

Literatuuronderzoek

De invloed van frequente aanduiding van maximumsnelheid boven de weg op het gedrag van de weggebruiker

Uitgevoerd door: Dr. Chris Janssen (c.p.janssen@uu.nl)
Dr. Stella Donker
Dr. Roy Hessels
Dr. Ignace Hooge
Prof. Dr. Leon Kenemans
Prof. Dr. Stefan van der Stigchel

Datum: 14 januari 2021
Status: Definitief

Universiteit Utrecht
Faculteit Sociale Wetenschappen
Psychologische Functie leer



Universiteit Utrecht

Inhoudsopgave

Managementsamenvatting.....	4
Centraal inzichten overzicht: Belangrijkste inzichten per vraag.....	6
0 Inleiding.....	11
0.1 Afbakening: Kenmerken van het wegsysteem	11
0.2 Methodologie.....	12
1 Vraag 1: Wat is de aansluiting op verwachtingen?.....	13
1.1 Perspectief: Aandacht.....	13
1.2 Perspectief: Visueel zoeken	14
1.3 Perspectief: Actieregulatie.....	15
1.4 Perspectief: Human Factors.....	16
1.5 Perspectief: Mens-machine (en automatisering) interactie (HCI).....	16
1.6 Perspectief: Verkeerskunde.....	19
1.7 Samenvatting informatie over vraag 1	20
2 Vraag 2: Wat is de consistentie van begrip van snelheidslimiet?.....	22
2.1 Perspectief: Aandacht.....	22
2.2 Perspectief: Visueel zoeken	22
2.3 Perspectief: Actieregulatie.....	22
2.4 Perspectief: Human Factors.....	23
2.5 Perspectief: Mens-machine (en automatisering) interactie (HCI).....	23
2.6 Perspectief: Verkeerskunde.....	26
2.7 Samenvatting informatie over vraag 2	27
3 Vraag 3: Wat is de bereidheidwilligheid om aan de limiet te houden?	29
3.1 Perspectief: Aandacht.....	29
3.2 Perspectief: Visueel zoeken	29
3.3 Perspectief: Actieregulatie.....	29
3.4 Perspectief: Human Factors.....	29
3.5 Perspectief: Mens-machine (en automatisering) interactie (HCI).....	30
3.6 Perspectief: Verkeerskunde.....	31
3.7 Samenvatting informatie over vraag 3	33
4 Algemene discussie en conclusie	35
4.1 Antwoord op vraag 1: Wat is de aansluiting op verwachtingen?.....	35
4.2 Antwoord op vraag 2: Wat is de consistentie van begrip van snelheidslimiet?.....	35
4.3 Antwoord op vraag 3: Wat is de bereidwilligheid om aan de limiet te houden?....	36
4.4 Een mogelijk alternatief: just-in-time, context-relevante informatie	36

4.5	Beperkingen, schaalbaarheid en rol van fundamentele kennis	37
5	Referenties.....	39
6	Appendix 1: Nederlandse vertaling van mens-machine interactie principes uit Lee et al. (2017).....	43
7	Appendix 2: Nederlandse vertaling van de ontwerprichtlijnen voor mens-AI interactie principes uit Amershi et al (2019).....	44

Managementsamenvatting

In deze literatuurstudie is onderzocht hoe het gedrag van weggebruikers mogelijk verandert als boven alle Rijkssnelwegen waar signaalgevers hangen de maximumsnelheid permanent aangegeven wordt op opeenvolgende matrixborden. Specifiek waren er drie vragen vanuit Rijkswaterstaat rondom dit systeem:

1. Wat is de aansluiting op verwachtingen van de weggebruiker?
2. Wat is de consistentie van begrip van de weggebruiker van de snelheidslimiet?
3. Wat is de bereidwilligheid van de weggebruiker om zich aan de limiet te houden?

Om deze vragen te beantwoorden is er een overzicht gegeven door experts in zes gebieden: aandacht, visueel zoeken, actieregulatie, human factors, mens-machine (en automatisering) interactie, en verkeerskunde. De verschillende vakgebieden leiden tot complementaire inzichten, maar zijn grotendeels ook consistent in hun bevindingen. Op de volgende pagina's (centraal inzichten overzicht) staat per vraag een samenvattend overzicht van de positieve en negatieve aspecten die geassocieerd zijn met invoering van het systeem en relevante overige aandachtspunten.

Het is een politieke vraag hoe de positieve aspecten opwegen tegen de negatieve aspecten. Op basis van de huidige wetenschap zien wij echter reden tot zorgen bij invoering van het voorgestelde systeem. Wat betreft verwachtingen (vraag 1) is een voordeel van het aanbieden van snelheidsinformatie dat deze aanwezig is (de weggebruiker hoeft het niet in het geheugen te houden). Meerdere vakgebieden geven echter aanwijzingen dat het zeer waarschijnlijk is dat een groot deel van de weggebruikers veranderingen van informatie (bv. snelheidsverlaging) op de borden niet altijd meekrijgt en deze informatie mogelijk negeert. Hierdoor wordt het gewenste effect, dat weggebruikers zich (beter) houden aan de aangegeven snelheidslimiet, wellicht niet bereikt.

Wat betreft consistentie (vraag 2) is er een conflict tussen hoe de maximumsnelheid op de wegen met matrixborden wordt aangegeven en hoe dit op andere wegen (bv. provinciale wegen, andere Rijkssnelwegen) wordt aangegeven. Ook kunnen er conflicten zijn met andere bronnen die weggebruikers (meer) vertrouwen, zoals hun mobiele telefoon of in-car navigatiesysteem. Dit kan op termijn leiden tot het niet vertrouwen van informatie boven de weg en het nog minder bekijken en gebruiken van deze informatie. Het gebruiken van veel opeenvolgende borden verlaagt de opvallendheid van veranderingen in (snelheidslimiet)waarden tussen borden. Om dit te compenseren zouden weer extra signalen moeten worden toegevoegd, waarvan de effectiviteit niet duidelijk is. Een mogelijke valkuil hierbij is dat het toevoegen van extra signalen resulteert in steeds meer borden en signalen langs de weg, wat de verkeerssituatie nóg onduidelijker maakt.

Wat betreft de weggebruikers' bereidwilligheid om zich aan de limiet te houden (vraag 3), is de verwachting dat deze laag is als de borden een verlaging van de snelheidslimiet geven. Of weggebruikers zich aan de snelheidslimiet kunnen en willen houden hangt van meer af dan de aanwezigheid van een bord. Zeker als de snelheidslimiet niet past bij de (beleving van de weggebruiker van de) verkeerscontext, is de bereidheid van de gemiddelde weggebruiker om zich aan de limiet te houden waarschijnlijk laag. Dit blijkt ook uit eerder Nederlands praktijkonderzoek. Internationaal onderzoek laat ook zien dat weggebruikers hun snelheid wellicht verlagen in reactie op dynamische (snelheids-) borden, maar dat het komen tot een dergelijke aanpassing enige tijd duurt en dan vaak ook slechts tijdelijk is.

Overwegend zijn er, vanuit de gedragswetenschap bekeken, sterke kanttekeningen bij het voorgestelde systeem. Hierbij valt ook op te merken dat de aspecten die op het

eerste gezicht positieve kenmerken zijn van het nieuwe systeem, juist ook negatieve gevolgen hebben. Zo is een voordeel van het permanent tonen van de maximale snelheid dat deze beschikbaar is voor een weggebruiker die daar actief naar op zoek is, bijvoorbeeld om een onbewuste snelheidsovertreding te voorkomen. Echter, juist doordat er altijd een snelheidsaanduiding is, zal deze informatie voor het merendeel van de weggebruikers minder opvallend worden en kunnen kritieke veranderingen (bv. snelheidsverlaging) onopgemerkt blijven. Hierdoor wordt de informatie boven de weg (op termijn) mogelijk juist genegeerd en vinden er mogelijk juist *meer* onbewuste snelheidsovertredingen plaats, wat mogelijk ook de verkeersveiligheid negatief beïnvloedt.

Onze conclusie is dan ook dat, alles overwegend, het systeem niet voldoende aansluit bij de verwachtingen van weggebruikers (vraag 1), dat er beperkingen zijn aan de consistentie van begrip van de weggebruikers (vraag 2), en dat de verwachte bereidwilligheid van weggebruikers om zich aan de snelheidslimiet te houden laag is (vraag 3). In onze discussiesectie doen we een voorstel voor een mogelijk alternatief dat enkele nadelen vermijdt, maar enkele voordelen van het nieuwe systeem behoudt: just-in-time, context-relevante informatie aanbieding. Ook dat voorstel dient echter nog grondiger geëvalueerd te worden, met bijzondere aandacht voor de lange termijn gevolgen. Tot slot bespreken we beperkingen van onze studie, maar ook de meerwaarde die inzichten uit fundamenteel onderzoek hebben voor het ontwerp van nieuwe (manieren van inzetten van) systemen.

Centraal inzichten overzicht: Belangrijkste inzichten per vraag

Onderstaand overzicht geeft per onderzoeksvraag aan wat de mogelijke positieve en negatieve aspecten zijn en wat overige punten van aandacht zijn. Bij elk punt is aangegeven vanuit welk perspectief (of perspectieven) dit punt is aangedragen. In de desbetreffende sectie is een uitvoerigere uitleg te vinden.

Vraag 1: Wat is de aansluiting op verwachtingen

Mogelijke positieve aspecten van gebruik matrixborden zoals in het POSTMA-voorstel:

- + Snelheidsinformatie is beschikbaar voor de weggebruiker als deze er actief naar op zoek is. (perspectief: HCI)
- + Snelheidsinformatie komt van een betrouwbare (door de overheid/autoriteit) gereguleerde bron. (perspectief: HCI)
- + Aanbieden van informatie is transparant en staat toe dat een weggebruiker die deze informatie kwijt is (of vergeten is) weer makkelijk “in the loop” kan komen. (perspectief: HCI)
- + Een continue reeks aan consistente signalen die een limiet uitstralen kan leiden tot proactieve afremming (snelheidsmindering), wat vaak het gewenste effect is. (perspectief: actieregulatie)
- + Informatie op de weg kan worden aangepast aan de context op de weg / de actuele situatie. (perspectief: HCI)
- + Ontwerp van de borden is consistent met hoe informatie op andere informatiedragers (bv. verkeersborden met een snelheidslimiet) wordt aangegeven. (perspectief: HCI).
- + Doordat snelheidsinformatie op borden beschikbaar is, hoeft het niet in het werkgeheugen gehouden te worden. Toegenomen belasting van het werkgeheugen kan er toe leiden dat gedrag van mensen sterker wordt bepaald door irrelevante informatie. Een vermindering van belasting van het werkgeheugen is wat dat betreft positief. Dit is echter vooral zo, als de informatie (dat wil zeggen: de snelheidslimiet op de borden) onveranderlijk is. (perspectief: actieregulatie)

Mogelijke negatieve aspecten van gebruik matrixborden zoals in het POSTMA-voorstel:

- Weggebruikers handelen niet altijd op basis van borden, maar ook op basis van andere factoren (zoals bijvoorbeeld weginrichting, bekendheid met de weg/route en verwachtingen) (perspectief: aandacht, human factors, verkeerskunde)
- Matrixborden worden wellicht genegeerd door de weggebruiker, ook bij urgente informatie, in het bijzonder als dit op een voorspelbare locatie is, of als de chauffeurs erg bekend zijn met de route (perspectief: aandacht, human factors, verkeerskunde)
- Door introductie van het permanent gebruik van matrixborden neemt het aantal signalen op de weg toe. Hierdoor ontstaat een setsize effect, wat tot gevolg heeft dat de tijd tot identificatie langer kan duren (perspectief: visueel zoeken).
- Introductie van regelmatige matrixborden vereist een andere strategie van weggebruikers: van het detecteren van afwijkende informatie (af en toe een bord/signaal) naar het discrimineren van borden/signalen (is er iets veranderd tussen borden/signalen?). Deze taak vereist continue aandacht en actief zoekgedrag, omdat er continue een signaal is. De vraag is of deze informatie met behulp van perifeer vergaarde informatie kan worden bepaald, of dat er een saccadische oogbeweging nodig

- is. In dat laatste geval moet men tijdelijk wegstappen van de weg. (perspectief: visueel zoeken)
- Veranderingen in de (snelheids-) informatie worden mogelijk niet opgemerkt door weggebruikers. Eerder onderzoek suggereert dat dit om een grote groep weggebruikers kan gaan, zeker als zij zeer bekend zijn met de route (perspectief: verkeerskunde)
 - Er is een risico op modusverwarring als informatie op de borden inconsistent is met andere informatiedragers (bv. mobiele telefoon, in-car navigatie). Dat wil zeggen, weggebruikers interpreteren de informatie die op de borden staat (de “modus”) mogelijk anders dan dat er bedoeld is bij het ontwerp van de borden. Bijvoorbeeld omdat ze hun verwachtingen opbouwen op basis van andere informatie (bv. van de mobiele telefoon). (perspectief: HCI)
 - De nieuwe techniek wijkt af van de huidige norm: in het voorgestelde systeem is de informatievoorziening niet meer contextgebonden (is er iets bijzonders op de weg?), maar afstandsgebonden. Dit maakt de informatie niet altijd contextueel relevant. (perspectief: HCI)

Overige aandachtspunten gerelateerd aan deze vraag:

- Om opvallend te blijven, is het essentieel dat signaalborden (a) alleen gebruikt worden bij een afwijkende verkeerssituatie of (b) dat het uiterlijk afwijkt tussen verschillende situaties. (perspectief: aandacht)
- Weggebruikers op een weg met matrixborden zullen ander visueel gedrag moeten vertonen dan op wegen zonder matrixborden. Als er toch permanent snelheid wordt aangegeven, dan is een optie om een afwijking van de norm (bv. verandering van snelheid) met flashers aan te geven. Het is echter een empirische vraag of het veranderde snelheidssignaal met flashers nu niet te prominent wordt. (perspectief: visueel zoeken)
- Het is belangrijk dat het doel en operationele domein duidelijk genoeg gecommuniceerd wordt naar de weggebruiker (perspectief: HCI)
- Overweeg of de modus structuur nog simpeler (maar duidelijk) kan (perspectief: HCI)
- Zorg dat de technologie betrouwbaar is (perspectief: HCI)

Vraag 2: Wat is de consistentie van begrip van snelheidslimiet?

Mogelijke positieve aspecten van gebruik matrixborden zoals in het POSTMA-voorstel:

- + De vormgeving van snelheidslimieten door middel van een rode rand is consistent met human factors principes van compatibiliteit, familiariteit en standaardisatie. Specifiek is er meer consistentie en familiariteit met hoe snelheidslimieten op vaste borden worden weergegeven, ook in Europees kader. Er is wel de vraag in hoeverre het matrixbordensysteem voldoet aan het principe van “consistentie” als de borden ook gebruikt worden voor andere doelen zoals file-waarschuwing. (perspectief: human factors)
- + De snelheid kan altijd boven de weg worden gevonden als iemand ernaar op zoek is. (perspectief: visueel zoeken)
- + De matrixborden zijn een instantie van een variable message sign (VMS) systeem. Onderzoek naar VMS'en laat zien dat weggebruikers vaak de manier van snelheidsaanduiding op dit soort borden begrijpen. Wel is het zo dat niet alle weggebruikers (in het bijzonder: ouderen) dit altijd begrijpen en dat er andere

kanttekeningen bij VMS systemen zijn (zie mogelijke negatieve aspecten). (perspectief: verkeerskunde)

Mogelijke negatieve aspecten van gebruik matrixborden zoals in het POSTMA-voorstel:

- Doordat matrixborden niet op alle wegen worden gebruikt (bv. niet op alle Rijkssnelwegen; niet op provinciale wegen), is er minder consistentie tussen verschillende wegtypes. (perspectief: Human Factors, HCI)
- Door het continue aanduiden van de snelheidslimiet worden verschillen tussen opvolgende borden (bv. verandering in snelheid) minder opvallend. (perspectief: visueel zoeken, HCI, verkeerskunde)
- De informatiedragers gaan in het POSTMA-voorstel meer doelen/taken faciliteren. Dit is mogelijk verwarrend of onduidelijk voor de weggebruiker (perspectief: visueel zoeken, HCI), in het bijzonder voor ouderen (perspectief: verkeerskunde). Ook vermindert het het algemene ontwerpprincipe van streven naar consistentie. (perspectief: human factors)
- Door cognitieve capaciteit die uitgaat naar snelheidsregulatie is er minder (cognitieve) capaciteit om ook andere acties te reguleren (bv. in respons op andere soorten informatie via de matrixborden). (perspectief: actieregulatie)
- Conflicterende informatie tussen matrixborden en andere informatiedragers (in-car navigatie, telefoon, blikken borden) en eigen intuïtie en ervaring kan leiden tot verwarring, verminderd vertrouwen en het niet gebruiken (“disuse”) van de informatie op de matrixborden. Informatie op andere frequent gebruikte informatiedragers (zoals telefoon) wordt uit gewoonte mogelijk meer vertrouwd en gebruikt. (perspectief: HCI)
- Er kunnen vergelijkingen worden gemaakt met resultaten van de inzet van variable message signs (VMS) en dynamic speed display signs (DSDS) systemen. Dergelijke dynamische verkeerssignalen leiden er toe dat weggebruikers tijdelijk hun snelheid verlagen. Echter, ze verlagen het niet consistent tot de snelheidslimiet. Ook zijn er weggebruikers die hun snelheid niet verlagen, waardoor er snelheidsverschillen kunnen ontstaan. (perspectief: verkeerskunde)
- Dynamic speed display signs (DSDS-systemen) zijn vooral effectief als ze niet te vaak gebruikt worden en alleen ingezet worden op het moment dat iemand de maximumsnelheid overschrijdt. Dit wijkt af van de voorgestelde manier van inzetten van matrixborden, waarbij de snelheidslimiet permanent zichtbaar is. (perspectief: verkeerskunde)
- De rode rand kan zorgen dat het getal dat de snelheidslimiet aangeeft moeilijker perifeer waar te nemen is omdat de rand zorgt voor crowding. (perspectief: visueel zoeken)
- Als er een file ontstaat, wordt de maximale snelheidsaanduiding (met rand) vervangen door de nieuwe lagere maximale snelheid (zonder rand). De eerste afwijkende snelheid zal met flashers aangegeven worden. Hoe kan de weggebruiker de verlaagde snelheid tot zich nemen als dit eerste signaal gemist wordt? Het zoeken naar een zoekdoel dat minder features (snelheid zonder rode rand) heeft, is minder efficiënt dan het zoeken naar een doel met een extra feature. (perspectief: visueel zoeken)
- De set aanwezige potentiële zoekdoelen is groter in het POSTMA-voorstel, omdat er altijd wat op het matrixbord wordt getoond. (perspectief: visueel zoeken)
- Vanuit de perspectieven van visueel zoeken en actieregulatie is het inzicht dat bij gebruik van matrixborden die permanent snelheid aangeven er een extra signaal (bv.

flashers) nodig is om de aandacht naar de verandering te trekken. Verkeerskundig onderzoek naar variable message signs (VMS) systemen laat echter zien dat de effectiviteit van VMS-systemen minder is als er extra signalen zijn (in dat onderzoek vaak: extra borden). Een mogelijke valkuil hierbij is dat het toevoegen van extra signalen resulteert in steeds meer borden en signalen langs de weg, wat de verkeerssituatie nóg onduidelijker maakt. (gecombineerd inzicht op basis van perspectieven visueel zoeken, actieregulatie en verkeerskunde)

Overige aandachtspunten gerelateerd aan deze vraag:

- Weggebruiker dienen te weten wat de matrixborden wel en niet kunnen en of ze wel of niet in gebruik zijn, ook in het geval van storingen. Hiervoor is een plan van aanpak nodig voor het geval van een storing in het systeem. Een storing kan mogelijk ook gevolgen hebben voor de lange termijn (bijvoorbeeld “disuse”, zie uitleg in sectie). Deze aspecten zijn belangrijk om op te lossen, omdat ze het vertrouwen dat de weggebruiker heeft in de signaalgevers (en daarmee: de mate waarin ze die gebruiken voor hun besluitvorming) sterk kunnen beïnvloeden. (perspectief: HCI)
- Er dient nagedacht te worden over hoe de weggebruiker op een effectieve manier blijvend geïnformeerd kan worden, en waar nodig getraind, over de correcte interpretatie van de signalen. Het mogelijke probleem zit er hier in dat alhoewel een nieuw systeem in het begin wellicht nog veel aandacht en/of interesse van de gebruiker trekt, dat deze “nieuwheidswaarde” er over tijd vanaf gaat en daarmee mogelijk ook de aandacht voor de informatie op de borden. (perspectief: HCI)
- Er dient aandacht te zijn voor de bredere organisatorische consequenties van introductie van het systeem, bijvoorbeeld ook voor andere weginstanties en -autoriteiten. Wederom is goede afstemming nodig om de informatievoorziening naar weggebruikers consistent te houden tussen verschillende contexten. Een suboptimale afstemming kan gevolgen hebben voor het vertrouwen dat de weggebruiker heeft in het systeem en daarmee voor lange termijn gedrag (bv disuse) (perspectief: HCI)

Vraag 3: Wat is de bereidwilligheid om aan de limiet te houden?

Mogelijke positieve aspecten van gebruik matrixborden zoals in het POSTMA-voorstel:

- + In het algemeen geldt dat weggebruikers die het zinvol vinden om zich aan de snelheidslimiet te houden hiertoe bereid zullen zijn. Invoering van een nieuw systeem verandert dit niet. (perspectief: human factors)
- + Snelheidsinformatie kan wellicht helpen bij het verminderen van een deel van de onbewuste snelheidsovertredingen. Echter, er kunnen ook andere onbewuste overtredingen ontstaan, bijvoorbeeld doordat veranderingen in snelheidslimiet niet worden waargenomen (zie uitwerking van vraag 2) (perspectief: HCI)

Mogelijke negatieve aspecten van gebruik matrixborden zoals in het POSTMA-voorstel:

- Eerder Nederlands onderzoek (Dynamax) suggereert dat de bereidwilligheid om aan een snelheidslimiet te houden bij snelheidsverlagingen laag is, zeker als de weginrichting niet past bij (de beleving van de weggebruiker over) de verkeerscontext. In eerder onderzoek hield dan slechts 10-30% zich aan de limiet. (perspectief: verkeerskunde)
- Aanwezigheid van een informatiedrager wil niet betekenen dat weggebruikers ook het gewenste gedrag vertonen. Andere persoonlijke factoren en omstandigheden (bv leeftijd, vermoeidheid, persoonlijkheid, en gebruik van verdovende middelen) kunnen

- een rol spelen bij het (niet) *kunnen* of *willen* opvolgen van signaalgevers (perspectief: human factors, verkeerskunde)
- Weggebruikers zijn minder geneigd om zich aan een snelheidslimiet te houden als het in hun beleving niet aansluit bij de verkeerscontext, zoals weginrichting en drukte, of (hun perceptie van) de snelheid van andere weggebruikers. (perspectief: human factors, verkeerskunde)
 - Als een snelheidslimiet wordt verlaagd kan het enige tijd duren voor de weggebruikers ook hun snelheid verlaagd hebben (in Nederlandse Dynamax project bv. 15-20 minuten), wat nog niet betekent dat weggebruikers zich dan aan de snelheidslimiet houden (perspectief: verkeerskunde)
 - Als weggebruikers hun snelheid hebben verlaagd in reactie op dynamische borden, dan is dat vaak slechts tijdelijk. Als de borden ontbreken (wat in de Nederlandse situatie zo zal zijn, omdat niet op elke Rijksweg matrixborden staan), zullen ze de snelheid weer verhogen. Dergelijk onderzoek heeft zich vooral gericht op enkele borden. Bij het gebruik van meerdere opeenvolgende borden (zoals in het POSTMA-voorstel) is er bovendien een risico dat de borden genegeerd worden (zie vraag 1 en 2) (perspectief: verkeerskunde)
 - Ironie van automatisering: techniek wordt anders gebruikt dan de ontwerper in gedachten had, wat gedrag sterk kan veranderen (perspectief: HCI)

Overige aandachtspunten gerelateerd aan deze vraag :

- De impact van nieuwe (manier van inzetten van) technologie op menselijk gedrag is lastig te voorspellen, omdat mensen niet altijd goed hun wensen onder woorden kunnen brengen voor technologie die heel anders is dan ze tot dan toe gewend zijn. Het kan zijn dat weggebruikers baat hebben bij andere dingen dan ze denken of dat dingen waarvan ze denken dat ze nuttig zijn, niet nuttig zijn. (perspectief: HCI)
- Er dient aandacht te zijn voor de “ironie van automatisering”: menselijk gedrag verandert door de invoering van automatisering. Er dient daarom ook na invoering oog te zijn voor hoe weggebruikers zich gedragen op de weg, of dat gedrag over de tijd verandert en of het ontwerp van het systeem nog past bij dit mogelijk aangepaste gedrag. (perspectief: HCI)
- Als een signaal belangrijk is of verandert, is het zaak om dit extra opvallend maken (bv. met flashers of verandering van kleur). Dit maakt het signaal extra opvallend, wat tot zogenaamde neurale bevrozing leidt en dat kan limiterende actieregulatie (bv: afremmen van de snelheid) faciliteren (perspectief actie-regulatie). Echter, zoals bij vraag 2 is geschreven, suggereert verkeerskunde onderzoek dat dit niet altijd even effectief is in de praktijk.
- Omdat mensen (en dus ook: weggebruikers) in hun gedrag over de tijd kunnen veranderen, is het zaak dat het systeem en de organisatie zo is ingericht dat hier van geleerd kan worden en op kan worden geanticipeerd. Bij het doorvoeren van systeem veranderingen dient er aandacht te zijn voor de snelheid en fijnmazigheid waarmee veranderingen doorgevoerd worden. Hoe wordt deze kennis op een graduele manier geïntegreerd in systeemverfijning? Hoe wordt feedback van de weggebruiker meegenomen in verfijningen en aanpassingen? Antwoorden op dergelijke vragen zijn nodig voor de introductie van een systeem, om te zorgen dat mensen het systeem blijven vertrouwen en de informatie daarop blijven gebruiken. (perspectief: HCI)

0 Inleiding

Voor u ligt een literatuurstudie naar de invloed van frequente aanduiding van maximumsnelheid boven de weg op gedrag van de weggebruiker.

Er is hierbij aandacht voor verwachtingen van de weggebruiker (hoofdstuk 1), consistentie van begrip (hoofdstuk 2) en bereidwilligheid om aan de limiet te houden (hoofdstuk 3).

Deze literatuurstudie is uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat binnen het kader van het project “Postma” (Pilot en Onderzoek Standaard Tonen MAXimumsnelheid op Matrixborden). De bredere opdracht van dit project is om uit te vinden wat de beperkingen zijn aan het gebruik van matrixsignaalborden voor het tonen van de maximumsnelheden. Het gaat hierbij om een systeem dat nog niet in gebruik is op de weg, en daarom om het genereren van *voorspellingen* over het gedrag van weggebruikers die er op basis van eerder wetenschappelijk onderzoek gemaakt kunnen worden. In de rest van dit document refereren we aan dit onderzochte systeem als “het POSTMA-voorstel”.

0.1 Afbakening: Kenmerken van het wegsysteem

Op basis van het opdrachtformulier, een bijeenkomst met Rijkswaterstaat en de klankbordgroep op 17 september 2020 en persoonlijke communicatie zijn enkele kenmerken van het POSTMA-voorstel doorgegeven die als kader dienen. Enkele voor dit onderzoek relevante kenmerken zijn:

1. De signaalgevers/matrixborden staan boven de weg (en maken gebruik van al bestaande portalen).
2. De signaalgevers/matrixborden bouwen voort op het huidige gebruik van matrixborden op deze portalen. Die huidige functies zijn:
 - a. Het afkruisen van rijstroken (ook begeleid door verlaagde snelheden en verdrijfpijl met flashers)
 - b. Het openen (met een groene pijl) of sluiten (met rood kruis, daarvoor verdrijfpijl) van spitsstroken.
 - c. Aangeven verlaagde maximumsnelheid, zonder gebruik rode rand¹
 - d. Waarschuwen voor filestaarten: In de huidige opzet kan hierbij de snelheid 50 (km/h) en 70 (km/h) worden aangegeven. De snelheid 70 wordt altijd begeleid door “flashers”. Bij de snelheid 50 zijn dergelijke flashers optioneel. In alle gevallen is er alleen een flasher bij het eerste portaal met verlaagde snelheid.
3. Deze hoofdfuncties worden op dit moment veelal gebruikt in bijzondere omstandigheden met verhoogde gevaarstelling, zoals bij filevorming, het uitvoeren van wegwerkzaamheden en incidentmanagement (bijv. pech of ongevallen). Ook kunnen ze gebruikt worden voor andere verkeersmanagement redenen op spitsstroken.
4. In het POSTMA-voorstel blijven deze functies behouden. Voor het aangeven van de maximumsnelheid wordt het getal dat de maximumsnelheid aangeeft met een rode rand omringd.
5. De nieuwe functionaliteit is dat deze signaalgevers/matrixborden permanent de maximumsnelheid aangeven door middel van een getal met een rode rand, tenzij er een waarschuwing voor filestaarten is.

¹ In enkele specifieke situaties is er wel een rode rand. Dat betreft op dit moment trajecten waar trajectcontrole plaatsvindt.

6. In de opzet staat bij een portaal boven elke rijstrook (en waar van toepassing: spitsstrook) een dynamisch matrixbord.
7. Tussen portalen is naar schatting 500-700 meter tussenafstand.
8. Afhankelijk van locatie-specifieke omstandigheden kan dit op een enkele locaties anders zijn.
9. In een aparte pilot wordt het systeem getest op de A27. Voor deze weg is er gekozen omdat er grote dynamiek bestaat in de maximumsnelheid in zowel tijd (van de dag) als ruimte (positie op de weg).
10. Als uit de pilot en het bredere onderzoek komt dat het een goed idee is om het systeem te implementeren, dan kan dit pas in 2026 gerealiseerd worden.
11. Als uit de pilot en het bredere onderzoek komt dat het een goed idee is om het POSTMA-voorstel te implementeren, dan is het waarschijnlijk dat er een overgangsfase is: waar een deel van het wegennet wel de geschikte signaalgevers heeft voor het tonen van alle benodigde snelheden en de rode randen, maar een ander deel niet.
12. Ook in de huidige context hebben niet alle Rijkssnelwegen portalen met matrixborden functionaliteit. In die zin is er een permanente situatie met verschillende wegentypen en wijzen van aanduiden van (afwijkende) maximumsnelheden.

0.2 Methodologie

Het huidige onderzoek heeft de vorm van een literatuurstudie. Er zijn drie kernvragen waar het onderzoek inzicht moet geven in de huidige wetenschappelijke kennis. Vanuit het Utrechtse onderzoeksteam is besloten om elke vraag te benaderen vanuit meerdere invalshoeken die vanuit ons perspectief relevant zijn voor deze vragen. Deze invalshoeken en de geassocieerde experts zijn:

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1. Aandacht: | Prof. Dr. Stefan van der Stigchel |
| 2. Visueel zoeken: | Dr. Ignace Hooge en Dr. Roy Hessels |
| 3. Actieregulatie: | Prof. Dr. Leon Kenemans |
| 4. Human Factors: | Dr. Stella Donker |
| 5. Mens-machine (en automatisering) interactie: | Dr. Chris Janssen |
| 6. Verkeerskunde | Dr. Chris Janssen |

Gezamenlijk dekken deze invalshoeken verschillende aspecten af, waaronder fundamentele kenmerken van perceptie en actie (regulatie), bereidwilligheid tot actie en context waarin de nieuwe technologie gebruikt wordt. Dr. Janssen is eindverantwoordelijk voor de integratie van alle informatie.

In de rest van dit rapport heeft elke vraag een eigen hoofdstuk. Per hoofdstuk wordt eerst de vraag kort toegelicht, daarbij afgaand op de opdrachtomschrijving van Rijkswaterstaat. Daarna wordt er per invalshoek een perspectief gegeven op deze vraag. Elk hoofdstuk eindigt met een samenvatting. In het centraal inzicht overzicht (aan het begin van dit rapport) staat ook een korte samenvatting, per vraag, over wat de mogelijke positieve en negatieve aspecten zijn en wat mogelijke overige aandachtspunten zijn. Het rapport eindigt met een korte samenvatting en identificatie van open vragen en beperkingen.

1 Vraag 1: Wat is de aansluiting op verwachtingen?

De eerste vraag is in hoeverre het permanent tonen van maximumsnelheden in de signaalgevers aansluit bij de verwachtingen van weggebruikers. Hierbij wordt er ook rekening gehouden met betrekking tot uniformiteit bij het gebruik van signaalgevers op landelijk niveau en regionaal niveau (d.w.z. verschillen of overeenkomsten binnen een traject).

1.1 Perspectief: Aandacht

Omdat mensen maar heel beperkt informatie uit de buitenwereld kunnen oppikken, is het in het verkeer belangrijk in te spelen op de verwachtingen van de bestuurder. Verwachtingen zijn namelijk cruciaal bij het opmerken van informatie: weggebruikers die onjuiste verwachtingen hebben, zullen duidelijk zichtbare objecten eenvoudigweg niet detecteren. Onze visuele wereld zit vol met regelmatigheden en we gebruiken deze informatie tijdens het verkennen van onze omgeving. De context helpt ons in het begrijpen van de complexe visuele wereld. Zo gaan we de weg op met bepaalde verwachtingen en verplaatsen we onze aandacht op basis van die verwachtingen. Experimenten hebben laten zien dat zelfs een duidelijk zichtbare politieauto die stilstaat op een onverwachte plek, zoals op een vluchtstrook, door veel weggebruikers niet wordt opgemerkt (Langham, Hole, Edwards en O'Neill, 2002). Mede hierdoor heeft het plaatsen van veel verkeersborden langs de kant van de weg ook weinig zin. Vooral doordat we onze aandacht zo veel mogelijk op de weg willen houden, is de kans groot dat belangrijke verkeersborden worden gemist.

Het idee van self-explaining roads (Theeuwes en Godthelp, 1995) gaat uit van dit principe: bij het inrichten van wegen wordt geprobeerd gebruik te maken van de ervaringen van bestuurders. Een goed ontworpen weg heeft geen verkeersborden nodig en is zo ingericht dat bestuurders vanzelf begrijpen welke snelheid en welk rijgedrag er vereist zijn. Hoe minder de bestuurder bezig is met het proberen te begrijpen van de borden, hoe meer aandacht er beschikbaar is om de rest van de rijcontext in de gaten te houden.

Een mogelijk probleem van het tonen van de maximumsnelheid op de matrixborden is dat deze borden genegeerd zullen worden, ook wanneer ze belangrijke urgente informatie tonen. De verwachting die we hebben over waar informatie zich in een bepaalde situatie bevindt wordt opgebouwd door eerdere, soms jarenlange ervaringen (Van der Stigchel, 2016). Onderzoek naar contextual cueing laat zien dat mensen gevoelig zijn voor eerdere ervaringen in het bepalen waar de aandacht naartoe gaat (Chun, 2000). Proefpersonen reageerden sneller op het doelobject wanneer dit in een herhaald zoekscherm zat dan wanneer het zoekscherm nieuw was. Deze effecten beperken zich niet tot een tijdschaal van een paar uur, maar hebben invloed over veel langere periodes (Jiang, Song en Rigas, 2005).

Net zoals weggebruikers kunnen leren waar relevante informatie staat, kunnen ze ook leren waar irrelevante informatie staat. Er is een overtuigende hoeveelheid literatuur waaruit blijkt dat proefpersonen afleiders kunnen negeren die op voorspelbare plekken verschijnen. Een goed voorbeeld hiervan is banner blindness (Benway, 1998): door onze vele ervaringen met advertenties en banners hebben we een taak tijdens het bekijken van een tijdschrift of een website, en onderdeel van deze taak is het ontwijken van advertenties. Door deze ervaringen kijken gebruikers minder naar advertenties waarvan de vormgeving en de locatie duidelijk maken dat het een advertentie is. Als het wenselijk is om de signaalborden hun unieke functie te laten houden bij afwijkende verkeerssituatie, is het

belangrijk deze borden alleen te gebruiken bij dergelijke situaties, of ervoor te zorgen dat het uiterlijk van de uitingen zoveel mogelijk afwijkt tussen de twee situaties.

1.2 Perspectief: Visueel zoeken

Vanuit de invalshoek visueel zoeken zijn de volgende overwegingen relevant: (1) de context van visueel zoeken en (2) de uniformiteit in het gebruik van signaalgevers op landelijk niveau.

Allereerst, de context van visueel zoeken. Op basis van nieuwe visuele informatie kunnen weggebruikers beslissingen nemen en acties starten. Het vinden van deze informatie zou in de in een ideale situatie moeiteloos moeten zijn of weinig moeite moeten kosten. Het huidige en voorgestelde gebruik van de matrixborden wordt langs deze lat gelegd. Wat zijn de kosten en baten met betrekking tot informatievergaring van de weggebruiker? Visuele informatie kan, als deze met het perifere netvlies waargenomen kan worden, zonder het maken van een saccadische oogbeweging verzameld worden (zie Stewart, Valsecchi en Schütz, 2020 voor perifere en foveale perceptie). Wanneer de fovea (het gevoelige centrum van het netvlies) voor de visuele identificatietask nodig is moet er een saccadische oogbeweging gemaakt worden om er voor te zorgen dat het relevante stuk visuele veld op de fovea afgebeeld wordt. Een saccade maken kost tijd en gaat ten koste van perceptie van andere delen van het visuele veld.

In de huidige situatie laten de matrixborden geen signaal zien als er niets aan de hand is. De meest gangbare signalen die getoond kunnen worden zijn:

- 1) Een rood kruis dat op een eerder matrixbord voorafgegaan wordt door een witte diagonale pijl (naar links of rechts) omringd door flashers (oranje knipperbollen).
- 2) een groene pijl die naar beneden wijst
- 3) een incidenteel verlaagde snelheid (een getal zonder rand).

In de huidige situatie is het mogelijk voor een weggebruiker om perifeer te zien of er wel of geen signaal is (Stewart, Valsecchi en Schütz, 2020). Wanneer er dan signaal is, maakt de weggebruiker als het nodig is een oogbeweging naar het bord, opdat het signaal op de fovea geprojecteerd wordt om geïdentificeerd te worden (Hooge en Erkelens, 1996). Een kruis en een pijl kunnen waarschijnlijk perifeer waargenomen worden omdat ze zowel van vorm als kleur verschillen (Duncan en Humphreys, 1989), fixatie van het matrixbord is dan niet nodig. Omdat het verschil tussen 50 en 70 niet zo groot is (Duncan en Humphreys, 1989), is identificatie met het perifere netvlies waarschijnlijk niet mogelijk en is een saccade naar het matrixbord wel nodig om de snelheid juist te identificeren. Wanneer er geen signaal is, hoeft er niets te gebeuren. Of er wel of geen signaal is, is op basis van perifere visie te bepalen (Stewart, Valsecchi en Schütz, 2020). We kunnen dit samenvatten door te stellen dat in de huidige situatie slechts bij afwijken van de regel (dat er *geen* signaal is), actie vereist is van de weggebruiker. Dit is in feite een detectietaak (Sagi en Julesz, 1985). Het prettige van deze detectietaak is dat er geen permanente aandacht voor nodig is en vaak met het perifere zicht gedaan kan worden (er hoeft niet naar het matrixbord gekeken te worden). Een opvallend signaal (bijvoorbeeld een diagonale witte pijl met flashers op een matrixbord) dringt zich op aan de weggebruiker (in psychologiejargon heet dit bottom-up aandacht trekken en het is pre-attentief (Bravo en Nakayama, 1992; Sagi en Julesz, 1985; Theeuwes, 2010).

In de voorgestelde nieuwe situatie (POSTMA-voorstel) tonen de matrixborden permanent de snelheid (met rode rand) of rode kruizen of witte pijlen met flashers of

groene pijlen of verlaagde snelheden (zonder rand) en eventueel met flashers. In het POSTMA-voorstel is permanent een signaal aanwezig en dit heeft tot gevolg dat:

- 1) het aantal signalen op de weg toeneemt. Dit kan zorgen dat er voor identificatie van de signalen een set size effect optreedt. Dat betekent dat de tijd tot identificatie langer kan duren (Treisman en Gelade, 1980).
- 2) de visuele taak van de weggebruiker als een discriminatietaak beschreven kan worden en deze taak vereist constante aandacht omdat er continu signaal aanwezig is. De visuele taak van de weggebruiker bestaat uit het bepalen van de identiteit van het signaal. De vraag is² of de identiteit van het getoonde signaal perifeer bepaald kan worden of dat er visuele inspectie met behulp van een saccadische oogbewegingen gevolgd door fixatie nodig is (Engel, 1975). In dat laatste geval moet men tijdelijk wegstijgen van de weg.

Het tweede aspect is de uniformiteit bij het gebruik van signaalgevers op landelijk niveau. Vanuit het visueel zoeken perspectief zijn er in de nieuwe situatie twee regimes. Op plaatsen met matrixborden is de detectietaak vervangen door een discriminatietaak. De discriminatietaak vereist *actief* zoekgedrag. Op plaatsen waar geen matrixborden zijn, verandert er niets met betrekking tot de huidige situatie. Weggebruikers op een weg met matrixborden zullen ander visueel gedrag moeten vertonen dan op wegen zonder matrixborden.

De situatie uit het POSTMA-voorstel lijkt ons geen verbetering ten opzichte van de huidige situatie. Zou er toch gekozen worden voor het permanent tonen van snelheden op de matrixborden, dan raden we vanuit het zoek perspectief aan dat een afwijking van de norm altijd met flashers aangegeven wordt. Het is een empirische vraag² of het veranderde snelheidssignaal met flashers nu niet te prominent wordt. Het nadeel dat de veranderde snelheid foveaal geïdentificeerd moet worden, blijft.

1.3 Perspectief: Actieregulatie

Ook vanuit de invalshoek van actieregulatie zijn verwachtingen van cruciaal belang. Om dit te illustreren is het nuttig om een aantal aannames te maken over andere gerelateerde aspecten (die vanuit de andere perspectieven kritischer worden benaderd). Als eerste, laten we aannemen dat de voorgestelde ingreep acuut leidt tot aangepaste verwachtingen binnen een eerste rij-sessie in de nieuwe situatie, en dat die verwachtingen worden bekrachtigd bij elke volgende rij-sessie in de nieuwe situatie. Onder deze assumpties gaat het om een anticipatie van de opeenvolging van signalen om de 500-700 m, die bovendien binnen het gezichtsveld vallen van de gemiddelde automobilist die zijn/haar ogen op de weg houdt (en niet alleen op de auto voor hem/haar). Laten we verder aannemen dat de meeste signalen limiterend zijn: er wordt een maximum snelheid aangegeven (geen minimum), er mag iets niet overschreden worden, en soms zal er een verlaging van de maximum-snelheid aangegeven worden.

In al die gevallen zal de actie-regulatie ook overwegend limiterend zijn: het gaspedaal mag niet nog verder ingedrukt worden, of moet zelfs losgelaten worden om te kunnen remmen. Dergelijke limiterende actie-regulatie is zeer uitgebreid experimenteel onderzocht, in zogenaamde stop-signaal-taken, al dan niet met een bijkomende switch component (stop-change, de ene actie onderbreken ten gunste van de andere). Zie bijvoorbeeld (Kenemans, 2015; Logan en Cowan, 1984).

² Hier zouden metingen naar moeten worden gedaan om te bepalen hoe sterk dit speelt

Een van de uitkomsten van dat onderzoek is dat als mensen een relatief frequente serie signalen ondergaan of verwachten die manen tot onderbreken van het lopende gedrag (bijv. voet op gaspedaal), dat ze zichzelf proactief afremmen (snelheid minderen), vergeleken met als de signalen minder frequent zijn (Lansbergen, Böcker, Bekker, en Kenemans, 2007). Als de verwachting is (als gevolg van acute aanpassing of van eerdere ervaring) dat er een stroom van limiterende signalen zal volgen, zal dat dus tot proactieve afremming leiden, wat in veel gevallen het gewenste effect is.

Een bijkomend effect van het continue aanbieden van signalen van maximum-snelheid (onafhankelijk van of dit op matrixborden gebeurt of op een andere consistente manier), is dat het leidt tot een vermindering van werkgeheugenbelasting. Zonder continue aanduiding zal immers makkelijk de situatie ontstaan dat het werkgeheugen voortdurend geüpdate moet worden ("wat was hier ook alweer de maximumsnelheid?"). Het is goed gedocumenteerd dat toegenomen belasting van het werkgeheugen er toe kan leiden dat gedrag van mensen sterker wordt bepaald door irrelevante informatie (De Fockert et al., 2001; De Fockert en Leiser, 2014). Het zou kunnen dat dit ook geldt voor het vermogen tot limiterende actieregulatie. Het is ook goed gedocumenteerd dat dit effect van toegenomen belasting van het werkgeheugen sterk vermindert als datgene wat in het werkgeheugen gehouden moet worden onveranderlijk is, iets wat makkelijk het geval zal zijn als de maximumsnelheid overal hetzelfde is (bijv. 100 km/ uur). Echter, dit zal niet altijd het geval zijn.

1.4 Perspectief: Human Factors

Vanuit de invalshoek van human factors zijn de volgende twee aspecten relevant: 1) de bekendheid van de weg en 2) weginrichting. Bestuurders zien niet altijd wat signaalgevers aangeven omdat bestuurders handelen op basis van wat ze verwachten dat er staat (Harms en Brookhuis 2016; zie ook sectie 1.6). Deze verwachting wordt beïnvloed door zowel de weginrichting (e.g., Bellini et al, 2020; Martens, 2018) als hoe bekend een bestuurder is met de route (cf., Intini et al, 2020; Martens, 2018). Dit heeft invloed op de verwachtingen van de bestuurder met betrekking tot de aangegeven snelheid en daarmee op het gedrag. Zo zijn er aanwijzingen dat de bekendheid met een route het effect heeft dat er minder naar signaalgevers wordt gekeken (e.g., Babić, Babić, en Šćukanec, 2017; Martens en Fox, 2007; zie ook sectie 1.6). De bekendheid van de weg zorgt ervoor dat er met minder aandacht voor de rijtaak en rijcontext wordt gereden (Charlton en Starkey, 2013). Het is dan ook aannemelijk dat de bekendheid van de weg/route een invloed zal hebben op het waarnemen van de matrixborden die de maximumsnelheden aangeven. Ofwel, hoe meer een bestuurder bekend is met de weg, hoe minder aandacht hij/zij zal hebben voor signaalgevers. Zolang de informatie van de signaalgevers niet verandert, hoeft dit geen probleem te zijn.

1.5 Perspectief: Mens-machine (en automatisering) interactie (HCI)

Vanuit het perspectief van mens-machine interactie (ook gerefereerd als HCI voor human-computer interaction), wordt de invoering van matrixborden gezien als de invoering van een nieuw, geautomatiseerd systeem. In de analyse is het systeem daarom langs de lat gelegd van recente richtlijnen voor (het ontwerp van) menselijke interactie met automatisering. Hiervoor zijn met name twee kaders gebruikt. Beide kaders zijn ontworpen voor een veelzijdigheid van technologie en niet elk principe is toepasbaar op de huidige context van matrixborden. Bovendien hebben de matrixborden meerdere stakeholders, waaronder

weggebruikers, ontwerpers van de technologie en overheden (als aanstuurders van beleid). De meest relevante richtlijnen zijn benoemd per vraag.

Het eerste kader wordt gevormd door 15 human factors principes voor mens-automatisering interactie van Lee en collega's (Lee, Wickens, Liu, en Boyle, 2017). Deze principes, in het Nederlands vertaald in appendix 1, bestrijken vijf hoofdcategorieën: mentale modellen (MM), aandacht (A), perceptie (P), response selectie (R), interactie (I) en organisatorische context (O). Het tweede kader wordt gevormd door de 18 richtlijnen voor mens-AI interactie van Amershi en collega's (Amershi et al., 2019). Deze principes, in het Nederlands vertaald in appendix 2, classificeren de richtlijnen op basis van vier stadia van ontwerp en verfijning van een technologie: initieel (voor introductie), tijdens het gebruik, als er iets fout gaat en door de tijd heen.

Vanuit de HCI kan worden gesteld dat een potentieel positief aspect van het permanent tonen van de maximumsnelheden is dat de informatie beschikbaar is voor weggebruikers *die daar zelf naar op zoek zijn*. Bovendien komt deze informatie van een betrouwbare bron (namelijk: de overheid die snelheidslimieten vaststelt). Dit is consistent met meerdere HCI principes:

- Principe P7 (Lee et al., 2017): De signaalgeving is transparant en houdt de gebruiker geïnformeerd, doordat er altijd een eenduidig signaal beschikbaar is dat de snelheidslimiet geeft.
- Principes I9 en I10 (Lee et al., 2017): Als de gebruiker onzeker is over wat de snelheidslimiet is, dan kan hij/zij deze informatie snel vinden op een consistente plek: boven de weg. Dit verschilt met de huidige status quo waar een snelheidsbord minder frequent aanwezig is en vooral op speciale punten staat (zoals bij een verandering van snelheid). De gebruiker moet deze snelheidsinformatie dan onthouden, of op een andere manier herleiden wat de limiet is (bv. door observatie van medeweggebruikers, of in informatiedragers zoals een mobiele telefoon).
- Principe I11 en I12 (Lee et al., 2017): het soort informatie op de weg (pijl, kruis, AID, snelheidslimiet) kan worden aanpast aan de actuele context op de weg, bv. als er een ongeluk is kan een verlaging van de snelheidslimiet worden aangegeven. Dit is ook hoe de matrixborden op dit moment al worden ingezet.
- Principe 1 uit Amershi et al (2019): Het systeem maakt duidelijk wat het kan doen. Het heeft een beperkt aantal functionaliteiten (kruis, pijl, snelheidssuggestie voor AID, snelheidslimiet), die in het huidige ontwerp consistent zijn met hoe dit op het moment op andere informatiedragers (bv. snelheidslimiet verkeersborden) wordt aangegeven.

Vanuit de HCI zijn er ook negatieve aspecten geïdentificeerd. In het bijzonder is er kans op "modus verwarring" (en mogelijke gevolgen voor vertrouwen in het systeem), als informatie op de matrixborden inconsistent is met andere informatiedragers zoals in-car navigatiesystemen, (applicaties op) telefoons, of blikken borden. Dit zal nader worden toegelicht bij vraag 2.

Daarnaast lijkt het ontwerp af te wijken van de huidige norm. Dit bouwt op drie principes (principes 3-5) van Amershi en collega's (2019). In het huidige situatie (voor invoering aangegeven maximumsnelheid) is de norm (cf. principe 5) dat een snelheidsbord alleen wordt weergegeven op het moment dat het relevant is (cf. principe 4): bijvoorbeeld wanneer een snelheid verandert. De timing van een signaal (cf. principe 3) is daarmee afhankelijk van de context: een verandering.

In het POSTMA-voorstel is dit anders: de borden staan op vaste afstanden en staan altijd aan. De timing van informatie is daardoor niet meer context gebonden, maar wegafstand gebonden (i.t.t. principe 3). Ook is de informatie wellicht minder contextueel relevant (i.t.t. principe 4) en niet consistent met de huidige sociale norm (i.t.t. principe 5).

Tot slot zijn er enkele aanvullende aandachtspunten op basis van de HCI literatuur, waar op dit moment niet per se een goed of fout oordeel kan worden gekoppeld. Vanuit de richtlijnen van Lee et al. (2017) komt naar voren dat er over “mentale modellen” moet worden nagedacht. Grofweg kunnen mentale modellen worden gezien als de verwachtingen die de gebruiker heeft over wat een technologie is en doet. Hierbij is het op te merken dat het model dat een gebruiker heeft van de techniek niet altijd compleet is en een versimpeling van zijn van het daadwerkelijke functioneren (zie ook Janssen, Boyle, Kun, Ju, en Chuang, 2019). In de context van de matrixborden zijn de volgende aandachtspunten dan relevant:

- Het doel van de automatisering dient goed gecommuniceerd te worden naar de weggebruiker (principe MM1 uit Lee et al., 2017). De matrixborden hebben meerdere doelen, waaronder: het sluiten van (een gedeelte van) een weg (rood kruis), het suggereren om van strook te wisselen of op een strook te blijven (pijl), het aangeven van een snelheidsverandering als waarschuwing voor file (AID)³. In het POSTMA-voorstel komt daar een nieuw doel bij: het aangeven van een maximumsnelheid. De vormgeving lijkt goed te passen bij het doel (bv: een getal geeft altijd een snelheid aan, een rode rand geeft een limiet aan), maar het is een open vraag of de meerdere doelen die 1 signaalgever heeft in elk geval ook duidelijk is voor de weggebruiker.
- Het operationele domein dient goed gecommuniceerd te worden aan de weggebruiker (principe MM2 uit Lee et al., 2017). De matrixborden hebben een beperkt operationeel domein, namelijk een subset van de Rijkssnelwegen. De matrixborden staan niet op alle Rijkssnelwegen en ook niet op andere autowegen die wellicht oppervlakkig er (voor de gemiddelde weggebruiker) vergelijkbaar uitzien als snelwegen. Er is daardoor veel wisseling tussen situaties waar matrixborden de belangrijkste informatiedrager zijn en situaties (andere Rijkssnelwegen, andere autowegen) waar op andere informatie moet worden afgegaan. In het optimistische geval leren weggebruikers snel dat de matrixborden de consistente, betrouwbare informatiedrager van snelheid zijn. Zij leren op deze bronnen (boven anderen, zoals telefoons) te vertrouwen. Een aandachtspunt is dan om te zorgen dat weggebruikers weten wanneer ze het operationele domein (een specifieke Rijkssnelweg) verlaten en wat in een andere context de betrouwbare informatiedrager is. Merk op dat weggebruikers voor dergelijke informatie wellicht niet alleen afgaan op informatiedragers die juridische waarde hebben (nl: verkeersborden), maar ook op informatie op bv. in-car apparatuur en (apps op) hun telefoon. Zie ook uitleg over modusverwarring bij sectie 2.5.

³ In de praktijk vindt in het POSTMA-voorstel ook voor dit specifieke punt een verandering plaats van wat het symbool betekent. In het huidige gebruik geldt de snelheid op een AID als *snelheidslimiet*, zelfs zonder rode rand. Dat gaat in de voorgestelde situatie (waar matrixborden gebruikt worden om maximale snelheid met een rode rand permanent te tonen) rigoureuus veranderen: de door de AID aangegeven snelheid wordt een adviessnelheid en alleen de snelheden mét rode rand zijn dan snelheidslimieten. Oftewel: de verwachtingen van de weggebruiker moeten worden bijgesteld.

- Kan de “modus structuur” wellicht nog simpeler (principe MM4 uit Lee et al., 2017)? Naast de 4 doelen van de (matrix-)signaalgever kunnen er binnen de doelen voor AID en snelheidslimiet meerdere soorten snelheid worden aangegeven. Hierdoor zijn er veel mogelijke configuraties van symbolen op de matrixborden, en daarmee meerdere “modus structuren”. Een overweging is om te kijken of het mogelijk is om dit terug te brengen naar een kleinere, eenduidige set. Bijvoorbeeld een duidelijk signaal dat communiceert “U rijdt te hard” op momenten dat dat urgent is (zoals in Dynamic Speed Display Signs, zie ook sectie 2.6 en bv. Daniels en Focant, 2017). Dit sluit ook aan bij principe 16 uit Amershi et al (2019): communiceer de potentiële gevolgen van een actie van de gebruiker aan de gebruiker. Een kleinere, eenduidige set maakt het wellicht makkelijker voor de weggebruiker om de signalen te interpreteren.
- Het is belangrijk dat de technologie betrouwbaar is (principe MM5 uit Lee et al., 2017). Hierbij dient rekening gehouden te worden met uitzonderingssituaties. Wat gebeurt er bijvoorbeeld als een systeem uitvalt en er geen snelheid wordt aangegeven op de matrixborden? Doordat de manier waarop dan informatie aan de weggebruiker gecommuniceerd wordt anders is (namelijk: er ontbreekt informatie) kan dit het gedrag op de korte en lange termijn beïnvloeden (zie ook uitwerking bij vraag 2.5). Er dient daarom een plan te zijn voor hoe met dit soort situaties omgegaan wordt en daarbij dient ook rekening te worden gehouden met mogelijk lange-termijn gevolgen op menselijk gedrag.
- De technologie dient beleefd (genoeg) te zijn (principe MM5 uit Lee et al., 2017). Het is een open vraag hoe beleefd het wordt ervaren als er continue een snelheidslimiet aangegeven wordt. Het is moeilijk hier een objectief waardeoordeel aan te verbinden, maar dit is een aandachtspunt als de overheid niet wil worden gezien als norm en waarde overtredend (zie ook Amershi et al. 2019, punt 5).

1.6 Perspectief: Verkeerskunde

Vanuit de invalshoek van verkeerskunde zijn meerdere rijnsimulator studies gedaan naar de perceptie van veranderingen in verkeersborden in een Nederlandse verkeerscontext. Deze onderzoeken laten consistent zien dat weggebruikers wijzigingen die op borden worden aangegeven niet goed waarnemen. Dit betreft ook studies naar veranderingen in maximumsnelheden die aangegeven worden op borden boven de rijstrook in een snelwegstudie. Oftewel, studies die sterke vergelijking vertonen met het POSTMA-voorstel. Details van enkele kritische studies worden hieronder verder toegelicht.

Martens en Fox (2007) en Martens (2011) lieten proefpersonen herhaaldelijk een autorit rijden in een simulator (2007), of lieten videobeelden zien van een autorit door een Nederlands landschap (2011). Elke proefpersoon werd eerst bekend gemaakt met een consistente route (23 ritjes in simulator, 5 op tv). Daarna werd bij een laatste ronde een verkeersbord vervangen door een ander bord. De grote meerderheid van de proefpersonen nam deze verandering niet waar, in het bijzonder wanneer de verandering subtiel was (namelijk: een verandering op een voorrangsbord over welke straat voorrang heeft). De implicatie is dat veranderingen (zoals een verandering van snelheid) naar verwachting niet makkelijk opgemerkt worden door weggebruikers.

Bovenstaande studies betreffen echter situaties waar slechts één enkel bord vervangen is. In simulatiestudies van Harms en collega's werden series van borden aangeboden. Hoogendoorn, Harms, Hoogendoorn en Brookhuis (2012) vergeleken in een

simulatorstudie diverse ontwerpen en locaties van plaatsing van herhaaldelijk aangeboden snelheidsborden. Ze onderzochten hoe kijkgedrag, hartslag en snelheid van de auto varieerde tussen condities. Ze vonden de kortste fixatietijden als borden boven elke individuele rijstrook hangen (rond de 800-900 ms) en vonden dat fixatietijd korter is als borden elkaar sneller opvolgen (om de 500 m). Omdat dit systeem lijkt op het voorgestelde matrixbordensysteem, suggereert dit werk dat weggebruikers wellicht slechts kort naar borden boven de weg zullen kijken.

De proefpersonen van Hoogendoorn et al (2012) hielden zich echter niet aan de snelheidslimiet (d.w.z. de gemiddelde snelheid lag in de meeste conditie boven de snelheidslimiet). Het is onduidelijk welke individuele condities significant afwijken van de maximumsnelheid. Numeriek werd de laagste gemiddelde snelheid gemeten in een situatie waar roterende panelen per rijstrook werden aangeboden. In alle andere condities (inclusief: gesimuleerde elektronische borden/signaalgevers per rijstrook) was de gemiddelde snelheid rond of boven de toegestane snelheid. In eerste instantie lijken deze resultaten positief: de proefpersonen houden zich aan de snelheid. Echter, in deze studie werd een route slechts 1 keer gereden door proefpersonen, ze waren dus niet al bekend met de weg, zoals in de studies door Martens (2011; Martens en Fox, 2007). Zien ze snelheden ook over het hoofd als die tussentijds veranderen op een traject waar ze bekend mee zijn?

Dit is verder getest door Harms en Brookhuis (2016). Zij gebruikten een rijnsimulator set-up waarbij boven elke rijstrook van de snelweg een elektronisch bord stond dat de snelheidslimiet (inclusief rode rand) aangaf. Borden volgden elkaar frequent op. Net zoals in Martens en Fox (2007), reden de deelnemers een specifieke route meerdere keren om bekend te raken met de route en verkeersomgeving. Tijdens de laatste rit werd een waarde op de borden gewijzigd: dit keer werd de snelheid verhoogd van 80 km/h naar 100 km/h en dit werd op 4 opeenvolgende borden aangegeven over een traject van ongeveer 1.5 km⁴. Deze wijziging werd echter niet opgemerkt door 58% van de deelnemers.

Soortgelijk gaven Harms, Dijksterhuis, Jelijs, De Waard en Brookhuis (2019) informatie op tekstborden boven de weg. Wederom reden proefpersonen een rit meerdere dagen om bekend te raken met de route. Ook hier werd een veiligheidskritische instructie (namelijk: dat een weg dicht was) niet opgevolgd door ongeveer 20% van de proefpersonen.

Kortom, de verkeerskunde literatuur suggereert dat weggebruikers wijzigingen in snelheid die aangegeven worden op matrixborden niet altijd zullen waarnemen, vooral als ze bekend zijn met de route. De studies suggereren ook dat dit om een omvangrijke groep weggebruikers kan gaan: in alle studies betrof het meer dan de helft van de proefpersonen.

1.7 Samenvatting informatie over vraag 1

Samenvattend zitten er op het eerste gezicht positieve aspecten aan de invoering van matrixborden. Snelheidsinformatie is beschikbaar voor weggebruikers die daar actief naar op zoek zijn. Dit scheelt werkgeheugenbelasting, in het bijzonder als de informatie niet verandert (bv. als de snelheid consistent 100 km/h is). De informatie wordt aangeboden door een betrouwbare, gereguleerde bron, kan worden aangepast aan de actuele situatie (bv. bij filevorming) en is in het ontwerp consistent met hoe andere verkeersborden er uit

⁴ Dit is geschat op basis van Figuur 3 uit Harms en Brookhuis (2016), omdat de exacte afstand niet gerapporteerd is

zien. Een continue reeks aan consistente signalen kan bovendien aanzetten tot pro-actief snelheid minderen, wat vaak het gewenste effect is.

Echter, er zijn ook negatieve aspecten. Weggebruikers handelen niet altijd op basis van borden, maar ook op basis van andere factoren (bv de inrichting van de weg, bekendheid met de weg/route en hun verwachtingen). Ze negeren mogelijk de borden, of zijn zich niet bewust van veranderingen in de informatie op de borden (bijvoorbeeld veranderingen in maximumsnelheid). Eerder verkeerskundig onderzoek (ook in Nederland) suggereert dat dit om een grote groep weggebruikers kan gaan, zeker als zij zeer bekend zijn met de route. Door introductie van het permanent gebruik van matrixborden neemt het aantal signalen op de weg toe. Hierdoor ontstaat een setsize effect, wat tot gevolg heeft dat de tijd tot identificatie langer kan duren. Ook verandert de taak van de weggebruiker: in plaats van af en toe een bord/signaal *detecteren* ("is hier een snelheidsbord?"), moeten ze nu informatie van verschillende borden *discrimineren* ("is de snelheidslimiet anders dan eerder?"). Deze discriminatietask vereist continue aandacht en actief zoekgedrag. Dit is aandacht die niet naar de weg en het omringende verkeer kan gaan en daarmee mogelijk de verkeersveiligheid negatief beïnvloedt. Tot slot wijkt het nieuwe ontwerp af van de huidige norm, waarin informatievoorziening contextgebonden en contextrelevant is. Ook is er risico op modusverwarring als de informatie op de borden inconsistent is met informatie op andere informatiedragers zoals de mobiele telefoon, een in-car navigatiesysteem, of andere borden.

Er zijn ook een aantal overige aandachtspunten die gerelateerd zijn aan deze vraag en mogelijk meer onderzoek vereisen. Om opvallend te blijven is het essentieel dat signaalgevers alleen bij een afwijkende verkeerssituatie gebruikt worden, of er qua uiterlijk anders uit zien. Bijvoorbeeld, door flashers toe te voegen. Het is dan echter een empirische vraag of het veranderde snelheidssignaal met flashers nu niet te prominent wordt. In andere woorden: komen er niet nog meer -- of zelfs: te veel -- "toeters en bellen" langs de weg? Ook is het de vraag hoe duidelijk het voor weggebruikers is wat het operationele domein van de borden is en of de modus structuur nog simpeler kan.

Ons gewogen oordeel is daarom dat de voorgestelde situatie waarschijnlijk niet voldoende aansluit bij de verwachtingen van weggebruikers. Een samenvattend overzicht van alle bevindingen staat in het centraal inzichten overzicht aan het begin van dit document.

2 Vraag 2: Wat is de consistentie van begrip van snelheidslimiet?

De tweede vraag is of het voor weggebruikers op elk moment te begrijpen is wat de geldende snelheidslimiet is. Hierbij dient er rekening gehouden te worden met:

- (A) Kennis over het soort informatie dat signaalgevers bieden en de betekenis daarvan (bv “rode rand betekent limiet”, “flashers betekent een waarschuwing”)
- (B) Discrepanties met andere informatie in signaalgevers (AID, groene pijl, rood kruis, etc.), en mogelijk functieverlies van bestaande verkeersfuncties.
- (C) Discrepanties met andere informatiedragers (blikken borden, in-car, etc.)

2.1 Perspectief: Aandacht

Omdat aandacht nodig is om informatie uit de buitenwereld op te pikken, is het verplaatsen van aandacht naar de signaalgever een cruciale voorwaarde voor het begrip van de snelheidslimiet. Het is bij deze vraag dus vooral een kwestie of de problemen met de verwachtingen (zoals besproken in sectie 1.1) ervoor zullen zorgen dat de basisvoorwaarden voor begrip gerealiseerd worden.

2.2 Perspectief: Visueel zoeken

De situatie uit het POSTMA-voorstel heeft als voordeel dat op wegen met matrixborden de snelheid altijd boven de weg gevonden kan worden. Een voorwaarde om de snelheidslimiet consistent te kunnen begrijpen is dat weggebruikers alle relevante informatie ter beschikking hebben. Hiervoor is een goede waarneming essentieel. Het permanent tonen van de maximale snelheid als een getal met rode rand, zoals in het POSTMA-voorstel, is potentieel problematisch:

- 1) De rode rand kan er voor zorgen dat het getal moeilijker perifeer waar te nemen is, omdat de rand zorgt voor crowding (Pelli en Tillman, 2008).
- 2) Als de er een file ontstaat, wordt in het POSTMA-voorstel de maximale snelheidsaanduiding (met rand) vervangen door de nieuwe lagere maximale snelheid (zonder rand). De eerste afwijkende snelheid zal met flashers aangegeven worden. Hoe kan de weggebruiker de verlaagde snelheid tot zich nemen als dit eerste signaal gemist wordt (bijvoorbeeld als de weggebruiker net even de andere kant op kijkt)? Het zoeken naar een zoekdoel dat minder features (snelheid zonder rode rand) heeft, is minder efficiënt dan het zoeken naar een doel met een extra feature (search asymmetrie, zie Treisman en Souther, 1985). Is het signaal van de niet meer aanwezige rand sterk genoeg om de aandacht van de weggebruiker te trekken?
- 3) De set aanwezige potentiële zoekdoelen is groter in de nieuwe situatie omdat er altijd wat op het matrixbord getoond wordt (set size effect).

Deze mogelijke beperkingen aan waarneming beperken de mogelijkheid tot het opbouwen van consistent begrip van de snelheidslimiet.

2.3 Perspectief: Actieregulatie

Vanuit de invalshoek van actieregulatie is relevant dat een zekere opvallendheid van de signalen een eigen bijdrage zal leveren aan limiterende actieregulatie- dit punt wordt bij de derde vraag uitgewerkt (zie sectie 3.3). Een ander punt betreft discrepanties met andere informatie in signaalgevers (AID, groene pijl, rood kruis, etc.), en mogelijk functieverlies van bestaande verkeersfuncties. Door de focus op het reguleren van de snelheidslimiet is er

minder (cognitieve) ruimte om nog weer andere acties (bijv. noodzakelijke switch naar een andere rijstrook) te reguleren. Kan deze ruimte gerealiseerd door altijd per rijstrook één signaalgever te plaatsten? In die constellatie zal elke signaalgever of een “reguliere” maximum snelheid weergeven, of een aangepaste (beide met rode rand); of een AID-gelateerde 70 of 50 km/h, al dan niet met flasher; of een verdrijfpijl gevolgd door een rood kruis (groene pijlen zijn niet meer nodig). Deze invloed die de variëteit aan signalen in het POSTMA-voorstel heeft op het reguleren van actie heeft daardoor mogelijke gevolgen voor het handelen naar de snelheidslimiet.

2.4 Perspectief: Human Factors

Vanuit de invalshoek human factors zijn er tenminste drie ergonomische principes van belang met betrekking tot signaalgevers in het verkeer: 1) compatibiliteit, 2) familiariteit, en 3) standaardisatie. Hoe lager de complexiteit van de verkeersomgeving, hoe minder mentale belasting. Hoewel een lage mentale belasting niet noodzakelijk leidt tot een betere rijprestatie (cf., Stanton en Young, 2002), dient verwarring over wat een signaalgever betekent wel vermeden te worden. Dat betekent dat het ontwerp van een signaalgever zo ontworpen moet zijn dat er zo min mogelijk verwarring over de betekenis bestaat. De drie eerder genoemde principes van een goed ontwerp (compatibiliteit, familiariteit, en standaardisatie) dragen hier aan bij (cf., Dewart, 1988; Ben-Bassat en Shinar, 2006) en worden hieronder nader toegelicht.

Als een ontwerp consistent is, zorgt dit ervoor dat een gebruiker (bestuurder in dit geval) weet wat hij/zij kan verwachten. Indien het permanent tonen van maximumsnelheden altijd en overal op dezelfde wijze (dus altijd met een rode rand) gebeurt, sluit dit aan bij het ontwerpprincipe consistentie. Een aandachtspunt is in hoeverre aan dit principe wordt voldaan als ook file-waarschuwingen op dezelfde matrixborden wordt weergegeven; er zijn dan immers meerdere boodschappen en minder consistentie.

Een goed ontwerp dient daarnaast compatibel te zijn (cf. Shinar et al 2003). Dat wil zeggen dat de actie die opgewekt wordt door het ontwerp/signaal overeenkomstig is met de bedoelde actie. In het geval van een signaalgever betekent dat dat de interpretatie die een weggebruiker aan het signaal geeft, overeenkomt met de bedoelde betekenis. Doorgaans wordt een onderscheid gemaakt tussen spatiele compatibiliteit (i.e. fysieke gelijkens zoals pijlen) en conceptuele compatibiliteit (bijvoorbeeld interpretatie van symbolen, pictogrammen). De (conceptuele) compatibiliteit van de maximumsnelheid met rode rand is hoog, omdat een rode rand een (veelal internationaal) kenmerk is van een gebod.

Ook familiariteit heeft een belangrijke rol bij het begrijpen van signaalgevers. Waar in het verleden de snelheden op de matrixborden adviesnelheden waren, geven ze tegenwoordig de maximumsnelheid weer. Echter, ze worden zonder rode rand weergegeven en zijn daarmee een uitzondering ten opzichte van de Europese regels. Dat de snelheden in het POSTMA-voorstel met rode rand worden weergegeven, draagt bij aan de consistentie en familiariteit (van der Horst, 2012).

2.5 Perspectief: Mens-machine (en automatisering) interactie (HCI)

Vanuit het perspectief van mens-machine interactie (HCI) is de belangrijkste afweging dat een situatie met matrixborden kan leiden tot “modus verwarring”, misinterpretatie en afname van vertrouwen in het systeem en daardoor verkeerde reacties op informatie van

het systeem. Dit zijn problemen die veel voorkomen bij (deels) geautomatiseerde systemen en waarvan voorspeld is dat ze relevant zijn voor toekomstige (deels) geautomatiseerde systemen (zie sectie 3.2 uit Janssen, Donker, Brumby en Kun, 2019). Het algemene inzicht hier is dat de manier waarop een apparaat functioneert (ook wel: *modus*) niet altijd correspondeert met hoe de gebruiker van dat apparaat denkt dat het apparaat werkt (zie bv. Sarter en Woods, 1995 en Janssen, Boyle, Kun, Ju en Chuang, 2019 voor *modus* verwarring voor in-car situaties). Soortgelijk is het doel waar een apparaat (of een functionaliteit daarvan) ontworpen is niet altijd hetzelfde als het doel waar de (weg-)gebruiker het voor gebruikt. In het geval van de matrixborden geven de borden een snelheidslimiet aan en hebben ze een juridische basis (potentieel ontwerpdoel: snelheidsregulatie). Het is echter de vraag of de weggebruiker dit *begrijpt* en als dusdanig meeneemt in het *gebruik* (cf. Sarter en Woods, 1995). Dit wordt nu verder uitgewerkt.

De context van het matrixbordensysteem is dat gebruikers snelheidsinformatie uit verschillende bronnen kunnen halen: snelheidsborden (waarvan nu en in het POSTMA-voorstel ook: matrixborden), informatie op de radio en andere externe media, een in de auto ingebouwd navigatiesysteem en via (applicaties op) de mobiele telefoon. Niet elk van deze bronnen is in beheer van Rijkswaterstaat. Ze verschillen in de betrouwbaarheid van informatie en de frequentie waarmee ze informatie kunnen aanpassen. Verkeersnieuws op de radio is vaak 1 keer per uur, in-car navigatiesystemen vereisen soms actie van de gebruiker om te updaten (chip uit de auto nemen, software downloaden) en hebben soms structurele beperkingen voor het kunnen updaten van informatie (bv. kosten om te updaten, of infrequente mogelijkheden om dit te doen). Daarnaast hebben weggebruikers wellicht ook al eigen verwachtingen over hoe snel zij mogen rijden op wegen waar ze bekend zijn, of op basis van de omstandigheden (bijvoorbeeld het weer), zonder gebruik te maken van externe bronnen. Ze kunnen daarbij bijvoorbeeld afgaan op hun eigen verwachtingen, maar ook op de snelheid die andere weggebruikers aanhouden (die ook hoger kan liggen dan de maximumsnelheid).

De implicatie van deze gebruikscontext is dat de informatie die matrixborden geven inconsistent kan zijn met informatie die een gebruiker uit andere (externe) bronnen krijgt en met eigen (interne) verwachtingen. Gebruikers gaan wellicht af op hun eigen inschatting of kennis, of op andere informatiedragers die ze ook in andere contexten veel gebruiken en die in het verleden betrouwbaar waren. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de mobiele telefoon, die dynamische snelheden voor de Rijkssnelwegen én andere wegen kan aangeven en in specifieke situaties meer actueel is dan statische borden langs de weg (bv. bij filevorming).

Door deze potentiële conflicten tussen informatie op de matrixborden en andere bronnen past de informatie op de matrixborden wellicht niet bij het mentale model dat de weggebruiker heeft over de huidige snelheidslimiet (cf. MM1, MM2, MM4, MM5, Lee et al., 2017, en discussie daarvan bij vraag 1). Er is een kans dat weggebruikers de rol van de signaalgevers anders gaan interpreteren (*modus verwarring*, zie ook Sarter en Woods, 1996; Janssen, Boyle, Kun, Ju, en Chuang, 2019): bijvoorbeeld als een suggestie, in plaats van als een geldende limiet ("*Mijn telefoon, die in het verleden altijd gelijk had, geeft immers aan dat ik wel 100 mag rijden...*"). Door dit conflict is er een kans dat het vertrouwen afneemt in het systeem en dat het systeem minder gebruikt wordt; wat Parasuraman en Riley, "disuse" noemen (Parasuraman en Riley, 1997). Dit kan een vicieuze cirkel worden, waarin het matrixbordensysteem steeds minder vertrouwd en gebruikt wordt door de weggebruikers. Hoe omvangrijk dit probleem is, is op dit moment niet in te schatten.

Dit effect wordt versterkt doordat de matrixborden alleen boven een deel van de Rijkssnelwegen staan. In andere operationele contexten, zoals provinciale wegen, is deze informatiedrager er niet en is de subjectieve waarde van andere informatiedragers (bv. telefoon, navigatiesysteem, borden langs de weg) mogelijk hoger (cf. MM2 principe uit Lee et al., 2017). Dit vergroot het vertrouwen in deze alternatieve bronnen (trust) en daardoor potentieel het gebruik op meerdere plekken; dit verlaagt de kans dat de matrixborden als autoritaire bron worden gebruikt door alle weggebruikers. Merk wederom op dat het een open vraag is of in dit soort gevallen de juridische waarde (of het doel waarmee het systeem ontworpen is) van de informatiedrager leidend is (in welke geval door de overheid geplaatste borden leidend zijn). Afgaand op andere domeinen, is wellicht vooral de bekendheid van de gebruiker met die informatiebron (bv. telefoon, navigatiesysteem) leidend, omdat hun mentale model niet altijd overeenkomt met de modus van het systeem (Sarter en Woods, 1995).

Naast de hiervoor genoemde kritische kanttekeningen zijn er nog enkele andere aandachtspunten die voortvloeien uit de principes uit Appendix 1 en 2 . Bij invoering dient hier echter verder over nagedacht te worden:

- Weggebruikers dienen te weten wat de matrixborden wel en niet kunnen en of ze wel of niet in gebruik zijn, in het bijzonder tijdens storingen (cf. principe A6 uit Lee et al., 2017; principe 2 uit Amershi et al., 2019). Voor de gebruiker zal het niet altijd duidelijk zijn wanneer er een storing is. Mag hij of zij dan afgaan op andere bronnen (bv. telefoon, navigatiesysteem)? Het mogelijke probleem is dan dat dit de subjectieve waarde die deze andere bronnen bieden vergroot en daardoor het vertrouwen en de bereidwilligheid om in andere situaties op de informatie op matrixborden af te gaan mogelijk verlaagt (“disuse”; Parasuraman en Riley, 1997).
- Er dient nagedacht te worden over hoe de weggebruiker op een effectieve manier blijvend geïnformeerd kan worden, en waar nodig getraind, over de correcte interpretatie van de signalen (cf. principe O6 uit Lee et al., 2017). Dit is in het bijzonder belangrijk tijdens de introductie van het systeem op nog maar een deel van de wegen en in verloop van tijd als de nieuwheid er voor frequente chauffeurs van het traject vanaf is. Hoe blijven deze weggebruikers langdurig “bij de les”? Het mogelijke probleem zit er hier in dat alhoewel een nieuw systeem in het begin wellicht nog veel aandacht en interesse van de gebruiker trekt, dat deze “nieuwheidswaarde” er over tijd vanaf gaat en daarmee mogelijk ook de aandacht voor de informatie op de borden. Dit heeft wederom invloed op vertrouwen en op “use” en “disuse” (Parasuraman en Riley, 1997).
- Er dient aandacht te zijn voor de bredere organisatorische consequenties van introductie van het systeem, bijvoorbeeld ook voor andere weg-instanties en -autoriteiten (cf. principe O15, Lee et al., 2017). Het gebruik van matrixborden boven de weg heeft potentieel ook gevolgen voor wegen waar die niet zijn, zoals andere Rijkswegen en provinciale en lokale wegen. Hoe wordt afstemming met de corresponderende instanties/autoriteiten bereikt? Als we uitgaan van een positieve situatie – waar de weggebruiker de matrixborden vertrouwt en correct gebruikt – dan mist deze gebruiker de borden wellicht op andere wegen. Hoe weet de gebruiker dat hij/zij weer op andere informatie af moet/mag gaan? Hoe kunnen andere instanties/autoriteiten hierop inspelen? Wederom is goede afstemming nodig om de informatievoorziening naar weggebruikers consistent te houden tussen verschillende contexten.

- Ook vanuit de organisatie dient er een plan te zijn voor als er iets fout gaat in het systeem, bijvoorbeeld door een storing (cf. principes 8, 9, 10 uit Amershi et al. 2019). Dergelijke situaties kunnen zowel op de korte als lange termijn invloed hebben op het gedrag van de weggebruiker. Specifiek dient nagedacht te worden over deze vragen: Hoe kan een (foute) actie geannuleerd worden (Amershi, punt 8), hoe kan iets hersteld worden (punt 9) en onder welke omstandigheden is het noodzakelijk om de functionaliteit van de borden beperkter te maken (punt 10)? En wat voor gevolgen heeft dit op de korte termijn (bv. onduidelijkheid over snelheidslimiet) en lange termijn (bv. disuse van informatie van borden, cf. Parasuraman en Riley, 1997). Kleine foutjes en ongeregelheden kunnen hier wellicht grote gevolgen hebben, wederom wat betreft het vertrouwen dat de eindgebruiker in het systeem heeft en mogelijke (modus) verwarring die daar uit volgt.

2.6 Perspectief: Verkeerskunde

Vanuit de invalshoek van verkeerskunde kan er gekeken worden naar toepassingen van variable message signs (VMS): borden boven of naast de weg waarop op een dynamische manier informatie kan worden gegeven. Het concept uit het POSTMA-voorstel is een voorbeeld van een dergelijk systeem. Ook nu worden in Nederland al VMS'en gebruikt voor filestaartwaarschuwing, of het sluiten van een rijstrook. Alhoewel de situatie zoals in het POSTMA-voorstel niet is onderzocht, kan er wel gekeken worden wat inzichten zijn uit evaluatie van andere VMS systemen.

In Nygårdhs en Helmers (2007) en Nygårdhs (2011) zijn twee reviews gerapporteerd van meerdere veldstudies naar VMS systemen uit de periode 2000-2009⁵, met name in Europa. Tussen studies verschilt het op wat voor soort wegdek een VMS wordt toegepast (bijvoorbeeld op de snelweg of op een landelijke weg) en waarvoor ze worden ingezet (bijvoorbeeld snelheidslimiet of waarschuwingsboodschap). In alle gevallen gaat het om systemen waar een boodschap slechts enkele keren wordt gegeven, dus niet een consistente snelheidslimiet zoals voorgesteld in het POSTMA-voorstel. De consistente bevinding wat betreft VMS-systemen die een snelheidslimiet aangeven is dat een groot deel van de weggebruikers de (snelheids-) informatie op deze systemen begrijpt, maar dat er dan geen extra waarschuwingen moeten zijn en dat de snelheidslimiet moet passen bij de verkeerscontext (bijvoorbeeld weersomstandigheden of wegtype), omdat de snelheidslimiet anders niet wordt opgevolgd (Nygårdhs en Helmers, 2007; Nygårdhs, 2011). Schirokoff en Vitikka (2002; geciteerd door Nygårdhs en Helmers, 2007) herleiden bovendien uit interviewstudies met 550 weggebruikers dat vooral bij oudere weggebruikers het af en toe *onduidelijk* is wat een VMS (die een snelheidslimiet aangeeft) precies betekent. Oftewel: invoering van een nieuw type verkeersbord of -signaal, of een nieuwe manier waarop de bestaande signalen/borden gebruikt worden, is niet per definitie voor iedereen onmiddellijk duidelijk, wat negatieve consequenties voor de opvolging en veiligheid kan hebben.

Een aanbeveling die Nygårdhs (2011) doet is om VMS'en voor snelheidslimieten alleen aan te zetten als weggebruikers de maximumsnelheid overschrijden. Dit sluit aan bij de inzet van een ander type systemen in verkeerscontexten: Dynamic Speed Display Signs (DSDS). In dergelijke systemen wordt de snelheid van weggebruikers gemeten en dynamisch weergegeven, mogelijk met ook een boodschap er bij (bv. om te bedanken of aan te

⁵ In veel gevallen gaat het om rapportages waar geen Nederlands- of Engelstalig rapport beschikbaar is. Voor een samenvattend oordeel is daarom afgegaan op de interpretatie van Nygårdhs.

moedigen om af te remmen), of andere symbolen zoals smileys. In sommige gevallen worden dergelijke DSDS'en ook vergezeld door weergave van de snelheidslimiet. Daniels en Focant (2017) vatten recente studies en praktijkproeven naar DSDS'en samen. De consistente bevinding is dat DSDS systemen leiden tot een verlaging van de gemiddelde snelheid (gemiddelde verlaging tussen de 1 en 10 km/h) en van de snelheid die door het 85^{ste} percentiel wordt aangehouden (d.w.z.: een groep van naar schatting tenminste 85% van de verkeersdeelnemers verlaagt de snelheid). Echter, een recentere studie laat zien dat weggebruikers zich beter aan de snelheidslimiet houden als er *af en toe* een DSDS systeem is, in vergelijking met wanneer deze elkaar opvolgen (in de studie: 2 km; Siev en Klinger, 2019). Dit suggereert dat herhaald gebruik van een dynamisch systeem niet per se leidt tot een situatie waar meer weggebruikers zich aan de snelheid houden. Alhoewel het POSTMA-voorstel bestaat uit meer dan twee opeenvolgende borden, is ook hier een aandachtspunt dat mensen mogelijk door het herhaald gebruik van signalen zich wellicht juist minder goed aan de snelheidslimiet houden. Of dit ook daadwerkelijk zo is zou gemeten moeten worden.

2.7 Samenvatting informatie over vraag 2

Samenvattend is het mogelijke voordeel van het POSTMA-voorstel dat de manier van informatie weergeven de compatibiliteit, familiariteit en standaardisatie vergroot (bv: vormgeving is vergelijkbaar met die van blikken borden, ook op Europees niveau). De informatie is beschikbaar voor weggebruikers die het zoeken.

Er zijn meerdere nadelige gevolgen van het POSTMA-voorstel geïdentificeerd. Ten eerste is er geen consistentie tussen snelheidsweergave op verschillende wegen (zowel tussen Rijkssnelwegen en niet-Rijkssnelwegen, als tussen verschillende Rijkssnelwegen). Alleen op een subset van de Rijkssnelwegen wordt de informatie via matrixborden aangegeven, op andere Rijkssnelwegen op andere manieren. Op de wegen waar de matrixborden worden gebruikt voor maximumsnelheidsaanduiding worden verschillen tussen opeenvolgende borden (bv. een verandering in maximumsnelheid) minder opvallend. Door de rode rand is het bovendien minder makkelijk om de snelheid perifeer waar te nemen (i.v.m. crowding). Doordat de informatiedragers meer doelen gaan faciliteren is het mogelijk verwarrend voor de gebruiker welk doel de matrixdrager op elk moment heeft. Dit vermindert ook het algemene ontwerpprincipes van streven naar consistentie. Ook kan de aangeboden informatie af en toe inconsistent zijn met informatie op andere informatiedragers (bv. mobiele telefoon, in-car navigatiesysteem) en eigen ervaringen. Het mogelijke gevolg van deze situaties is dat weggebruikers in de war kunnen raken en informatie op sommige informatiedragers minder gaan vertrouwen en daardoor minder gebruiken in hun besluitvorming en gedrag. Doordat matrixborden niet op elke weg beschikbaar zijn, maar andere informatie (bv. in-car navigatie, telefoons, andere weggebruikers) wel en ze daardoor in meer situaties positieve ervaring opdoen met deze andere bronnen, is er een kans dat de informatie die op de matrixborden wordt aangeboden minder vertrouwd wordt en dat men juist op de andere informatiebronnen afgaat (die wellicht niet juridisch, maar wel in de beleving van de weggebruiker, betrouwbaar en consistent zijn). Hierdoor wordt de aangeboden informatie op de matrixborden mogelijk vaker genegeerd.

Er kunnen ook lessen geleerd worden uit andere, deels vergelijkbare verkeerssystemen (andere VMS'en en DSDS). Die laten zien dat weggebruikers als reactie op een (signaal over een) snelheidslimiet wel hun snelheid verlagen, maar zich niet per se aan de geldende snelheidslimiet houden. Bovendien zijn deze systemen vooral effectief als ze

niet frequent worden gebruikt en vooral wanneer een weggebruiker te hard rijdt. Dit is wezenlijk anders dan het POSTMA-voorstel dat (vrijwel) permanent en frequent de snelheidslimiet aangeeft.

Een gecombineerd inzicht over meerdere perspectieven heen (i.h.b. visueel zoeken, actie regulatie, human factors en verkeerskunde) is de moeilijke balans over wanneer het zinvol is om een extra signaal (over de snelheidslimiet) toe te voegen. Doordat er altijd een snelheidslimiet is, is er een extra signaal (bv. flashers) nodig om een afwijkend signaal (bv. verlaging van de maximumsnelheid) te laten opvallen. Studies van VMS en DSDS-systemen laten echter zien dat het toevoegen van extra informatie (vaak: meer borden) aan deze systemen juist niet bijdraagt aan de effectiviteit van dergelijke systemen. Een mogelijke valkuil hierbij is dat het toevoegen van extra signalen resulteert in steeds meer borden en signalen langs de weg, wat de verkeerssituatie nóg onduidelijker maakt. Ouderen in het bijzonder zijn een doelgroep waar dit onduidelijk voor kan zijn.

Er zijn ook een aantal overige aandachtspunten die gerelateerd zijn aan deze vraag en mogelijk meer onderzoek vereisen (zie de individuele secties voor verdere toelichting). De weggebruiker dient te weten wat de borden wel en niet kunnen. Er dient een plan te zijn voor (incidentele) storingen en aandacht voor de mogelijke gevolgen daarvan op de korte en lange termijn op gedrag van de weggebruiker. De weggebruiker dient op een effectieve manier blijvend geïnformeerd te worden over de correcte interpretatie van signalen. Ook dient er aandacht te zijn voor de bredere organisatorische consequenties van invoering van het systeem, inclusief consequenties voor andere weginstanties en -autoriteiten. De reden om over deze aspecten goed na te denken is dat een verkeerde invulling kan leiden tot het schaden van het vertrouwen dat de weggebruiker heeft in het matrixborden systeem. Beschadiging van het vertrouwen vergroot de kans dat de aangeboden informatie genegeerd wordt.

Ons gewogen oordeel is daarom dat de situatie uit het POSTMA-voorstel waarschijnlijk niet voldoende consistentie vertoont voor weggebruikers. Een samenvattend overzicht van alle bevindingen staat in het centraal inzichten overzicht aan het begin van dit document.

3 Vraag 3: Wat is de bereidheidwilligheid om aan de limiet te houden?

De derde vraag is of weggebruikers *bereidwillig* zijn zich aan de snelheidslimiet te houden. Hierbij kan ingegaan worden op de gerapporteerde beleving (zowel van snelheidsinformatie algemeen als specifiek voor de weergave van de maximumsnelheid in signaalgevers) en daaraan gekoppelde andere aspecten zoals de geloofwaardigheid van de boodschap en of weggebruikers zich willen en kunnen houden aan de snelheidslimiet.

3.1 Perspectief: Aandacht

Hier valt vanuit de invalshoek aandacht niets over te zeggen.

3.2 Perspectief: Visueel zoeken

Hier valt vanuit de invalshoek visueel zoeken niets over te zeggen.

3.3 Perspectief: Actieregulatie

Vanuit de invalshoek van actieregulatie is het volgende relevant. "Bereidheid" (en daarmee ook bereidwilligheid) heeft alles te maken met het anticiperen van de cruciale informatiebron (de matrixborden), en het adopteren van een proactieve strategie in relatie hiertoe (zie antwoord bij vraag 1, sectie 1.3). Dat soort bereidheid kan echter versterkt worden door op de goede manier de opvallendheid van de signalen te variëren. Denk hierbij aan bijv. flashers, maar ook verandering in kleur of vorm tussen opeenvolgende signalen, juist als de boodschap als zodanig gelijk blijft.

Dat werkt als volgt. Opvallendheid (ook wel 'novelty' of 'saliency') leidt tot een zekere globale inhibitie van het motorisch systeem, binnen een paar honderd milliseconden (Wessel en Aron, 2013, 2017). Dat geldt zelfs al voor een voortdurend heen en weer (terug) veranderen van een irrelevante stimuluseigenschap (bijv. de kleur van een snelheidsaanduiding) (Pashler en Baylis, 1991). Deze kortstondige "neurale bevrozing" is zeer instrumenteel bij limiterende actieregulatie, zoals gebleken is uit inmiddels talloze experimenten (Kenemans, 2015). Een voorbeeld daarvan zijn de eerder genoemde stop/change situaties, waarbij opvallendheid van het stop-signaal zich direct vertaalt in de snelheid waarmee het stop-proces wordt geïnitieerd en afgewikkeld. Daarbij komt ook nog eens dat er een positief verband is tussen de intensiteit van de bevrozing en de snelheid en accuratesse van de daarop volgende actie (bijvoorbeeld in een stop/ change context) (Roelofs, 2017).

Bevrozing, als gevolg van opvallendheid, kan dus de bereidheid versterken als het gaat om limiterende actieregulatie. Daar waar wenselijk kan de bevrozing opgeroepen worden, door bijvoorbeeld bij elke volgende signaalgever een andere vorm van de rode omranding te kiezen. Flashers hebben van zichzelf al meer een bevrozende eigenschap. Daar waar de signalen niet limiterend van aard zijn (bijvoorbeeld als een verhoging van de maximumsnelheid aangegeven wordt), kan de opvallendheid worden weggelaten, tenzij het wenselijk is dat ook deze signalen een zeker limiterend karakter behouden.

3.4 Perspectief: Human Factors

Vanuit invalshoek human factors zijn er (naast aspecten genoemd in sectie 1.4 en 2.4) tenminste twee principes van belang met betrekking tot bereidwilligheid van de bestuurder

om zich aan de snelheidslimiet te houden: 1) kunnen, en 2) willen. Bestuurders verschillen in persoonlijkheden, ervaring, competentie, en motivatie wat betreft de interactie met de verkeersomgeving (e.g., Mian en Jaffry, 2020). Zo wil het feit dat informatie aanwezig is, gezien wordt en begrepen wordt, niet betekenen dat de bestuurder ook het gewenste gedrag vertoont. De weggebruiker zal zich aan de snelheidslimiet houden als hij/zij dit zinvol vindt.

Een voorbeeld waaruit blijkt dat waargenomen informatie soms bewust niet wordt opgevolgd is rood-kruis negatie. Bestuurders negeren daarbij soms bewust het rode kruis, ook als ze het wel hebben waargenomen (e.g., Nispeling 2020a, 2020b; zie ook sectie 3.6 en Stoelhorst et al., 2010 voor andere voorbeelden van het niet consistent handelen met informatie op verkeersborden). Dit geldt ook voor het bewust negeren van rood licht door voetgangers. Bij het negeren van signaalgevers spelen verschillende factoren een rol. In het geval van rood-licht-negatie heeft het al dan niet aanwezig zijn van andere weggebruikers een effect op het gedrag (e.g., Brosseau, Zangenehpour, Saunier, en Miranda-Moreno, 2013; Diependale 2019; Rosenbloom, 2009), denk bijvoorbeeld aan het wachten voor een rood verkeerslicht op een leeg kruispunt. Daarnaast, spelen andere factoren (zoals bijvoorbeeld leeftijd, vermoeidheid, persoonlijkheid, en gebruik van verdovende middelen) een rol bij het (niet) kunnen of willen opvolgen van signaalgevers (e.g., Petridou en Moustaki, 2000).

Geloofwaardigheid van een signaalgever speelt een belangrijke rol bij het (willen) opvolgen van het signaal. Als een eerder vertoond signaal/boodschap op bijvoorbeeld een matrixbord niet relevant was, is de bereidwilligheid om een daaropvolgend relevant signaal op te volgen minder groot (Thomas en Charlton, 2020). Ander onderzoek laat zien dat bestuurders minder geneigd zijn zich aan de snelheid te houden als ze deze niet geloofwaardig of zinvol vinden als gevolg van bijvoorbeeld de weginrichting en drukte (Goldenbeld en van Schagen, 2007; Lee et al., 2017; Yao, Carsten, en Hibberd, 2020). Denk bijvoorbeeld aan 100 km/h rijden op een 4-baansweg met weinig verkeer.

3.5 Perspectief: Mens-machine (en automatisering) interactie (HCI)

Vanuit het perspectief van mens-machine interactie (HCI) is het niet mogelijk om exact in te schatten hoe bereid weggebruikers zijn om zich aan de snelheidslimiet te houden zonder empirisch onderzoek. In het algemeen geldt voor de invoering van nieuwe systemen dat eindgebruikers gevraagd kan worden naar hun wensen, maar dat zij niet altijd even goed zijn in het voorspellen van de impact die een nieuwe technologie heeft op hun leven⁶. Bovendien is de ironie van het invoeren van automatisering (Bainbridge, 1983) dat techniek vaak anders gebruikt wordt dan wat de ontwerper als intentie had. Techniek die bedoeld is om een situatie veiliger te maken kan ook onveilig uitpakken. Alhoewel de matrixborden zelf niet nieuw zijn, is de manier waarop ze ingezet worden in het POSTMA-voorstel wel heel anders dan het huidige gebruik. Vanuit dat perspectief is het als een nieuw systeem te benaderen.

Wat bekend is, is dat ook in het huidige verkeerssysteem er bewuste snelheids-overtreders zijn (e.g., Nispeling 2020a, 2020b; Stoelhorst, Schreuder, Polderdijk, Harms,

⁶ Dat techniek anders gebruikt wordt dan mensen initieel denken blijkt ook uit enkele anekdotische voorbeelden. Bijvoorbeeld deze interviewserie uit 1998 over of mensen een mobiele telefoon willen, wat een grote meerderheid niet wil: <https://www.youtube.com/watch?v=TNwhIHqM60g>. Soortgelijk werden de eerste grafische gebruikers interfaces (GUIs) ook niet meteen enthousiast ontvangen (zie een niet geheel objectieve omschrijving hier: <https://www.wired.com/1997/12/web-101-a-history-of-the-gui/>). De gedachten destijds tijdens invoering passen niet bij de huidige praktijk van gebruik.

Kessels, de Klerk, en Stembord, 2010, zie ook sectie 3.6). Omdat dit een bewust handelen is, is het onwaarschijnlijk dat herhaald herinneren aan een snelheidslimiet op zichzelf tot een afname leidt in het aantal bewuste overtredingen. Mogelijk kan invoering van matrixborden met daarop de maximumsnelheid gevolgen hebben voor onbewuste snelheidsovertredingen: weggebruikers die wellicht op zoek zijn naar snelheidsinformatie en onzeker zijn of die informatie er is. Echter, de toelichting op eerdere vragen geeft ook aan dat weggebruikers de informatie die geboden wordt wellicht niet volledig vertrouwen en niet op basis van die informatie handelen.

In dit kader zijn de volgende richtlijnen van Amershi et al (2019) relevant voor verdere aandachtspunten:

- Mensen veranderen in hun gedrag over de tijd. Er dient aandacht te zijn voor hoe het bredere systeem (zowel techniek als organisatie er omheen) hier van kan leren (cf. principe 13). De afweging is dat als menselijk gedrag zich aanpast aan de nieuwe situatie, observaties die in het begin gedaan zijn (over bv. het volgen van maatregelen) wellicht niet meer opgaan. Denk bijvoorbeeld ook aan onderzoek over hoe weggebruikers wijzigingen in verkeersinformatie soms over het hoofd zien als ze heel bekend zijn met een route (e.g., Harms en Brookhuis, 2016; Martens en Fox, 2007; Martens, 2011). Om hier op in te spelen is onze aanbeveling om na te denken over systematische manieren om het (veranderen van het) gedrag van de weggebruiker te meten en op een systematische manier de techniek aan te passen aan de hand van de uitkomsten van deze metingen.
- Bij het doorvoeren van systeem veranderingen dient er aandacht te zijn voor de snelheid en fijnmazigheid waarmee veranderingen doorgevoerd worden (cf. principe 14). Voor de betrouwbaarheid van een systeem is het relevant dat aanpassingen niet altijd abrupt zijn. Als ze wel abrupt zijn, moet het voldoende duidelijk worden gemaakt aan de gebruiker dat die veranderingen zijn gemaakt en wat de implicaties voor de weggebruiker zijn. Het is aan te bevelen om na te denken over een goede balans tussen gradueel en fijnmazig en abrupt waar nodig in het invoeren van wijzigingen.
- Hierbij dient er ook aandacht te zijn voor feedback van de weggebruiker (cf. principe 15). Alhoewel dit principe in de context van Amershi's principes wordt gezien als het bijsturen van een eigen "lerend systeem", is dit in een andere vorm ook van toepassing op een door de overheid ingevoerd systeem. Zorg er voor dat gebruikers op een eenvoudige, duidelijke manier hun beleving van het systeem kunnen aangeven. De reden is dat meerdere "stakeholders" invloed hebben op aspecten van het systeem en interpretatie van resultaten (bv. of weggebruikers te hard rijden, of boetes uitgedeeld moeten worden). Kleine aanpassingen op één plek van het systeem kunnen (onverwachte) gevolgen hebben op andere plekken.

3.6 Perspectief: Verkeerskunde

Vanuit de invalshoek van verkeerskunde kan er als eerste afgegaan worden op resultaten uit het Nederlandse Dynamax onderzoek, waar dynamische snelheidsaanduidingen zijn toegepast in vier praktijkproeven. In onze samenvatting van dit onderzoek gaan we af op de eindverslagen van TNO naar (verandering in) verkeersgedrag (Burgmeijer, Eisses, Hogema, Jonkers, van Ratingen, Wilink, Bakri en Vonk, 2010) en het eindverslag van het consortium (Stoelhorst, Schreuder, Polderdijk, Harms, Kessels, de Klerk, en Stembord, 2010), waar ook resultaten uit focusgroepen besproken worden. De meest relevante resultaten zijn die van

proeven op de A12 (Bodegraven-Woerden) en A58, omdat hier een snelheidsverlaging (en daardoor: limiet) werd toegepast.

Op de A12 werd een verlaging van 120 km/h naar 60 km/h toegepast bij files en van 100 km/h naar 80 km/h bij hevige regenval. Op de A58 werd de snelheid van 120 km/h verlaagd naar 80 km/h in verband met een milieu-eis. De resultaten van TNO-onderzoek (Burgmeijer et al., 2010) laten zien dat op de A12 de gemiddelde snelheid omlaag was gegaan in reactie op de borden (oftewel: op de korte termijn) en dat zo'n 60-80% van de weggebruikers zich aan de snelheidslimiet hield. Op de A58 lag de gemiddelde snelheid echter zo'n 10 tot 25 km/h *boven* de nieuwe snelheidslimiet (oftewel: 90-105 km/h); slechts 10-30% van de weggebruikers hield zich aan de nieuwe limiet. Ook duurde het enige tijd (15-20 minuten) nadat de borden waren ingeschakeld voordat weggebruikers zich aan de limiet hielden. Onze interpretatie van deze verschillen is dat in de A12 situatie de verkeerscontext consistent is met de snelheidsverlaging (er is een file of slecht weer), terwijl de reden *waarom* er snelheidsverlaging op de A58 minder duidelijk/zichtbaar was voor de weggebruiker. Oftewel, net zoals bij ander VMS-onderzoek buiten Nederland (Nygårdhs en Helmers, 2007; Nygårdhs, 2011; zie sectie 2.6), en zoals aangegeven vanuit Human Factors principes (zie sectie 3.4) en aandacht (zie sectie 1.1) is het plaatsen van borden niet genoeg om ook tot een gedragsverandering te leiden. De limiet moet passen bij de verkeerscontext.

Dit sluit ook aan bij gerapporteerde resultaten uit de focusgroepen van het Dynamax onderzoek (Stoelhorst et al., 2010). De deelnemers aan de focusgroepen gaven aan dat ze zich minder goed aan de snelheidslimiet houden als de verkeerscontext niet lijkt te passen bij de snelheidslimiet (bv. als het rustig genoeg lijkt om harder te kunnen rijden, of als het niet duidelijk is dat er smog is). Er was het meeste draagvlak voor de inzet van dynamische borden voor een *snelheidsverhoging* en het minste draagvlak (64%) voor een snelheidsverlaging i.v.m. luchtkwaliteit (zoals op de A58). Een aantal focusgroepleden gaf ook aan dat ze hun snelheid vooral aanpassen aan andere weggebruikers. Omdat die zich niet altijd aan de maximumsnelheid houden, doen zij dat ook niet altijd. Een interpretatie van resultaten uit het Dynamax onderzoek in het licht van het POSTMA-voorstel is daarom dat het tone van extra informatie over de snelheidslimiet op zichzelf geen garantie is dat weggebruikers zich aan de snelheidslimiet houden. Er zijn zelfs sterke aanwijzingen dat niet iedere weggebruiker zich (tijdig) aan (verlagingen van) snelheidslimieten zal houden.

In het TNO-rapport over het Dynamax systeem staan ook twee aanbevelingen die aansluiten bij eerdere inzichten in ons rapport, specifiek dat er nagedacht wordt over de organisatorische context (in Dynamax rapport: dat verkeersleiders goed weten hoe de systemen werken, zie Burgmeijer et al., 2010, pagina 4) en dat informatie duidelijk gedeeld moet worden met chauffeurs inclusief waar mogelijk door het aanbieden van informatie via in-car devices, naast het aanbieden op de weg. Zie ook sectie 2.5 uit ons rapport.

De Nederlandse resultaten zijn ook consistent met eerder gerapporteerde internationale bevindingen (zie sectie 2.6) rondom Variable Message Signs (Nygårdhs en Helmers, 2007; Nygårdhs, 2011) en Dynamic Speed Display Signs (DSDS, bv. Daniels en Focant, 2017). Daarnaast zijn er verschillende mathematische modellen ontwikkeld op basis van verkeersdata om de effectiviteit van DSDS systemen te schatten (Ardehshiri en Jeihani, 2014). Een belangrijke conclusie uit dit werk is dat weggebruikers hun snelheid tijdelijk verlagen als ze een DSDS passeren, maar dat hun snelheid enige tijd na het passeren van een DSDS weer omhoog gaat. Bovendien is er in veel gevallen enkel een verlaging van de snelheid, maar ligt die nieuwe gemiddelde snelheid niet per se onder of rond de snelheidslimiet. Een mogelijk

risico hierbij is dat er snelheidsverschillen ontstaan op de weg tussen verschillende weggebruikers, met daaraan gekoppeld risico op schokgolven.

Kortom, de verkeerskundige studies laten een consistent beeld zien. Als weggebruikers de verkeersinformatie (boven de weg) waarnemen, *dan* verlaagt een deel van de weggebruikers de snelheid. Weggebruikers zien deze informatie echter ook vaak over het hoofd (zie ook hoofdstuk 1, in het bijzonder sectie 1.1, 1.2 en 1.6). Bovendien (1) wordt de snelheid pas verlaagd als de verkeerscontext ook de indruk geeft dat de verlaagde snelheid past bij de verkeerssituatie, (2) houden niet alle chauffeurs zich aan de maximumsnelheid, en (3) houden weggebruikers zich minder aan de snelheidslimiet zodra de borden (tijdelijk) verdwijnen (bijvoorbeeld omdat ze de Rijkssnelwegen verlaten).

3.7 Samenvatting informatie over vraag 3

Samenvattend is de verwachting dat de bereidwilligheid van weggebruikers om zich aan de snelheidslimiet te houden laag is. Voor weggebruikers die het zinvol vinden om zich aan de snelheid te houden is er wellicht eerder bereidwilligheid om dat te doen, wat kan helpen bij het verminderen van onbewuste snelheidsovertredingen.

De aanwezigheid van een informatiedrager wil niet betekenen dat weggebruikers ook het gewenste gedrag vertonen. Andere persoonlijke factoren en omstandigheden (zoals bv leeftijd, vermoeidheid, persoonlijkheid, en gebruik van verdovende middelen) kunnen een rol spelen bij het wel of niet *kunnen* of *willen* opvolgen van signaalgevers. Weggebruikers zijn minder geneigd om zich aan een snelheidslimiet te houden als het in hun beleving niet aansluit bij de verkeerscontext. Denk hierbij aan de subjectieve beleving van de weginrichting en drukte, en van de snelheid van andere weggebruikers. In het Nederlandse Dynamax onderzoek werd in dergelijke situaties gevonden dat slechts 10 tot 30% van de weggebruikers zich aan de snelheidslimiet hield. Bovendien duurde het in dat onderzoek soms een lange tijd (15-20 minuten terwijl de borden aan waren) voordat weggebruikers hun snelheid hadden aangepast aan een aangepaste snelheidslimiet. Bovendien hield dan nog steeds niet altijd iedereen zich aan de geldende snelheidslimiet. Weer ander onderzoek laat zien dat als weggebruikers hun snelheid verlagen in reactie op dynamische borden, dat dit dan vaak slechts tijdelijk is. Als op latere stukken weg snelheidsborden ontbreken, dan verhogen ze hun snelheid weer. Dit kan leiden tot snelheidsverschillen op de weg tussen verschillende weggebruikers. Tot slot is bekend dat er een “ironie van automatisering” is: de invoering van een nieuwe techniek kan menselijk gedrag sterk veranderen. Positieve intenties bij het ontwerp van de nieuwe technologie leiden niet altijd tot positieve verandering in het gedrag van mensen. In dit geval: de intentie om de matrixborden in te zetten voor het reguleren van de snelheid op de weg hoeft niet te leiden tot daadwerkelijk aanhouden van de snelheidslimiet door de weggebruiker. In deze context kan er ook nagedacht worden of dit past bij Nederlandse normen en of het continue tonen van een snelheidslimiet ook als beleefd wordt gezien (zie ook sectie 1.5).

Er zijn ook een aantal overige aandachtspunten die gerelateerd zijn aan deze vraag en mogelijk meer onderzoek vereisen. De nieuwe techniek kan menselijk gedrag veranderen en dit kan anders zijn dan geanticipeerd was. Het dient daarom gevolgd te worden en het systeem dient hier gradueel op aangepast te worden. Hierbij dient ook feedback van de weggebruiker meegenomen te worden. Als een signaal er dan toch uit moet springen, dan moet vanuit een actieregulatie perspectief hier juist een extra opvallende component aan

worden gestopt. De vraag is echter of dit wenselijk is. Afgaand op samenvatting van vraag 2, waarschijnlijk: nee.

Ons gewogen oordeel is daarom dat in de voorgestelde situatie de bereidwilligheid om aan de snelheidslimiet te houden waarschijnlijk laag is. Een samenvattend overzicht van alle bevindingen staat in het centraal inzichten overzicht aan het begin van dit document.

4 Algemene discussie en conclusie

In dit onderzoek is vanuit verschillende perspectieven onderzocht wat de mogelijke consequenties voor het gedrag van de weggebruiker zijn, als matrixborden boven de snelwegen permanent de snelheidslimiet aangeven (zoals omschreven in het POSTMA-voorstel). Er is naar drie aspecten gekeken: verwachtingen van de weggebruiker (hoofdstuk 1), consistentie van begrip (hoofdstuk 2) en bereidwilligheid van de weggebruiker om aan de limiet te houden (hoofdstuk 3). Van elk aspect zijn mogelijke positieve en negatieve gevolgen voor het gedrag van weggebruikers geïdentificeerd, evenals overige relevante overwegingen en aandachtspunten. Deze staan kort vernoemd in tabel 1, met daarbij verwijzing naar het perspectief dat tot dit punt heeft geleid. Ook is er per vraag een samenvatting gegeven (zie secties 1.7, 2.7, en 3.7).

Op basis van de huidige wetenschap zien wij reden tot zorg bij invoering van het voorgestelde systeem. Ten eerste zijn er op de door ons onderzochte terreinen meer negatieve dan positieve aspecten gevonden. Ten tweede hebben de aspecten die op het eerste gezicht positieve kenmerken zijn van het nieuwe systeem, juist ook mogelijk negatieve gevolgen voor het gedrag van weggebruikers. Zo is een voordeel van het permanent tonen van de maximale snelheid dat deze beschikbaar is voor een gebruiker die daar actief naar op zoek is. Echter, juist doordat er altijd een snelheidsaanduiding is, zal deze informatie voor het merendeel van de weggebruikers minder opvallend⁷ worden en kunnen kritieke veranderingen (bv. snelheidsverlaging) onopgemerkt blijven. Hierdoor wordt de informatie boven de weg (op termijn) mogelijk juist minder vaak waargenomen (en wellicht: genegeerd) en vinden er mogelijk juist *meer* onbewuste snelheidsovertredingen plaats, wat mogelijk ook de verkeersveiligheid negatief beïnvloedt.

In het vervolg van deze algemene discussie geven we eerst per vraag een zo duidelijk mogelijk, beknopt antwoord (secties 4.1-4.3). Dit wordt gevolgd door een kader voor een mogelijk alternatief (4.4) en een commentaar op beperkingen van de huidige studie (4.5).

4.1 Antwoord op vraag 1: Wat is de aansluiting op verwachtingen?

Het permanent tonen van de maximumsnelheid sluit waarschijnlijk *niet* aan bij de verwachtingen van de weggebruiker. Het wijkt af van de huidige norm, waar informatie over snelheidslimieten niet afstandsgebonden wordt aangeboden, maar contextgebonden ("*is er iets bijzonders op de weg, waarvoor een bord nodig is?*"). Het is waarschijnlijk dat veranderingen in (snelheidslimiet-)informatie verminderd of niet opgemerkt worden door weggebruikers. Verkeerskundig onderzoek in Nederland suggereert dat dit om een grote groep weggebruikers kan gaan, zeker als zij zeer bekend zijn met de route.

4.2 Antwoord op vraag 2: Wat is de consistentie van begrip van snelheidslimiet?

Alhoewel de vormgeving van de informatie op de matrixborden consistent is met hoe snelheid op blikken borden wordt aangegeven (namelijk: met een rode rand), is het systeem uit het POSTMA-voorstel op veel andere manieren waarschijnlijk *niet* consistent en heeft het potentiële negatieve gevolgen voor het gedrag van weggebruikers en daarmee mogelijk ook voor de verkeersveiligheid. Specifiek is er geen consistentie tussen verschillende wegen: sommige wegen hebben matrixborden, andere wegen hebben die niet. Doordat weggebruikers ook op andere manieren snelheidsinformatie tot zich kunnen nemen (specifiek: in-car navigatie, telefoon, andere weggebruikers, eigen ervaring op de weg) en

⁷ Opvallend dient hier geïnterpreteerd te worden als gedragsmaat en niet als fysische maat

die andere manieren/informatiebronnen op *alle* wegen beschikbaar zijn (ook op wegen zonder matrixborden), worden mogelijk juist die andere bronnen door de weggebruiker als meer betrouwbare bronnen gezien. Het is daardoor mogelijk dat ze de matrixborden gaan negeren, omdat matrixborden niet altijd beschikbaar zijn en de andere bronnen wel.

De invoering van de matrixborden creëert een situatie waarbij die borden nieuwe doelen krijgen (namelijk: het aangeven van een snelheidslimiet naast bv. het aangeven van een snelheidssuggestie of afkruisen van een weg). Dit kan leiden tot verwarring bij de weggebruiker: welke soort informatie dient welk doel (specifiek: wanneer is iets een snelheids-suggestie of echt een limiet?). Merk op dat het er hier niet zozeer om gaat wat de intentie van de ontwerper is, of wat de juridische basis van de borden is, maar om hoe de gebruiker het nut van de doelen beleeft. Mens-machine interactie onderzoek laat zien dat intentie van een systeem en begrip (en gebruik) van de gebruiker van elkaar kunnen verschillen.

Door het gebruik van opeenvolgende borden worden veranderingen tussen borden (specifiek: het verlagen van de snelheid) minder opvallend. Om deze veranderingen weer opvallend te maken zou een nieuw signaal (bv. flashers) moeten worden toegevoegd. Verkeerskundig onderzoek naar variable message signs (VMS) systemen laat echter zien dat de effectiviteit van VMS-systemen verminderd is als er extra signalen bij geplaatst worden. Een mogelijke valkuil hierbij is dat het toevoegen van extra signalen resulteert in steeds meer borden en signalen langs de weg, wat de verkeerssituatie *nóg* onduidelijker maakt.

4.3 Antwoord op vraag 3: Wat is de bereidwilligheid om aan de limiet te houden?

De verwachting is dat de bereidwilligheid van weggebruikers om zich aan de snelheidslimiet te houden waarschijnlijk *laag* is. Het aanbieden van snelheidsinformatie wil nog niet zeggen dat weggebruikers zich eraan kunnen of willen houden (d.w.z., onbewuste of bewuste overtreding begaan bij het er niet aan houden). Eerder Nederlands onderzoek (Dynamax) heeft laten zien dat als op een dynamisch bord een verlaagde snelheid wordt getoond die (in de ogen van de weggebruiker) niet direct lijkt te passen bij de verkeerscontext (bv. omdat de weg rustig lijkt en er geen slecht weer is), dat het lang duurt voordat de weggebruikers hun snelheid verlagen nadat borden een snelheidsverandering aangeven (tot wel 20 minuten na het aangaan van het signaal) en dat mogelijk slechts een klein deel van de weggebruikers zich aan de snelheidslimiet houdt (10-30%). Ook internationaal onderzoek naar dynamische verkeersborden rapporteert beperkingen van de mate waarin weggebruikers zich aan een snelheidslimiet houden in reactie op dynamische verkeersborden.

4.4 Een mogelijk alternatief: just-in-time, context-relevante informatie

Op basis van de literatuur zien wij nog een mogelijk alternatief: just-in-time, context-relevante informatie. Dit alternatief bouwt op de positieve aspecten van het nieuwe systeem maar vermijdt enkele belangrijke negatieve aspecten deels. Het algemene idee van dit alternatief is om een snelheidslimiet op de matrixborden enkel weer te geven op momenten dat er iets verandert in de snelheid, of als een weggebruiker de snelheidslimiet overtreedt.

Deze methode bouwt op twee voordelen van de matrixborden: (1) de informatie komt van een betrouwbare bron (zie sectie 1.5), en (2) het voorgestelde gebruik van een rode rand is consistent met hoe snelheidslimieten op andere borden wordt weergegeven (zie secties 1.5 en 2.4). Een mogelijk probleem per bord is dan crowding (zie sectie 2.2): dat

de snelheidsinformatie op het bord minder goed zichtbaar is door de rode rand. De andere deelprojecten binnen het project POSTMA, specifiek zoals uitgevoerd door TNO (Brug et al, in preparation) en Attention Architects (Bucker en Theeuwes, in preparation), geven hier mogelijk gedeeltelijk inzicht in. Het is een voorwaarde dat crowding voorkomen of geminimaliseerd wordt voordat over verdere oplossingen nagedacht wordt.

Als crowding voorkomen (of geminimaliseerd) kan worden, dan zou de volgende stap zijn om de snelheidslimiet (met rode rand) alleen te laten zien op een moment dat (1) er iets verandert in de verkeerssituatie, of (2) als iemand harder rijdt dan de limiet. Oftewel, om toe te werken naar een situatie van “just-in-time”, “context-relevante” informatie. Als de informatie alleen wordt aangeboden als er iets verandert, dan is het gebruik weer consistent met hoe fysieke borden nu ingezet worden: ter ondersteuning van een kritieke context (zie ook secties 1.1, 2.5). Bovendien is er niet het nadeel dat er een discriminatietask is, maar is er een detectietask (zie sectie 1.2) en blijft het setsize-effect meer beperkt (zie sectie 1.2). Het voorgestelde systeem wordt vergelijkbaar met hoe in sommige studies al variable message sign borden en dynamic speed display signs worden ingezet (zie secties 2.6 en 3.6). Deze studies laten zien dat ze kunnen leiden tot snelheidsverlaging van een groot deel van de weggebruikers.

Echter, ook hier is er geen garantie dat elke weggebruiker zich aan de snelheidslimiet houdt (i.h.b. bij bewuste overtredingen) en omdat ook dit gaat om de invoering van nieuwe systemen zijn de eerder genoemde punten over evaluatie van (ander gebruik van) nieuwe systemen relevant (zie i.h.b. secties 1.5, 2.5 en 3.5). Gebruikerstesten van een dergelijk systeem – met aandacht voor korte en lange termijneffecten – blijven daarom essentieel.

4.5 Beperkingen, schaalbaarheid en rol van fundamentele kennis

Tot slot willen we ingaan op de beperkingen van ons onderzoek. Het door ons onderzochte voorstel voor het permanent tonen van de maximumsnelheid op matrixborden over langere trajecten betreft een toepassing die, voor zover wij weten, niet eerder op deze schaal is toegepast. In de literatuur die wij hebben beschreven zijn er daarom geen voorbeelden die direct 1-op-1 toepasbaar zijn. De mate waarin de wetenschappelijke principes die wij benoemd hebben gedrag beïnvloeden kan daarom afwijken van hoe onze, op literatuur- en expertise-gebaseerde, verwachting is. In het bijzonder vanwege het principe van de ironie van automatisering (Bainbridge, 1983): menselijk gedrag verandert bij de invoering van een nieuw(e manier van gebruiken van een) systeem. In de verschillende secties hebben wij al enkele open vragen en aandachtspunten benoemd die hierbij een rol kunnen spelen.

Echter, we willen waarschuwen voor een over-generalisatie van onze voorzichtigheid. Het is namelijk *niet* zo dat er uit de wetenschap niets te leren valt voor het ontwerp en evaluatie van het voorgestelde systeem. Het tegenovergestelde lijkt zelfs zo te zijn. Fundamentele inzichten over menselijke perceptie en actie die voortkomen uit bijvoorbeeld de wetenschapsgebieden over menselijke aandacht, visueel zoeken, en actie-regulatie, vertalen zich goed naar praktijkvoorbeelden uit zowel human factors, mens-machine interactie, en verkeerskunde.

In het bijzonder zijn er fundamentele inzichten over de beperkingen van menselijke aandacht, die suggereren dat er beperkingen zijn aan de menselijke perceptie van veranderingen in snelheden (zie secties 1.1, 1.2). Uit verkeerskundige studies in Nederlandse context blijkt dat weggebruikers in de praktijk inderdaad dergelijke veranderingen over het hoofd zien en dat dit op grote schaal voorkomt (zie secties 1.6). Soortgelijke inzichten worden ook gedeeld door theorie en praktijk uit human factors en

mens-machine interactie (zie secties 2.4 en 2.5). Oftewel: wetenschappelijke theorie over menselijke gedrag blijkt zich goed naar verkeerskundige praktijk te vertalen.

Mocht het voorgestelde systeem ingevoerd worden, dan raden wij ook aan om de wetenschappelijke inzichten over menselijk gedrag, zoals beschreven in dit rapport, mee te nemen in ontwerp en verdere evaluatie van het systeem. Dergelijke wetenschappelijke inzichten over menselijke gedrag en cognitie (inclusief perceptie en actie) hoeven niet tegengesteld te zijn aan ingenieursprincipes of -doelen; er zijn diverse goed gedocumenteerde voorbeelden waar dit meerwaarde heeft gehad⁸.

⁸ Zie bijvoorbeeld inleidingen over de aanpakken 'model-gebaseerde evaluatie' (Kieras, 2012) en 'cognitief engineering' (Lee & Kirlik, 2013, i.h.b. hoofdstuk 1).

5 Referenties

- Amershi, S., Weld, D., Vorvoreanu, M., Fournery, A., Nushi, B., Collisson, P., et al. (2019). Guidelines for human-AI interaction. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY: ACM.
- Ardeshiri, A., & Jeihani, M. (2014). A speed limit compliance model for dynamic speed display sign. *Journal of safety research*, 51, 33-40.
- Babić, D., Babić, D., & Ščukanec, A. (2017). The impact of road familiarity on the perception of traffic signs - Eye tracking case study. Paper presented at the *10th International Conference on Environmental Engineering, ICEE 2017*.
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775–779.
- Bellini, D., Iaconis, M. C., & Traettino, E. (2020). Speed limits and road warning signs as aid for driving behavior. Paper presented at the *Transportation Research Procedia*.
- Ben-Bassat, T., & Shinar, D. (2006). Ergonomic guidelines for traffic sign design increase sign comprehension. *Human Factors*, 48(1), 182-195.
- Benway, J. P. (1998). Banner blindness: The irony of attention grabbing on the world wide web. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 42(5), 463-467.
- Bravo, M. J., & Nakayama, K. (1992). The role of attention in different visual-search tasks. *Perception & Psychophysics*, 51, 465-472.
- Brosseau, M., Zangenehpour, S., Saunier, N., & Miranda-Moreno, L. (2013). The impact of waiting time and other factors on dangerous pedestrian crossings and violations at signalized intersections: A case study in Montreal. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 21, 159-172.
- Brug, T. et al. (in preparation) *Onderzoek van TNO binnen project POSTMA* (titel van eindverslag op moment van schrijven nog onbekend).
- Bucker, B. & Theeuwes, J. (in preparation). Gebruikersonderzoek maximumsnelheid in de signaalgevers. *Onderzoek van Attention Architects binnen project POSTMA*
- Burgmeijer, J., Eisses, A., Hogema, J., Jonkers, E., van Ratingen, S., Vonk, T., & Wilmink, I. (2010). *Evaluatie dynamisering maximumsnelheden – resultaten proef A1*. No. TNO-034-DTM-2009-04749. Delft: TNO.
- Charlton, S. G., & Starkey, N. J. (2013). Driving on familiar roads: Automaticity and inattention blindness. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 19, 121-133.
- Chun, M. M. (2000). Contextual cueing of visual attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(5), 170-178.
- Daniels, S., Focant, N. (2017), Dynamic Speed Display Signs, European Road Safety Decision Support System, developed by the H2020 project SafetyCube. Retrieved from www.roadsafety-dss.eu on 20-11-2020
- De Fockert, J. W., & Leiser, J. (2014). Better target detection in the presence of collinear flankers under high working memory load. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(821).
- De Fockert, J. W., Rees, G., Frith, C. D., & Lavie, N. (2001). The role of working memory in visual selective attention. *Science*, 291(5509), 1803-1806.
- Dewar, R. (1988). Criteria for the design and evaluation of traffic sign symbols. *Transportation Research Record*, 1160, 1-6.
- Diependaele, K. (2019). Non-compliance with pedestrian traffic lights in Belgian cities. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 67, 230-241.

- Duncan, J. & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96, 433–458
- Engel, F. L. (1977). Visual conspicuity: Visual search and fixation tendencies of the eye. *Vision Research*, 17, 95–108.
- Goldenbeld, C., & van Schagen, I. (2007). The credibility of speed limits on 80 km/h rural roads: The effects of road and person(ality) characteristics. *Accident Analysis and Prevention*, 39(6), 1121-1130.
- Harms, I. M., & Brookhuis, K. A. (2016). Dynamic traffic management on a familiar road: Failing to detect changes in variable speed limits. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 38, 37–46.
- Harms, I. M., Dijksterhuis, C., Jelijs, B., de Waard, D., & Brookhuis, K. A. (2019). Don't shoot the messenger: traffic-irrelevant messages on variable message signs (VMSs) might not interfere with traffic management. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 65, 564-575.
- Hooge, I.T.C., & Erkelens, C.J. (1996) Control of fixation duration in a simple search task. *Perception & Psychophysics*, 58, 969-976
- Hoogendoorn, R. G., Harms, I. M., Hoogendoorn, S. P., & Brookhuis, K. A. (2012). Dynamic maximum speed limits: perception, mental workload, and compliance. *Transportation research record*, 2321(1), 46-54.
- Horst, van der R. (2012). Resilience to Failure and Breakdown. In: Theeuwes, van der Horst, & Kuiken (eds.). *Designing safe road systems. A human factors perspective*. Burlington, USA: Ashgate Publishing Company
- Intini, P., Berloco, N., Colonna, P., De Gennaro, D., Ranieri, V., & Ryeng, E. (2020). Self-Reported Route Familiarity and Road Safety Negative Outcomes: First Results from a Transnational Survey-Based Study. Paper presented at *the Transportation Research Procedia*.
- Janssen, C. P., Boyle, L. N., Kun, A. L., Ju, W., & Chuang, L. L. (2019). A hidden markov framework to capture human–machine interaction in automated vehicles. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 35(11), 947-955.
- Janssen, C. P., Donker, S. F., Brumby, D. P., & Kun, A. L. (2019). History and future of human-automation interaction. *International Journal of Human-Computer Studies*, 131, 99-107.
- Jiang, Y., Song, J.-H., & Rigas, A. (2005). High-capacity spatial contextual memory. *Psychonomic bulletin & review*, 12(3), 524-529.
- Kenemans, J. L. (2015). Specific proactive and generic reactive inhibition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 56, 115-126.
- Kieras, D. E. (2012). Model-Based Evaluation. In J. Jacko & A. Sears (Eds.), *The Human-Computer Interaction Handbook* (3rd ed.), 1299-1318. London, UK: Taylor & Francis.
- Langham, M., Hole, G., Edwards, J., & O'Neill, C. (2002). An analysis of 'looked but failed to see' accidents involving parked police vehicles. *Ergonomics*, 45, 167-185.
- Lansbergen, M. M., Böcker, K. B. E., Bekker, E. M., & Kenemans, J. L. (2007). Neural correlates of stopping and self-reported impulsivity. *Clinical Neurophysiology*, 118(9), 2089-2103.
- Lee, Y. M., Chong, S. Y., Goonting, K., & Sheppard, E. (2017). The effect of speed limit credibility on drivers' speed choice. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 45, 43-53.

- Lee, J. D., & Kirlik, A.(Eds.). (2013). *The Oxford handbook of cognitive engineering*. Oxford: Oxford University Press.
- Lee, J. D., Wickens, C. D., Liu, Y., & Boyle, L. N. (2017). Human-Automation Interaction. In *Designing for People: An Introduction to Human Factors Engineering*. Charleston, SC: CreateSpace.
- Logan, G. D., & Cowan, W. B. (1984). On the ability to inhibit thought and action: A theory of an act of control. *Psychological Review*, *91*, 295-327.
- Martens, M. H. (2011). Change detection in traffic: where do we look and what do we perceive?. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *14*(3), 240-250.
- Martens, M. H. (2018). The failure to respond to changes in the road environment: Does road familiarity play a role? *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *57*, 23-35.
- Martens, M. H., & Fox, M. R. J. (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.
- Mian, M., Jaffry, W.(2020) Modeling of individual differences in driver behavior. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* *11*(2), 705-718
- Mulder, A. (2018) Red light negation at bridges: *The coherence with comprehensibility, attitude and risk perception*. Master's thesis report. Utrecht, The Netherlands: Utrecht University (in collaboration with Rijkswaterstaat, available upon request)
- Nispeling, E. (2020a) *Unintentional Red Cross Negation in Different Scenarios*. Master's thesis report. Utrecht, The Netherlands: Utrecht University (in collaboration with Rijkswaterstaat, available upon request)
- Nispeling, E. (2020b) *Why do road users ignore the red cross unintentionally? Results from online focus group discussions*. Master's internship report. Utrecht, The Netherlands: Utrecht University (in collaboration with Rijkswaterstaat, available upon request)
- Nygårdhs, S. (2011). *Literature review on variable message signs (VMS) 2006-2009*. Linköping, Sweden: VTI. Documentnumber 2011/0217-26
- Nygårdhs, S., & Helmers, G. (2007). *Vms-variable message signs: A literature review*. Linköping, Sweden: VTI. Documentnumber 2006/0055-28
- Pashler, H., & Baylis, G. (1991). Procedural learning; 2. Intertrial Repetition Effects in Speeded-Choice Tasks. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *17*(1), 33-48.
- Parasuraman, R., & Riley, V. (1997). Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse. *Human Factors*, *39*(2), 230-253.
- Pelli, D.G. & Tillman, K.A. (2008). The uncrowded window of object recognition. *Nature Neuroscience*, *11*, 1129-1135
- Petridou, E., & Moustaki, M. (2000). Human factors in the causation of road traffic crashes. *European Journal of Epidemiology*, *16*(9), 819-826.
- Roelofs, K. (2017). Freeze for action: neurobiological mechanisms in animal and human freezing. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, *372*, 20160206.
- Rosenbloom, T. (2009). Crossing at a red light: Behaviour of individuals and groups. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *12*(5), 389-394.
- Sagi, D., Julesz, B. (1985). "Where" and "what" in vision. *Science*, *228*, 1217-1219
- Sarter, N. B., & Woods, D. D. (1995). How in the world did we ever get into that mode? Mode error and awareness in supervisory control. *Human Factors*, *37*(1), 5-19.

- Schirokoff, Anna & Vitikka, Harri (2002). *Muuttuvat nopeusrajoitukset autoilijoiden kokemina: Haastattelutkimus valtatiellä 9 (E 63) välillä Tampere-Orivesi* (Finnish road users' opinions on variable speed limits: A driver interview on main road 9 (E 63) Tampere-Orivesi). Tiehallinnon selvityksia, 50/2001. Finland: Tiehallinto. (zoals geciteerd in Nygårdhs & Helmers, 2007)
- Shinar, D., Dewar, R. E., Summala, H., & Zakowska, L. (2003). Traffic sign symbol comprehension: A cross-cultural study. *Ergonomics*, 46(15), 1549-1565.
- Siev, S., & Kliger, D. (2019). Priming drivers by exposure to active and inactive speed displays. *Journal of Transportation Safety & Security*, 1-19.
- Stewart, E. E. M., Valsecchi, M., & Schütz, A. C. (2020). A review of interactions between peripheral and foveal vision. *Journal of Vision*, 20(12):2
- Stoelhorst H. , Schreuder M. , Polderdijk S. , Harms I.M. , Kessels, J., Klerk, M. de, Stembord, H. (2010) *Dynamische maximumsnelheden: Evaluatie praktijkproeven*. Delft: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, DienstVerkeer en Scheepvaart
- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica*, 135 (2), 77-99
- Theeuwes, J., & Godthelp, H. (1995). Self-explaining roads. *Safety science*, 19(2-3), 217-225.
- Thomas, F. M. F., & Charlton, S. G. (2020). Inattentive blindness and information relevance of variable message signs. *Accident Analysis and Prevention*, 140.
- Treisman, A.M. & Gelade, G. (1980) A feature integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Treisman, A. & Souther, J. (1985). Search asymmetry: A diagnostic for preattentive processing of separable features. *Journal of Experimental Psychology: General*, 114, 285-310.
- Van der Stigchel, S. (2016). *Zo werkt aandacht: opvallen, kijken en zoeken in een wereld vol afleiding*. Amsterdam: Maven Publishing.
- Wessel, J. R., & Aron, A. R. (2013). Unexpected Events Induce Motor Slowing via a Brain Mechanism for Action-Stopping with Global Suppressive Effects. *The Journal of Neuroscience*, 33(47), 18481-18491.
- Wessel, J. R., & Aron, A. R. (2017). On the Globality of Motor Suppression: Unexpected Events and Their Influence on Behavior and Cognition. *Neuron*, 93(2), 259-280.
- Yao, Y., Carsten, O., & Hibberd, D. (2020) Predicting compliance with speed limits using speed limit credibility perception and risk perception data. *Transportation Research Record*, 2674, 450-461.
- Young, M. S., & Stanton, N. A. (2002). Attention and automation: New perspectives on mental underload and performance. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3(2), 178-194.

6 Appendix 1: Nederlandse vertaling van mens-machine interactie principes uit Lee et al. (2017)

Principes voor betere mens-machine interactie uit Lee, Wickens, Liu, Boyle (2017; chapter 11), vrijelijk vertaald naar het Nederlands. De principes zijn geclusterd op basis van bredere human factors literatuur waar deze bij horen: Mentale Modellen (MM), Aandacht (A), Perceptie (P), Respons selectie (R), Interactie (I), en Organisatorische Context (O).

Principes op basis van Mentale Modellen

- MM1: Definieer en communiceer het doel van de automatisering
- MM2: Definieer en communiceer het operationele domein
- MM3: Ontwerp voor de rol van de mens en de geautomatiseerde technologie (toevoeging door Chris: in tegenstelling tot: ontwerp alleen de technologie)
- MM4: Simplificeer de modus structuur. Toevoeging Chris: oftewel maak het duidelijk in welke "toestand" of "state" een apparaat is zonder dat er vele subtiele varianten zijn.
- MM5: Maak de automatisering betrouwbaar en beleefd

Principes of basis van Aandacht

- A6: Geef een duidelijk signaal als de automatisering niet kan voldoen aan een verwachte role

Perceptie principes

- P7: Transparantie: Houd de gebruiker geïnformeerd

Respons selectie principes

- R8: Voorkom het per ongeluk activeren of deactiveren van technologie

Interactie principes

- I9: Houd de gebruiker "in de loop". Toevoeging Chris: d.w.z.: houd de gebruiker betrokken bij het proces en op de hoogte.
- I10: Ondersteun het snel terugkeren "in de loop"
- I11: Maak automatisering "directable". Toevoeging Chris: d.w.z. zorg het voor dat de gebruiker meer kan doen dan alleen het "aan" of "uit" zetten van een technologi, doordat ze ook kunnen aangeven welke "richting" de automatische technologie op moet gaan. Oftewel, een subtiele verandering van hoe en waarheen de automatisering werkt.
- I12: Maak de automatisering flexibel en aanpasbaar
- I13: Overweeg adaptieve automatisering. Toevoeging Chris: d.w.z., dat de automatiserings technologie zichzelf automatisch kan aanpassen aan bijvoorbeeld de omgeving, gebruiker, of taak.

Organisatie principes

- O14: Blijf mensen trainen
- O15: Denk na over de organisatorische consequenties

7 Appendix 2: Nederlandse vertaling van de ontwerprichtlijnen voor mens-AI interactie principes uit Amershi et al (2019)

Principes voor het ontwerp van mens-AI interactie, zoals ontwikkeld door Amershi en collega's (2019). Aanvullende toelichting en voorbeelden zijn ook beschikbaar op:

<https://www.microsoft.com/en-us/research/project/guidelines-for-human-ai-interaction/>

De principes zijn geclusterd aan de hand van welk stadium van gebruik er nagedacht wordt over ontwerp: initieel, tijdens menselijk interactie, als er iets fout gaat, of door de tijd heen.

Initieel

1. Maak duidelijk wat het systeem kan doen.
2. Maak duidelijk hoe goed het systeem kan doen wat het kan doen.

Tijdens de interactie

3. Laat de timing van diensten afhangen van de context.
4. Laat contextueel relevante informatie zien.
5. Schik het systeem naar relevante sociale normen.
6. Verzacht/verminder (potentiele) sociale bias die het systeem kan hebben.

Als er iets fout gaat

7. Ondersteun het efficiënt kunnen oproepen van het systeem. Toevoeging Chris: d.w.z., maak het makkelijk om het systeem op te starten zodat je er bv. een vraag aan kunt stellen of kunt zien wat er aan de hand is.
8. Ondersteun het efficiënt kunnen annuleren van een actie van het systeem.
9. Ondersteun efficiënte correctie van een fout.
10. Maak de diensten van het systeem beperkter als je twijfelt. Toevoeging Chris: hier gaat het om dat het systeem moet helpen om ambigue situaties (bv: doet het systeem A of B) op te lossen of te verminderen, of dat het zelfs mogelijk moet zijn om de diensten van het systeem kleiner te maken als het systeem onzeker is over wat de gebruiker eigenlijk wil.
11. Maak duidelijk waarom het systeem heeft gedaan wat het heeft gedaan.

Door de tijd heen

12. Het systeem onthoudt recente interacties van de gebruiker met het systeem.
13. Het systeem leert van het gedrag van de gebruiker.
14. Het systeem integreert updates (vernieuwingen) en aanpassingen op een zorgvuldige manier.
15. Laat grofmazige feedback van de gebruiker toe.
16. Communiceer de (potentiele) gevolgen van een actie van de gebruiker.
17. Zorg dat er globale controle is. Toevoeging Chris: d.w.z.: ook al kan een gebruiker niet alle eigenschappen van (de details van) het systeem beïnvloeden, zorg dat dit op grotere lijnen wel kan.
18. Waarschuw de gebruiker over veranderingen in het systeem.