

Autorijden zonder handen – de robotisering van een vrijheidssymbool

Kanttekeningen bij de opkomst van de zelfrijdende auto

Door dr. ir. Martijntje Smits, geschreven in opdracht van het Rathenau Instituut, 2011

“Your car should drive itself. It's amazing to me that we let humans drive cars. Computers should drive cars. It's obvious, right? If you think about it, and all of a sudden it'll be much, much safer when we let the computers do the things that they're good at, and the humans can talk or eat or whatever they want to do in the car. You get the idea.”

Eric Schmidt, CEO Google, 29 september 2010

“The car that drives itself. Your car, in the future, will be run by black boxes while you watch.”

Popular Science, May 1958.

“...it's just such an ambitious idea. I mean, there aren't many things a human does that involve dexterity and reading and thinking and the fast reaction to things that change millisecond by millisecond in the way the driving does.” Harry McCracken, eindredacteur van Technologizer, 15 oktober 2010¹

In het populaire televisieprogramma *Top Gear* worden peperdure bolides en kekke sportauto's zowel de hemel in geprezen als genadeloos met de grond gelijk gemaakt. Hier zie, je gestaafd met torenhoge kijkcijfers, dat de auto veel meer is dan een alledaags vervoermiddel. De auto is statussymbool, kunstobject, sleutel tot vrijheid, *chick-magnet*, entertainment-center, kantoor-op-wielen en een verlenging van het ego. Sinds de jaren '50 heeft de personenauto dan ook zonder onderbreking de belangrijkste rol in ons vervoerssysteem gespeeld. Het personenvervoer is steeds verder geïndividualiseerd en de auto is daarbij de ultieme icoon geworden van vrijheid, autonomie en snelheid: autobestuurders en bezitters voelen zich heer en meesteres in hun auto. Automobilisten kunnen gaan waar zij willen in een ruimte waar zij zich thuis en geborgen voelen. Na het eigen huis is de auto vaak de belangrijkste vorm van bezit voor mensen, waarvoor zij bereid zijn veel opzij te zetten. De innige verbondenheid tussen automobilitéit en vrijheidsgevoel houdt de drempel laag om in de eigen auto te stappen en niet te kiezen voor een alternatief.

De auto staat ook voor onvrijheid. Automobilitéit wordt duur betaald, in het bijzonder met verkeersslachtoffers², maar ook met een dichtgeslibd wegennet, files, uitstoot van kooldioxide en fijnstof, geluidsoverlast, stank, ruimtebeslag, aantasting van het landschap, parkeerproblemen en een hoog energieverbruik. Deze grote maatschappelijke vraagstukken smeken om een integrale benadering. Toch blijkt het steeds weer politiek onhaalbaar om het op auto's gebaseerde vervoerssysteem bij te stellen, laat staan om drastisch in te grijpen. Voorstellen om de maatschappelijke lasten van het autoverkeer te verlichten, zoals verlaging van de snelheid of de invoering van de autogordel, stuiten onverbiddelijk op fel protest zodra ze worden ervaren als inbreuk op de vrijheid van de automobilist. Zo stuitte de invoer van het rekeningrijden de afgelopen jaren op massaal en succesvol verzet van automobilisten en

¹ *Google Isn't The First To Dream Of Robotic Cars*; interview met Ira Flatow op 15 oktober 2010, National Public Radio

² In Nederland vielen in 2009 720 dodelijke slachtoffers, overigens niet alleen gerelateerd aan personenauto's, maar ook aan ongelukken met andere voertuigen. (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009) In 2010 zou het aantal tot 640 zijn gedaald, maar het aantal gewonden toegenomen. (CBS 2011) De jongste cijfers worden betwist door SWOV en VVN, die de daling verklaren door de verslechterde registratie door de politie van verkeersdoden (verkeersgewonden worden op een andere wijze gemeten). (Trouw 2011)

hun belangenverenigingen. En de verhoging van de maximale kilometersnelheid tot 130 km/h op de snelweg door het kabinet Rutte werd door velen met gejuich onthaald. Het paradigma van de personenauto staat ondanks alles na meer dan een eeuw nog fier overeind, zo lijkt het.

Oplossingen voor de grote verkeersvraagstukken worden daarom vaak gezocht op deelgebieden met intactlating van de auto als centrale speler op de weg: in autotechniek, biobrandstoffen, infrastructuur en in de verbetering van het rijgedrag van de bestuurder. Talloze maatregelen - denk aan campagnes tegen rijden met een glaasje op, aanscherping van de rijexameneisen, gordels, airbags, lagere maximumsnelheden, katalysators, groene golven, verkeersdrempels, groene brandstofcellen en überhaupt steeds striktere eisen aan motortechneken - hebben bijgedragen aan de daling van verkeersslachtoffers³, van het energieverbruik per gereden kilometer en van uitstoot van autogassen. Ondertussen is het verkeersvolume sterk doorgroeid⁴ en blijven hoopvolle tekenen op een doorbraak in de grote verkeersvraagstukken uit.

De beloften van de cybercar voor automobilist en samenleving

Zou de nieuwe robottechnologie in het verkeer een sleutel kunnen worden tot de grote, complexe vraagstukken van het huidige verkeerssysteem? Onderzoekers die zich richten op de robotisering van auto's, de zogenaamde *cybercars*, denken van wel. Auto's worden al sinds decennia met robots geproduceerd, anno 2011 dringt robottechnologie de auto binnen. Robotisering kan bijvoorbeeld de "menselijke factor" bij verkeersongelukken drastisch verkleinen. Die menselijke factor speelt daar een doorslaggevende rol; in 93% van de ongelukken is een inschattingfout van bestuurders in het geding, soms in combinatie met weg- of weeromstandigheden en voertuig. (Rumar, 1985) Dus stellen zij: "*Cars are not the most dangerous things on the road; drivers are*" (Henderson 2007). Hoogleraar Bart van Arem denkt dat de robottechniek superieur is aan de mens: "Hoe goed we onszelf ook vinden als autobestuurder, we leggen het af tegen de techniek als het gaat om reactietijd en alertheid." (Van Arem 2010) Volgens de onderzoekers zullen 'intelligente auto's' en mobiele robots geen agressief, onvoorspelbaar of energieverkwistend rijgedrag vertonen. Ze kunnen juist menselijke fouten en asociaal gedrag op de weg voorkomen.

Wereldwijd vinden jaarlijks 1,2 miljoen mensen de dood, en het veertigvoudige daarvan raakt gewond, als gevolg van het autoverkeer. Ook de Nederlandse overheid maakt zich sterk voor een verminderd aantal verkeersslachtoffers. De gerobotiseerde auto zou hieraan kunnen bijdragen. Mobiele robots en ondersteunende systemen, die in een fractie van een seconde kunnen reageren, zouden op termijn zelfs circa 90% van de slachtoffers kunnen voorkomen door het uitsluiten van menselijke fouten. (Broggi et al. 2008, VisionZero 2008)

Andere grote verkeersvraagstukken kunnen eveneens worden gediend met robotica. Naast veiligheid belooft de robotauto ook drastisch te besparen op brandstoffen en uitstoot door zuinig gebruik; files zouden sterk worden verkort; de capaciteit van het wegennet zou worden vergroot door digitale afstemming en het rijden in konvoien. Bovendien zou het voor buitengesloten groepen zoals kinderen en ouderen mogelijk worden om actief verkeersdeelnemer te worden in het gemotoriseerde verkeer.

³ Het risico om te overlijden als gevolg van een verkeersongeval daalde in Nederland van 180 doden per miljard voertuigkilometers in 1950 naar 5,8 doden per miljard voertuigkilometers in 2008 (daling met een factor 31). (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009)

⁴ In Nederland steeg het aantal voertuigkilometers van 51 miljard in 1972 naar 130 miljard in 2008 (factor 2,6). (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2009). Er zijn anno 2010 ruim 8 miljoen auto's op de weg.

De “robotauto” of “cybercar” is een *servicerobot* bij uitstek; met steeds minder inmenging van een bestuurder zou de robotauto passagiers en goederen veilig, comfortabel en snel van de ene plek naar de andere kunnen brengen. Ten opzichte van de conventionele auto zijn waarnemen, beslissen en uitvoeren in de slimme auto gedelegeerd naar apparaten. Het is een multifunctionele robot, in staat tot het zelfstandig uitvoeren van deeltaken zoals het volgen van een rijbaan, bijtanken, parkeren, reageren op onverwachte objecten op de weg, anticiperen op gevaarlijke situaties, het reguleren van het binnenklimaat van de auto en het reageren op opdrachten van passagiers.

Een technology assessment van de robotauto

In dit hoofdstuk verkennen we de mogelijkheden van de autorobot. Wat kan er al met robottechnologie in auto's? Wat staat ons nog verder te wachten? Wat zijn de gevolgen van de robotisering van de auto, en wat zou dit betekenen voor het verkeer, en voor de samenleving? Zal robotica op de weg een verrijking of een verarming blijken van ons vervoerssysteem? Welke kansen verdienen politieke steun, en welke scenario's zouden we willen vermijden?

We schetsen technische ontwikkelingen en verwachtingen over de slimme, gerobotiseerde auto (paragraaf 2) en zijn opvolger; de autonome, zelfsturende auto (paragraaf 3). We inventariseren vervolgens maatschappelijke trends en vraagstukken in relatie tot de opmars van de robotauto. (paragraaf 4) We peilen wat de nieuwe ontwikkelingen betekenen voor het vertrouwde paradigma' van de personenauto. (paragraaf 5) Tenslotte gaan we na, welke voorlopige scenario's zichtbaar worden uit deze schets van technische mogelijkheden, verwachtingen, trends en issues rond de opmars van de robotauto. (paragraaf 6) We richten ons in dit hoofdstuk alleen op de toekomst van de personenwagen in het autoverkeer, en niet op andere ontwikkelingen in robotvoertuigen, zoals voor toepassing in de landbouw, de mijnbouw of voor gevaarlijke missies voor de strijdkrachten. Unmanned Ground Vehicles (UGVs), de onbemande grondvoertuigen die zowel tele-operated als autonoom kunnen voortbewegen, worden in het hoofdstuk over militaire robots besproken.

2. De slimme auto: wat kan er al? De robotisering van de personenwagen

In oktober 2010 werd bekend dat Google investeert in een besturingssysteem voor geautomatiseerde voertuigen. (NRC 2010) Deze auto's zouden zónder bestuurder en met de hulp van camera's, radars, lasers en de eigen Maps, Navigation en Streetview software van Google meer dan 225.000 kilometer hebben afgelegd zonder ongelukken.

Terwijl er geëxperimenteerd wordt met dit soort futuristische bestuurderloze personenauto's, voltrekt zich dichtbij gestadig maar zeker een “robotisering” van de auto mét bestuurder. Personenwagens en vrachtwagens die anno 2011 worden geproduceerd hebben functies aan boord waarbij de beslissing en de waarneming van de bestuurder is gedelegeerd naar apparaten. Voor het rijproces zelf heeft de bestuurder het stuur nog in handen, maar veel andere functies werken buiten haar om. Deze ‘Intelligente Transportsystemen’(ITS) zijn hulpsystemen die door autofabrikanten worden toegevoegd aan vertrouwde functies. (SWOV 2010) Ondersteunende technologieën, zoals elektrische raambediening, automatische schakeling, *cruise control* en regengevoelige ruitenwissers, vergroten het comfort van het autorijden. De veiligheid verbetert door technologieën als het antiblokkeersysteem (ABS) en airbags. Het gaat bij deze technieken om robotisering, omdat ze onafhankelijk van de

bestuurder een beslissing nemen voor een ingreep, gebaseerd op een vorm van samenwerking tussen sensoren, informatieverwerkende systemen en actuatoren.

In de meeste gevallen zijn deze hulpsystemen nog passief of reactief, wat inhoudt dat ze de bestuurder alleen waarschuwen, of de acties van de bestuurder versterken (zoals stuurbevestiging). Sensoren die bij het inparkeren de afstand tot obstakels meten (en met piepsignalen doorgeven) en infraroodcamera die ook 's nachts voetgangers en fietsers identificeren, lijken even gewoon te worden als het hierboven genoemde antiblokkeersysteem. Met behulp van sensoren en ICT weet de auto waar hij zich bevindt en wat zijn fysieke status is, wat voor invloed de omgeving en de weersomstandigheden hebben op de rijprestaties, hoeveel passagiers er in de auto zitten en ook of de chauffeur dronken is, zodat de motor niet gestart kan worden (Broggi et al. 2008). Tegelijkertijd kan de auto onder bepaalde omstandigheden zijn locatie doorgeven: als hij gestolen wordt, als een huurder via een chipcard de auto wil openen (bij 'deelauto's' van Greenwheels en Connekt), of wanneer hij bij een ongeluk betrokken is. Dit laatste is de zogenaamde *eCall-functie*, die door de Europese Commissie vanaf 2012 verplicht gesteld is voor alle nieuwe voertuigen (EC 2007).

Gaandeweg komen er systemen die ook *actief* het rijgedrag van de auto aanpassen. Sommige luxe auto's, zoals de Lexus LS460, kunnen zelf inparkeren. Naast de eCall-functie heeft de Europese Commissie ook vanaf 2012 een *elektronische stabiliteitscontrole* (of ESC – een individuele aansturing van wielen om slippen te voorkomen) verplicht gesteld. De bestuurder wordt steeds meer geholpen bij het rijden door *Intelligente Snelheidsassistentie* (ISA), *Advanced Driver Assistance Systems* (ADAS) en *Advanced Cruise Control*. Automatische afstandhouders en *cruise control* stemmen de snelheid af op het overige verkeer. Bovendien kunnen auto's in een konvooi rijden, als treintjes dicht op elkaar, en kunnen ze uitgerust met sensoren verkeersborden herkennen en daarop de maximumsnelheid aanpassen (Connolly 2007; EC 2007). Deze konvooitechnologie kan doorstroming en reistijd verbeteren, meer rijcomfort bieden, het aantal ongevallen terugdringen, het brandstofverbruik – en daardoor ook de CO₂-emissie – beperken. De eerste auto's met deze techniek rijden vanaf begin 2011 op testcircuits. Ze zijn voorzien van een navigatiesysteem en een zender-ontvanger die met het voorste voertuig communiceert. Omdat de benodigde techniek in de auto's is aangebracht, is aanpassing van de bestaande wegen niet nodig. (Volvo 2009)

De invoering van dit soort intelligente systemen hangt niet alleen af van de technische ontwikkeling en van de marktwerking, maar ook van de acceptatie door gebruikers. De acceptatie van systemen die actief ingrijpen op het rijgedrag, en die dus de individuele keuzevrijheid aantasten, is echter nog beperkt (SWOV 2010) Verder zijn er juridische aspecten die nader aandacht verdienen, zoals fraudebestendigheid, systeemveiligheid, standaardisatie van de systemen en aansprakelijkheid. (idem)

Ook de veiligheid is nog geen uitgemaakte zaak. Uit onderzoek naar verkeersgedrag van automobilisten toegerust met airbags, cruise control en ABS komt naar voren dat zij zich veilig wanen en daardoor juist minder geconcentreerd en roekelozer gaan rijden, waardoor een deel van de veiligheidswinst zowel voor de automobilist als voor andere weggebruikers weer teniet wordt gedaan (SWOV 2008; SWOV 2010, Charette 2009a). Deze robotische hulpsystemen leiden dus niet per definitie tot veiligere situaties en werken wellicht zelfs contraproductief. Een voorbeeld is een ongeluk in de Verenigde Staten, waarbij de bestuurder zijn luxe auto met cruise control niet meer kon laten afremmen. De fabrikant leed niet alleen reputatieschade, maar liet ook 3,8 miljoen auto's terugroepen (Charette 2009b).

De Intelligente Transportsystemen zijn nog weinig getest op hun onbedoelde effecten (SWOV 2010) ook de bijwerkingen voor automobilisten die dergelijke systemen niet gebruiken, of voor andere weggebruikers, zijn nog nauwelijks bekend. (SWOV 2010)

Onder autofabrikanten heerst door dergelijke risico's grote verdeeldheid over de mate waarin hulpsystemen de controle over het voertuig moet worden geven. Ford bijvoorbeeld is bijzonder huiverig en beweert dat zijn gebruikers graag controle over hun voertuig houden. Een waarschijnlijker reden voor die huiver is dat Ford niet aansprakelijk wil worden gesteld voor ongelukken. Volvo lijkt meer risico te nemen en kiest voor volledig automatische remmen en "voetgangerontwijking" waarmee slachtoffers zouden worden voorkomen (Woodyard 2009, Volvo 2010).

3. De autonome, zelfsturende mobibot: wat wordt mogelijk?

Op robottechnologie gebaseerde hulpsystemen veroveren dus geleidelijk terrein in de auto zoals we die kennen: een auto 2.0. Aan het andere einde van het onderzoeksspectrum wordt gewerkt aan een veel radicalere robotisering: de volledig autonome auto. Het eerste onderzoek naar zelfsturende auto's werd verricht in de jaren tachtig, toen de pionier Ernst Dickmanns in opdracht van de Universiteit van de Bundeswehr in München auto's ontwikkelde die een veilige afstand van hun voorgangers hielden en in de juiste strook bleven rijden.

Ook in de jaren negentig experimenteerden verschillende onderzoeksteams met zelfsturende auto's tussen 'gewoon' verkeer. (Urmson & Whittaker 2008). De auto-industrie nam vaak het initiatief bij dit soort experimenten. Ook nationale overheden zetten hun stempel. Via onderzoeksfondsen bijvoorbeeld wordt het mobiele robotonderzoek gestuurd in richtingen van nationaal belang. Zo stimuleren de Verenigde Staten vooral onderzoek naar robotische voertuigen op militair terrein (onbemande autonome vliegtuigen, robots voor explosieve opruiming en reddingsoperaties) en voor de ruimtevaart (zoals de Mars Rover – een autonome robot die de oppervlakte van de planeet Mars onderzoekt). In Europa wordt juist meer aandacht gegeven aan oplossingen voor het openbaar vervoer in stedelijke omgevingen (Sanderson et al. 2005).

Het succes van de onbemande auto staat of valt met zijn capaciteiten om adequaat op de omgeving te reageren. Hiermee zijn in verschillende omgevingen experimenten gedaan. Allereerst zijn er voor autonome voertuigen aparte infrastructuren ontworpen, zodat ze niet in contact komt met andere verkeersstromen. De robot beweegt dan in een sterk voorgestructureerde omgeving waarin weinig verrassingen plaats zullen vinden. Daarnaast zijn er autonome voertuigen getest in een vrije maar relatief lege ruimte, zoals de woestijn, en tot slot in de complexe, stedelijke ruimte van de publieke rijweg, waar zij voorbereid moeten zijn op veel onverwachte gebeurtenissen.

Autonome voertuigen in een gestructureerde omgeving

Een bekend voorbeeld van een autonoom voertuig bewegend in een speciaal aangelegde infrastructuur is de zogenaamde *people mover*. Strikt genomen is het geen moderne robot maar een automaat: de *people mover* is (traditioneel) bijvoorbeeld niet voorzien van sensoren waardoor een reactie op omgevingsignalen kan worden gegeven. Parallel aan de zelfsturende auto's werden de *people movers* (ook wel *Personal Rapid Transport* genoemd) ontwikkeld vanaf midden jaren 50. De *people mover* zou de voordelen van individueel

autoverkeer combineren met de voordelen van een publiek transportsysteem. Stedelijke planners in de people mover een sleutelrol voor de vervoersproblematiek in stedelijke gebieden: grote groepen passagiers zouden snel over korte afstanden kunnen worden verplaatst. People movers zijn in hun vrijheidsgraden beperkt: in plaats van over de openbare weg rijden ze over een eigen pad, in feite als een tram zonder rails.

In de jaren zeventig zijn verschillende kostbare people mover systemen gebouwd voor openbaar vervoer in de stad. De meeste daarvan zijn geen commercieel succes geworden. Alleen in pretparken doen zij het goed. De efficiency die het systeem op papier had sloot zelden aan bij de uiteenlopende behoeften van de reizigers in de stad en de reizigersaantallen vielen meestal tegen. De belangstelling blijkt veertig jaar na dato te herleven: In oktober 2008 bijvoorbeeld werd in Londen bij het vliegveld Heathrow een pilot project gestart met een systeem genaamd ULTra. (Transport Briefing 2008).

In de jaren negentig zijn ook in Nederland dergelijke systemen uitgetoetst: in een bedrijvenpark in Capelle aan de IJssel (Rivium) en bij Schiphol op parkeerplaats P3. Een motief voor deze projecten luidde dat op chauffeurs bespaard kon worden, terwijl de aanleg van een wegdek ook beduidend goedkoper is dan de aanleg van rails. Een ander voordeel is dat niet aan de Wegenverkeerswet, die een 'bestuurder' vereist, voldaan hoeft te worden (Parent et al. 2003). Toch was ook de veiligheid hier niet gegarandeerd: de Rivium voertuigen hebben na een botsing in 2005 (veroorzaakt door handmatig ingrijpen (sic)) drie jaar niet autonoom gereden. Deze tijd werd gebruikt om de detectie van obstakels te verbeteren en de schokkerigheid van het systeem te verlagen. Toch bleven de sensoren gevoelig voor 'obstakels' zoals rondwarrelende bladeren in de herfst of opwaaiende plastic zakken.

Daarnaast is er in Nederland nog de Phileas, een onbestuurde bus, die in 2004 in Eindhoven werd geïntroduceerd als een vernieuwende vorm van openbaar vervoer met relatief lage kosten door het uitsparen van railsaanleg. De bus wordt 'geleid' langs een voorgeprogrammeerde route, een vrije busbaan, door middel van magneten in het wegdek. De Phileas ondervond een reeks van kinderziektes, vooral met het accusysteem en met de software, waarna het magnetisch geleidingssysteem in 2009 opgeheven werd. De Phileas verschilt daardoor nu nauwelijks meer van een normale stadsbus met buschauffeur. (Verkeerskunde 2009)

De resultaten van deze projecten stemmen niet optimistisch over de toekomst van de autonome auto(bus) op aparte trajecten: 'kinderziektes' belemmeren een invoer op grotere schaal. De autonome people mover lijkt vooral kansrijk in specifieke, geïsoleerde niches in het verkeerssysteem, zoals het vervoer in pretparken, waarbij grote aantallen mensen dezelfde korte afstand moeten afleggen. In een complexere omgeving waar veel verschillende vervoersbehoeften van burgers moeten worden gediend, legt ze het tot dusverre af tegen conventionele gemotoriseerde vervoersmiddelen.

Autonome voertuigen buiten de bebouwde kom

De zelfsturende robotauto won aan geloofwaardigheid tijdens de DARPA Grand Challenge in 2004. DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), een aan het Amerikaanse Ministerie van Defensie gelieerde onderzoeksorganisatie, wil in 2015 één derde van de legervoertuigen zonder bemanning laten rijden om slachtoffers in oorlogsgebieden te voorkomen. Zij schreef een wedstrijd uit waarbij autonome voertuigen een parcours van 240 kilometer door de Mojave-woestijn afleggen. In eerste instantie volbracht geen van de

deelnemers die uitdaging: de verst gekomen auto kon zich na een afstand van 12 kilometer niet meer oriënteren en bleef in een berm hangen. In 2005 werd weer een Grand Challenge gehouden. Nu bleken vijf voertuigen in staat om de route door de woestijn en over smalle bergpassen uit te rijden. Het is dus mogelijk om ook op niet voorgestructureerde trajecten een robot zelfstandig te laten rijden. De praktische betekenis hiervan is nog onduidelijk.

Autonome voertuigen in stedelijke omgeving

Na het succes van de Grand Challenge werd in 2007 de lat nog hoger gelegd met de zogenaamde Urban Challenge: autonome voertuigen moesten zich bewijzen in een stedelijke omgeving, waarbij verkeersregels in acht worden genomen (**zie foto XXXXX**). Een stedelijke omgeving is uiteraard dynamischer en complexer dan een woestijn – vooral andere verkeersdeelnemers kunnen onverwachte situaties veroorzaken. De 'dynamische' stedelijke omgeving werd nagebootst op een kazerne, waar naast de elf deelnemers ook dertig bemande voertuigen aanwezig waren. Uiteindelijk konden zes autonome voertuigen de geplande route, zonder het overtreden van verkeersregels, volbrengen.

Hoewel met deze Urban Challenge in 2007 een enorme prestatie werd neergezet, concludeerde het winnende team dat ook hun voertuig niet in staat was tot autonome operaties in echte stedelijke omgevingen (Urmson et al. 2008). Zo zijn de beschikbare sensoren nog niet gevoelig en veelzijdig genoeg voor het herkennen van de mogelijke verkeersdeelnemers. Op dit moment kunnen de auto's nog nauwelijks voetgangers of fietsers herkennen. Er wordt wel hard aan deze optie gewerkt: zo presenteerde Volvo in maart 2010 de Volvo S60 met een herkenningssysteem voor voetgangers, inclusief een automatisch remsysteem dat tot een rijsnelheid van 30 km/uur werkt. (Volvo 2010)

Het experiment van Google in 2010 dat we hierboven noemden, lijkt een duidelijke stap verder op dit pad van de robotauto in stedelijke agglomeraties, omdat hier de robottechnologie aan boord wordt verbonden met databanken over wegennet en omgeving. Bij het experiment hoorde een rit door de Lombard Street in San Francisco, “een van de bochtigste weggetjes die je in de VS kunt vinden”. (NRC 2010) Dit is knap: bochtige wegen blijken een technische uitdaging voor autorobots. Het lijkt geen toeval dat juist Google zich op cybercars richt: de ontwikkeling sluit aan op Google-activiteiten zoals Google Maps en Streetview. Hun robotauto staat continu in verbinding met de Google servers, die gedetailleerde informatie geven over het wegennet en de omgeving. In combinatie met sensors en camera's, kan de auto zo doende behoedzaam door de straten navigeren. Uit de berichten blijft onduidelijk hoe de robotauto zich gedraagt op kruispunten en in het bijzonder in de spits. Hoe snel en veilig kan deze onbestuurde auto reageren op een onverwachte beweging?

[[FOTO van kruising met twee robotauto's]]

[[FOTO met google –auto uit 2010]]

De robotauto als communicatieve robot

Zal de robotauto van de toekomst niet alleen een servicerobot zijn, maar ook een sociale robot, waarmee een vorm van sociale interactie mogelijk is, en die spraak en emoties van de bestuurder en de passagiers herkent, of misschien zelfs die van bestuurders van passerende wagens? We kennen al de navigatiesystemen aan boord, waar een stem ons vertelt in welke richting we de route moeten voortzetten. “Bij de volgende kruising linksaf”. Dit eenrichtingsverkeer van navigatiesysteem naar bestuurder kan tweerichtingsverkeer worden, waarbij een sociale robot aanwijzingen geeft en checkt of die worden opgevolgd. Daarbij

leert de robot over het gedrag van de bestuurder, en stemt zijn feedback daarop af. Het gaat hier dus om zo genaamde *persuasive technologies* om bestuurders milieuvriendelijker of veiliger te laten rijden. Een voorbeeld hiervan is te vinden in de *Honda Insight Hybrid*. Op het dashboard van deze auto is de zogenaamde *Eco Assist* te vinden die op verschillende wijzen feedback geeft over hun rijgedrag in relatie tot het benzineverbruik.⁵

Robot-robot-interactie op de weg

We zien naast de robotauto ook de opkomst van de 'genetwerkte auto', die 'communiceert' met andere auto's en die is verbonden met allerlei informatienetwerken. Door mobiele telefonie, internet en satellietnavigatie worden automobilisten zichtbaar op digitale kaarten en worden ze verbonden met andere bestuurders. (Kolman en Van Est, 2010) Ook hebben steeds meer weggebruikers digitale navigatiesystemen aan boord, zoals de Tomtom. De bestuurder van de genetwerkte auto bevindt zich binnenkort in een 'realtime' digitaal wegennet. (Kolman en Van Est 2010) Deze digitalisering van het wegennet draagt bij aan de afstemming van auto's onderling, omdat hun posities bekend zijn. Dit maakt een efficiënter gebruik van de weg mogelijk, waardoor er minder files ontstaan en er minder brandstof wordt gebruikt.

De 'vernetwerking' wordt nog door weinigen in verband gebracht met de robotisering van de auto, maar deze trends zullen elkaar hoogstwaarschijnlijk gaan versterken. We zien dit belichaamd in de experimenten met de al besproken 'Google robotauto': De robotauto is daar niet langer een geïsoleerd systeem op de weg, maar kan voortdurend in contact staan met andere robots.

Er wordt bovendien veel onderzoek gedaan naar samenwerking en informatie-uitwisseling tussen robots, waardoor waarnemingen kunnen worden gecombineerd en ze tot meer intelligente besluiten kunnen komen (Dit wordt aangeduid als *swarm robotics*). ernetwerking van nieuwe robotica op de weg leidt dus tot robot-robot interactie (of Multi Agent Interaction).

Nog tien, twintig jaar?

Ingenieurs, uitvinders, onderzoekers en beleidsmakers koesteren verschillende ideeën over de toekomstkansen van de cybercar. Volgens sommigen is het een kwestie van tijd dat robots aan het verkeer deelnemen. Eric Schmidt CEO van Google, betrokken bij het robotautoproject uit 2010, denkt dat het over 7 a 8 jaar al kan. (Wagner 2010) Sommige collega's zijn iets voorzichtiger met hun prognose, zoals de robottechnoloog Thrun uit de Amerikaanse Stanford University, die aan 2030 denkt.(Hoffman 2007) Kunstmatige intelligentiedeskundige Hans Moravec meent dat, met de verdergaande exponentiële groei van computerrekenkracht (de zogenaamde wet van Moore), menselijke intelligentie over dertig jaar nagebootst kan worden. Het rijden van auto's zou volgens Moravec bovendien niet onze volledige hersencapaciteit vergen, zodat autonome voertuigen al binnen tien jaar mogelijk zijn. De voornaamste uitdaging is volgens hem het interpreteren van driedimensionale ruimtes, waaraan hard gewerkt wordt (Moravec 2009).

Revolutie van het verkeerssysteem: publiek transport op maat

Deze cybercar -visionairen zoals Schmidt en Moravec extrapoleren in grote stappen vanuit de actuele stand van zaken. De Amerikaanse stedenbouwkundige en futurist Michael E. Arth (Arth 2010) geeft een meer gedetailleerde toekomstvisie, waarin hij voorspelt dat de

⁵ <http://automobiles.honda.com/insight-hybrid/fuel-efficiency.aspx>

robotauto het hele verkeerssysteem zal revolutioneren. Hij heeft een systeem voor ogen waarbij het huidige aantal voertuigen sterk wordt gereduceerd en een verscheidenheid aan autonome voertuigen het huidige wagenpark vervangt. In dit systeem is er geen individueel wagenbezit meer en ook het huidige massatransport van treinen en metro's heeft haar langste tijd gehad. In plaats daarvan is er sprake van een sterk op maat gesneden publiek transport: voor elk soort van transportbehoefte zou een passende oplossing zijn – een bus voor een groep, een limousine voor een nachtje uit, vervoer voor kinderen. Omdat deze autonome auto's in tegenstelling tot de huidige automassa bijna voortdurend in gebruik zijn, is daarmee het probleem van het grote en weinig productieve ruimtebeslag van de huidige auto verholpen.

Ook de Italiaanse hoogleraar en specialist in 'Intelligent Vehicles' Broggi meent dat dankzij robottechnieken andere vormen van transport ontstaan, zoals voertuigen die op afroep komen. Dit zou volgens Broggi een aantrekkelijk alternatief bieden voor huidige logge systemen voor massatransport. De robottechnologie geeft dus ook nieuwe perspectieven voor de ontwikkeling van het openbaar vervoer. Broggi denkt dat deze kansen gestimuleerd moeten worden. (Broggi et al., 2008)

Centrale monitoring

Broggi denkt bovendien dat particulier gebruik van auto's steeds meer centraal gereguleerd en gemonitord gaat worden. (Broggi et al. 2008), Centrale monitoring is geen louter futuristisch beeld: we zien al gebeuren dat het beheer van het wegennet digitaliseert, zoals de opkomst van de centraal geregelde dynamische informatiepanelen boven de snelweg illustreert. Dit wordt ook wel 'fleet management' genoemd: een methode die GPS benut voor 'track en trace' en die nu door bedrijven wordt gebruikt om hun wagenpark te beheren, maar die ook over te dragen is op het publieke verkeerssysteem.

Een stap in de richting van centrale monitoring is de in Nederland voorgestelde methode van rekeningrijden, die zal leiden tot meer centraal overzicht van verkeersbewegingen. De digitale data kunnen niet alleen voor het innen van de wegenbelasting worden gebruikt, maar ook om het weggebruik te optimaliseren en om alternatieve routes bij files aan te geven aan de automobilist. Dankzij dit soort monitoring wordt het mogelijk dat een centrale instantie, zoals de politie, ingrijpt op het rijgedrag van de automobilist. Zo werd onlangs in de VS een *vehicle slow down* gerapporteerd: het ging hier om een gestolen auto, die stopgezet werd na een *carjack* in Californië op 18 oktober 2009. (Kolman en Van Est 2010, p.161)

We zien met de opkomst van centrale monitoring een opmerkelijke verschuiving in het concept van de autorobot. Met deze monitoring en controle is de gerobotiseerde auto immers niet langer een 'autonome' auto, maar is ze feitelijk een *telrobot* geworden: een op afstand bestuurbare robot.

4. De autonome, zelfsturende auto: maatschappelijke trends en vraagstukken

Met de verkenning van deze technologische trends in de vorige paragrafen lijkt de conclusie onvermijdelijk dat de toekomst van het autorijden hoe dan ook beïnvloed zal worden door de nieuwe robotica. De mate waarin dit zo is, en vooral ook de richting van die ontwikkeling, staan echter nog niet vast. De richting die visionairen als Moravec en Schmidt zien zijn vooral gebaseerd op hun inschatting van technische ontwikkelingen. Daardoor komt het beeld dat ze schetsen tamelijk eendimensionaal over. Technologieën ontwikkelen zich immers niet in een vacuüm: hoe één en ander zal uitkristalliseren in de samenleving hangt

naast techniek van vele andere, maatschappelijke condities, trends en keuzes af. Zo zijn er veranderende behoeften van weggebruikers, wettelijke randvoorwaarden, sociale acceptatie, milieubeleid, infrastructuur, de sociale aspecten van autorijden, en de bereidheid van producenten en om op deze weg verder te gaan. Deze maatschappelijke aspecten zijn op te vatten als variabelen, die niet in één richting wijzen, maar waarmee we rekening moeten houden en die om een afweging vragen: het zijn vraagstukken. Hieronder inventariseren we een aantal van deze vraagstukken die relevant lijken voor de toekomst van de robotauto.

Milieu-eisen

Allereerst is daar het milieuvraagstuk: zal de robotauto het milieu dienen, en wat is daarvoor nodig? De robotauto ontwikkelt zich in een context waarin voor de auto-industrie 'duurzaamheid' in het vaandel staat. Zuinig materiaalgebruik, verminderd brandstofgebruik en vermindering van de uitstoot spelen er een toenemende rol. (IBM (2008) De verwachte piek in de productiecapaciteit van olie en de problematiek van CO₂-uitstoot maakt het onvermijdelijk om te bezuinigen op brandstofgebruik. (Koppelaar et al. 2008). Ook schaarste in metalen voor carrosserie, elektronica en batterijen of brandstofcellen beïnvloeden de ontwerpen van de auto-industrie (Fraunhofer-ISI & IZT 2009). Met de economische groei van de BRIC-landen (Brazilië, Rusland, India en China) en de geplande massale productie van auto's als de Tata Nano, wordt steeds meer beslag gelegd op grondstoffen, wat nog meer zal dwingen om duurzaam te ontwerpen.

Door autoproducenten worden milieuvoordelen van robotica geclaimd. In principe kunnen cybercars toe met minder grondstoffen, brandstoffen en uitstoot, zeker wanneer gebruik gemaakt wordt van systemen waarbij het autoverkeer gestroomlijnd wordt, waardoor de energie efficiënter wordt gebruikt (Broggi et al 2008) Of deze mogelijke milieuvoordelen van robots, zeker bij een groeiende mobiliteit in de wereld de milieuruimte van het wagenpark, gewicht in de schaal kunnen leggen is de vraag. Het lijkt daarvoor in de eerste plaats noodzakelijk dat staten ook bereid zijn hogere milieueisen te stellen aan het autoverkeer. Bovendien zal de robotauto zal prijzig zijn. We zien al aan de hybride en de elektrische auto dat de consument pas geneigd is te kiezen voor duurdere opties als de regelgeving daartoe dwingt.

Veiligheid en rebound-effecten van robotische hulpsystemen

Ook de veiligheid van robotauto's verdient nader aandacht, want die is niet vanzelf gegarandeerd, ook al wordt een grotere veiligheid geclaimd. Dit geldt al helemaal voor de autonome autorobot (zie onder 'autorijden als complexe activiteit). Maar ook voor de robotische hulpsystemen, die niet per definitie tot veiligere situaties leiden en soms zelfs contraproductief werken. Zo kan de veiligheidswinst van gerobotiseerde auto's teniet gedaan worden door verminderde oplettendheid van de bestuurder die teveel vertrouwt op de techniek. Een oplossing wordt gezocht in systemen die een balans zoeken tussen ontlasting van de bestuurder op stressvolle momenten, en activering van de bestuurder op rustige momenten, zodat hij ook dan accuraat kan blijven reageren.⁶

Daarmee zouden de hulpsystemen niet slechts bijdragen aan verslapte aandacht, maar ook aan het tegengaan daarvan. Er zijn hier al oplossingen van in de handel, zoals de Attention Assiste van Mercedes Benz; een sensor die het rijgedrag van de bestuurder in de gaten

⁶ Deze balans tussen activeren en ontlasten werd besproken in documentaire "Chauffeurs botsen, auto's niet" uitgezonden op Canvas, programma Panorama, op 16 januari 2011.

houdt. Wanneer het systeem oververmoeidheid constateert gaat er een geluidssignaal af en een aanwijzing op het display in het instrumentenpaneel in de vorm van het korte en bondige advies: "Attention Assist. Pauze!"⁷

Wetgeving en aansprakelijkheid

Met de komst van de (zelfrijdende) robot-auto zou ook de huidige verkeerswetgeving tegen het licht gehouden moeten worden. Volgens de huidige wet is een bestuurder verantwoordelijk voor het gedrag van een voertuig op de weg: een auto zonder chauffeur is eenvoudigweg verboden op de publieke weg. Het is onduidelijk of in de wetgeving het begrip 'bestuurder' (die een voertuig bestuurt) ook een robot kan omvatten. Bij een steeds verder ingrijpend hulpsysteem is het ook de vraag op welk moment de menselijke bestuurder niet meer bestuurt (valt remmen bijvoorbeeld onder besturen?). Daaraan gekoppeld is de vraag wie aansprakelijk is voor schade of letsel als gevolg van het ingrijpen van een gerobotiseerde auto: de eigenaar, de 'bestuurder' of de fabrikant?

Het uitwerken van deze kwesties van aansprakelijkheid is een eerste vereiste voor de deelname van robots aan het verkeer. Hierover lijkt echter op dit moment in Nederland nog geen beleidsvorming op gang gekomen. Zolang echter de rol van de robot als bestuurder en de aansprakelijkheid voor het gedrag van robots in het verkeer onduidelijk blijft in de wet, zal de inzet van robots hoogstwaarschijnlijk beperkt blijven tot de private sfeer of tot afgesloten, niet-openbare ruimtes, of gescheiden rijbanen (people-movers).

Vormgeving van het verkeerssysteem en de infrastructuur

Een volgend vraagstuk vormt de infrastructuur. In hoeverre zijn we bereid die aan te passen? De robotauto is voor zijn functioneren op de weg afhankelijk van de ontwikkeling van andere technische systemen: zowel van de inrichting van de fysieke infrastructuur als de digitale infrastructuur. De robotauto past binnen de huidige technische mogelijkheden beter in een sterk gestructureerde omgeving dan in een complex, stedelijk systeem. De kwaliteiten van de bestaande infrastructuur lijken hierbij dus een statische, beperkende factor voor de komst van de robots op de weg. Eerdere toepassingen van robotica (zoals bij industriële robotica) leren dat tijdens de ontwikkeling van robots ook steeds de technische en sociale omgeving wordt aangepast om de robots optimaal te laten werken.

Bij de opkomst van de robotauto zullen beleidsmakers dus de vraag moeten stellen in hoeverre zij bereid zijn om de fysieke infrastructuur te 'rationaliseren' en aan te passen aan de eisen van het vervoermiddel. Zij zullen zich moeten afvragen wat het de samenleving waard is qua kosten en ingrepen in de bebouwde omgeving om ruim baan te maken voor de robotauto. Wat betekenen dergelijke ingrepen voor de stad, die zich kenmerkt door een grote pluriformiteit aan subsystemen en gebruikers en een grote verscheidenheid aan hun mobiliteitswensen?

Een perspectief voor de stad lijkt om de toepassing van de autonome robotauto te reserveren voor specifieke niches, waarin het robotvervoer niet interfereert met andere vervoerssystemen. Het is denkbaar dat er aparte robottrajecten komen, zoals in het geval van de onbestuurde *people movers*. De tegenvallende successen van *people movers* in het verleden laten tegelijkertijd de maatschappelijke en economische grenzen zien van deze oplossingsrichting, en zij laten bovendien zien dat een nieuw verkeerssysteem niet goed van bovenaf opgelegd kan worden en ook moeilijk in te weven in andere systemen.

⁷ <http://www.crooze.fm/auto/mercedes-benz-start-met-serieproductie-attention-assist-012429>

Autorijden als een complexe en sociale activiteit

Robotingenieurs denken dat robotauto's veiliger zullen zijn omdat ze sneller kunnen reageren dan mensen, en het is waar dat veel ongelukken voorkomen kunnen worden door een snellere reactietijd. Er lijken echter nog vele andere mechanismen in het spel bij het voorkomen van ongelukken dan snel reageren. Autorijden is een ingewikkelde, sociale en interpretatieve activiteit. Verkeersregels bijvoorbeeld zijn complex en moeten steeds in specifieke situaties geïnterpreteerd worden. Kunnen de complexe beslissingen die daarbij horen worden overgelaten aan een machine zonder nieuwe onveilige situaties te creëren? Deelname aan het verkeer veronderstelt sociale vaardigheden en inzicht. Kunnen robotauto's het zonder deze vaardigheden stellen, of kunnen ze deze vaardigheden ondervangen? Over dit vraagstuk heeft nog weinig studie en reflectie plaatsgevonden.

De uitvinder van de benzinemotor Carl Benz meende in 1885 dat de commerciële mogelijkheden voor de personenwagen gering zouden zijn, want slechts weinigen zouden beschikken over de talenten om auto's veilig besturen. Hoe grondig hij er ook naast zat, hij onderkende terecht de grote complexiteit van het besturen van een auto. Om veilig te rijden in het verkeer zou een bestuurder tenminste 1500 subvaardigheden moeten beheersen (Van der Bilt 2008). "Een automobilist stuurt, schakelt, remt, bedient de andere instrumenten, houdt zijn snelheid in de gaten, concentreert zich op zijn route, let op de weg en probeert het gedrag van medeweggebruikers in te schatten, maakt oogcontact. De meeste beslissingen neemt hij in een fractie van een seconde." (Van der Steen 2008)

Terwijl het al een grote opgave lijkt voor de zelfsturende robotauto om technische vaardigheden onder de knie te krijgen, wordt binnen de verkeerskunde steeds meer erkend dat (veilig) autorijden ook een zeer *sociale* activiteit is en veel sociale en interpretatieve vaardigheden vereist, en dat (sociale) interacties tussen verkeersdeelnemers een doorslaggevende rol spelen bij de veiligheid. Met allerlei subtiele en minder subtiele hints, gebaren, oogcontact en gedragingen geven bestuurders aan wat hun volgende handeling in het verkeer zal zijn. Ook moeten op gezette tijden bepaalde verkeersregels juist overschreden worden om gevaarlijke situaties te voorkomen.

Illustratief voor het sociale karakter van autorijden is het principe dat de Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV) in 2005 heeft toegevoegd aan de meer technische principes voor veiligheid op de weg waarvan zij tot dan toe uitging. (Wegman en Aarts 2005) Deze principes geven richtlijnen voor veiligheid en gaan vooral over de infrastructuur: de verkeersstroom moet bijvoorbeeld zo homogeen mogelijk zijn qua massa, snelheid en richting, de weg moet herkenbaar en voorspelbaar vormgegeven zijn. Het toegevoegde principe heet "*sociale vergevingsgezindheid*" en gaat over de houding van de automobilist: die moet anticiperen op fouten van andere weggebruikers om ongelukken te voorkomen of te verkleinen. Er wordt hier dus een beroep gedaan op het inlevingsvermogen van de automobilist, en op haar of zijn vermogen om in afwijking van de regels te improviseren. SWOV beseftte dat met techniek alleen en met consequente toepassing van de eerdere principes veel ongelukken toch niet konden worden voorkomen: veiligheid blijkt sterk afhankelijk van het inlevings- en improvisatievermogen van bestuurders die creatief kunnen omgaan met regels en uitzonderingssituaties. (Wegman en Aarts 2005)

Deze meer subtiele, sociale en interpretatieve elementen van deelname aan het verkeer lijken op dit moment nog absoluut niet na te bootsen met artificiële intelligentie – en

onderzoek naar verkeersgedrag in combinatie met kunstmatige intelligentie staat nog in de kinderschoenen.

Vertrouwen en acceptatie

Zal de gerobotiseerde auto gemakkelijk geaccepteerd worden door gebruikers? Hier spelen verschillende kwesties. Allereerst is het de vraag of de afnemende autonomie van de bestuurder geaccepteerd zal worden. De behoefte van bestuurders aan controle over technische systemen blijkt groot en de tekenen wijzen er niet op dat bestuurders geneigd zijn deze controle los te laten. Verder onderzoek naar hiernaar wordt door veiligheidsexperts aangeraden.

Een tweede acceptatiekwestie gaat over het aanvankelijk onbehagen dat mensen vaak hebben bij een machine-gedomineerde omgeving. Dit onbehagen kan het vertrouwen van 'bestuurders' en passagiers in robotauto's afremmen. Werner Huber, fabrikant van BMW zegt daarover: 'Mensen zijn er bang voor, omdat ze niet begrijpen wat het systeem doet. Ze zijn bang dat het systeem de controle over het voertuig overneemt. Het is onze taak om die angst weg te nemen. We moeten vertellen dat we iets maken dat ze begrijpen.'⁸

Om een dergelijke technologische 'vervreemding' te voorkomen heeft het Rivium-project zich gericht op een vertrouwde vorm: de rit met het autonome voertuig zou qua bediening moeten lijken op een lift. Uit gebruikersenquêtes blijkt dat het vertrouwen dat uiteindelijk een persoon de controle zou kunnen overnemen van de techniek doorslaggevend is voor de acceptatie (Malone et al. 2002). Voor ondersteunende systemen in de auto geldt dat ook: bij ondervraging van automobilisten over hun verwachting van bestuurdersondersteuning (*Advanced Driver Assistance Systems, ADAS*), blijkt dat zij te allen tijde willen kunnen ingrijpen en de ondersteuning uitschakelen (Thalen 2006). Anderzijds blijkt uit onderzoek van Rijkswaterstaat, dat daadwerkelijk ingrijpen door ondersteunende systemen meer door gebruikers gewaardeerd wordt dan alleen waarschuwing (RWS 2007).

Er ligt hier nog een onderzoeksgebied open: onder welke omstandigheden worden gerobotiseerde systemen vertrouwd en wordt nieuwe technologie door autogebruikers geaccepteerd? Een middel om het vertrouwen en de acceptatie te verhogen zijn gebruikersstudies en testritten ('pilots'). Het breed testen van ondersteunende of autonome auto's en de gevolgen op het verkeerssysteem kan de keuzes over de invoering van deze robots verhelderen.

Privacy

Een laatste maatschappelijk vraagstuk kan zich gaan aftekenen rond privacy. Wanneer gegevens die robotauto's uitwisselen verzameld worden door derden, wie beheert dan deze gegevens? En mogen ze worden uitgewisseld, in hoeverre mag bijvoorbeeld de politie weten waar voertuigen zich op bepaalde tijdstippen bevonden?

5. Voorbij het auto-paradigma?

Stadsplanners aan het eind van de negentiende eeuw meenden dat met het groeiend aantal paarden en koetsen de steden zouden gaan verstikken in mest en stof. De massale introductie van auto's maakte destijds echter een eind aan deze voorspelling. Zou het kunnen dat een zelfde soort blindheid geldt voor de verschillende partijen die nadenken over

⁸ Zie <http://actua.canvas.be/panorama/archief/panorama-161-chauffeurs-botsen-autos-niet/>

de toekomst van robotica in het verkeer? De robotfuturisten staren zich niet alleen blind op de technologische trends, ook nemen de meeste van hen het model van de personenauto die eigendom is van de bestuurder, erg serieus. Dit geldt ook voor degenen die zich zorgen maken dat de grote maatschappelijke vraagstukken over automobilité steeds meer de pan uit zullen rijzen. Ook autofabrikanten, op dit moment meer gericht op overleven dan op innovatie, lijken op dit moment vast te zitten in een technologisch, financieel en organisatorisch pad waarin het moeilijk is om buiten de vertrouwde concepten te denken en vernieuwend te zijn. Toch zijn er tekenen die in de richting van nieuwe vervoersmodellen wijzen.

Nieuwe vervoersmiddelen

Allereerst springen initiatieven voor andere gemotoriseerde vervoersmiddelen in het oog. In 2010 bijvoorbeeld werden op de wereldtentoonstelling in Shanghai nieuwe voertuigconcepten gepresenteerd. General Motors toonde bijvoorbeeld samen met zijn Chinese strategische partner SAIC een 'Electric Networked-Vehicle', een klein stadsvoertuig dat een oplossing zou bieden voor de individuele mobiliteit in de stadscentra, ontworpen om zorgen rondom files, de beschikbaarheid van parkeerplaatsen en de luchtkwaliteit van de steden te verlichten.⁹

Een hindernis voor deze nieuwe middelen zijn vaak de juridische kaders. Dit kwam naar voren in het geval van de Segway: na eerst als bromfiets gekenmerkt te zijn werd de tweewieler anderhalf jaar niet meer toegestaan op de openbare weg, maar is sinds juli 2008 als 'bijzonder voertuig' weer geaccepteerd. De Segway is toegestaan op fietspaden en bij het ontbreken daarvan op rijbanen, met een maximumsnelheid van 25 kilometer per uur. Het is goed mogelijk dat mobiele robots op vergelijkbare juridische hindernissen stuiten omdat onduidelijk is in welke categorie ze vallen.

[[FOTO van experimental Segway bij brug]]

Nieuwe eigendomsvormen

Ook nieuwe eigendomsvormen kunnen het vertrouwde concept van de auto ondermijnen. In het huidige concept staan het particuliere bezit en gebruik sterk centraal. Uit verschillende toekomststudies concludeert het Office of Science and Technology (Foresight 2005) dat nieuwe technologie zal leiden tot een verschuiving van het eigendom van auto's. Als leaseauto's of deelauto's breed beschikbaar zijn en op afroep voor de deur klaarstaan, is bezit van een auto minder noodzakelijk.

Versillende mengvormen van privé en openbaar vervoer dienen zich aan: van auto naar geleasede auto naar gedeelde auto (zoals Greenwheels) en van taxi naar gedeelde taxi (treintaxi's en regiotaxi's zijn voorbeelden). Zo probeert Project Better Place een nieuw eigendomsconcept te ontwikkelen waarbij niet meer de auto zelf, maar een vervoersdienst verkocht wordt (TWA 2008). Andere eigendomsvormen kunnen de komst van mobiele robots bevorderen: leasemaatschappijen kunnen, gedreven door harde cijfers over ongevallen, erop staan dat de bestuurder zoveel mogelijk geassisteerd wordt door robotica.

Ook Broggi et al. beschrijven een scenario waarin het individuele autobezit vervuld wordt voor vervoersdiensten. De rol van de auto-industrie verschuift daarbij; niet langer is ze slechts producent van auto's, maar ze eigent zich een rol toe als dienstverlener van zowel

⁹ <http://www.automania.be/nl/auto/gm-/gm-nieuws/gm-onthult-en-v-studiemodellen-een-visie-op-toekomstige-stedelijke-mobiliteit>

groepsvervoer als individueel transport. Daarbij zou de industrie gaan samenwerken met taxibedrijven, openbaar vervoerbedrijven en organisaties voor gedeeld autogebruik. (Broggi et al. 2008, p. 1192). Dit scenario past ook in de visie van de stedenbouwkundige Micheal Arth (2010) (zie hierboven), die voorspelt dat de private autobezitter, wiens auto 90% van de tijd stilstaat en ruimte inneemt, op den duur zijn wagen zal verruilen voor publieke, zelfsturende taxi's die voortdurend in gebruik zouden zijn.

Nieuwe weggebruikers

Bij een invoering van robotauto's hoeft verkeersdeelname niet meer beperkt te worden tot mensen met een rijbewijs; dit zou de mobiliteit van de groepen die nu niet zelfstandig kunnen participeren aan het systeem, zoals kinderen, ouderen en minder validen, enorm kunnen vergroten. De auto, en de publieke weg, wordt van iedereen. Sterker nog: indien inderdaad aangetoond kan worden dat de autonome auto tot minder ongelukken leidt, kan de menselijke bestuurder uitgefaseerd worden (via wettelijke dan wel economische prikkels, zoals een goedkopere autoverzekering).

De kracht van het auto-paradigma

Ondanks deze trends lijkt de personenauto zoals we die kennen niet eenvoudig weg te denken. Onze samenleving is in hoge mate 'auto-afhankelijk' en voor ongeveer 40% van de autoverplaatsingen is op niet of nauwelijks een alternatief en dit percentage groeit (Jeekel, 2011) Een sleutelfactor voor het succes van de personenauto blijkt het grote vrijheidsgevoel en statusvoordeel dat het besturen en bezitten van een auto teweegbrengt. (Peeters 2000) Deze psychologische factoren wegen steeds weer op tegen de negatieve lasten van de auto. Bezitters en bestuurders ervaren, ondanks alles wat op het tegendeel wijst, een hoge mate van autonomie. Dit verklaart de grote acceptatie van de materiële en niet-materiële kosten van de auto. Een alternatief voor dit voertuig dat niet voor dit vrijheidsgevoel kan compenseren, of dat dit vrijheidsgevoel niet kan geven, zal de concurrentieslag maar moeilijk kunnen winnen. Ook als de mobibot meer comfort, veiligheid en besparing van grondstoffen zou bieden, blijft de vraag of de autogebruiker zijn autonomie hieraan wil opofferen.

6. Analyse: socio-technische scenario's voor de cybercar

Tegelijk is dit proces van autonomieverlies al in volle gang. De Belgische autojournalist Pierre Darge stelde tien jaar geleden naar aanleiding van de opkomst van technieken als cruise control vertwijfeld de vraag: "Er wordt de chauffeur zoveel uit handen genomen dat hij wel een passagier lijkt. Dat kan toch nooit de bedoeling zijn?" (Peeters 2000) Tien jaar later is de vraag nog even actueel. In het citaat van Darge is kernachtig de ironie van de robotauto gevat: Het imago van vrijheid en autonomie, waaraan de personenauto haar enorme populariteit grotendeels te danken heeft, lijkt stelselmatig ondermijnd door het robotiseren van functies. De overkoepelende trend is dat de bestuurder zijn macht over het stuur kwijtraakt. In alle mogelijke scenario's voor de robotauto is dit het geval. Want met uitzondering van dit centrale kenmerk lijken de mogelijke scenario's die oplichten op basis van onze verkenning in de vorige paragrafen sterk uiteen te lopen.

Van alle mogelijke die toekomstvarianten kan tenminste één scenario worden weggestreept: dat is het scenario waarin de beloften van toekomstgoeroes als Eric Schmidt en Moravec van een autonome, hoogintelligente personenauto uitkomen, zeker op de termijn die zij daarbij hebben gesteld (7 á 10 jaar). De techniek kan voorlopig nog niet veilig functioneren in

het huidige verkeerssysteem. Ook als de techniek robuuster wordt, zijn er nog veel niet-technische factoren te overwinnen. Producenten zullen het bijvoorbeeld moeten aandurven om de aansprakelijkheid voor ongelukken op zich te nemen. Ook zal de infrastructuur van het verkeerssysteem moeten worden aangepast en zal er weerstand zijn bij de gebruiker, die het genot van het besturen moet opgeven. In deze toekomstdroom lijkt er bovendien een blinde vlek voor het belang van sociaal gedrag en interpretaties van dubbelzinnige situaties bij het autorijden voor het voorkomen van ongelukken. De toekomstdroom over de autonome robotauto lijkt kortom te stranden op eendimensionaliteit.

Een tweede onwaarschijnlijk scenario is het uitkomen van de belofte dat robot-auto's een doorslaggevende bijdrage gaan leveren aan de grote verkeersvraagstukken van dit moment. Of de veiligheid van (andere) weggebruikers wordt verbeterd is de vraag, laat staan of robots zo iets betekenen voor andere grote verkeersvraagstukken (het ruimtebeslag, milieuvraagstukken, energieconsumptie, files). Voor dergelijke verbeteringen lijkt robotica een druppel op een gloeiende plaat: er lijken in eerste plaats organisatorische, juridische en infrastructurele ingrepen in het verkeerssysteem voor nodig. Ook een technisch geoptimaliseerde, maatschappelijk geaccepteerde robotversie van de huidige personenauto zal nog altijd vervuilend zijn en een groot beslag leggen op de ruimte. Daarmee is de eerste vraag uit de inleiding (Zou de nieuwe robottechnologie in het verkeer een sleutel kunnen worden tot de grote, complexe vraagstukken van het huidige verkeerssysteem?) ontkennend beantwoord.

Vier scenario's voor de robotauto

Op welke manier zou de nieuwe robottechnologie dan wel haar beslag kunnen krijgen op het verkeerssysteem? Naast de twee afgevalen scenario's zien wij vier scenario's verrijzen op grond van deze verkenning. De eerste twee borduren voort op het concept van de individuele autobezitter en bestuurder.

Incrementele robotisering:

Het scenario dat zich het meest duidelijk aftekent, is dat van een steeds verdere automatisering van functies van de bestaande personenauto. De huidige organisatie en infrastructuur van het verkeerssysteem blijven in dit scenario grotendeels in tact. De automobilist geeft, in ruil voor een groter gemak (en misschien, maar dat staat nog niet vast, ook een grotere veiligheid), de controle over functies van de auto geleidelijk uit handen. Wel blijft de bestuurder "in the loop".

Dit scenario vervolgt het huidige dominante technologisch traject van de personenauto waar individueel gemak een belangrijke waarde is. Verkeersvraagstukken die het individueel perspectief overstijgen, zoals brandstofverbruik, filevorming en ruimtebeslag, zijn er niet per se mee gediend. Voor andere weggebruikers lijkt het geen duidelijke voordelen te bieden: voor hen wordt het verkeer niet veiliger of schoner. Voor producenten is dit een vertrouwd en winstgevend pad om zich te onderscheiden met nieuwe producten die veiligheid en gemak suggereren. Voor hen is het belangrijk, het vertrouwen en de acceptatie van gebruikers te winnen. Voor overheden betekent dit scenario, dat de definitie van 'bestuurder' moet worden geherijkt, evenals het aansprakelijkheidsbeleid, en dat de veiligheidseffecten gemonitord moeten worden.

Twee systemen: snelweg en stad

Dit scenario gaat een stap verder en differentieert voor verschillende typen verkeerssysteem, doorredenerend op de verschillende typen waarin de bestuurderloze auto is getest, beschreven in paragraaf 3. Naast de incrementele robotisering in het eerste scenario, met de

bestuurder in the loop, komt er een mogelijkheid voor meer radicale robotisering op daarvoor geschikte weggedeelten.

In het ene systeem, op de snelweg en op andere verbindingswegen, gaat het om het vervoer van goederen en personen op lange afstand. Hier zouden robotsystemen veel taken van de chauffeur kunnen overnemen. Auto's kunnen op hogere snelheid dicht op elkaar rijden (in een 'konvooi-modus'), de wegcapaciteit beter benutten, met behulp van navigatie-optimalisatie de verkeersstroom vloeiend laten verlopen en het brandstofverbruik verminderen. De 'bestuurder- passagier' kan dan achterover leunen en wordt veilig, comfortabel en snel naar de bestemming gereden.

De stad, het tweede systeem, is een dynamische omgeving met veel verschillende soorten weggebruikers, die verschillende richtingen en vervoersbehoeften hebben. In de stad lijkt de autonome auto minder aannemelijk: daar vormt het autoverkeer onderdeel van een pluriform, complex systeem waarin veel sociale functies en waarden verwoven zijn. In dit scenario blijft de stad de bestuurder een hoofdrol spelen bij de bediening van de auto.¹⁰

Dit scenario lijkt meer dan het eerste te scenario bij te kunnen dragen aan vraagstukken als files en benutting van wegcapaciteit. Het zou overigens een nieuw vraagstuk creëren; dat van de coördinatie tussen de systemen. Hoe verloopt de afstemming tussen wel en (nog) niet –autonoom bestuurd auto's? En hoe verloopt dan de aansluiting van de auto op de snelweg naar de stedelijke omgeving? Een technische oplossing hiervoor zou zijn dat auto's een 'dual mode' vermogen krijgen: in gestructureerde zones zoals de snelweg rijden zij op de automatische bediening, en in de chaos van de stad worden ze door de bestuurder handmatig bediend.

In paragraaf 5 zijn indicaties geschetst dat het autoparadigma met een individuele bestuurder en bezitter verlaten gaat worden. Bovendien zien we de opkomst van netwerken die centrale monitoring van het verkeer mogelijk maken. In de lijn van deze trends zien wij twee afwijkende scenario's ontstaan, waarin de nadruk komt op andere eigendomsvormen (niet meer bij de individuele gebruiker) en op andere typen vervoersmiddelen (op maat gesneden voor verschillende soorten groepssamenstellingen en vervoersbehoeften).

Centrale monitoring en digitalisering

In dit scenario verschuift de macht over het stuur van de autobestuurder naar centrale instanties die het verkeer leiden. Door toenemende digitalisering van het wegsysteem kunnen autobewegingen onderling op elkaar afgestemd worden en gecoördineerd via centrale monitoring. Het gaat hier dus niet alleen om de robotisering van de individuele auto, maar om de robotisering van het verkeerssysteem. Hier is niet alleen de bestuurder 'in the loop', maar ook een centrale instantie, zoals de verkeerspolitie.

Hier prevaleren andere waarden dan in het eerste scenario, waar het accent lag bij het gemak van de individuele autogebruiker. Er worden andere doelen gediend, zoals minder fileleed, een grotere energie-efficiency (door *konvooirijden* en snelheidsvermindering) en een grotere verkeersveiligheid door de lagere snelheid en de mogelijkheid van ingrijpen. Het systeem zou ook gebruikt kunnen worden om gebruikers te laten betalen voor de rit, te beboeten voor overtredingen en in te grijpen, bijvoorbeeld bij een te hoge snelheid. Het betekent dus voor overheden een grotere rol bij het beheersen van verkeersproblemen. Het systeem zou fraudegevoelig kunnen zijn en vereist nieuwe formules voor aansprakelijkheid.

¹⁰ Tegelijkertijd ligt in de stad de snelheid van het verkeer ook lager. Zoals het voorbeeld van het herkenningssysteem van de Volvo S60 laat zien, biedt zo'n lage snelheid ook kans op het automatiseren van bepaalde verrichtingen, in dit geval het automatisch remmen bij het plots oversteken van bijvoorbeeld een kind.

Voor burgers en autogebruikers roept deze monitoring een nieuw privacyvraagstuk op: hoeveel mag de verkeerscoördinator weten en tot op welke hoogte mag deze ingrijpen in het gedrag van de bestuurder? Het scenario zal op stevige weerstand stuiten uit deze hoek, die overigens de best georganiseerde groep van verkeersdeelnemers is (denk aan de grote en succesvolle weerstand tegen het rekeningrijden), en die op dit moment een grote invloed heeft op de politieke besluitvorming.

Openbaar vervoer

Visionairen als Arth en Broggi zien een op nieuwe leest gestoeld, op meer individuele maat toegesneden openbaar vervoerssysteem. In deze visie komt de particuliere auto van vandaag minder centraal te staan. Het zet daarmee een stap verder dan de vorige twee scenario's. Hier overheersen ook andere waarden. Een maatschappelijk voordeel van dit scenario zou zijn dat met robotauto's meer op maat gesneden vervoersoplossingen voor een groot aantal gebruikers dichterbij komen, ook voor hen die nu niet aan het verkeer kunnen deelnemen als bestuurder, en ook voor gebieden waarin het openbaar vervoerssysteem nu slecht is ontwikkeld. Ook zou dit plan met een aanzienlijke ruimtebesparing gepaard gaan. En zou het totale wagenpark sterk beperkt kunnen worden. De robotauto zou hierbij in samenhang met nieuwe verkeerssystemen moeten worden ontworpen. Een belangrijk maatschappelijk nadeel van dit scenario lijken de ingrepen die nodig zijn in de bestaande fysieke infrastructuur.

7. Conclusie

De robotisering van het wagenpark lijkt onvermijdelijk: de toekomst van het autorijden zal hoe dan ook worden beïnvloed door de nieuwe robotica. We zien zowel een geleidelijke robotisering van de individuele auto, als een robotisering van het wagenpark, met de toenemende mogelijkheden voor centrale monitoring. Deze duidt op een opmerkelijke verschuiving in het concept van de autorobot: hiermee is de gerobotiseerde auto immers niet langer een 'autonome' auto, maar is ze een telerobot geworden: een op afstand bestuurbare robot.

We hebben in laten zien dat met de opkomst van robottechniek in de auto verschillende scenario's zich kunnen onvouwen, naast de huidige trend van incrementele robotisering. Met deze scenario's is duidelijk dat er geen eenduidig antwoord bestaat op de vraag uit de inleiding, of robotica op de weg een verrijking of verarming zal zijn van ons vervoerssysteem. Het antwoord hangt af van de richting die de samenleving wil inslaan, het gewicht dat ze aan de grote verkeersvraagstukken geeft en daarmee van de waarden en maatschappelijke doelen die voorop staan. De afweging tussen deze scenario's en de waarden die zij belichamen is steeds een politieke keuze.

De robotisering van de auto stelt hoe dan ook eisen aan beleidsmakers. Robotica biedt niet alleen perspectieven voor huidige complexe verkeersvraagstukken, zoals de verkeersveiligheid, maar levert ook weer nieuwe vraagstukken, waarop keuzes gewenst zijn. Robotica kan alleen een bijdrage bieden aan de grote maatschappelijke vraagstukken zoals ruimtebeslag, uitstoot, files en verkeersveiligheid, indien robotisering van voertuigen in samenhang met organisatorische en infrastructurele oplossingen wordt ontworpen. Over de introductie van robotsystemen lijkt in Nederland echter nog geen beleidsvorming op gang gekomen. Het is dus een opgave voor beleidsmakers en bestuurders om met de

mogelijkheden en de geschetste scenario's voor de robotauto een visie te bouwen op het wegsysteem van de toekomst, waarin sociale aspecten en technische mogelijkheden in nauwe samenhang worden bestudeerd, en dat - anders dan het huidige verkeerssysteem - toegankelijk en veilig is voor een zo groot mogelijk aantal burgers.

Referenties

Van Arem, B. (2010) Kan de auto beter zelf rijden? Inaugurele rede Universiteit Twente

Arth, M. (2010) *Democracy and the common wealth: breaking the stranglehold of the special interests*. Golden Apples Media, pp 363-368.

Van der Bilt 2008

Broggi, A.; Zelinsky, A.; Parent, M. & Thorpe, C. E. (2008). *Intelligent vehicles*. In: (Ed.), *Springer Handbook of Robotics*, Springer.

Charette, R. (2009b). *How Hard Should It Be To Stop a Runaway Luxury Car?*, IEEE Spectrum Blog 18 oktober 2009.

Charette, R. N. (2009a). *Automated to death*, IEEE Spectrum December 2009.

Clarkson, J. (2007) Ascari A10: The sausage dog with rottweiler bite. The Sunday Times September 16, 2007

Connolly, C. (2007). *Collision avoidance technology: from parking sensors to unmanned aircraft*, Sensor review 27 : 182-188.

EC (2007). *i2010: Intelligent Car*. DG Information Society - Europese Commissie, Luxembourg.

Europees Parlement (2008) *Intelligent car technology take-up too slow, says Transport Committee*. Transport, 8 April 2008.

Foresight (2005). *Trends and drivers in Intelligent Infrastructure Systems*. Office of Science and Technology, London.

Fraunhofer-ISI & IZT (2009) *Rohstoffe fuer Zukunftstechnologien*. Fraunhofer Institut fuer System- und Innovationsforschung ISI / Institut fuer Zukunftsstudien und Technologiebewertung IZT gGmbH, Karlsruhe / Berlin.

Glockner, H.& Rodenhaeuser, B. (2009). *Zukunft der Mobilitaet*. Z-punkt/FOCUS, Berlin.
IBM (2008). *Automotive 2020*. IBM Institute for Business Value/Global Business Services, Somers, New York.

Henderson, M. (2007) *Days of the idiot behind the wheel are numbered*
The Times February 19, 2007

- Michael Hoffman (2007) *Stanford: World will Have Robot-driven cars on Roads by 2030*. Daily Tech
<http://www.dailytech.com/Stanford++World+Will+Have+Robotdriven+Cars+on+Roads+by+2030/article6141.htm>
- Jeekel, H. (2011) *De autoafhankelijke samenleving*. Dissertatie. Eburon: Delft.
- Kolman, S. & R. van Est (2010). *De genetwerkte auto*. In: Check in/ check uit; de digitalisering van de openbare ruimte. Rathenau Instituut Den Haag.
- Koppelaar, R.; van Meerkerk, B.; Polder, P.; van den Bulk, J. & Kamphorst, F. (2008). *Olieschaarstebeleid*. Stichting Peak Oil Nederland, Amsterdam.
- Malone, K.; van der Wiel, J. & Saugy, B. (2002). *Cybernetic transport systems: lessons to be learned from user needs analysis and field experience*. TNO Inro, Delft.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2008a). *Eurlings: maximaal 500 verkeersdoden in 2020*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2008b). *Strategisch Plan Verkeersveiligheid 2008-2020*. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2009) *Veiligheidsbalans 2009*. Den Haag.
- Moravec, H. (2009). *Rise of the robots - the future of artificial intelligence*. In: (Ed.), *Special report on robots*, Scientific American.
- NRC (2010) Robotauto is Googles nieuwe ambitie (11 oktober 2010)
- Parent, M.; Gallais, G.; Alessandrini, A. & Chanard, T. (2003). *Cybercars: review of first projects*, .
 RWS, 2007. *Wegen naar de toekomst: de rij-assistent*. Rijkswaterstaat, Delft.
- Peeters, K. (2000) *Het voorruitperspectief : wegen van het impliciete autodenken*. Leuven: Garant
- Rumar, K. (1985) "The Role of Perceptual and Cognitive Filters in Observed Behavior," *Human Behavior in Traffic Safety*, eds. L. Evans and R. Schwing, Plenum Press.
- Sanderson, A.; Bekey, G. & Wilcox, B. (2005). *Robotic Vehicles*. In: (Ed.), *Assessment of International Research and Development in Robotics*, World Technology Evaluation Center.
- Van der Steen, P. (2010) *Alfa-mannetjes op het asfalt*. In: Maarten! Nummer 02, jaargang 2010
- SWOV (2008). *Factsheet Intelligente Transportsystemen (ITS) en verkeersveiligheid*. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid, Leidschendam.
- SWOV (2010). *Factsheet Intelligente Transportsystemen (ITS) en verkeersveiligheid*. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid, Leidschendam.

Thalen, J. (2006). *ADAS for the Car of the Future: Interface Concepts for Advanced Driver Assistant Systems in a Sustainable Mobility Concept of 2020*. Faculty of Engineering Technology / Industrial Design, University of Twente, Enschede.

Transport Briefing (2008) *Heathrow rapid transit guideway construction completed*. 2008-10-23.

Trouw (2011) Vraagtekens bij cijfers over daling verkeersdoden. Krant van 18 april 2011.

TWA, 2008. (2008) *Innovative technologies for road transport and personal mobility*. TWA nieuws Jaargang 6, Nr. 5, Den Haag.

Urmson, C et al. (2008). *Autonomous Driving in Urban Environments: Boss and the Urban Challenge*, Journal of Field Robotics 25 : 425-466.

Urmson, C. & Whittaker, W. R. (2008). *Self-driving cars and the urban challenge*, IEEE Intelligent systems : 66-68.

Vanderbilt, T. (2008) *Traffic. Waarom wij rijden zoals we rijden (en wat dat over ons zegt)*. Amsterdam: De bezige Bij.

Verkeerskunde (2009) *Phileas terug als gewone hybride bus*. (<http://www.verkeerskunde.nl/phileas-terug-als-gewone-hybride-bus.19259.lynkx>)

VisionZero, (2008).

Vision Zero (2009). Traffic Technology International, Surrey, UK.

Volvo persberichten (2009) Volvo's van de toekomst rijden zelfstandig (<http://www.volvocars.com/nl-be/top/community/news-events/pages/default.aspx?itemid=1>)

Volvo Persberichten (2010) Pedestrian Detection met Full Autobrake - unieke technologie (<http://www.volvocars.com/nl-be/top/community/news-events/pages/default.aspx?itemid=36>)

Wagner, D. (2010) *Google tests cars that can steer without drivers. Engineers consider the cars safer because they react more quickly than humans*
The Associated Press 10 oktober 2010
http://www.msnbc.msn.com/id/39606282/ns/technology_and_science-innovation/

Wegman, F. & L. Aarts (Red.), *Door met Duurzaam Veilig, Nationale verkeersveiligheidsverkenning voor de jaren 2005-2020*. Leidschendam: SWOV, pp. 212-222

Woodyard, C. (2009). *Volvo ready to bring cars to a full stop in an emergency - without any help from the driver*, USA Today 28-09-2009.

Websites:

<http://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=130592626> radio- Interview met Ira Flatow op 15 oktober 2010: Google Isn't The First To Dream Of Robotic Cars

<http://automobiles.honda.com/insight-hybrid/fuel-efficiency.aspx>)

http://www.msnbc.msn.com/id/39606282/ns/technology_and_science-innovation/

<http://actua.canvas.be/panorama/archief/panorama-161-chauffeurs-botsen-autos-niet/>

<http://www.automania.be/nl/auto/gm-/gm-nieuws/gm-onthult-en-v-studiemodellen-een-visie-op-toekomstige-stedelijke-mobiliteit>

<http://www.dailytech.com/Stanford++World+Will+Have+Robotdriven+Cars+on+Roads+by+2030/article6141.htm>

Interviews

Jeroen van Dorp (ANWB),
Jacco Lammers (SundayAfternoon)
Onno Pruis (Movin Vervoeradvies)