordt gemaakt van geleerde vaardigheden en automatisch denken. Om dit te bereiken, dient de vormgeving van de weg, en de verkeersregels zoals die zonder verkeersmaatregelen gelden, zoveel mogelijk behouden te worden zoals deze origineel waren: zo kunnen weggebruikers die bekend zijn met de weg een beroep doen op bestaande kennis.

Mocht in het geval van wegwerkzaamheden er echter een wijziging zijn in het verloop van de weg, of de geldende verkeersregels, dienen de regels die voor die specifieke situatie gelden duidelijk aangeduid te worden zodat weggebruikers niet zelf hoeven te redeneren over welke handeling gewenst is. Redeneren en beslissen zijn belastend voor de mentale capaciteit. Zie § 3.3.1, *Beslissingshulp*, voor meer informatie over het presenteren van regels.

3.1.4 Conclusie: Denken

Op basis van factoren die een rol spelen bij denken, heeft de weggebruiker baat bij deze aanbevelingen:

- Bij voorkeur worden tijdelijke verkeersmaatregelen zo vormgegeven dat de verkeerssituatie zoveel mogelijk lijkt op de bestaande situatie zoals deze altijd geldt
 - Hierdoor kunnen weggebruikers een beroep doen op automatisch denken dat weinig mentale belasting vergt
- Wanneer tijdelijke verkeersmaatregelen daadwerkelijk een afwijking in het verloop van de weg opleveren, of wanneer er andere verkeersregels gelden, dient dit duidelijk te worden gecommuniceerd
 - Zo is de kans groter dat de weggebruiker niet zijn automatisch denken gebruikt, maar zijn bewust denken, zodat hij zich bewust is dat de verkeerssituatie veranderd is en hij geen beroep kan doen op bestaande kennis over de verkeerssituatie
- Mentale belasting dient altijd zo laag mogelijk gehouden te worden door weggebruikers zo min mogelijk informatieverwerking te vergen van de weggebruiker

3.2 Geheugen

Het geheugen is een plek waarin informatie vastgehouden kan worden, voor zowel de korte als de lange termijn [50].

3.2.1 Kortetermijngeheugen

Het kortetermijngeheugen is de benaming voor het vasthouden van kleine hoeveelheden informatie voor een aantal seconden [50].

Hoewel de functie van het kortetermijngeheugen voornamelijk het vasthouden van informatie is, dient het ook informatie naar het langetermijngeheugen te zenden. Dit gebeurt door informatie in de gedachte te herhalen, zodat er een herinnering van gevormd wordt. Deze herinnering wordt vervolgens in het langetermijngeheugen geplaatst [56].

Er zijn verschillende vormen van kortetermijngeheugen, bijvoorbeeld visueel om tijdelijk visuele informatie op te slaan, en spatueel om tijdelijk locaties in het visuele veld op te slaan. Het kortetermijngeheugen is echter wel beperkt in ruimte en tijd, waarbij precieze grenzen lastig te noemen zijn.

3.2.2 Langetermijngeheugen

Het langetermijngeheugen is een systeem, of meerdere systemen, die verantwoordelijk zijn voor de capaciteit om informatie op te slaan voor een langere tijd [57].

Een manier om de structuur van opgeslagen informatie te beschrijven is het gebruik van *schemata*. Een schema (Engelse uitspraak) is een georganiseerd geheugenelement met kennis over de wereld, en bestaat uit kennis over gebeurtenissen, en kennis over de structuur

en het wezen van feitelijke elementen in de omgeving. Schemata beïnvloeden zowel de informatie die iemand kan gebruiken, als de informatie die iemand zal opslaan: nieuwe ervaringen worden hierbij gerelateerd aan bestaande schemata. Hierdoor kan nieuwe informatie sneller worden opgenomen, en kan er eerder bepaald worden welke informatie wel, en welke informatie niet belangrijk is [8].

Om opgeslagen informatie weer in gedachten te brengen, is een cue nodig. Een cue is een vorm van informatie die kan helpen om een herinnering op te halen. Dit gebeurt door een associatie die bestaat tussen de betreffende cue en een bepaalde herinnering. Een voorbeeld van zo een cue is een verkeersbord dat een automobilist waarschuwt dat hij een school nadert. Deze waarschuwing dient als een cue voor het besef dat er langzaam gereden moet worden omdat kinderen onvoorspelbaar gedrag kunnen vertonen en kwetsbare verkeersdeelnemers zijn.

Wanneer er iets herinnerd wordt, komt dit in het werkgeheugen terecht. Het werkgeheugen is een systeem om informatie in gedachten te houden tijdens het uitvoeren van moeilijke taken [50]. Daar kan het actief op dat moment bewerkt en gebruikt worden in het huidige moment.

3.2.3 Conclusie: Geheugen

Op basis van factoren die een rol spelen bij geheugen, heeft de weggebruiker baat bij deze aanbevelingen:

- Het kortetermijngeheugen is beperkt en dient minimaal belast te worden door zo min mogelijk informatie te presenteren
- Weggebruikers hebben een schema over tijdelijke verkeersmaatregelen: door cues te gebruiken om dit schema te activeren (bijvoorbeeld: "Pas op – tijdelijke verkeersmaatregelen") zal de weggebruiker kennis over tijdelijke verkeersmaatregelen in zijn werkgeheugen opnemen

3.3 Het nemen van beslissingen

Het nemen van beslissingen verwijst naar het proces waarin een keuze gemaakt dient te worden. Het maken van een keuze kan betrekking hebben op verschillende situaties. Afhankelijk van de situatie, heeft men hiervoor twee systemen: Systeem 1 en Systeem 2 [58].

Systeem 1 is het type denken dat snel en gemakkelijk is. Het vergt weinig mentale inspanning en wordt bijvoorbeeld gebruikt om onder tijdsdruk een snelle beslissing te maken [42]. Dit systeem vertoont overeenkomsten met automatisch denken (§ 3.1.1).

Systeem 2 is een systeem dat meer mentale inspanning vergt. Dit laatste systeem wordt dan ook gebruikt wanneer er een beslissing gemaakt dient te worden die belangrijk is. Dit systeem vertoont overeenkomsten met bewust denken (§ 3.1.2).

De kwaliteit van het nemen van beslissingen wordt mede bepaald door beperkingen op het gebied van het integreren van meerdere bronnen van informatie, om informatie in het

werkgeheugen vast te houden, en om informatie uit het langetermijngeheugen op te halen [59]. Om toch beslissingen te kunnen maken, gebruiken mensen vaak heuristieken: mentale *shortcuts* (afsnijwegen'), om beslissingen snel en efficiënt te kunnen maken [47]. Ze dienen als een mogelijkheid om mentale belasting weg te nemen door het gebruiken van assumpties die gebaseerd zijn op eerder opgedane kennis [59]. Heuristieken zorgen vaak voor een nauwkeurig besluit, vooral wanneer de beslisser bekend is in het domein waarbinnen beslist moet worden. Echter kunnen soms ook de verkeerde beslissingen gemaakt worden, omdat heuristieken gebaseerd zijn op assumpties die niet altijd gelden. Daarnaast kunnen heuristieken zorgen voor *satisficing*: een beslissing wordt in dit geval gemaakt op basis van de informatie die voor de beslisser het belangrijkste is. [59]. Ook blijkt het voor beslissers lastig om met meerdere belangrijke elementen rekening te houden bij het maken van een beslissing. Zo wordt vaak een voor de gebruiker belangrijk element gebruikt om de beslissing op te baseren [59]. Uit onderzoek blijkt dat het maken van een beslissing terwijl er stress is er met nog meer nadruk voor zorgt dat de aandacht naar slechts één element uitgaat: stress kan ervoor zorgen dat aandacht nauwer, en slechter controleerbaar is [59]. Om dit te voorkomen zou het weghalen van zo veel mogelijk stressoren, zoals verkeersdruk en tijdsdruk, bevorderlijk zijn (zie § 3.4.1, *Stress en aandacht*).

Naast dat informatieverwerkingsaspecten een rol spelen bij het maken van kwalitatief goede keuzes, speelt ook *situation awareness* hierbij een rol [61]. Situation awareness is de huidige staat van kennis van een persoon over zijn huidige omgeving. Het omvat de perceptie van relevante elementen in de omgeving, het begrip van de betekenis van deze elementen, in combinatie met doelen van de weggebruiker. Ook omvat situation awareness een bepaalde verwachting over de toekomstige staat van een systeem. Bij het bereiken van situation awareness is het van belang dat de omgeving belangrijke informatie laat opvallen, de omgeving niet te complex is, iemand bewust en dus juist niet-automatisch nadenkt, een gemiddelde mate van stress ervaart, en zijn mentale belasting beperkt is [61]. Situation awareness is een voorspellende factor bij het ontstaan van verkeersongelukken [62]. Om deze reden zijn bovenstaand genoemde voorwaarden van belang bij het ontwerpen van een design voor tijdelijke verkeersmaatregelen. Veel van de genoemde punten komen terug in dit verslag en in § 5.1, *Aandachtspunten*.

Uit onderzoek is gebleken dat de kwaliteit van beslissingen gerelateerd is aan de kans op een auto-ongeluk [60].

3.3.1 Beslissinghulp

De prestatie van beslissingen kan worden verbeterd, vanuit het systeem perspectief dat systeemdoelen gehaald dienen te worden, door gebruik te maken van *beslissingshulpen*: beslissingnemers die ervoor zorgen dat er in mindere mate een beroep hoeft te worden gedaan op informatieverwerkingsprocessen van de beslisser. Beslissingshulpen kunnen allerlei vormen aannemen; voor tijdelijke verkeersmaatregelen wordt er hier beperkt tot verkeersborden.

Voornamelijk in het verkeer is een beslissingshulp bedoeld om de beslisser te forceren om te conformeren aan de regels die het bord voorstelt, of om hem te waarschuwen voor afwijkende omstandigheden die zijn beslissingen kunnen beïnvloeden. Het ontwerp van een beslissingshulp is belangrijk om deze informatie effectief door te kunnen spelen aan de weggebruiker.

Aan welke kenmerken een bord dient te voldoen om zichtbaar te zijn, is in sectie 2, *Perceptie*, besproken. Echter zijn er ook factoren die bepalen of de daadwerkelijke informatie-inhoud van het bord begrijpelijk is voor de weggebruiker.

Zo kunnen regels via verkeersborden gepresenteerd worden in tekst- of in icoonvorm. Uit onderzoek blijkt dat informatie op verkeersborden in icoonvorm van een grotere afstand waarneembaar is [63,64]. Dit geeft weggebruikers twee keer zoveel tijd om op verkeersborden met iconen te reageren, dan op verkeersborden met tekst [65]. Er is gevonden dat verkeersborden met informatie in icoonvorm sneller worden begrepen dan in tekstvorm [66], maar dat het toevoegen van tekst aan een verkeersbord juist zowel de begrijpbaarheid als de begripsnelheid kan verbeteren [67].

Uit onderzoek blijkt tevens dat weggebruiker beïnvloed wordt door de informatiehoeveelheid op het verkeersbord en hierdoor andere reacties laat zien [68]. Een hogere informatie-inhoud zorgt voor een langere zoektijd voor automobilisten.

3.3.2 Conclusie: Beslissen

Op basis van factoren die een rol spelen bij beslissen, heeft de weggebruiker baat bij deze aanbevelingen:

- Wanneer de weggebruiker zo min mogelijk mentaal en visueel belast wordt met complexe informatie, kan er vanuit cues vanuit de tijdelijke verkeersmaatregelen situation assessment ontstaan. Dit helpt de beslisser te bepalen in welke situatie hij zich bevindt en wat er van hem verwacht wordt
- Verkeersborden en wegmarkeringen vormen beslissingshulpen die informatieverwerking van de weggebruiker vergemakkelijken
 - De geldende verkeersregels dienen duidelijk te zijn
 - Tekst op borden dient kort en duidelijk te zijn

3.4 Aandacht en cognitie

Aandacht verwijst naar het toekennen van mentaal vermogen aan een bepaalde taak [58]. Over het algemeen geldt dat op een taak de hoogste prestatie geleverd kan worden als alle aandacht naar deze taak uitgaat.

In de praktijk, en zeker in het verkeer, geldt echter dat er vaak een combinatie van taken uitgevoerd dient te worden. Een voorbeeld hiervan is het bepalen van de route aan de hand van verkeersborden tijdens het autorijden, terwijl er naar file-informatie op de radio

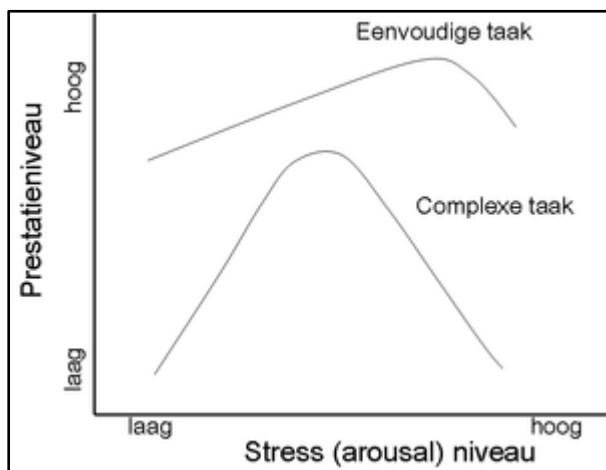
geluisterd wordt. Omdat aandacht verdeeld wordt, betekent dit dat de prestatie op twee taken tegelijk nooit zo goed zal zijn dan wanneer de taak alleen uitgevoerd zou worden.

In het verdelen van mentaal vermogen kan het aandachtsmechanisme prioriteit toekennen. Stel dat tijdens het autorijden er een stressvolle situatie zich voor doet. Het bepalen van de route belangrijker is in dat geval belangrijker dan het luisteren naar de radio. Aandacht kan in dit geval meer mentaal vermogen toewijzen aan het bepalen van de route dan naar het luisteren naar de radio. Op die manier kan de prestatie op het bepalen van de route verhoogd worden [58].

3.4.1 Stress en aandacht

Het verdelen en sturen van aandacht is in een stressvolle situatie lastiger dan in een niet-stressvolle situatie. Stress zorgt ervoor dat zowel het aandachtsvermogen als de mogelijkheid om aandacht te sturen negatief beïnvloed wordt [69].

Een wet die hieruit voortgevloeid is, is de *Yerkes-Dodson wet*. Deze wet stelt het verband tussen een mate van stress en een mate van prestatie voor zowel een eenvoudige als een complexe taak [70]. De wet is geïllustreerd in **Figuur 3.1**.



Figuur 3.1. De Yerkes-Dodson wet [70].

Voor een complexe taak geldt een omgekeerde U-vorm: prestatie is het hoogst bij een gemiddeld stressniveau. Voor een eenvoudige taak geldt dat prestatie het hoogst is bij een relatief hoog stressniveau.

Bij een laag stressniveau wordt gesteld dat iemand zich niet goed kan voorbereiden op een taak en niet de mogelijkheid heeft om zijn aandacht goed te sturen tussen afwisselende behoeften aan aandacht tussen taken. Bij een hoge mate van stress is het controleren van de aandacht lastig.

Uit onderzoek onder automobilisten blijkt dat een hogere mate van verkeersdruk en tijdsdruk bijdragen aan stress [71,72]. Sommige automobilisten hanteren een te hoge snelheid bij verkeersmaatregelen, waardoor er tevens een tijdsdruk kan ontstaan om te reageren op stimuli in de omgeving [1,22, 73,74,75]. Een mogelijke oplossing hiervoor kan het

versmallen van de weg zijn. Om over de versmalde weg te rijden zonder de zijkant te raken, is daardoor een verlaagde snelheid nodig [76].

3.4.2 Conclusie: Aandacht

Op basis van factoren die een rol spelen bij aandacht, heeft de weggebruiker baat bij deze aanbevelingen:

- Aantal stressoren, zoals tijdsdruk en verkeersdruk, dient geminimaliseerd te worden
 - Tijdstress kan worden weggenomen door de weg smaller te maken. Hierdoor gaan weggebruikers mogelijk minder hard rijden

4. Actie

Nadat informatie is waargenomen in het perceptiestadium, en verwerkt is in het cognitiestadium, volgt het actiestadium. Een actie is een handeling die uitgevoerd kan worden, of gedrag dat vertoond wordt.

Volgens het drie-stadia model is het actiestadium op te delen in *responsselectie* (het kiezen van een reactie), *responsvoorbereiding*, (het voorbereiden van een reactie), en *responsactivatie* (het activeren van de reactie).

4.1 Autorijden

Autorijden is een complexe taak, waarbij meerdere cognitieve processen betrokken zijn, zoals selectieve en verdeelde aandacht, het begrijpen van de omgeving, en het nemen van beslissingen [77]. De weggebruiker dient continue zijn steeds veranderende omgeving te monitoren, en zijn voertuig binnen de lijnen te houden, terwijl de maximumsnelheid niet overschreden wordt [78].

Mede omdat autorijden een complexe taak is, kan er ook veel fout gaan bij deze taak. Verschillende onderzoeken noemen verschillende cijfers over de oorzaak van menselijk falen bij het autorijden bij ongelukken, oplopend tot 92% [79].

Specifieke oorzaken over het ontstaan van deze ongelukken, zijn niet altijd duidelijk. Dit komt omdat er verschillende modellen worden gebruikt met een verschillende classificatie van fouten. Voor het begrijpen van het ontstaan van menselijke fouten, zal er hier worden gekozen voor een informatieverwerkingsperspectief.

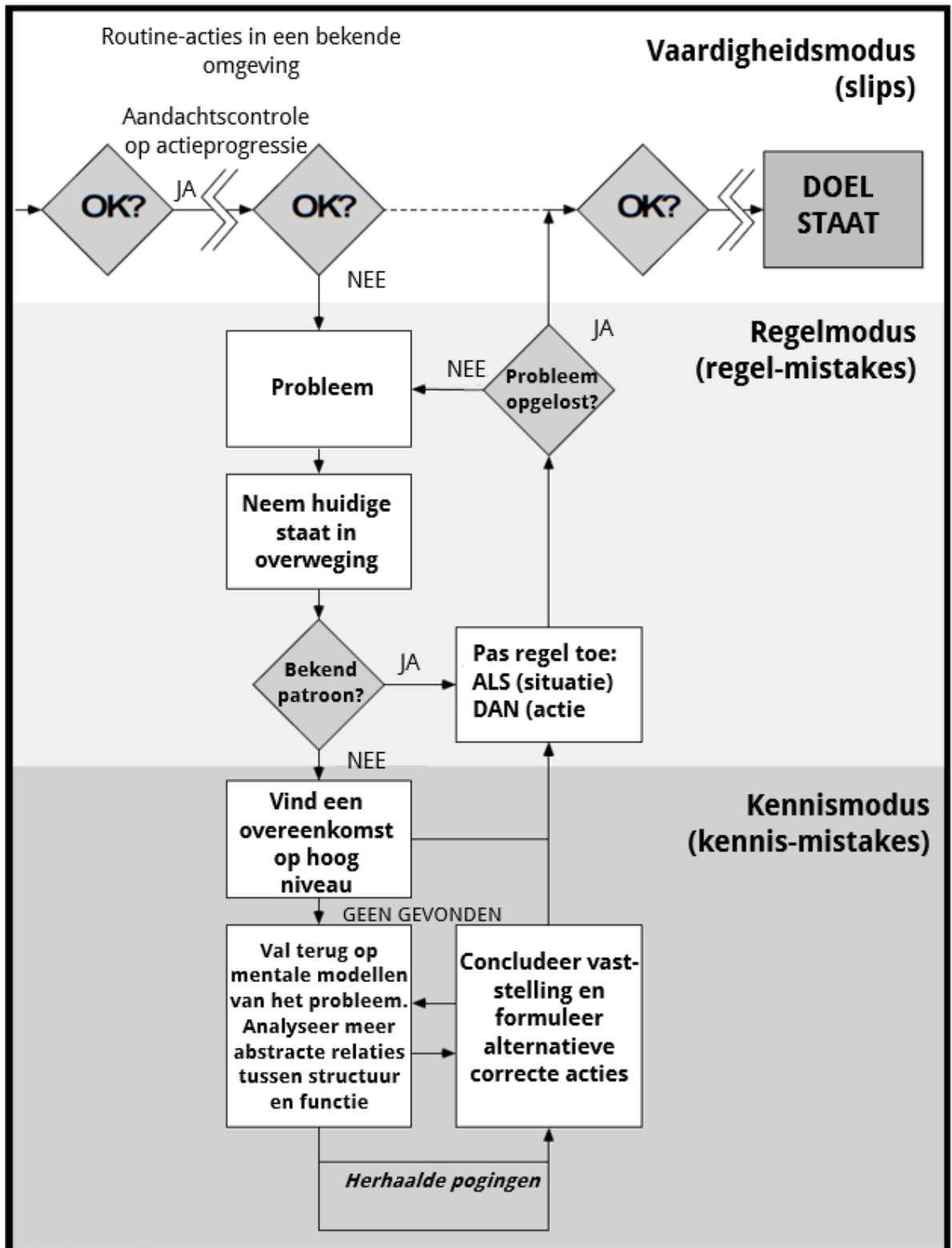
Het gekozen model is weergegeven in **Figuur 4.1** en zal in de omliggende secties per element toegelicht worden.

4.1.1 Gedragsmodi

Gedrag kan worden opgedeeld in drie verschillende modi [80]. **Figuur 4.1** is ingedeeld in drie vlakken op basis van deze modi.

De *vaardigheidsmodus* (witte vlak, bovenaan) van gedrag is gedrag dat een beroep doet op een goed geleerde vaardigheid. Een voorbeeld van autorijden in de vaardigheidsmodus is het rijden van thuis naar werk. Het is een handeling die vaak uitgevoerd wordt in een bekende omgeving; hierdoor ontstaat er een goed geleerde vaardigheid die hierbij gebruikt kan worden.

De *regelmodus* (lichtgrijze vlak, middenin) van gedrag is gedrag dat gebaseerd is op geleerde regels. In dit geval kan er geen beroep worden gedaan op een geleerde vaardigheid maar dient het toepassen van een regel als een handvat voor welke handelingen uitgevoerd worden. Iemand zal van de vaardigheidsmodus naar de regelmodus overschakelen wanneer er zich een probleem voordoet dat niet in de vaardigheidsmodus kan worden opgelost.



Figuur 4.1. Een schematische weergave van het Generic Error Modelling System (GEMS, Reason 1987, [81]). Het figuur bestaat uit drie modi: vaardigheid, regel, en kennis. De stappen met pijlen bepalen of er van modus gewisseld dient te worden, uiteindelijk leidend naar een bedoelde staat van de gebruiker. Vertaalde versie, originele weergave van [82] www.humanreliability.com.

De *kennismodus* (donkergrijze vlak, onderaan) is een modus waarbij iemand actief in het moment redeneert. Dit gebeurt wanneer er niet geredeneerd kan worden op basis van geleerde regels omdat deze niet toepasbaar zijn in de gegeven situatie. Iemand zal beslissingen nemen op basis van informatie uit de omgeving en zijn probleemoplossend vermogen.

Uit deze verschillende modi blijkt dat er een verschil is in de mate van cognitieve betrokkenheid bij het uitvoeren van een taak [83]. Waarbij de vaardigheidsmodus in zeer beperkte mate een beroep wordt gedaan op het mentale vermogen (zie § 3.1.1, *Automatisch denken*), en bij de regelmodus een gemiddelde maat (het ophalen van regels uit het geheugen), wordt er in de kennismodus de meeste mate een beroep gedaan op het mentale vermogen (§ 3.1.2, *Bewust denken*).

4.1.2 Menselijke fouten en de modi van gedrag

Menselijke fouten zijn vormen van actie die niet bedoeld zijn vanuit de gebruiker, niet overeenkomen met het gewenste gedrag vanuit het systeemontwerp, of datgene dat een systeem buiten zijn limieten stelt. Een menselijke fout hangt daarom altijd af van de bedoeling van een ontwerp, en van het vertoonde gedrag van de gebruiker [2]. Menselijke fouten kunnen optreden in de drie modi van gedrag [81].

In de vaardigheidsmodus kunnen *slips* optreden. Slips zijn fouten die ontstaan wanneer er een goede bedoeling was om het gedrag uit te voeren, maar het gedrag komt niet overeen met wat het plan was [83]. Een voorbeeld van een slip is wanneer een automobilist wil stoppen voor een stopbord, hij de rem in wilde trappen maar per ongeluk het gaspedaal indrukt. Het inschatten van de situatie gaat goed, het uitvoeren van de actie gaat echter fout [84].

In de zowel de regelmodus als de kennismodus kunnen *mistakes* optreden [80]. Mistakes zijn fouten waarbij de intentie van het gedrag en het vertoonde gedrag niet goed zijn [83]. In de regelmodus wordt er in het geval van een mistake een verkeerde regel toegepast om het gedrag te sturen die niet past bij de gegeven situatie [83]. In de kennismodus kan een mistake optreden wanneer iemand geforceerd wordt om een beroep te doen op actieve redenering op basis van de informatie die op dat moment beschikbaar is. Omdat diegene in niet een beroep kan doen op alle beschikbare informatie die nodig is om een juiste intentie te vormen, is de informatie incompleet. Dit kan zorgen voor een verkeerde intentie voor het uitvoeren van een bepaalde actie [84]. In het geval van mistakes gaat het inschatten van de situatie en het plannen niet goed, het uitvoeren van de (verkeerde) actie gaat wel goed.

4.1.3 Fouten in het wisselen van modi

Naast de fouten die in § 4.1.2 benoemd zijn, kan er tevens sprake zijn van een fout tijdens het schakelen tussen de verschillende modi. In **Figuur 4.1** is aan de hand van pijlen aangegeven welke stappen doorlopen worden voordat er naar een andere modus wordt geschakeld. Uit dit proces zijn twee mogelijke fouten af te leiden [85].

- *Monitoorfouten* zijn fouten waarin een (weg)gebruiker niet goed zijn omgeving gemonitord heeft. Dit is noodzakelijk om eventuele problemen vast te stellen. Wanneer een probleem niet vastgesteld wordt, zal er ook niet naar de regelmodus overgeschakeld worden. Hierdoor zal iemand op basis van zijn gewenning blijven functioneren, terwijl een afwijkende situatie juist vraagt om zonder deze automatische modus te handelen. Geschat wordt dat het niet-registreren van gevaren op de weg de oorzaak is van 25 tot 50% van de verkeersongevallen [45].
- *Probleemoplosfouten* zijn fouten waarin gepoogd wordt om problemen op te lossen door middel van niet-toepasbare regels. Deze fout komt voor uit de assumptie dat mensen eerst proberen een probleem op te lossen vanuit de bestaande regels die zij al kennen, voordat zij wisselen naar de kennismodus die meer mentale moeite kost. Dit gebeurt zelfs als het toepassen van regels niet tot een oplossing leidt.

Het wisselen van niveaus is in het model een essentieel mechanisme. Wanneer monitoren resulteert in het detecteren van een probleem, zal de controle van het vaardigheidsniveau wisselen naar het regelniveau. Dit is tevens een wisseling in voornamelijk automatisch naar voornamelijk bewust verwerken. Wanneer een gepaste regel gevonden wordt, zal het geactiveerd worden; hoewel de controle nog steeds in de regelmodus blijft totdat besloten is dat de nieuwe regel het probleem oplost. Wanneer dit zo is, zal de controle terugschakelen naar de vaardigheidsmodus. Wanneer er geen gepaste regels worden gevonden, zal de controle naar de kennismodus gaan. Dit gebeurt wanneer de probleemoplosser doorheeft dat er geen gepaste regel toepasbaar is [82].

4.1.4 Conclusie: Actie

Het omschreven gedragsmodel en de karakteristieken van iedere gedragsmodus zijn toepasbaar op tijdelijke verkeersmaatregelen. Afhankelijk van de omvang van de tijdelijke verkeersmaatregelen zelf, vormen tijdelijke verkeersmaatregelen een afwijkende situatie. In dit opzicht zou een weggebruiker per definitie over dienen te schakelen van de vaardigheidsmodus naar de regelmodus. Dit doet een weggebruiker echter alleen wanneer dat hij een probleem vaststelt (zie **Figuur 4.1**).

Om duidelijk te maken dat de weggebruiker een gewijzigde verkeerssituatie nadert, kan er op die manier al vroegtijdig gecommuniceerd worden dat er sprake is van een 'probleem' op het wegdek. Op die manier zou dit de weggebruiker, bewust of onbewust, kunnen beïnvloeden om de vaardigheidsmodus los te laten en te opereren op de regelmodus.

Door vervolgens de regels toe te passen die door de bebording, en markeringen worden weergegeven, zou, in theorie, het systeemdoel vanuit het ontwerp van tijdelijke verkeersmaatregelen gehaald kunnen worden met een kleine kans op menselijke fouten. Hiermee wordt tevens voorkomen dat een weggebruiker zelf op basis van zijn beschikbare informatie in de kennismodus gaat redeneren. Omdat zijn informatie incompleet is, en hij

beperkt wordt door zijn capaciteiten (zoals omschreven in de sectie *Cognitie*) is dit onwenselijk. De afwijking van de standaard verkeerssituatie moet zo duidelijk mogelijk aangegeven worden [86].

De voorwaarde die hierbij geldt is dat de regels die naar de weggebruiker gecommuniceerd worden waarneembaar en begrijpelijk zijn. In de secties *Perceptie* en *Cognitie* zijn deze voorwaarden behandeld.

5. Aandachtspunten van psychologische processen bij tijdelijke verkeersmaatregelen

5.1 Aandachtspunten

In **Figuur 5.1** zijn alle aandachtspunten uit dit verslag samengevat.

Perceptie	Sensorische informatie	<ul style="list-style-type: none"> Goed zichtbare objecten zijn groot, hebben een hoge luminantie, en hebben een goed contrast <ul style="list-style-type: none"> De grootte van een stimulus op het netvlies kan berekend worden aan de hand van de visuele hoek (<i>Bijlage 1</i>) Luminantie van licht bij wegwerkzaamheden dient 1 fL (= 3.426 lux) te zijn en het volledige kleurenspectrum te representeren Contrast is vastgesteld op het verkeersbord zelf. Invloeden als mist kunnen het contrast verminderen, invloeden als helder licht kunnen contrast verbeteren Opvallende objecten dienen af te wijken op een of meer dimensies van hun omgeving om opvallend te zijn Werklicht van wegwerkers dient naar beneden te zijn gericht om een glare-effect voor de weggebruikers te voorkomen
	Visuele perceptie	<ul style="list-style-type: none"> Elementen in de omgeving dienen gegroepeerd te worden met behulp van Gestalt-regels. Hierdoor kunnen relaties binnen en tussen objecten worden gevonden Objecten moeten zo geplaatst zijn dat vormaspecten en de kleur van objecten waarneembaar zijn zodat objectherkenning plaats kan vinden <ul style="list-style-type: none"> Voor objectherkenning geldt een voorkeur vanuit de weggebruiker vanuit het meest "typische oogpunt" (voor verkeersborden: van voren) Belichting dient vorm te kunnen laten zien, en dient de kleur te representeren
	Aandacht	<ul style="list-style-type: none"> Gebruik een opvallende stimulus om aandacht te trekken als dit nodig is Presenteer andere informatie dan de aandachttrekkende stimulus zelf pas na de aandachttrekkende stimulus
Cognitie	Denken	<ul style="list-style-type: none"> Bij voorkeur worden tijdelijke verkeersmaatregelen zo vormgegeven dat de verkeerssituatie zoveel mogelijk lijkt op de bestaande situatie zoals deze altijd geldt <ul style="list-style-type: none"> Hierdoor kunnen weggebruikers een beroep doen op automatisch denken dat weinig mentale belasting vergt Wanneer tijdelijke verkeersmaatregelen daadwerkelijk een afwijking in het verloop van de weg opleveren, of wanneer er andere verkeersregels gelden, dient dit duidelijk te worden gecommuniceerd <ul style="list-style-type: none"> Zo is de kans groter dat de weggebruiker niet zijn automatisch denken gebruikt, maar zijn bewust denken, zodat hij zich bewust is dat de verkeerssituatie veranderd is en hij geen beroep kan doen op bestaande kennis over de verkeerssituatie Mentale belasting dient altijd zo laag mogelijk gehouden te worden door weggebruikers zo min mogelijk informatieverwerking te vergen van de weggebruiker
	Geheugen (korte/ lange termijn)	<ul style="list-style-type: none"> Het kortetermijngeheugen is beperkt, deze dient minimaal belast te worden door zo min mogelijk informatie te presenteren Weggebruikers hebben een schema over tijdelijke verkeersmaatregelen: door cues te gebruiken om dit schema te activeren (bijvoorbeeld: "Pas op – tijdelijke verkeersmaatregelen") zal de weggebruiker kennis over tijdelijke verkeersmaatregelen in zijn werkgeheugen opnemen
	Het nemen van beslissingen	<ul style="list-style-type: none"> Wanneer de weggebruiker zo min mogelijk mentaal en visueel belast wordt met complexe informatie, kan er vanuit cues vanuit de tijdelijke verkeersmaatregelen situation assessment ontstaan. Dit helpt de beslisser te bepalen in welke situatie hij zich bevindt en wat er van hem verwacht wordt Verkeersborden en wegmarkeringen vormen beslishulpen die informatieverwerking van de weggebruiker vergemakkelijken <ul style="list-style-type: none"> De geldende verkeersregels dienen duidelijk te zijn Tekst op borden dient kort en duidelijk te zijn

	Aandacht	<ul style="list-style-type: none"> • Aantal stressoren, zoals tijdsdruk en verkeersdruk, dient geminimaliseerd te worden <ul style="list-style-type: none"> ◦ Tijdstress kan worden weggenomen door de weg smaller te maken. Hierdoor gaan weggebruikers vermoedelijk minder hard rijden
Actie	Responsvoorbereiding, -activatie, en -selectie	<ul style="list-style-type: none"> • Er dient duidelijk gecommuniceerd te worden, zowel direct door een boodschap aan de weggebruiker, als indirect door de aanwezigheid van typische karakteristieken van tijdelijke verkeersmaatregelen, dat er sprake is van tijdelijke verkeersmaatregelen <ul style="list-style-type: none"> ◦ Hierdoor is de kans het grootst dat de weggebruiker niet zijn vaardigheidsmodus maar zijn regelmodus gebruikt om problemen op te lossen • Regels dienen duidelijk te zijn gepresenteerd om te voorkomen dat de weggebruiker overschakelt naar de kennismodus. Dit is niet gewenst omdat de weggebruiker beperkt is in zijn mogelijkheden om de 'juiste' keuze te maken

Figuur 5.1. Een overzicht van alle aandachtspunten uit het verslag. Links zijn de drie stadia, perceptie (blauw), cognitie (groen), en actie (rood) ingedeeld. Vervolgens zijn de stadia ingedeeld op basis van sub-paragrafen, waarna de adviespunten per paragraaf genoemd zijn.

5.2 Conclusies uit dit verslag

Weggebruikers presteren het meest voorspelbaar en maken het minste fouten wanneer zij zich bevinden in de vaardigheidsmodus (een goed geleerde modus die gebruikt kan worden bij bekende omgevingen) en in de regelmodus (waarin regels worden toegepast om te handelen bij geconstateerde problemen op de weg). Het gebruiken van de kennismodus door de weggebruiker, door actief te redeneren over de manier van handelen op basis van de informatie die in het moment beschikbaar is, is onwenselijk, omdat weggebruikers hierin beperkt worden door de informatieverwerkingscapaciteiten die zij hebben. Mensen maken voornamelijk beslissingen op basis van assumpties die niet altijd gelden. Vanuit dit perspectief is het wenselijk om een weggebruiker altijd gebruik te laten maken van ofwel de vaardigheidsmodus ofwel de regelmodus.

De vaardigheidsmodus wordt gebruikt op het bekende wegdek zoals dat normaliter zonder tijdelijke verkeersmaatregelen ontworpen is. Op basis van deze kennis heeft het vanuit de gedragsmodus en de voorspelbaarheid van het gedrag van de weggebruiker de voorkeur om het bekende wegdek zoveel mogelijk in zijn originele staat te laten.

Wanneer er echter door de werkzaamheden sprake is van een aanpassing van het verloop van de weg, of er wijzigingen zijn in de geldende verkeersregels, dan dienen deze aanpassingen zo duidelijk mogelijk aangegeven te worden. Dit heeft als voordeel dat a) de weggebruiker hierdoor mogelijk situation awareness bereikt, wat nodig is om te beseffen in welke situatie de weggebruiker zich bevindt, en wat de voorspelbaarheid is van zijn situatie, b) de weggebruiker door situation awareness overschakelt naar de regelmodus van gedrag en hij geleerde regels en gepresenteerde regels in de omgeving volgt, c) de regels van de tijdelijke verkeerssituatie gevolgd worden zodat er een grotere kans is dat het systeemdoel wordt bereikt.

Bij het presenteren van zichtbare duidelijke stimuli zijn factoren als locatie in het visuele veld, contrast, grootte, luminantie, opvallendheid, en informatie-inhoud van belang. Doordat situation awareness leidt tot een bewustzijn van de situatie, zullen cues in de

omgeving opgeslagen informatie over tijdelijke verkeersmaatregelen activeren. Deze geactiveerde opgeslagen kennis kan vervolgens een positieve invloed hebben op de waarneming van informatie uit de omgeving, omdat bijvoorbeeld aandacht hierdoor gestuurd kan worden naar aanleiding van de verwachtingen van de weggebruiker. Informatie-inhoud op borden kan, afhankelijk van het doel, een icoon bevatten voor een verdere herkenningsafstand, of een icoon in combinatie met tekst bevatten voor een mogelijk betere begrijpbaarheid. In alle gevallen dient de hoeveelheid informatie en de hoeveelheid gepresenteerde stimuli tot een minimum te worden gebracht om mentale en visuele belasting te minimaliseren, welke een negatief gevolg kunnen hebben op de perceptie en verwerking van informatie uit de omgeving.

5.3 Interpretatie van resultaten

Deze aandachtspunten zijn gebaseerd op literatuuronderzoek uit psychologische boeken en wetenschappelijke artikelen. De gebruikte bronnen zijn zoveel mogelijk gecontroleerd op wetenschappelijke kwaliteit en relevantie. Echter zijn veel van de genoemde onderzoeken gedaan in andere landen dan in Nederland, met als gevolg dat in andere landen andere wegwerkzaamhedendesigns gebruikt worden en resultaten niet altijd direct in overeenstemming zullen zijn met Nederlandse tijdelijke verkeerssituaties. Daarnaast is veel onderzoek naar rijgedrag gedaan in een rij simulator. Zelfs al zijn er onderzoeken in simulatoren die dicht bij daadwerkelijk rijgedrag komen, dient hier rekening mee gehouden te worden bij het interpreteren van de gevonden resultaten.

Daarnaast dienen deze aandachtspunten slechts gebruikt te worden in een oriënterende fase van een systeemontwerp, waarbij deze aandachtspunten alleen dienen als punten om in overweging te nemen. Adviezen die in dit verslag worden gegeven, dienen altijd in context geplaatst te worden van de gegeven verkeerssituatie. Direct kennis uit dit paper toepassen in een design dat op de weg wordt toegepast is dan ook afgeraden, tenzij een ontwikkeld design getest en/of geëvalueerd is door een of meerdere professionals in een valide experiment.

6. Bijlagen

Bijlage 1: Het berekenen van de visuele hoek

Voorbeeld

Iemand kijkt naar een verkeersbord met letters daarop van een bepaalde afstand. De letters hebben een hoogte van 30 cm en iemand bekijkt de letters op een afstand van 900 meter. De visuele hoek kan in dit geval als volgt berekend worden:

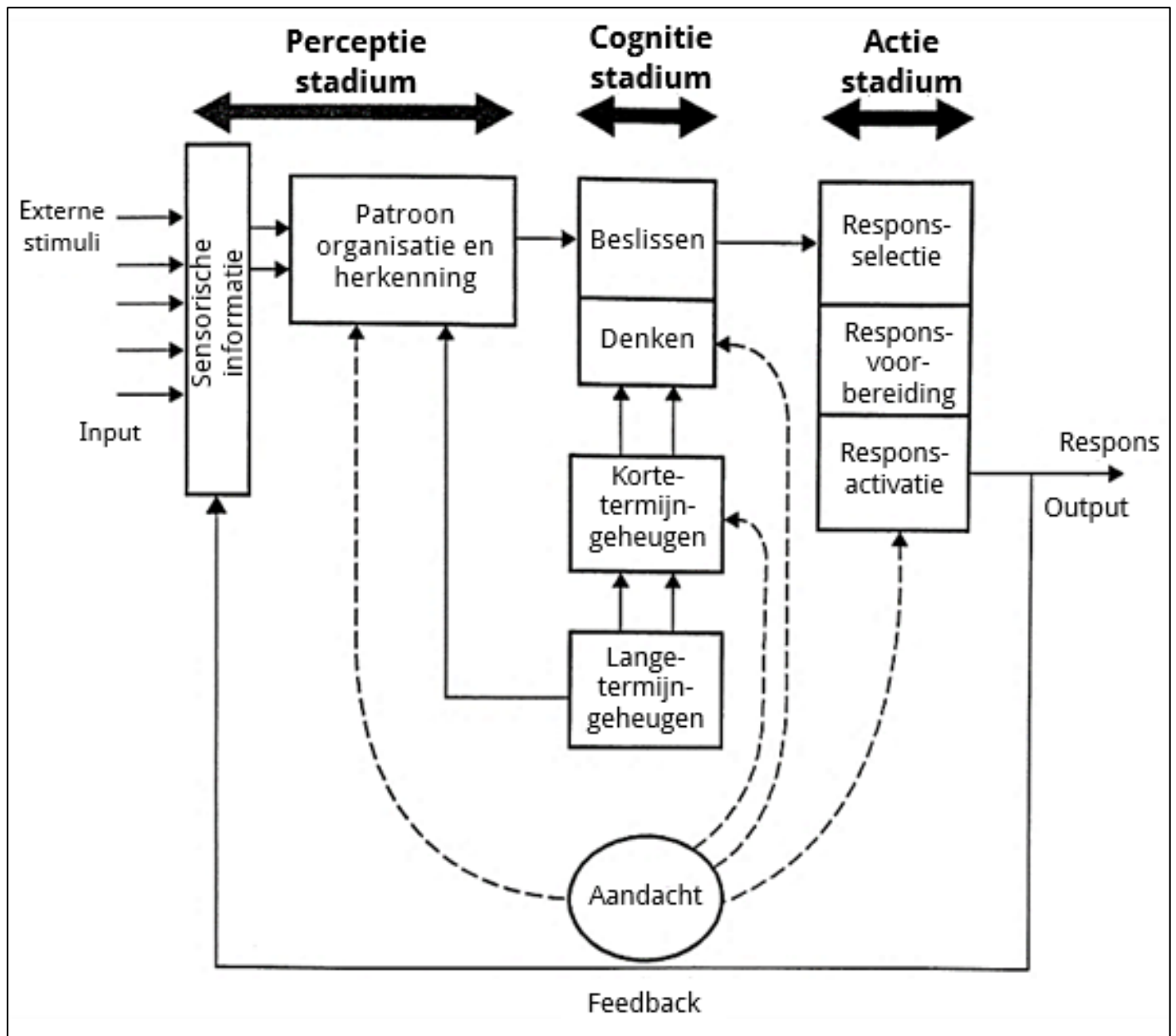
$$\text{Visuele hoek} = \tan^{-1} (\text{grootte} / \text{afstand})$$

$$\text{Visuele hoek} = \tan^{-1} (30 \text{ cm} / 90000 \text{ cm})$$

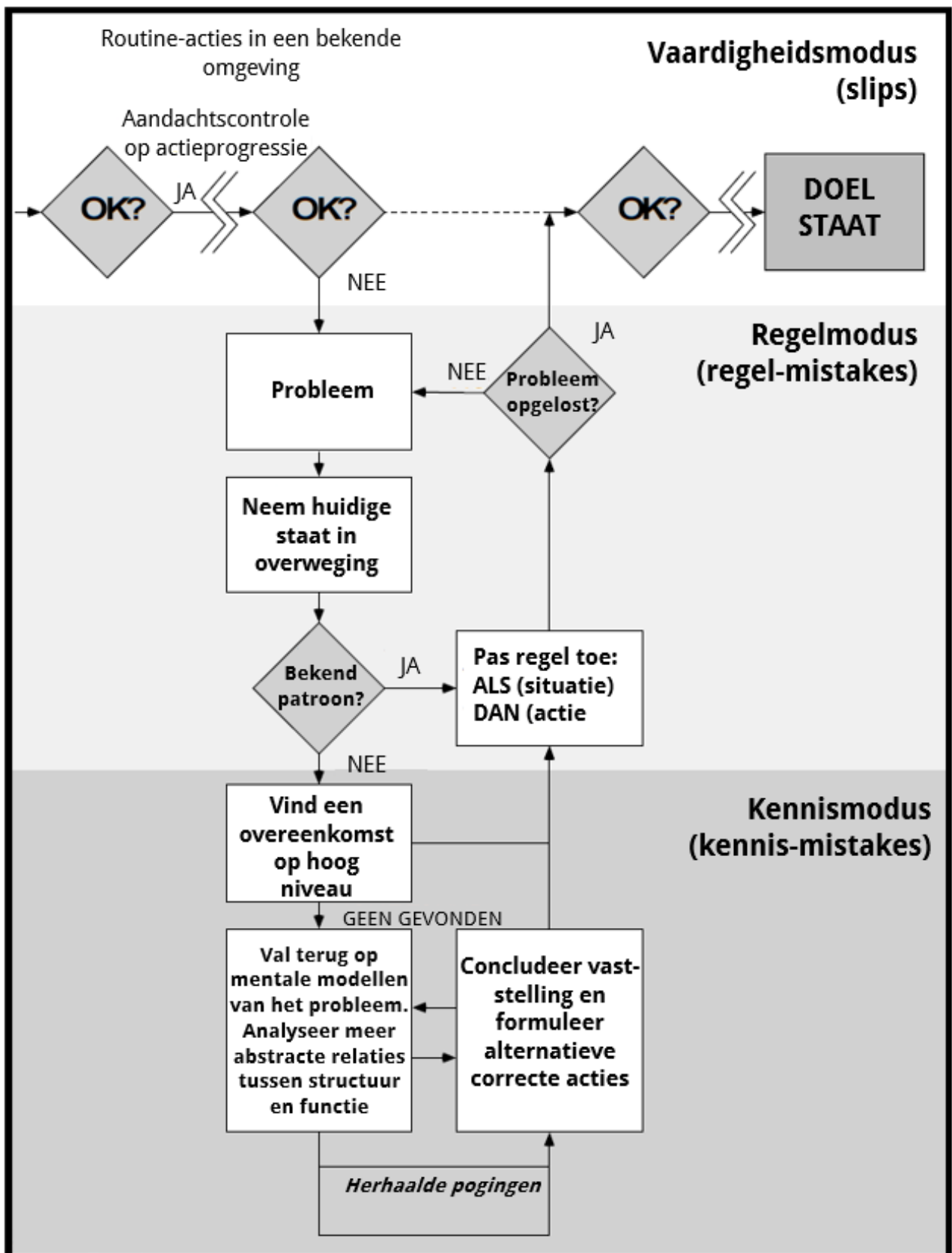
$$\text{Visuele hoek} = 1.9 \text{ graden}$$

Voor een gezond jongvolwassene is deze letter op deze afstand zichtbaar, de meeste jongvolwassenen zullen een detail met een visuele hoek van 1 graad waar kunnen nemen. In Nederland geldt voor het bezitten van een rijbewijs echter een minimale hoek van 2.0 graden. Om het bord dus ook voor deze weggebruikers beter zichtbaar te maken, zouden de letters vergroot kunnen worden.

Bijlage 2: Het drie-stadia model



Bijlage 3: Schematische weergave van het Generic Error Modelling System (GEMS)



Bijlage 4: Referenties

- [1] SWOV-Factsheet 2010: Verkeersveiligheid Bij Werk in Uitvoering. *Leidschendam: Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV*
- [2] Proctor, R. W., & Van Zandt, T. (2008). Human factors in simple and complex systems. Chapter 3. CRC press.
- [3] Proctor, R. W., & Van Zandt, T. (2008). Human factors in simple and complex systems. Chapter 4. CRC press.
- [4] Wolfe, J. M., Kluender, K. R., Levi, D. M., Bartoshuk, L. M., Herz, R. S., Klatzky, R. L., ... & Merfeld, D. M. (2015). *Sensation & perception*. Chapter 1, Sunderland, MA: Sinauer.
- [5] Sivak, M. (1998). The information that drivers use: Is it indeed 90 percent visual?. *The UMTRI Research Review*, 29(1), 1.
- [6] Smythies, J. (1996). A note on the concept of the visual field in neurology, psychology, and visual neuroscience. *Perception*, 25(3), 369-371.
- [7] Green, P. (2002). Where do drivers look while driving (and for how long). *Human factors in traffic safety*,
- [8] Borowsky, A., Shinar, D., & Parmet, Y. (2005). Recognition of road signs relative to their location and driver expectation. In *Proceedings of the Road Safety on Four Continents Conference* (Vol. 13, pp. 7p-7p). Conference Sponsor.
- [9] Proctor, R. W., & Van Zandt, T. (2008). Human factors in simple and complex systems. Chapter 5. CRC press.
- [10] Plainis, S., Murray, I. J., & Charman, W. N. (2005). The role of retinal adaptation in night driving. *Optometry & Vision Science*, 82(8), 682-688.
- [11] Vanakoski, J., Mattila, M. J., & Seppälä, T. (2000). Driving under light and dark conditions: effects of alcohol and diazepam in young and older subjects. *European journal of clinical pharmacology*, 59(6-7), 453-458.
- [12] Arditi, D., Lee, D. E., & Polat, G. (2007). Fatal accidents in nighttime vs. daytime highway construction work zones. *Journal of Safety Research*, 38(4), 399-405.
- [13] Wolfe, J. M., Kluender, K. R., Levi, D. M., Bartoshuk, L. M., Herz, R. S., Klatzky, R. L., ... & Merfeld, D. M. (2015). *Sensation & perception*. Glossary, Sunderland, MA: Sinauer.
- [14] Richards, O. W. (1977). Effects of luminance and contrast on visual acuity, ages 16 to 90 years. *Optometry & Vision Science*, 54(3), 178-184.
- [15] Summala, H., & Hietamäki, J. (1984). Drivers' immediate responses to traffic signs. *Ergonomics*, 27(2), 205-216.
- [16] Proctor, R. W., & Van Zandt, T. (2008). Human factors in simple and complex systems. Glossary. CRC press.
- [17] Theeuwes, J., Alferdinck, J. W., & Perel, M. (2002). Relation between glare and driving performance. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 44(1), 95-107.
- [18] American Traffic Safety Services Association (2013). Nighttime Lighting Guidelines for Work Zones: A guide for developing a lighting plan for nighttime work zones, April, 2013. Verkregen in januari 2017 via https://www.workzonesafety.org/files/documents/training/fhwa_wz_grant/night_lighting_guide.pdf
- [19] Cottrell Jr, B. H. (1999). *Improving night work zone traffic control* (No. FHWA/VTRC 00-R8,).
- [20] Konstantopoulos, P., Chapman, P., & Crundall, D. (2010). Driver's visual attention as a function of driving experience and visibility. Using a driving simulator to explore drivers' eye movements in day, night and rain driving. *Accident Analysis & Prevention*, 42(3), 827-834.

- [21] Harb, R. C., Essam Radwan PHD, P. E., Yan, X., Mohamed Abdel-Aty PHD, P. E., & Pande, A. (2008). Environmental, driver and vehicle risk analysis for freeway work zone crashes. *Institute of Transportation Engineers. ITE Journal*, 78(1), 26.
- [22] Li, Y., & Bai, Y. (2006). Fatal and injury crash characteristics in highway work zones. In *Proc., Transportation Research Board 87 th Annual Meeting*.
- [23] Richards, O. W. (1977). Effects of luminance and contrast on visual acuity, ages 16 to 90 years. *Optometry & Vision Science*, 54(3), 178-184.
- [24] Weston, H. C. (1945). The Relation between Illumination and Visual Efficiency-The Effect of Brightness Contrast. *Industrial Health Research Board Report. Medical Research Council*, (87).
- [25] Schnell, T., Yekshatyan, L., & Daiker, R. (2009). Effect of luminance and text size on information acquisition time from traffic signs. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2122), 52-62.
- [26] Schieber, F., & Goodspeed, C. H. (1997). Nighttime conspicuity of highway signs as a function of sign brightness, background complexity and age of observer. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 41, No. 2, pp. 1362-1366). Sage Publications
- [27] Dahlstedt, S., & Svenson, O. (1977). Detection and reading distances of retroreflective road signs during night driving. *Applied ergonomics*, 8(1), 7-14.
- [28] Wolshon, B., Degeyter, R., & Swargam, J. (2002). Analysis and predictive modeling of road sign retroreflectivity performance. In *16th Biennial Symposium on Visibility and Simulation*.
- [29] Martens, M. H. (2000). Assessing road sign perception: A methodological review. *Transportation Human Factors*, 2(4), 347-357.
- [30] Yantis, S., & Egeth, H. E. (1999). On the distinction between visual salience and stimulus-driven attentional capture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(3), 661.
- [31] Whitney, D., & Levi, D. M. (2011). Visual crowding: A fundamental limit on conscious perception and object recognition. *Trends in cognitive sciences*, 15(4), 160-168.
- [32] Ho, G., Scialfa, C. T., Caird, J. K., & Graw, T. (2001). Visual search for traffic signs: The effects of clutter, luminance, and aging. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 43(2), 194-207.
- [33] Reisberg, D. (2013). Cognition: Exploring the science of the mind. Chapter 3, *WW Norton & Co*.
- [34] Humphreys, G. W., Price, C. J., & Riddoch, M. J. (1999). From objects to names: A cognitive neuroscience approach. *Psychological research*, 62(2-3), 118-130.
- [35] Diwadkar, V. A., & McNamara, T. P. (1997). Viewpoint dependence in scene recognition. *Psychological Science*, 8(4), 302-307.
- [36] De La Escalera, A., Moreno, L. E., Salichs, M. A., & Armingol, J. M. (1997). Road traffic sign detection and classification. *IEEE transactions on industrial electronics*, 44(6), 848-859.
- [37] Brefczynski, J. A., & DeYoe, E. A. (1999). A physiological correlate of the 'spotlight' of visual attention. *Nature neuroscience*, 2(4), 370-374.
- [38] Navalpakkam, V., & Itti, L. (2006). An integrated model of top-down and bottom-up attention for optimizing detection speed. In *2006 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'06)* (Vol. 2, pp. 2049-2056). IEEE.
- [39] Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature reviews neuroscience*, 3(3), 201-215.
- [40] Rutishauser, U., Walther, D., Koch, C., & Perona, P. (2004, July). Is bottom-up attention useful for object recognition?. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2004. CVPR 2004. Proceedings of the 2004 IEEE Computer Society Conference on* (Vol. 2, pp. II-37). IEEE.

- [41] Reisberg, D. (2013). Cognition: Exploring the science of the mind. Chapter 4, *WW Norton & Co.*
- [42] Theeuwes, J., & Hagenzieker, M. P. (1993). Visual search of traffic scenes: On the effect of location expectations. *Vision in vehicles*, 4, 149-158.
- [44] Martens, M. H., & Fox, M. R. (2007). Do familiarity and expectations change perception? Drivers' glances and response to changes. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 10(6), 476-492.
- [45] Charlton, S. G. (2006). Conspicuity, memorability, comprehension, and priming in road hazard warning signs. *Accident Analysis & Prevention*, 38(3), 496-506.
- [46] Purves, D., Cabeza, R., Scott A., Huettel, & Michael L. Platt. (2008). *Principles of cognitive neuroscience* (Vol. 83). Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- [47] Aronson, E., Wilson, T. D., & Akert, R. M. (2007). Social psychology. Chapter 3, Compiled by Universiteit Utrecht. *Pearson Education, Harlow.*
- [48] Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: I. Detection, search, and attention. *Psychological review*, 84(1), 1.
- [49] Reisberg, D. (2013). Cognition: Exploring the science of the mind. Chapter 13, *WW Norton & Co.*
- [50] Baddeley, A., Eysenck, M. W., & Anderson, M. C. (2015). Memory. Chapter 1, *Psychology Press, East Sussex.*
- [51] Shakouri, M., Aghazadeh, F., & Ikuma, L. H. (2016). Individual differences in drivers' perceived workload near construction work zones. *Occupational Ergonomics*, 13(2), 101-117
- [52] Lee, Y. C., Lee, J. D., & Ng Boyle, L. (2007). Visual attention in driving: The effects of cognitive load and visual disruption. *Human Factors*, 49(4), 721-733.
- [53] Harbluk, J. L., Noy, Y. I., Trbovich, P. L., & Eizenman, M. (2007). An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers' visual behavior and braking performance. *Accident Analysis & Prevention*, 39(2), 372-379.
- [54] Recarte, M. A., & Nunes, L. M. (2003). Mental workload while driving: effects on visual search, discrimination, and decision making. *Journal of experimental psychology: Applied*, 9(2), 119.
- [55] Engström, J., Johansson, E., & Östlund, J. (2005). Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 8(2), 97-120.
- [56] Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. *Psychology of learning and motivation*, 2, 89-195.
- [57] Reisberg, D. (2013). Cognition: Exploring the science of the mind. Chapter 13, *WW Norton & Co.*
- [58] Stanovich, K. E., & West, R. F. (2000). Advancing the rationality debate. *Behavioral and brain sciences*, 23(05), 701-717.
- [59] Proctor, R. W., & Van Zandt, T. (2008). Human factors in simple and complex systems. Chapter 11. CRC press.
- [60] West, R., Elander, J., & French, D. (1992). Decision making, personality and driving style as correlates of individual accident risk. *TRL Contractor Report*, (CR 309).
- [61] Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), 32-64.
- [62] Gugerty, L. J. (1997). Situation awareness during driving: Explicit and implicit knowledge in dynamic spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 3(1), 42.
- [63] Jacobs, R. J., Johnston, A. W., & Cole, B. L. (1976). The visibility of alphabetic and symbolic traffic signs: Australian Road Research, May 1975, 5.7, 68-86. *Applied Ergonomics*, 7(2), 113.

- [64] Long, G. M., & Kearns, D. F. (1996). Visibility of text and icon highway signs under dynamic viewing conditions. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 38(4), 690-701.
- [65] Kline, T. J. B., Ghali, L. M., Kline, D. W., & Brown, S. (1990). Visibility distance of highway signs among young, middle-aged, and older observers: Icons are better than text. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 32(5), 609-619.
- [66] Ells, J. G., & Dewar, R. E. (1979). Rapid comprehension of verbal and symbolic traffic sign messages. *Human Factors: The journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 21(2), 161-168.
- [67] Shinar, D., & Vogelzang, M. (2013). Comprehension of traffic signs with symbolic versus text displays. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 18, 72-82.
- [68] Liu, Y. C. (2005). A simulated study on the effects of information volume on traffic signs, viewing strategies and sign familiarity upon driver's visual search performance. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(12), 1147-1158.
- [69] Proctor, R. W., & Van Zandt, T. (2008). Human factors in simple and complex systems. Chapter 9. CRC press.
- [70] Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of comparative neurology and psychology*, 18(5), 459-482.
- [71] Hennessy, D. A., Wiesenthal, D. L., & Kohn, P. M. (2000). The influence of traffic congestion, daily hassles, and trait stress susceptibility on state driver stress: An interactive perspective. *Journal of Applied Biobehavioral Research*, 5(2), 162-179.
- [72] Wickens, C. M., & Wiesenthal, D. L. (2005). State Driver Stress as a Function of Occupational Stress, Traffic Congestion, and Trait Stress Susceptibility. *Journal of Applied Biobehavioral Research*, 10(2), 83-97.
- [73] Garber, N., & Srinivasan, S. (1998). Influence of exposure duration on the effectiveness of changeable-message signs in controlling vehicle speeds at work zones. *Transportation Research Record: Journal of the Research Board*, (1650), 62-70.
- [74] Benekohal, R. F., & Shim, E. (1999). Multivariate analysis of truck drivers' assessment of work zone safety. *Journal of transportation engineering*, 125(5), 398-406.
- [75] West, R., Elander, J., & French, D. (1992). Decision making, personality and driving style as correlates of individual accident risk. *TRL Contractor Report*, (CR 309).
- [76] Zhai, S., & Woltjer, R. (2003, March). Human movement performance in relation to path constraint-the law of steering in locomotion. In *Virtual Reality, 2003. Proceedings. IEEE* (pp. 149-156). IEEE.
- [77] Calhoun, V. D., Pekar, J. J., McGinty, V. B., Adali, T., Watson, T. D., & Pearlson, G. D. (2002). Different activation dynamics in multiple neural systems during simulated driving. *Human brain mapping*, 16(3), 158-167.
- [78] George, C. F. P. (2004). Sleep· 5: Driving and automobile crashes in patients with obstructive sleep apnoea/hypopnoea syndrome. *Thorax*, 59(9), 804-807.
- [79] Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., & Hume, R. D. (1977). Tri-level study of the causes of traffic accidents, *Volume I: Casual factor tabulations and assessments*, (1) Final Rpt.).
- [80] Rasmussen, J. (1986). Information Processing and Human-Machine Interaction. An Approach to Cognitive Engineering}.
- [81] Reason, J. (1987). Generic error-modelling system (GEMS): A cognitive framework for locating common human error forms. *New technology and human error*, 63, 86.
- [82] Embrey, D. Understanding Human Behaviour and Error. Verkregen in januari 2017 via <http://www.humanreliability.com/resource1.html>
- [83] Stanton, N. A., & Salmon, P. M. (2009). Human error taxonomies applied to driving: A generic driver error taxonomy and its implications for intelligent transport systems. *Safety Science*, 47(2), 227-237.

- [84] Reason, J., Manstead, A., Stradling, S., Baxter, J., & Campbell, K. (1990). Errors and violations on the roads: a real distinction?. *Ergonomics*, *33*(10-11), 1315-1332
- [85] Ranney, T. A. (1994). Models of driving behavior: a review of their evolution. *Accident Analysis & Prevention*, *26*(6), 733-750.
- [86] Hale, A. R., Stoop, J., & Hommels, J. (1990). Human error models as predictors of accident scenarios for designers in road transport systems. *Ergonomics*, *33*(10-11), 1377-1387.