

ORATIE
11 SEPTEMBER 2014



ITS EN HUMAN
FACTORS: OP DE
GRENS TUSSEN
MENS EN TECHNIEK

PROF.DR. M.H. MARTENS

UNIVERSITEIT TWENTE.



PROF. DR. M.H. MARTENS

ITS EN HUMAN FACTORS: OP DE GRENS TUSSEN MENS EN TECHNIEK

Rede in verkorte vorm uitgesproken bij de
aanvaarding van het ambt van hoogleraar
ITS en Human Factors aan de faculteit
Construerende Technische Wetenschappen
van de Universiteit Twente op donderdag
11 september 2014 door

PROF. DR. M.H. MARTENS

ITS EN HUMAN FACTORS: OP DE GRENS TUSSEN MENS EN TECHNIEK

MENEER DE RECTOR, MIJNHEER DE DECAAN, HOOGLERAREN VAN DE UNIVERSITEIT TWENTE EN ZUSTERUNIVERSITEITEN, WAARDE COLLEGAE, FAMILIE, VRIENDEN, EN ALLEN DIE DOOR HUN AANWEZIGHEID BLIJK GEVEN VAN HUN BELANGSTELLING.

Afgelopen juni was ik, samen met 2506 andere professionals op het 10e ITS Europe congres in Helsinki. ITS, ofwel Intelligent Transport Systems, staat voor de intelligente ICT toepassingen binnen de context van verkeer en vervoer. Hierbij kan gedacht worden aan zowel dynamische borden langs de weg als aan slimme in-voertuigtechnologie. Voorbeelden van ITS zijn dus borden met dynamische snelheden, de groene pijlen en rode kruizen boven de rijstroken, een navigatiesysteem dat je helpt je bestemming te bereiken en slimme systemen in de auto die je waarschuwen voor gevaarlijke situaties of zelfs delen van de rijtaak van je over kunnen nemen. ITS is dus gericht op technologie. *ITS en Human Factors* daarentegen staat voor de menselijke factor in dit geheel, ofwel kortgezegd hoe weggebruikers omgaan met alle nieuwe technologie in het verkeer. En hoe moeten we die technologie ontwerpen om deze zo goed mogelijk aan te laten sluiten op wat mensen kunnen en willen? Op het genoemde ITS congres was zowel de industrie als de wetenschap samengekomen om te laten zien waar we staan in deze wereld van inmiddels ongekende mogelijkheden, wat voor slimme systemen er al zijn en aan welke innovaties en ontwikkelingen nog hard wordt gewerkt. De parkeerplaats op het congres was uitgerust met mooie demo's, waarbij iedereen zelf in een auto kon stappen om een aantal slimme systemen te ervaren. Zo werd het City Safety systeem van Volvo gedemonstreerd, dat zelf remt als je niet op zit te letten en bijna iemand aanrijdt, en de Park Assist systemen van Ford (zie Figuur 1) en Toyota, waarbij het systeem wanneer je wilt inparkeren allereerst meet of een parkeerplaats groot genoeg is en vervolgens automatisch instuurt, waarbij de bestuurder alleen nog zelf gas hoeft te geven en hoeft te remmen.



Figuur 1: Ford demo van de Park Assist op ITS Helsinki (2014).

Het feit dat ITS een hot topic is blijkt wel uit het feit dat niet alleen ITS Europe elk jaar druk wordt bezocht, maar dat er zelfs een wereldwijd ITS congres, ITS World, op dit moment voor de 21^e keer plaats vindt. Maar niet alleen vanuit de wetenschappelijke wereld en de ontwikkelende industrie is er veel aandacht voor ITS. Ook vanuit de media is er veel aandacht voor. En terecht, want we staan niet aan de vooravond van een wereld van ongekende mogelijkheden, maar we zitten er al middenin. En het meest tot de verbeelding sprekende onderdeel van ITS is natuurlijk de zelfrijdende auto. Het woord hoeft maar genoemd te worden en de pers duikt er bovenop. Het aantal berichten de laatste jaren over dit onderwerp zijn onnoemlijk. Ik wil hierbij een aantal voorbeelden de revue laten passeren, voor het geval dat u ze gemist heeft.

In 2013 verscheen het bericht dat Volvo een zelfparkerende auto had gemaakt (Figuur 2). Je stapt uit waar je zijn moet, en de auto vindt zelf een lege parkeerplaats en parkeert zelf in. Geautomatiseerde Valet Parking. Je gebruikt je smartphone om de service te activeren, en eenmaal geparkeerd stuurt het voertuig een bericht naar je smartphone zodat je je auto weer terug kan vinden.



Figuur 2: Zelfparkerende auto's van Volvo (www.carblogger.nl/volvo-zoekt-zelf-een-parkeerplek/en Audi).

In Abu Dhabi bestaat de driverless car, die net als op de luchthaven van Heathrow en op de Kralingse Zoom zonder bestuurder zijn weg vindt en passagiers meeneemt (Figuur 3).



Figuur 3: Van links naar rechts: Abu Dhabi, Heathrow airport, en Kralingsezoom.

In augustus 2011 verscheen al een artikel in een Chinese krant dat een auto zonder bestuurder, zonder GPS en zonder problemen 280 km over een drukke snelweg in China had gereden. Er werd alleen maar gereden op basis van videobeelden en sensoren. De auto reed helemaal zelf, van zelf remmen tot van rijstrook wisselen en andere auto's inhalen.

Ook Daimler (zie Figuur 4) liet van zich horen en meldde dat het als doel heeft om tegen 2020 zelfstandig rijdende auto's te lanceren. De Mercedes S-klasse, zoals commercieel verkrijgbaar, kan onder bepaalde omstandigheden nu al zelf rijden



Figuur 4: Persberichten vanuit Daimler over zelfrijdende auto's (<http://www.nu.nl/tech/3477834/mercedes-s-klasse-kan-zelfstandig-rijden.html> en <http://www.reuters.com/article/2013/09/08/us-autoshow-frankfurt-daimler-selfdrive-idUSBRE98709A20130908>).

In juni 2014 werd breed uitgemeten dat de nieuwe VW Passat beschikt over Emergency Assist, een systeem dat de controle over het voertuig over kan nemen als de bestuurder onwel wordt. Zodra het systeem merkt dat een automobilist het gaspedaal en stuur niet meer bedient wordt er eerst een waarschuwing gegeven. Als daar niet op wordt gereageerd wordt er even kort geremd om de bestuurder eventueel weer bij de les te krijgen. Indien er echter geen menselijke reactie volgt, neemt het systeem het over en brengt de auto tot stilstand, andere automobilisten waarschuwend dat er iets niet in orde is.

En laten we vooral niet de Google Self Driving car vergeten. Een zelfrijdende auto, plotseling verschijnend in de media en in het echte verkeer (Figuur 5). Google, tot een paar jaar geleden een onorthodoxe partij binnen de automotieve wereld kreeg met name veel media aandacht door het tot de

verbeelding sprekende promotiefilmje waarin te zien is dat een blinde man instapt in het voertuig, en blijk geeft van de mogelijkheden die de zelfrijdende auto hem bieden. De Google Self Driving Car riep ook discussie op of we in de toekomst nog wel een rijbewijs nodig hebben als de mens als bestuurder van het voertuig volledig overbodig wordt en of kinderen hier ook zelfstandig mee op pad zouden kunnen..



Figuur 5: Google self-driving car (source: www.medgadget.com/2012/04/googles-self-driving-car-for-blind-people.html)

Maar ook als Nederland staan we regelmatig in de belangstelling met automatische of zelfrijdende auto's. Op 16 juni 2014, de openingsdag van het reeds eerder genoemde ITS Europe congres meldde de minister van Infrastructuur en Milieu Schultz van Haegen dat ze in wilde zetten op het grootschalig testen van zelfrijdende auto's (zie Figuur 6).

Schultz zet in op grootschalige testen zelfrijdende auto's op Nederlandse wegen
 Nieuwsbericht | 16-06-2014

Minister Schultz van Haegen (Infrastructuur en Milieu) wil grootschalige testen met zelfrijdende auto's op de Nederlandse wegen mogelijk maken. Op deze manier kan ons land internationaal een voortrekkersrol vervullen in deze innovatie op de weg.



Minister Schultz van Haegen: 'Met ijsdijk van de zelfrijdende auto is aangebroken. De ontwikkelingen op dit gebied zullen de roltoe treden bestuurder en voertuig de komende 20 jaar meer veranderen dan de afgelopen 100 jaar geleden. Dit wil dat we hier als Nederland niet alleen klaar voor zijn, maar internationaal ook voorop gaan lopen in deze innovatieve ontwikkeling. De zelfrijdende auto zal positief bijdragen aan de doorstroming en veiligheid van

Figuur 6: www.rijksoverheid.nl/nieuws/2014/06/16/schultz-zet-in-op-grootschalige-testen-zelfrijdende-auto-s-op-nederlandse-wegen.html

Dit bericht volgde als reactie op de ervaringen die de minister eind vorig jaar opdeed. In november 2013 werd breed in alle pers uitgemeten dat de minister in een 'zelfrijdende' auto van TNO onder het DAVI initiatief op de openbare weg had gezeten (zie Figuur 7).

Minister Schultz in zelfrijdende auto

dinsdag 12 nov. 2013, 15:11 (Update: 22-11-13, 11:42)



Minister van Infrastructuur en Milieu Schultz van Haagen in een zelfrijdende auto

JANF

Figuur 7. Minister Schultz van Haagen in de demo (nos.nl/artikel/574107-minister-schultz-in-zelfrijdende-auto.html)

Deze auto, zo meldde de pers, beschikt niet alleen over de techniek om automatisch te rijden, maar is ook uitgerust met een draadloos communicatienetwerk waarmee het met andere voertuigen en omringende infrastructuur kan communiceren.

Dit noemen we in jargon *Cooperative Mobility* of cooperative driving. Cooperative Mobility staat voor mobiliteit waarin de weg, voertuigen en weggebruikers onderling informatie uitwisselen en die informatie gebruiken om eerder, sneller en beter te kunnen reageren. Een verkeerslicht, dat wanneer je aan komt rijden, vast doorgeeft dat je niet af hoeft te remmen omdat het over 3 seconden op groen zal springen. Een auto die aan de achteropkomende auto's doorgeeft dat hij gladheid heeft gedetecteerd

zodat bestuurders hun snelheid vast aan kunnen passen. Of nog geavanceerder, auto's die aan hun achterliggers doorgeven dat ze afremmen, sneller en eerder dan de bestuurder had kunnen detecteren, en zelfs sneller dan sensoren zoals radar, scannende laser of een camera dit hadden kunnen detecteren, waardoor het voertuig zelf al af kan remmen voor een bestuurder door had dat er werd geremd. Hierdoor kan er dichter op elkaar worden gereden waardoor er meer verkeer over de weg kan. De voordelen van deze Coöperatieve Mobiliteit boven een helemaal op zichzelf automatisch rijdende auto zoals Google voorstaat zijn enorm. Juist door samen te werken en informatie uit te wisselen kunnen sneller en beter beslissingen worden genomen en kan dit een bijdrage leveren aan het verhogen van de wegcapaciteit. Waar een Google-auto voldoende afstand van anderen zal moeten houden om het veilig te houden, kan een coöperatief voertuig dus juist heel dicht op andere coöperatieve voertuigen rijden onder dezelfde veiligheidsnormen, waardoor de wegcapaciteit hoger kan komen te liggen. Dat coöperatieve mobiliteit de toekomst heeft, blijkt ook wel uit het feit dat de VS verplicht dat nieuw te produceren voertuigen alle techniek in huis moeten hebben om straks met elkaar te kunnen gaan communiceren.

Heel veel berichten, heel veel verschillende testen en systemen, en heel veel spraakverwarring. Met name in de media en in de volksmond, maar soms ook in formele settings, worden er verschillende termen door elkaar gebruikt. Zo wordt er gesproken over 'de zelfrijdende auto', 'de automatisch rijdende auto', 'de automatische auto', 'de autonome auto' maar bedoelen we nu allemaal hetzelfde of zijn dit andere concepten? Het maakt nogal wat uit of we het hebben over een auto die autonoom van A naar B kan rijden zelfs zonder mens in het voertuig, of dat we het hebben over een auto die bepaalde delen van de rijtaak onder bepaalde omstandigheden gedeeltelijk over kan nemen. Aangezien het belangrijk is verwarring te voorkomen, zeker aangezien de rol van de mens in verschillende concepten aanzienlijk kan verschillen, wil ik allereerst de formele definities zoals gehanteerd door de SAE (Society of Automotive Engineers) presenteren.

DE TRANSITIE NAAR AUTOMATISCH RIJDEN

De SAE indeling wordt weergegeven in Figuur 8.

Level	Name	Narrative definition	Execution of steering and acceleration/ deceleration	Monitoring of driving environment	Fallback performance of dynamic driving task	System capability (driving modes)	BASE level	NHTSA level
Human driver monitors the driving environment								
0	No Automation	the full-time performance by the human driver of all aspects of the dynamic driving task, even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a	Driver Only	0
1	Driver Assistance	the driving mode-specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes	Assisted	1
2	Partial Automation	the driving mode-specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the human driver perform all remaining aspects of the dynamic driving task	System	Human driver	Human driver	Some driving modes	Partially Automated	2
Automated driving system ("system") monitors the driving environment								
3	Conditional Automation	the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the human driver will respond appropriately to a request to intervene	System	System	Human driver	Some driving modes	Highly Automated	3
4	High Automation	the driving mode-specific performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task, even if a human driver does not respond appropriately to a request to intervene	System	System	System	Some driving modes	Fully Automated	4
5	Fall Automation	the full-time performance by an automated driving system of all aspects of the dynamic driving task under all roadway and environmental conditions that can be managed by a human driver	System	System	System	All driving modes		

Figuur 8. Indeling van verschillende niveaus van automatisering in het voertuig (SAE, 2014)

Op niveau 0 is er geen sprake van automatisch rijden. Dit niveau komt neer op de wijze van rijden zoals de meeste mensen op dit moment doen. De bestuurder voert de rijtaak zelf uit, en wordt eventueel ondersteund, bijvoorbeeld door een navigatiesysteem of een achteruitrijcamera voor het uitvoeren van een inparkeermanoeuvre.

Niveau 1 is Driver Assistance. Hierbij kan ofwel het sturen (de laterale rijtaak) ofwel het gasgeven en remmen (de longitudinale rijtaak) *onder bepaalde omstandigheden* worden overgenomen of ondersteund. De mens voert hierbij alle overige rijtaken uit en moet actief de omgeving in de gaten houden en er continue klaar voor zijn om eventueel dit deel van de rijtaak weer over te nemen. Een voorbeeld van dit niveau is bijvoorbeeld Adaptive Cruise Control die de longitudinale rijtaak overneemt van de bestuurder. Bij Adaptive Cruise Control stelt de bestuurder net als bij Cruise Control een voorkeursnelheid in, maar daarnaast stelt de bestuurder ook een gewenste volgtijd tot de voorligger in. Het systeem probeert dan de gewenste snelheid te realiseren, en houdt tegelijkertijd ook rekening met voorliggers door af te remmen wanneer men de voorligger te dicht nadert. De mens kan te allen tijde ingrijpen en daarmee wordt het systeem automatisch gedeactiveerd.

Op niveau 2, Partial Automation, voert het systeem zowel de longitudinale als de laterale rijtaak uit *onder bepaalde omstandigheden*. De mens blijft hier ook echter verantwoordelijk voor het actief monitoren van de omgeving. Hierbij voert de bestuurder nog steeds een zeer belangrijke taak uit, aangezien hij of zij altijd de ogen op de weg moet blijven houden en mee moet blijven kijken. De taak gaat echter op deze momenten meer richting het monitoren van het systeem, een tijdelijke rol als actief meekijkende passagier, die moet en kan ingrijpen in situaties waar het systeem niet kan functioneren. Het enige dat deze vorm van automation mogelijk maakt is dat de bestuurder onder bepaalde omstandigheden zijn voeten van de pedalen en zijn handen van het stuur kan halen. De aandacht moet net zozeer bij de rijtaak blijven als onder niveau 0 en 1. Een voorbeeld van Partial Automation is een ACC gecombineerd met een Lane Keeping System dat bijvoorbeeld door middel van camera kijkt naar de markering op de weg voor het koershouden. Het systeem is echter alleen operationeel in een beperkt gebied. In het onderhavige voorbeeld is bijvoorbeeld een eis dat er wegmartering is, en is het systeem niet bedoeld voor zeer veiligheidskritische situaties. Daarom moet de bestuurder te allen tijde kunnen ingrijpen, waarbij het systeem dan automatisch gedeactiveerd wordt.

Vanaf niveau 3, Conditional Automation, regelt het systeem niet alleen de laterale en longitudinale rijtaak, maar neemt het systeem ook de bredere omgeving waar. Onder specifieke omstandigheden hoeft de bestuurder in principe niet zelf te rijden, en kan dus niet alleen de handen van het stuur en voeten van de pedalen halen, maar ook de aandacht van de weg halen. In bepaalde situaties kan het systeem echter aan de bestuurder vragen om de controle weer over te nemen. Het systeem realiseert zich dus eventuele beperkingen en indien het systeem aan de grenzen komt van presteren zal het vragen of de bestuurder de controle weer over wil nemen. Een voorbeeld van Conditional Automation is de Traffic Jam Assist, waarbij een bestuurder tijdens het rijden in de file met een langzaam rijdende voorligger het systeem in kan schakelen om automatisch te rijden op een autosnelweg, waarbij de bestuurder zijn ogen van de weg kan halen. Zodra de snelheid weer boven de 50 km/h komt vraagt het systeem de controle weer over te nemen. Niveau 4 is High Automation, waarbij het systeem zelfs met situaties om kan gaan waarbij de bestuurder niet meer adequaat reageert op een verzoek om de rijtaak weer over te nemen en dus bijvoorbeeld zelf een auto aan de kant kan zetten. Het wil echter nog niet zeggen dat het systeem onder alle condities en omstandigheden de rijtaak veilig over kan nemen. Een voorbeeld van niveau 4 is Conditional Automation (niveau 3) uitgebreid met Emergency Assist van Volkswagen (zoals reeds eerder is beschreven).

Bij niveau 5, Full Automation kan een automatisch systeem alles onder alle omstandigheden zelf en kan de auto dus ook zonder mens er in op pad. Dit stadium wordt ook wel autonomous driving genoemd.

Wat we dus in feite zien is dat er een transitie in gang is gezet van volledig als mens zelf rijden naar volledig automatisch rijden. Een transitie die voor het menselijk uitvoeren van de rijtaak een groot gevolg gaat hebben. Waar een bestuurder eerst alles zelf deed, wordt een bestuurder nu al steeds meer ondersteund door slimme systemen die informeren of waarschuwen. Via een situatie waarin delen van de rijtaak worden overgenomen maar de bestuurder nog wel als back-up functioneert van het systeem gaan we uiteindelijk toe naar een situatie waarin we de rijtaak volledig en letterlijk uit handen kan worden geven. We noemen deze transitie ook wel van *'driver in the loop'* (de bestuurder regelt de rijtaak volledig) naar *'driver out of the loop'*, waarbij de bestuurder uiteindelijk helemaal geen rol meer heeft in het besturen van het voertuig.

Deze transitie wordt gesymboliseerd in Figuur 9.



Figuur 9: Voorbeelden van de transitie van manueel naar automatisch rijden (copyright van links naar rechts: (a) TNO, (b) TU Braunschweig (c) www.bmwblog.com/2012/01/26/video-bmw-shows-hands-free-driving-on-autobahn/ (d) Vava Vladimir Jovanovic via www.digitaltrends.com/cars/volvo-put-100-self-driving-cars-swedish-roads-pilot-project/#!bi9G3h)

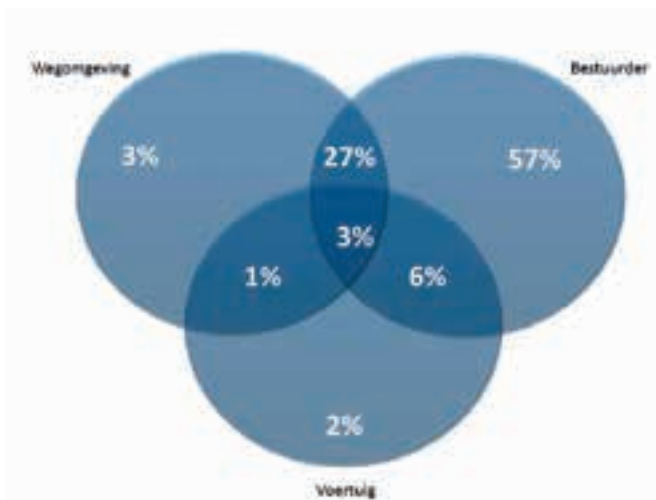
Maar waarom zijn we deze weg aan het bewandelen? Waar is deze transitie voor nodig? Welke problemen gaan hiermee opgelost worden?

DE KEERZIJDJE VAN AUTOMOBILITEIT

Automobiliteit is fantastisch. We kunnen ons bijna geen maatschappij voorstellen zonder deze flexibele vorm van vervoer. Echter, automobiliteit brengt ook een eigen problematiek. Op dit moment kosten files in Nederland ons rond de 2 miljard Euro per jaar (KIM, 2013). Hoe groot dit getal precies is hangt af van wat er allemaal wordt meegerekend. Zo wordt vaak het extra brandstofverbruik in files meegerekend, maar de grootste kosten komen voort uit de zogenoemde voertuigverliesuren, te weten 42,9 miljoen voertuigverliesuren in 2013 (RWS, 2014a). Dit zijn 42,9 miljoen uren die we niet op een andere wijze hebben kunnen inzetten voor nuttigere en waarschijnlijk meer aangename zaken. Ongeveer 16% van alle files wordt veroorzaakt door ongevallen, met bijbehorende kijkfiles (RWS, 2014a). Ook al geven we het niet graag toe, we zijn als mens toch uiterst nieuwsgierig en willen toch graag zelf zien hoe ernstig het ongeval is waar we langs rijden. In totaal kost verkeersonveiligheid met alle ongevallen die in Nederland gebeuren op jaarbasis de maatschappij zelfs 13 miljard (KIM, 2013). En hoewel we in Nederland goed in staat zijn om het aantal dodelijke ongevallen in het verkeer de laatste decennia af te laten nemen, de hoeveelheid gewonden door wegverkeer neemt helaas wel toe. De kans op overlijden door een ongeval is over de jaren dus afgenomen, maar de kans op letsel neemt toe. Naast de tragiek van verkeersdoden en gewonden wordt ook steeds duidelijker hoe slecht verkeer is voor onze luchtkwaliteit, en hoeveel we daar met zijn allen onder te lijden hebben. Wanneer ook kosten gepaard met slechte luchtkwa-

liteit door het wegverkeer worden berekend komt er op jaarbasis grofweg nog zo'n 5 miljard bij (KIM, 2013).

Dat we hier graag een en ander aan willen verbeteren spreekt voor zich. De vraag is uiteraard hoe. Maar dat er een hoop te verbeteren valt op het gebied van menselijk rijgedrag staat buiten kijf. Er wordt wel eens gezegd dat meer dan 90% van alle ongevallen veroorzaakt worden door menselijk falen (zie Figuur 10).



Figuur 10: Overzicht van geschatte menselijk aandeel in verkeersongevallen (naar Rumar, 1985).

Mensen zijn geen optimisers, maar satisficers. We doen niet ons best om onszelf met zo min mogelijk kans op een ongeval van A naar B te brengen. We rijden niet op de meest *optimale* wijze, maar op een voor ons *acceptabele* wijze, die ergens het midden houdt tussen moeite doen en aandacht bij de rijtaak houden, en een acceptabel niveau van veiligheid. Kortgezegd, we doen redelijk ons best om min of meer veilig te rijden. Dat we niet gaan voor de minimale kans op een ongeval blijkt wel uit het feit dat we toch in de auto stappen als het glad is (al rijden we wel wat zachter, we rijden niet zacht genoeg), dat we ons laten afleiden door whatsapp achter het stuur, dat we soms te hard rijden, niet alle informatie die op borden staat bewust waarnemen en helaas ook af en toe wat moe worden achter het stuur. We weten allemaal dat dat gebeurt en we weten dat sommige dingen niet ver-

standig zijn achter het stuur, en toch doen we ze. En daarbij moeten we nog het feit optellen dat we onszelf enorm overschatten. Ongeveer 80 procent van de automobilisten vindt zichzelf veiliger rijden dan andere automobilisten (Svensson, 1981). Als het waar zou zijn was dit een statistisch mirakel, de enige mogelijke conclusie is dat de meerderheid van de automobilisten de eigen rijvaardigheid overschat.

Naast deze sombere opsomming van het menselijk falen wil ik echter ook de positieve kant van dit alles belichten en het opnemen voor de species Mens. Het goede nieuws is namelijk dat een mens in een aantal zaken erg goed is, zoals het omgaan met nieuwe situaties waaraan we nog niet eerder zijn blootgesteld, en het interpreteren en duiden van de intenties van anderen. Al in 1951 heeft de heer Paul Fitts een zogenoemde Fitts' list opgesteld (Fitts, 1951). Binnen de context van klassieke functie-allocaatie, welke taken wijzen we toe aan een computer en welke taken wijzen we toe aan de mens, beschrijft deze lijst duidelijk waar de mens zijn of haar kracht ligt. Deze golden in 1951 en gelden nog steeds. Waar de kracht en de beperkingen van de computers lagen in die tijd is weliswaar ten dele achterhaald, maar het type functies waar een computer goed in is, is nog steeds van toepassing. Wat helder is, is dat sensoren in tegenstelling tot de mens niet de eigenschap hebben moe te worden, zich niet laten afleiden, een korte reactietijd hebben en al zeker geen last hebben van zelfoverschatting. Het interessante is nu of de sterktes van de technologie 1 op 1 ingezet kunnen worden om de zwaktes van de mens op te heffen, zonder de sterktes van de mens te verliezen. Helder is dat er nog een hoop ruimte is voor verbetering. Het gebruik van technologie om de mens juist in die taakonderdelen te ondersteunen waar de mens niet goed in is, de mens en techniek die elkaar aanvullen biedt perspectief. De vraag die ik mij als nieuw aangestelde hoogleraar dan ook stel is of en zo ja hoe deze technologische ontwikkelingen ons gaan beïnvloeden, en of dit ons in ons doen en laten wezenlijk zal veranderen. Kunnen we de technologie zonder meer inzetten om menselijke fouten op te heffen? Of zal technologie ons veranderen als mens, in wat we kunnen, of misschien wel niet meer kunnen en niet onbelangrijk in wat we willen? En hoe verhouden deze ontwikkelingen zich tot de huidige maatschappelijke ontwikkelingen die op hun eigen wijze toekomst van mobiliteit verder zullen beïnvloeden? Lost de problematiek rondom automobilititeit zichzelf niet vanzelf op zonder technologie doordat er wellicht een trend is richting steeds minder autogebruik?

De rol van maatschappelijke ontwikkelingen op de toekomst van mobiliteit is aan de orde geweest in de toekomstverkenning *de Toekomst van Superintelligent Vervoer in de Maatschappij*, uitgevoerd door de Stichting Toekomstbeeld der Techniek (STT). In samenwerking met vele publieke en private partijen is de publicatie *Het vervoer van morgen begint vandaag* verschenen (Van Voorst tot Voorst & Hoogerwerf, 2013). In deze verkenning zijn mogelijke beelden geschetst voor de toekomst, en de effecten die deze beelden zullen hebben op mobiliteit. Een belangrijke basis voor deze beelden is een aantal maatschappelijke trends die ik hier vandaag wil noemen.

MAATSCHAPPELIJKE TRENDS

Eén van de belangrijke trends, die onbetwist van invloed is op de toekomstige mobiliteitsontwikkelingen, is de bevolkingsontwikkeling. Tot 2050 wordt er een sterke groei van de wereldbevolking verwacht, een groeiende bevolking met allemaal een eigen mobiliteitswens. Binnen deze trend van een groeiende wereldbevolking vindt daarnaast ook een trend van vergrijzing plaats. In Nederland zal naast vergrijzing echter ook een ontgroening plaatsvinden (CBS, 2010). Ontgroening betekent in dit geval een relatieve afname in het aantal jongeren tussen de 0 en de 19 jaar. Vergrijzing betekent een toename in het aandeel mensen boven de 65 jaar. Wat gaat deze leeftijdsopbouw binnen de context van een groeiende wereldbevolking betekenen voor mobiliteit?

Naast de toename in verplaatsingsbehoefte door een groeiende wereldbevolking zal de verandering in leeftijdsopbouw en het ontstaan van een kleinere beroepsbevolking ook gepaard gaan met een verwachte toename in de verplaatsingsbehoefte en een verandering in de vervoerswijze en de tijdstippen van verplaatsingen. De verwachte toename van eenpersoonshuishoudens zal de vraag naar mobiliteit nog verder doen toenemen, en ondanks het feit dat er een sterke daling in mobiliteit werd verwacht de afgelopen jaren door de komst van het nieuwe werken komt meer dan 70% van de afgelegde kilometers woon-werkverkeer nog steeds voor rekening van de auto (cijfers CBS, 2013a). Huidige inschattingen zijn dat de congestie op middellange termijn zelfs met 2.5 procent kan toenemen door een aantrekkende economie en lagere benzineprijzen (KIM, 2013). In 2013 reed er ten opzichte van 2012 1% meer verkeer op het Rijkswegennet (RWS, 2014a) en in april 2014 kwam het aantal afgelegde kilometers op Rijkswegen hoger ooit dan ooit daarvoor (RWS, 2014b, zie Figuur 11).



Figuur 11: Ontwikkeling afgelegde kilometers op het Rijkswegennet, uitgezet over de tijd (RWS, 2014b).

Maar hoe verhouden deze cijfers zich dan tot de berichten die ons de afgelopen tijd via de media bereikt hebben waarin een grote afname blijkt van autobezit onder jongeren, en dan met name onder de jongeren onder de 26 (CBS, 2013b)? Helemaal interessant hierbij is dat deze afname in autobezit onder jongeren niet alleen in Nederland aan de gang is, maar dat dit ook gevonden wordt in veel andere landen zoals Zweden, Frankrijk, Australië, de VS en Japan. Deze trend valt niet primair te verklaren door de economische crisis, aangezien een nadere analyse laat zien dat deze trend zich al voor de crisis heeft ingezet. Rest ons wederom de vraag: Zijn we als mens echt aan het veranderen, met andere behoeftes? Hebben jongeren van nu daadwerkelijk minder intrinsieke behoefte aan auto-mobiliteit? *'Liever een iPad dan een auto'* werd er al snel in de media van gemaakt. Maar wat blijkt nu uit nader onderzoek van het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid? Jongeren kiezen niet voor autoloos, maar voor een auto later (KIM, 2014). Waar het autobezit onder jongeren daalde met 4% is het aantal jongeren dat zijn of haar rijbewijs haalt nog steeds even groot. Jongeren hebben geen andere levenshouding dan een aantal jaren geleden, ze wachten alleen iets

langer met de aanschaf zelf. Sterker nog, juist door het gebruik van sociale media worden er meer contacten gelegd en is het makkelijker om met elkaar af te spreken, waardoor er zelfs meer behoefte aan mobiliteit optreedt. Jongeren halen hun rijbewijs zelfs op eerdere leeftijd. Vanaf 2010 mogen jongeren in Nederland vanaf 17 jaar hun rijbewijs halen en op 17 juli 2014 berichtte nu.nl dat het aantal 17-jarigen dat een rijbewijs haalde in 2014 ten opzichte van 2013 is gestegen. Hierbij komt nog dat in een vergrijzende maatschappij het autobezit onder 65 plussers juist toe is genomen met 7%, waardoor een krimpende behoefte aan mobiliteit nergens te bekennen is.

Een interessant en nieuw fenomeen dat hiermee wel aan het licht komt is de trend van ontkoppeling tussen autobezit en autogebruik. De behoefte aan automobilititeit en het bezit van een auto zijn voor het eerst niet meer 1 op 1 aan elkaar te koppelen. De behoefte aan automobilititeit is even groot, zo al niet groter, maar dit hoeft niet perse in een eigen auto te zijn. Wel de lusten van automobilititeit, maar niet de lasten. Een verandering van bezit naar gebruik. Indien men een auto nodig heeft huurt men er één, via Car2Go, Snappcar of MyWheels. Je kiest een auto die past bij jouw omstandigheden voor dat moment, een grote bestelbus als je die dag veel spullen moet vervoeren, een kleine auto als je een grotere afstand af moet leggen en eindigt in een stad met weinig parkeerplaatsen en een MPV als je kind een feestje geeft. En heb je toch een eigen auto, die vaak nutteloos voor de deur staat of op de parkeerplaats van je kantoor, dan laat je deze gebruiken door anderen in de tijd dat je hem niet gebruikt. Een mooi voorbeeld hierbij is het initiatief ParkFlyRent op Schiphol. Je gebruikt je auto om naar Schiphol te gaan, maar hebt hem tijdens je vakantie drie weken niet nodig. Waar veel mensen zich dan af laten zetten op Schiphol door familie, kun je nu je auto laten gebruiken door derden. Je hoeft je auto niet te parkeren, betaalt geen parkeergeld, wordt voor de vertrekhal met je bagage afgezet en als je terugkomt staat hij er weer netjes gewassen weer op je te wachten. Indien je auto verhuurd is, houd je er zelfs nog iets aan over. Wel de lusten, niet de lasten. Dit past bij onze toenemende behoefte aan comfort, de behoefte aan flexibiliteit, alles op maat, individueel, snel en gemakkelijk. Uiteraard vinden we dit concept nu best nog spannend, want het voelt ergens toch nog wat ongemakkelijk, maar indien we daadwerkelijk de voordelen ervaren zonder nadelen zal de initiële drempelvrees slechts van korte duur zijn.

Ik noemde al een volgende maatschappelijke trend. Verdere toename van de individualisering. Eigen behoeften en eigenbelang van een persoon staan meer voorop, waarbij alles sneller, beter en gemakkelijk moet. Wie

leest er tegenwoordig nog een uitgebreide gebruiksaanwijzing? Als het uit zichzelf niet duidelijk is hoe iets werkt is het een rot ding en kopen we de volgende. Een app van 79 cent moet wel echt goed zijn anders nemen we er wel één die gratis is. We zijn niet meer merk-trouw, bij slechte ervaringen stappen we gewoon over naar het volgende en iets moet snel wat opleveren anders stoppen we onze energie liever in wat anders. Zijn we dan toch als mens aan het veranderen? Of zijn onze behoeften, vaardigheden en beperkingen hetzelfde als jaren terug, en is alleen de omgeving waarin we wonen, werken en verkeren veranderd? Als je iets wilt zeggen over de toekomst en de invloed van technologische en maatschappelijke ontwikkelingen de komende 30 jaar is het altijd interessant als gedachtenexperiment eens terug te gaan naar 30 jaar geleden. Ik neem u graag even mee terug naar 1984.

1984

Het is 1984, Nederland beschikt op televisie over Nederland 1 én 2 en de eerste commerciële satellietzender, genaamd SkyChannel doet zijn intrede. Behalve wellicht hier en daar een Atari spelcomputer beschikten Nederlandse huishoudens niet over een computer, laat staan een internetaansluiting. Telefoneren vond plaats door middel van vaste toestellen met een draadje in de muur, en als je graag wilde ijsberen tijdens het telefoneren nam je gewoon een heel lang draadje aan je telefoon. Als je echt heel belangrijk was had je wellicht een autotelefoon, een groot apparaat dat fysiek verbonden was met wederom het bekende draadje, maar ditmaal bevestigd aan het dashboard in je auto. De enige mobiele telefoon die bestond was de DynaTAC 8000X van Motorola, met een stand-by tijd van een uur, hij kostte 4000 US Dollar, met antenne erbij was hij 30 cm groot en het toestel woog een kilo. Maar, dan kon je er toch zeker een paar minuten mee bellen voor hij leeg was. Als je iets met iemand zakelijk wilde bespreken belde je op vanaf kantoor met je vaste lijn of via een brief of fax een afspraak voor een face to face vergadering. Niemand had nog van Bill Gates gehoord, de meeste Engelse woorden hadden gewoon nog een goede Nederlandse vertaling. Nieuwtjes over familie en vrienden hoorde je van elkaar. Niet alleen Facebook bestond nog niet, Mark Zuckerman moest zelfs nog geboren worden. Als je ergens heen reed waar je nog niet eerder was geweest bereidde je dat voor met een papieren kaart en het beroemde stratenboek. Als de weg dan was veranderd ten opzichte van het stratenboek, dan draaide je je raam open met een fysieke hendel en vroeg je iemand om de weg.

Mensen zagen ook dat je je raampje opendraaide en iets wilde vragen, want de meeste mensen die op straat liepen keken voor zich of om zich heen, en niet naar een schermpje tijdens het lopen. Als je pech had met de auto liep je naar een gele praatpaal en riep je de ANWB op. We spraken voor een feestje nog niet af wie er zou rijden, en afleiding in het verkeer bestond alleen nog door rare borden langs de weg, het roken van een sigaret of het wisselen van een cassettebandje in de radiocassettespeler. De meest geavanceerde in-voertuigtechnologie bestond uit cruise control en uit sturen en rembekrachtiging. De enige zelfrijdende auto die er bestond was in eigendom van Michael Knight (zie Figuur 12).



Figuur 12: KITT uit het televisie programma Knight Rider (copyright Daniel Dionne).

Zoals het in 1984 was, is het al lang niet meer, maar we kunnen uit de ontwikkelingen vanaf 1984 tot nu toe wel een hoop leren over menselijk gedrag, hoe mensen omgaan met nieuwe technologie en of we als mens aan het veranderen zijn. In mentale en fysieke capaciteit zijn we niet veranderd als mens, al doen we soms wel alsof. We doen anno 2014 veel meer tegelijkertijd, en claimen te kunnen multi-tasken. Volgens Earl Miller, een hoogleraar van MIT kunnen we dit echter nog steeds niet goed. Multi-tasken gaat ofwel ten koste van de kwaliteit van de gecombineerde taken, ofwel het lijkt op multi-tasken, maar is in feite niet meer dan het continue en snel schakelen tussen verschillende taken, hetgeen toch tijd kost. Ook hierin is sinds 1984 niets veranderd. En met name daar, waar we aan de randen

komen van wat we als mens kunnen, maar wel behoefte aan hebben, kan ondersteunende technologie een goede rol vervullen. We willen wel graag onze mail lezen tijdens het autorijden, aangezien de verleiding nu zo dicht bij is met onze email op de bijrijdersstoel naast ons, maar zolang we zelf rijden is het nog steeds compleet onverantwoord dit te doen. Maar waar mensen steken laten vallen kunnen we technologie wellicht wel inzetten om deze fouten op te vangen, zoals in situaties waarin we afgeleid zijn. Een beroemde studie uit de VS (Klauer et al, 2006) liet al zien dat wat we achter het stuur doen zeer divers is, van eten achter het stuur, het opdoen van make-up en scheren, tot het doodslaan van vliegen en uiteraard sms-en een aantal zaken die maar beter niet genoemd kunnen worden. Door een hoop auto's uit te rusten met camera's en mensen 18 maanden lang te volgen kon exact worden vastgelegd wat mensen deden en hoe dit correleerde met veiligheid. Hier werd ook nog eens aangetoond dat ogen best heel erg kort even van de weg mogen worden gehaald, maar dat ongevallen en bijna-ongevallen duidelijk gecorreleerd zijn met lengte van de kijkduur (zie Figuur 13). Zodra we onze ogen 2 seconden of langer van de weg halen, neemt het risico op een ongeval dramatisch toe. Technisch gezien is het eenvoudig om te meten hoe lang mensen van de weg kijken, waardoor het ook eenvoudig is om technologie in te zetten om bestuurders te waarschuwen weer op de weg te kijken of om de bestuurder op gepaste wijze te ondersteunen, bijvoorbeeld door het eerder genoemde Lane Keeping System.



Figuur 13: De totale gemiddelde tijd dat automobilisten hun ogen niet op de weg hadden gedurende de 6 seconden voor een incident of ongeval (Klauer et al, 2006).

Het lastige is echter, en dat maakt dit vakgebied voor gedragswetenschappers zo interessant, dat mensen adaptieve wezens zijn en zich dus onder bepaalde omstandigheden ook weer gaan aanpassen aan het feit dat ze deze ondersteuning hebben. Als we een systeem hebben dat ons waarschuwt wanneer we de rijstrook uitrijden, kunnen we best wat vaker onze mail checken. Zo kunnen er dus ongewenste neveneffecten optreden, die niet bedoeld waren door de ontwerper van het systeem, maar waar we wel rekening mee zullen moeten houden. De onvoorspelbare mens die altijd weer roet in het eten gooit, en zich nooit precies zo gedraagt als ontwerpers vooraf hadden bedacht. Neveneffecten, exact op de grens tussen mens en techniek.

INTERACTIE TUSSEN BESTUURDER EN SYSTEEM

Laten we eens beginnen met deze neveneffecten bij de reeds genoemde Cruise Control, een van de eerste bestuurdersondersteunende systemen. Cruise Control (CC) werd al in de jaren 50 ontwikkeld voor Chrysler. Een zekere meneer Ralph Teetor had zich enorm geërgerd aan het feit dat automobilisten als ze zaten te kletsen met een passagier in de auto steeds langzamer gingen rijden en wilde daar een oplossing voor. Dhr Teetor had zelfs bedacht dat er ook nadelen aan zouden kunnen zitten. Zo leek het hem geen goed idee als mensen met Cruise Control aan door de stad zouden rijden. Dit had hij, dacht hij, ondervangen door het systeem zo te ontwerpen dat het pas vanaf de 4^e versnelling (let wel dit was toen de hoogste versnelling) kon worden ingeschakeld. Waar hij echter aan voorbij ging was het Human Factors fenomeen *Behavioural Adaptation*. Er is namelijk een goede reden waarom mensen onder deze omstandigheden de snelheid reduceren. Indien de rijtaak een groot deel van de mentale capaciteit van een automobilist in beslag neemt, en hier komt een taak bij, te weten het converseren met een passagier, dan hebben we al eerder vandaag geleerd dat we niet altijd in staat zijn deze taken te combineren. Bij multi-taken leidt dus vaak de kwaliteit van één van de taken, en in dit geval levert men dus in op het stabiel op snelheid houden van het eigen voertuig. Door de snelheid dus te laten zakken blijft de werklast ongeveer op een gelijk niveau en heeft men meer tijd om te reageren op onverwachte zaken, iets dat we ook terug zien bij oudere weggebruikers die over het algemeen langzamer rijden, bijvoorbeeld bij het invoegen op de snelweg dan andere automobilisten (Immers, Martens & Moerdijk, in press). En als er een grote Mercedes keurig op de

rechterstrook 80 rijdt tussen het vrachtverkeer dan is de kans ook groot dat de automobilist aan het bellen of wellicht zijn mail aan het checken is. Voorbij gaan aan de reden waarom men de snelheid terug laat zakken, en het op snelheid houden van een voertuig onafhankelijk van de toestand van de bestuurder blijft helaas niet zonder consequenties. Onder de juiste omstandigheden is CC heerlijk comfortabel en met een alerte bestuurder achter het stuur gaat dit ook prima. Echter, zoals ik u al eerder leerde, de mens is een satisficer, geen optimiser. Dat dergelijke neveneffecten ernstige gevolgen kunnen hebben, hebben we helaas ook in de praktijk gevonden. In 2004, exact 10 jaar geleden stond de rol van Cruise Control bij het ontstaan van ongevallen in de schijnwerpers (zie Figuur 14).



Figuur 14: Krantenkop in de Volkskrant in 2004 naar aanleiding van een fataal ongeval.

Bij het plotseling optreden van file moeten mensen zo snel mogelijk remmen om kop-staart botsingen te vermijden. U kent allen het beruchte harmonica-effect ofwel een fileschokgolf waarbij u het ene moment nog het idee heeft heerlijk door te rijden om het volgende moment opeens fors in de rem te moeten voor een file die u niet aan had zien komen. Indien de Cruise Control dan aanstaat en u niet voldoende aandacht bij de rijtaak heeft, kunt u dus op volle snelheid op de file inrijden. Dit is helaas verschillende malen gebeurd met ook dodelijke afloop tot gevolg, waarbij zelfs ook vrachtverkeer met volle snelheid op stilstaande files zijn ingereden omdat men de Cruise Control aan had. Nogmaals, een prettig systeem, maar helaas wel met ongewenste neveneffecten. Op locaties waar dergelijke ongevallen plaats hebben gevonden, zoals bijvoorbeeld op de E19 van Breda richting Antwerpen, maar ook op andere locaties waar vaker files plaatsvonden, zijn vaste borden langs de kant van de weg geplaatst met: Cruise Control uit (zie Figuur 15).



Figuur 15: Borden om mensen te stimuleren op filegevoelige trajecten de Cruise Control uit te schakelen.

Maar niet alleen in dergelijke extreme situaties beïnvloedt CC ons gedrag. Ook in het normale verkeer zijn er, naast het voordeel van een stuk comfort voor de chauffeur onder rustige verkeersomstandigheden, negatieve gedragseffecten gevonden van Cruise Control. Stel iemand rijdt op de middelste rijstrook van de autosnelweg met Cruise Control aan, en rijdt langzaam op de voorligger af, die men eigenlijk wil inhalen. Op dat moment komt er echter iemand op de linkerrijstrook aangereden met een iets hogere snelheid, dus men moet in de middelste rijstrook wachten tot deze auto voorbij is voor men naar links kan gaan. Doordat men de Cruise Control niet uit wil zetten nadert men de voorligger veel dichters dan men zonder Cruise Control zou doen, om op het laatste moment met een veiligheidstechnisch onverantwoord kleine volgafstand snel naar links te gaan. Dit verhoogt tijdelijk het risico op een kop-staart botsing en zorgt ervoor dat men dus anders gaat rijden dan men normaliter zou doen. Ook proberen sommige weggebruikers de CC niet uit te zetten indien ze een bocht doorrijden. Slechts indien men in de bocht echt het gevoel heeft dat het te hard gaat zet men de CC uit en is de snelheid dus een tijdlang hoger dan wanneer men zelf de snelheid zou kiezen.

Maar voor alles bestaat een oplossing. Tegenwoordig is Adaptive Cruise Control, ofwel ACC al commercieel verkrijgbaar in verschillende voertuigen. Het voordeel hiervan is dat de auto, als de ACC is ingeschakeld niet alleen een door de bestuurder zelf ingestelde wensnelheid aanhoudt, zoals ook bij Cruise Control maar deze snelheid alleen aanhoudt indien de snelheid van de voorligger dit toelaat. Hierbij stelt de automobilist zelf een voorkeursvolgtijd in tot de voorligger (iets verder of iets dichterbij). De auto mindert automatisch vaart indien men een voorligger nadert. Dus stel je wilt 120 km/h rijden maar je voorligger rijdt maar 112, dan zal je eigen auto deze auto volgen met 112 tot deze aan de kant gaat en dan weer optrekken tot 120 km/h. Ideaal, ook de voet van het gaspedaal, net als met Cruise Control, maar geen noodzaak het systeem telkens uit en aan te zetten omdat het andere verkeer langzamer rijdt dan jij. Maar helaas speelt ook hier een aantal, misschien nog wel interessantere Human Factors aspecten (voor een overzicht van effecten van ACC op de bestuurder zie De Winter, Happee, Martens & Stanton, in press). Het interessante begint al het met het feit dat er verschillende types ACC zijn, allemaal met hun eigen functionaliteiten. De ene ACC is een full range ACC, die de auto helemaal tot stilstand kan brengen indien nodig waar andere ACC systemen alleen werken bij een bepaalde minimale snelheid. Ook heeft ACC een maximale remkracht, waardoor de bestuurder zich goed bewust moet zijn van wat het systeem wel en niet kan. Wanneer het systeem de grenzen bereikt dient de bestuurder namelijk zelf het remmen weer over te nemen. Net als bij CC is ACC zo ontworpen dat er altijd prioriteit wordt gegeven aan interventie van de bestuurder. Zodra de bestuurder remt of met een knop het systeem uitschakelt wordt het systeem gedeactiveerd. Maar realiseert een bestuurder zich voldoende wat het systeem wel en niet doet en wanneer het wel of niet aanstaat? Bij aanschaf van een auto met ACC krijgt men meestal geen instructie over hoe de ACC werkt en wat dit specifieke systeem wel en niet in zijn mars heeft. Zeker wanneer we meer en meer gebruik maken van concepten als Car Sharing, waarin het ene voertuig uitgerust is met systeem A dat beschikt over specifieke kenmerken en het voertuig waarin we de dag erna rijden heeft systeem B met andere kenmerken, kan dit voor gevaarlijke situaties zorgen. Zo is gebleken dat van de mensen die ACC in hun auto hadden én zelfs de handleiding hadden gelezen, zich 99% niet realiseerde dat hun specifieke ACC niet stopte voor stilstaande objecten op de weg (Llaneras, 2007). En in dit leerproces speelt vertrouwen in het systeem ook een interessante psychologische rol. Bestuurders met meer vertrouwen in ACC wachten eerst tot ze zien dat het systeem er niet mee kan

omgaan om daarna pas in te grijpen (Rajaonah et al, 2008), een fenomeen dat ik ook al noemde voor CC in bochten. Men gaat deze situaties dus niet voorkomen maar leert al doende en grijpt dan pas in. Hierbij toont dus juist de groep met het meeste vertrouwen in het systeem het meest risicovolle gedrag (Dickie & Boyle, 2009). Verschillende Field Operational Tests, uitgevoerd onder de vlag van de Europese Commissie laten zien dat er grote potentie zit in deze systemen voor het verbeteren van de verkeersveiligheid, maar dat de daadwerkelijke effecten sterk afhangen van het gebruik er van. Zo is bekend dat weggebruikers vaker niet-rijtaak gerelateerde activiteiten gaan uitvoeren als ze ACC gebruiken met een Forward Collision Warning, waarbij je gewaarschuwd wordt voor een naderende botskoers (Malta et al, 2012). Verschillende ACC studies laten zien dat mensen in het begin nog wat voorzichtig rijden met ACC, maar naarmate men er langer mee rijdt er steeds vaker abrupte remacties plaatsvinden (Winner, 2012), waarbij de bestuurder het systeem overruled door hard op de rem te trappen, iets dat voor de verkeersveiligheid ongewenst is. Met name situaties die slechts af en toe voorkomen leiden tot deze verrassingen. Zo kan het zijn dat men zich niet voldoende realiseert dat het systeem aan is en men schrikt van het feit dat het eigen voertuig ineens versnelt wanneer de voorligger van rijstrook wisselt. Een andere onaangename verrassing kan het gedrag zijn van ACC in bochten. Stelt u zich voor, u heeft de ACC aan staan en volgt dus keurig uw voorligger. U nadert een bocht naar rechts, en waar uw voorligger wat snelheid terug neemt voor de naderende bocht doet uw ACC hetzelfde. Wat gebeurt er echter indien uw voorligger de bocht ingaat? Aangezien ACC alleen naar voren kijkt verliest uw auto zicht op uw voorligger (deze gaat immers de bocht al door) en zal uw auto dus vlak voor de bocht gaan versnellen naar de van tevoren ingestelde Cruise snelheid, waardoor het kan voelen alsof uw auto op hol slaat (zie Figuur 16).

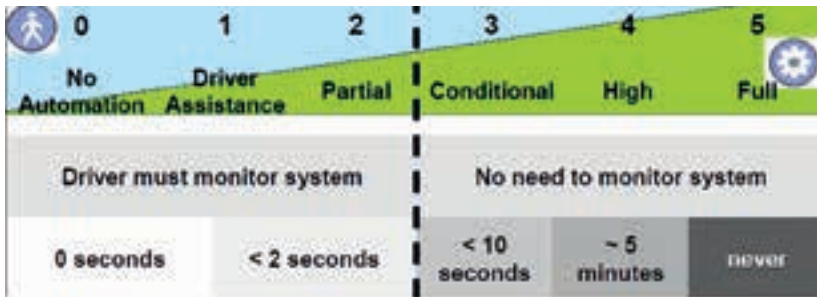


Figuur 16: Mogelijk gedrag van ACC in bochten.

Dit wordt ook wel *Sudden Unintended Accelerations* genoemd, een onderwerp waar op het Human Factors and Ergonomics Congres hele sessies aan worden gewijd, aangezien dit soort situaties vaker voorkomen dan alleen bij het gebruik van ACC. Sudden Unintended Accelerations staat voor een serie van situaties waarbij de bestuurder, onafhankelijk van de oorzaak het gevoel heeft dat de auto, de term zegt het al, tegen de wil van de automobilist in gaat versnellen. In bepaalde gevallen komt dit doordat men het systeem zelf aan heeft gezet maar het niet aansluit bij de verwachtingen die iemand heeft van het systeem, maar dit kan een verscheidenheid aan oorzaken hebben. In bepaalde gevallen kan er een technisch falen zijn (er worden op jaarbasis vele auto's bij alle bekende automobiefabrikanten terug geroepen vanwege kritische onderdelen of softwarefouten), maar ook menselijke fouten spelen hier wederom een rol. Zoals ik al aangaf, het kan zijn dat men de versnelling niet had verwacht of men zich niet meer realiseert dat de ACC aanstaat, maar ook komt het voor dat als men de voeten een

tijd niet hoeft hoeven gebruiken voor gasgeven en remmen men uit paniek het gaspedaal vol indrukt in plaats van de rem.

Maar problemen zijn er om op te lossen. Eerst was er Cruise Control, nu is er Adaptive Cruise Control en op dit moment zijn we al heel ver met de ontwikkeling van CACC, ofwel Cooperatieve ACC. Cooperatief, ik noemde al eerder de term Cooperatieve Mobiliteit, staat dus voor het uitwisselen van informatie, in dit geval tussen voertuigen onderling. CACC kan veel sneller reageren op versnellingen en vertragingen dan de conventionele ACC, aangezien voertuigen continue informatie aan elkaar doorgeven, waardoor er al gereageerd kan worden op een afremmend voertuig dat bijvoorbeeld 5 auto's voor je uit rijdt. Dit betekent ook dat auto's dichter op elkaar kunnen gaan rijden omdat de reactietijd van de bestuurder kan worden uitgeschakeld en men dus als het ware als een treintje achter elkaar kan gaan rijden. De bestuurder moet hier nog wel zelf sturen, net als bij CC en ACC maar hoeft geen gas meer te geven of te remmen. Indien we de technologie van CACC combineren met laterale ondersteuning zoals ook reeds ontwikkeld is (ik noemde al eerder het Lane Keeping System), gaan we al richting platooning, in de volksmond ook wel het rijden in een treintje genoemd. Het sluit ook goed aan op het beeld dat Volvo naar buiten brengt over hun visie op de toekomst van automatisch rijden. In dit stadium kan de bestuurder in feite een boekje lezen achter het stuur of even de ogen dicht doen, kortom, de bestuurder is dan echt tijdelijk 'out of the loop'. In die situaties spelen op het vlak van Human Factors met name vragen rondom de overgang van handmatig rijden naar het opnemen in deze platoon, en natuurlijk over de overgang weer terug van automatisch naar handmatig rijden. Zo zullen systemen moeten kunnen gaan inschatten of de bestuurder er klaar voor is om de controle weer terug over te nemen. Er wordt op dit moment geschat dat hoe hoger we in het niveau van automatisering van de rijtaak komen zoals gehanteerd door de SAE, hoe meer tijd het zal kosten voordat de bestuurder weer klaar is om de rijtaak over te nemen. Dit wordt schematisch weergegeven in Figuur 17.



Figuur 17: De toename in tijd die het kost om de bestuurder weer volledig 'in the loop' te krijgen en de rijtaak over te nemen zoals gekoppeld aan een toename in niveau van automatisering (zoals gepresenteerd door Burns, 2014).

Hierbij wordt het dus de uitdaging de bestuurder op het juiste moment weer 'in the loop' te krijgen, en hem/haar voldoende bewust te laten zijn van de omgeving, het overige verkeer en welke handelingen nodig zijn om de rijtaak veilig uit te voeren. Dit wordt ook wel Situational Awareness genoemd. Heel erg interessant hierbij is dat naast een aantal Human Factors vragen die relateren aan de automobilisten aanwezig in het platoon er juist ook nieuwe onderzoeksvragen ontstaan ten aanzien van het gedrag van de overige weggebruikers, kortom de mensen die juist niet beschikken over de slimme technologie. Technologie kan namelijk ook indirect van invloed zijn op het gedrag van weggebruikers. En ook hier kunnen we weer leren uit het verleden.

BEÏNVOEDEN GEDRAG VAN NIET-GEBRUIKERS

Een mooi en welbekend voorbeeld van technologie die ook automobilisten beïnvloedt zonder dit systeem is ABS (anti-lock braking system). ABS voorkomt dat de wielen van een voertuig blokkeren indien er hard wordt geredemd. Het systeem is in feite ontworpen om een menselijke fout op te heffen, te weten niet-pompend remmen. Het systeem grijpt altijd in indien de wielen dreigen te blokkeren en simuleert als het ware pompend remmen, waardoor er minder kop-staart botsingen zouden moeten optreden. Maar wat bleek het geval? Gemeten over een langere periode leidde het gebruik van ABS niet tot minder kop-staart ongevallen. Er traden zelfs meer onge-

vallen op waarin het ongeval weliswaar niet toegeschreven kon worden aan de bestuurder van de auto met ABS maar aan de achterligger van het voertuig (Aschenbrenner & Biehl, 1994). Uit analyse van de ongevallen bleek dat deze voertuigen met ABS heel hard hadden geremd, iets dat door de bestuurders achter hen waarschijnlijk niet verwacht werd. Zo veroorzaakte de chauffeur met ABS zelf dus minder aanrijdingen, maar raakte hij wel vaker door anderen zonder ABS betrokken bij ongevallen. Dit betekent dat we dus in overgangssituaties, waarin sommige mensen al wel met nieuwe technologie rijden en anderen nog niet, zo goed mogelijk moeten ontwerpen voor deze indirecte effecten. In het geval van CACC of bij platooning kan het bijvoorbeeld zo zijn dat andere weggebruikers inderdaad sneller op een platoon inrijden aangezien het platoon veel sneller kan decelereren en al reageert op situaties die een normale bestuurder nog niet kan waarnemen. Of mensen raken gewend aan het zien van dergelijke korte volgafstanden, zodat men zelf ook wat korter gaat volgen in het normale verkeer.

Hierover nadenkend kom je al snel bij de vraag: Moeten coöperatieve of automatisch rijdende voertuigen wellicht een apart signatuur krijgen zodat ze herkenbaar zijn voor het overige verkeer? Of moeten we het gedrag van automatische voertuigen toch meer aan laten sluiten op normaal menselijk rijgedrag zodat zowel de gebruikers als de niet-gebruikers niet al te zeer worden verrast? Indien we kijken naar menselijke interactie met robots, bijvoorbeeld in de gezondheidszorg, zien we dat voor acceptatie het gedrag van robots beter aan kan sluiten op hoe mensen deze zorg zouden verlenen, en bepaalde elementen van het menselijk gedrag of menselijke bewegingen hier goed in te brengen. Toch werkt het niet het beste om robots exact gedrag van mensen te kopiëren. Het is juist ook interessant om robots zaken te laten uitvoeren die mensen niet zouden kunnen doen. Ditzelfde geldt voor automatische voertuigen. Indien het 1 op 1 aansluit op hoe mensen nu zelf rijden dan zijn er weinig voordelen. Maar voor de acceptatie op dit moment is het wel belangrijk om dit gedrag enigszins aan te laten sluiten bij de huidige verwachtingen. Deze verwachtingen zullen op termijn veranderen, net als het geval is geweest met ABS. Waar een huidige generatie 50 plussers nu nog aangeeft niet graag verzorgd te worden door een robot geven kinderen al veel sneller aan dat een robot echt hun vriend is. We zitten heel duidelijk in een overgangssituatie.

Indien een volgende generatie op zal groeien met automatische auto's, gewend zal zijn om de controle letterlijk uit handen te geven en gewend

zal zijn aan het gedrag van deze voertuigen, zal acceptatie en Automation Surprise (waarbij men de actie van het automatische systeem niet had verwacht) veel minder een probleem zijn. Deze gewenning kost echter nog enige tijd. Daarom is het nu belangrijk om toe te werken naar die situaties waarin slimme ondersteuning, langs de kant van de weg of in het voertuig daadwerkelijk breed beschikbaar komt en ook daadwerkelijk wordt ervaren als slim, behulpzaam en prettig. De populaire uitspraak 'Een automatisch rijdende auto, dat accepteert een weggebruiker toch nooit, we willen toch zelf rijden?' is veel te algemeen gesteld. Het is immers niet prettig om te moeten stoppen voor een verkeerslicht om daarna net als je tot stilstand bent gekomen direct weer groen licht te krijgen. Het is niet prettig om in de file continue op te moeten trekken om daarna weer vol in de rem te gaan omdat het 800m verder weer stilstaat. Het is niet prettig om niet te weten hoe hard je ergens mag rijden, en een bekeuring te krijgen op het moment dat je denkt je aan de snelheid te houden. En het is niet prettig om hele saaie lange autoritten te moeten maken waarbij je bijna in slaap valt. Juist de situaties waarin we overduidelijk de voordelen van slimme systemen door de automobilist kunnen laten ervaren, bieden houvast. Voor een optimale samenwerking tussen mens en techniek, noem het idealistisch symbiose, moeten we de voordelen van de techniek combineren met de flexibele menselijke vaardigheden.

OP WEG NAAR DE TOEKOMST

De toekomst van slimme mobiliteit ligt dus in *coöperatieve* mobiliteit, waarin bestuurders, verkeerslichten, voertuigen en de weg zo veel mogelijk informatie uitwisselen en samenwerken om uiteindelijk het verkeer veiliger, schoner en comfortabeler te maken met minder files. *Coöperatief* betekent letterlijk 'in samenwerking', een mooie symbolische term want juist de implementatie van coöperatieve mobiliteit kan niet door slechts één partij gerealiseerd worden maar zal samen moeten worden gedaan. We kunnen geen auto maken die signalen oppikt vanuit de wegwijk wanneer de wegbeheerder deze informatie niet verstuurt. We maken niet optimaal gebruik van coöperatieve mobiliteit wanneer een Ford alleen signalen op kan pikken van een andere Ford maar niet kan communiceren met een Volkswagen. Samen zullen we de stukjes van de puzzel op moeten lossen. Technici, gedragswetenschappers en beleidsmakers spelen allen een belangrijke rol, maar techniek, gedrag, en beleid zullen samen moeten werken om coöpe-

ratieve mobiliteit goed van de grond te krijgen. Ook wettelijk zullen er een aantal zaken geregeld moeten gaan worden. Zo vinden er op dit moment aanpassingen plaats op de *Vienna Convention on Road Traffic*, die dateert uit 1968. In the Vienna Convention hebben verschillende landen wereldwijd afgesproken hoe de veiligheid en aansprakelijkheid in het verkeer is geregeld. Daarin stond tot nu toe in Artikel 8: Elk bewegend voertuig of een combinatie van voertuigen moet een bestuurder hebben en elke bestuurder moet beschikking hebben over de benodigde fysieke en mentale capaciteit om te rijden, en in een fitte fysieke en mentale toestand verkeren.

Daarnaast wordt in de Vienna Convention aangegeven dat elke bestuurder te allen tijden in staat moet zijn om controle over zijn voertuig of dieren te hebben, en dat een bestuurder activiteiten die niet met autorijden te maken hebben te allen tijden moet minimaliseren. Deze afspraken zijn destijds gemaakt om de aansprakelijkheid te regelen, maar komen met name ook voort uit de wens voor een veilig verkeer. Aangezien we met de huidige kennis en inzichten het idee hebben dat de mens en het systeem het samen wel eens veiliger en efficiënter zouden kunnen doen dan de mens alleen, en we de mens natuurlijk juist wel andere dingen willen laten doen op het moment dat een voertuig de rijtaak volledig en veilig over kan nemen, wordt op dit moment door de Rijksdienst voor het Wegverkeer (RDW) gekeken onder welke omstandigheden wel toegestaan kan worden dat een systeem de controle overneemt en onder welke omstandigheden er met deze coöperatieve en (deels) automatisch rijdende systemen getest kan gaan worden. De mens kan tijdens dit testen bijvoorbeeld tijdelijk ingezet worden als back-up van een geautomatiseerd systeem, waar de systemen tot nu toe juist worden ingezet als back-up voor het falen van de mens. En ik zeg hierbij expliciet tijdelijk, aangezien uit vigilantie-studies blijkt dat mensen hier niet zonder meer goed in zijn. Hoe beter het systeem is, hoe minder de mens dus in feite hoeft te doen, hoe minder goed we onze aandacht bij deze monitoring taak kunnen houden. Dit sluit wederom aan bij de eerder genoemde voorbeelden over ACC, waarin het grootste risico lag bij bestuurders die het systeem onder alle omstandigheden vertrouwden. Al eerder keken we naar deze monitoring taak in een rijnsimulatorstudie (Martens, Wilschut & Pauwelussen, 2008). We lieten mensen rijden met een systeem dat het sturen, gas geven en remmen volledig overnam en men in principe de handen van het stuur en de voeten van de pedalen kon halen. Het systeem volgde automatisch de weg, reed volgens de snelheidslimiet, remde zelf af voor voorliggers en reed veilig door bochten. Mensen hoefden alleen

in te grijpen wanneer men af wilde slaan, en wanneer men een kruising naderde. De bestuurder was in principe dus een monitor, en hoefde alleen actie te ondernemen rondom kruispunten. Op de laatste rit die men reed confronteerde we proefpersonen met een aantal onverwachte situaties, waarvan voor hen niet helemaal duidelijk was of het systeem hier nu wel of niet mee om kon gaan. Dit betrof bijvoorbeeld een auto die plotseling de weg op reed vanaf een parkeerplaats, of een onverwachte file. Hierbij bleken proefpersonen in deze omstandigheden heel goed in staat om snel te reageren op dergelijke onverwachte situaties. Deze snelle reacties kwamen voort uit het feit dat men het systeem nog niet helemaal vertrouwde, én dat men regelmatig zelf nog moest handelen rondom kruispunten. In situaties waarin men een dergelijk systeem meer vertrouwde, bijvoorbeeld bij aparte banen voor automatisch rijdende voertuigen, was men wel substantieel later met reageren op kritische events (Tofetti et al, 2009). Zodra mensen dus te veel 'out of the loop' raken, omdat ze ofwel maar weinig hoeven te doen, ofwel het systeem volledig vertrouwen, treedt er een potentieel risico op. Kortom, ook hier is het belangrijk om mensen voldoende in the loop te houden indien men nog moet kunnen ingrijpen, maar out of the loop te halen wanneer dit veilig kan. Kortom, we moeten de systemen op een veilige manier ontwerpen en natuurlijk goed testen zodat de mens en het systeem elkaar uiteindelijk daadwerkelijk aanvullen en ontlasten.

Het aanpassen van juridische kaders, technische ontwikkelingen, gedragsonderzoek, alle zeilen worden bijgezet om Cooperative Driving verder te brengen. Dat geen van de partijen dit alleen kan wordt voorts ondersteunt door allerlei mooie initiatieven, zoals het programma Connecting Mobility van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, publiek-private samenwerkingsprogramma's zoals DAVI (Dutch Automated Vehicle Initiative) en DITCM (Dutch Integrated Testsite for Cooperative Mobility), en verschillende Europese projecten zoals het AdaptIVe, InteractIVe, DriveC2X, en Human Factors in Automated Driving. Connecting Mobility is het programma van de overheid, waarin bedrijfsleven, overheid en kennisinstellingen samen werken aan een routekaart voor Nederland op het gebied van verkeersmanagement en verkeersinformatie. De klassieke verdeling waarin alles op en naast de weg de verantwoordelijkheid was van de overheid, en alles in de auto verantwoordelijkheid was van de automobiefabrikant is al voorbij. Er zal steeds meer op maat worden aangeboden door middel van in-voertuig adviezen en waarschuwingen in plaats van op vaste of dynamische borden langs de kant van de weg, waardoor ook de overheid bij

deze ontwikkelingen het voortouw neemt voor onderzoek en ontwikkeling. In het Connecting Mobility programma staat Human Factors ook expliciet genoemd als één van de belangrijke thema's. DAVI is een Nederlands initiatief waarin door middel van een publiek-private samenwerking de TU Delft, RDW, Connekt en TNO zich samen met vele andere partijen inspannen om automatisch rijden in Nederland op de kaart te zetten. Ook hier speelt de Human Factor een grote rol.

Het grootste Nederlandse initiatief en samenwerking op het gebied van cooperative driving heet DITCM, de Dutch Integrated Testsite for Cooperative Mobility (www.ditcm.eu). DITCM is een Nederlands initiatief voor een open innovatie organisatie waarin kennisinstellingen samenwerken met de industrie en de overheid op het gebied van coöperatieve mobiliteit. Rond de 30 partners (zie Figuur 18) werken binnen DITCM samen om kennis te ontwikkelen en vooral ook kennis en data te delen over coöperatieve mobiliteit.



Figuur 18: De partijen die tot het schrijven van deze rede aangesloten waren bij DITCM.

Het uiteindelijke doel van DITCM is om tot de succesvolle introductie te komen van coöperatieve systemen voor een slimme en duurzame mobiliteit. Om dit te kunnen realiseren zijn er binnen DITCM een aantal inhoudelijke programmalijnen opgesteld. En u raadt het al, één van deze programmalijnen heet Human Factors. Binnen deze DITCM programmalijn Human Factors werk ik samen met collega's vanuit de TU Delft, TU Eindhoven, Fontys hogeschool, ANWB, RWS, Vialis, TomTom, Imtech en DTV Royal Haskoning. Gezamenlijk hebben we een Human Factors kennisagenda opgesteld waarin we aangeven welke HF vragen er rondom coöperatieve mobiliteit spelen en welke HF zaken er als eerste gezamenlijk opgepakt moeten worden om coöperatieve mobiliteit tot een succes te maken. Thema's die hierbij aan de orde komen raken aan eerder door mij genoemde aspecten, zoals *Hoe veranderen weggebruikers hun gedrag als gevolg van het invoeren van coöperatieve systemen en nieuwe technologie? Wat zijn de te verwachten korte en lange termijn effecten van dergelijke systemen? Hoe vindt de interactie tussen bestuurders van coöperatieve en niet-coöperatieve systemen plaats? Hoe kunnen we de Human Machine Interaction (HMI) zo ontwerpen dat deze is toegespitst op de specifieke gebruiker en de specifieke omstandigheden?*

Door middel van het leren van ongevalsanalyses, rijnsimulatorstudies, observaties van camerabeelden opgenomen langs de weg, praktijkstudies met geïnstrumenteerde voertuigen waarin we verschillende nieuwe technologie laten ervaren en precies meten hoe men zich gedraagt en het zelf actief testen zijn we bezig om steeds meer stukjes van de puzzel op te lossen. De puzzelstukjes rondom de bestuurders van voertuigen enerzijds, maar ook zeker rondom andere verkeersdeelnemers, zoals motorrijders, brommers, fietsers en voetgangers, waarbij er nieuwe vragen opkomen rondom de sociale omgangsvormen in het verkeer. Op dit moment zegt oogcontact nog veel in het verkeer. Heeft iemand je gezien, verleent iemand je voorrang? Maar hoe moet je als fietser straks omgaan met een automobilist die naar je kijkt en vriendelijk glimlacht? Gaat hij of zij je voorrang verlenen of bestuurt deze persoon het voertuig op dat moment helemaal niet? Er is dus in de toekomst niet noodzakelijkerwijs een relatie meer tussen de intentie van de bestuurder en het gedrag van het voertuig. Zo berichtte de pers op 5 juli 2014 dat Mercedes zich bezig houdt met de vraag hoe slimme voertuigen het best kunnen communiceren met bijvoorbeeld voetgangers, waarbij de voertuigen ook inzicht moeten gaan krijgen in menselijke gebaren en non-verbale taal (zie Figuur 19).

Tech

Deeltoevond: 5 juli 2014 14:23
Leestte vortels: 6 juli 2014 14:23

Deel:   

'Zelfrijdende auto's moeten met mensen leren omgaan'

Mercedes roemt de autonome vaardigheden van zelfrijdende auto's, maar denkt wel dat zulke wagens beter met voetgangers moeten leren communiceren.



Dat meldt het Duitse automerk, dat met experts op het gebied van robots en taal onderzoek doet naar de auto van de toekomst.

Volgens Mercedes is de onderlinge communicatie tussen zelfrijdende auto's al verevorderd, waardoor bijvoorbeeld ongelukken op de snelweg voorkomen kunnen worden.

Maar autonome auto's kunnen nog niet met voetgangers communiceren zoals chauffeurs van auto's dat doen. Mercedes noemt als voorbeeld een automobilist die een voetganger voorrang verleent door te zwaaien. Zelfrijdende auto's kunnen dat niet.

Taal en gebaren

Figuur 19: Bericht van 5 juli 2014 op nu.nl

En zo zijn er nog vele en vele interessante onderzoeksgebieden en thema's waar ik als gedragswetenschapper graag mijn tanden de komende jaren in wil zetten met collega's, AIOs en studenten.

TOT SLOT

Na het beschrijven van al deze mooie uitdagingen die de komende jaren in het verschiet liggen ben ik aan het einde gekomen van mijn inaugurele rede. Ik gaf het al eerder aan, Coöperatieve Mobiliteit doe je niet alleen, maar onderzoek en een leerstoel bekleden kun je ook niet alleen. Allereerst wil ik uiteraard de Universiteit Twente en TNO bedanken voor het in mij gestelde vertrouwen om het onderzoek binnen dit vakgebied als hoogleraar in goede banen te leiden. Daarnaast gaat mijn dank uit naar de Stichting Toekomstbeeld der Techniek, die mijn leerstoel ondersteunt en specifiek naar Pierre Morin, die zich inzet om mens en techniek in de toekomstverkenningen te verbinden. Ook de samenwerking binnen DITCM, het EU project Human Factors in Automated Driving en alle projecten onder Connecting Mobility waardeer ik enorm en ervaar ik als zeer constructief en vooruitstrevend.

In een wereld, waarin soms hoge eisen worden gesteld ten aanzien van werktijden en werkuren is het fantastisch als je privé daar ook in ondersteund wordt. Daarom wil ik in het bijzonder even stilstaan bij mijn vader, mijn moeder en mijn zus, die letterlijk aan mijn wieg hebben gestaan en me hebben gevormd tot wie ik ben. Maar, ook wil ik mijn schoonfamilie en mijn lieve vrienden bedanken. Jullie staan aan de zijlijn en ondersteunen mij in waar ik voor ga maar houden me terecht ook regelmatig bij de les van het leven. En Erwin, mijn steun en toeverlaat die me ondersteunt in alles wat ik onderneem.

Ik heb gezegd.

REFERENTIES:

- Aschenbrenner, M. and Biehl, B. (1994). Improved safety through improved technical measures? Empirical studies regarding risk compensation processes in relation to anti-lock braking systems. In R. M. Trimpop and G.J.S. Wilde, Challenges to accident prevention: The issue of risk compensation behaviour. Groningen, the Netherlands: Styx Publications.
- Burns, P. (2014). Safety and Human Factors Challenges for Emerging Vehicle Technologies. Presentation held at the 6th Annual International Conference on URBAN Traffic Safety. April 28-May 2, 2014. Edmonton, Alberta, Canada.
- CBS (2010). Tempo vergrijzing loopt op. Persbericht PB10-083. <http://www.cbs.nl/NR/rdonlyres/BB0BFB7A-6357-4D2E-92DF-FA706E4EE6E1/0/pb10n083.pdf>
- CBS (2013a). Centraal Bureau voor de Statistiek (<http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?VW=T&DM=SLNL&PA=81129NED&D1=2&D2=0&D3=a&D4=a&D5=0&D6=I&HD=130830-1159&HDR=T,G4,G5,G1,G2&STB=G3>)
- CBS (2013b). Autobezit jongeren daalt. Webmagazine Centraal Bureau voor de Statistiek. <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/dossiers/jongeren/publicaties/artikelen/archief/2013/2013-3828-wm.htm>
- De Winter, J.C., Happee, R., Martens, M.H. & Stanton, N.A. (in press). Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness: A review of the empirical evidence. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour.
- Dickie, D.A. and Boyle, L.N. (2009). Drivers' understanding of adaptive cruise control limitations. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 53(23), pp 1806-1810.
- Fitts, P. M. (Ed) (1951) Human engineering for an effective air navigation and traffic control system. National Research Council, Washington, DC.

- Immers, B., Martens, M. & Moerdijk, S (in press). Tuning highways for future use: The role of the elderly driver. FERSI Conference on Ageing and Safe Mobility, Bergisch Gladbach, November 2014.
- KIM (2013). Mobiliteitsbalans 2013. Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Den Haag. ISBN: 978-90-8902-113-7.
- KIM (2014). Niet autoloos, maar auto later. Voor jongvolwassenen blijft de auto een aantrekkelijk perspectief. Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Den Haag. ISBN: 978-90-8902-119-9.
- Klauer, S.G., Dingus, T. A., Neale, V. L., Sudweeks, J.D. and Ramsey, D.J. (2006). The Impact of Driver Inattention On Near-Crash/Crash Risk: An Analysis Using the 100-Car Naturalistic Driving Study Data. DOT HS 810 594. National Highway Traffic Safety Administration, US Department of Transportation, Washington DC.
- Llaneras, R. (2007) Misconceptions and self-reported behavioral adaptations associated with advanced in-vehicle systems: lessons learned from early adopters. In: Driving Assessment 2007: 4th International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, pp 299-305.
- Malta, L., Ljung Aust, M., Faber, F., Metz, B., Saint Pierre, G., Benmimoun, M., and Schäfer, R. (2012). EuroFOT final results: Impacts on traffic safety. Technical Report.
- Martens, M.H., Wilschut, E. & Pauwelussen, J. (2008). Semi-autonomous driving: Do drivers still respond to unexpected events? Proceedings of the 15th ITS World Conference, New York.
- Rajaonah, B., Tricot, N., Anceau, F. and Millot, P. (2008). The role of intervening variables in driver-ACC cooperation. International Journal of Human-Computer Studies, 66(3), pp 185-197.
- Rumar, K. (1985). The Role of Perceptual and Cognitive Filters in Observed Behavior. In: L. Evans and R. Schwing (Eds.) Plenum Press.

- RWS (2014a). Publieksrapportage Rijkswegennet 3^e periode 2013. Inclusief jaaroverzicht 2013. Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Verschenen op 20 januari 2014.
- RWS (2014b). Publieksrapportage Rijkswegennet 1^e periode 2014. Verschenen op 23 mei 2014.
- SAE (2014). Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems. Standard J2016. Society of Automotive Engineers, On-Road Automated Vehicle Standards Committee.
- Svensson, O. (1981). Are we all less risky and more skillful than our fellow drivers? *Acta Psychologica*, 47(2), pp 143-148.
- Tofetti, A., Wilschut, E.S., Martens, M.H., Schieben, A., Rambaldini, A., Merat, N. & Flemish, F. (2009). CityMobil: Human Factor Issues Regarding Highly Automated Vehicles on eLane. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. Vol 2110/2009 Transit 2009, Vol. 1, pp 1-8. DOI 10.3141/2110-01.
- Van Voorst tot Voorst, M. & Hoogerwerf, R. (2013). *Het vervoer van morgen begint vandaag*. Stichting Toekomstbeeld der Techniek, publicatie 78, Den Haag. ISBN: 978-94-91397-06-6.
- Winner, H. (2012). Adaptive Cruise Control. In: Eskandarian, A. (Ed.) *Handbook of Intelligent Vehicles*, pp 613-656.

