

Zelfrijdende voertuigen wat betekent dat voor fietsers en voetgangers?

R-2017-22



Zelfrijdende voertuigen: wat betekent dat voor fietsers en voetgangers?

Er zijn veel ontwikkelingen gaande op het gebied van zelfrijdende voertuigen. Tot nu toe onderbelicht daarin – maar van groot belang voor de verkeersveiligheid – is de interactie tussen zelfrijdende voertuigen en fietsers en voetgangers. Op dit moment is er nog weinig bekend over wat voetgangers en fietsers verwachten van zelfrijdende voertuigen en hoe ze er in de verkeerspraktijk op reageren. Het is bijvoorbeeld onduidelijk of hun huidige verkeersgedrag eigenlijk wel iets zegt over hun gedrag in een verkeerssysteem met zelfrijdende voertuigen. Voor het programmeren van zelfrijdende voertuigen die veilig met voetgangers en fietsers omgaan is dat uiteraard wel relevant.

SWOV heeft in de periode 2016-2017 verschillende onderzoeken op dit terrein gedaan, waaronder een uitgebreide literatuurstudie en, deels in samenwerking met de TU Delft, enkele empirische onderzoeken. Dit rapport biedt een kort overzicht van de bevindingen, waarbij we onder andere kijken naar aspecten als verwachtingen, vertrouwen, communicatie tussen verkeersdeelnemers, gedragsadaptatie, en uiteindelijk het gedrag.

Voetgangers en fietsers lijken neutraal tot redelijk positief in hun verwachtingen over de mate waarin zelfrijdende voertuigen rekening met hen houden. Aan de andere kant geven zij aan zich minder op hun gemak te voelen in situaties met zelfrijdende voertuigen. Wanneer we echter kijken naar hoe ze zich (zeggen te) gedragen in die situaties, zijn er nauwelijks verschillen met hun gedrag in aanwezigheid van gewone handgestuurde auto's. Al met al moeten we concluderen dat het onderzoek tot nu toe geen eenduidig beeld geeft van de wijze waarop voetgangers en fietsers omgaan met zelfrijdende voertuigen. Een conclusie is verder dat het aantal empirische studies op dit gebied nog beperkt is, dat ze bovendien vaak kleinschalig zijn, en dat de methoden van onderzoek nog in de kinderschoenen staan. Er zijn dan ook nog veel hiaten in de kennis op dit gebied. Nieuwe onderzoeksmogelijkheden, bijvoorbeeld in de vorm van testtrajecten voor zelfrijdende voertuigen, bieden in de nabije toekomst verdere mogelijkheden om de interactie tussen voetgangers en fietsers zo realistisch mogelijk te onderzoeken.



1. Interactie met zelfrijdende voertuigen

Op weg naar zelfrijdende voertuigen

Op allerlei fronten wordt gewerkt aan de ontwikkeling van zelfrijdende voertuigen. Toepassingen zijn al te vinden in bijvoorbeeld ‘truck platooning’ (→ *Afbeelding 1*) en experimenten met ‘pods’ voor het kleinschalig vervoer van personen, zoals in Wageningen (de WEpod, → *Afbeelding 2*), Appelscha en de Eemsmond. Daarnaast zijn er diverse testritten geweest van zelfrijdende personenauto’s, niet alleen op autosnelwegen, maar ook in de stad. Er zijn echter nog veel onzekerheden over de wijze waarop en het tempo waarin de zelfrijdende auto zich zal ontwikkelen en ons verkeerssysteem zal bevolken.^{1,2}

De verwachtingen van de verkeer-en-vervoerexperts zijn over het algemeen hooggespannen, niet alleen waar het gaat om de effecten op milieu³ en congestie, maar zeker ook waar het gaat om de effecten op veiligheid. Bij een zelfrijdende auto is immers de factor mens en daarmee ‘de menselijke fout’ zo goed als uitgeschakeld, zo is vaak de gedachte. De vraag is echter hoe realistisch die gedachte is, zeker zolang er nog mensen niet-geautomatiseerd aan het verkeer deelnemen, zoals lopend of fietsend.



Afbeelding 1: Truck platooning (bron: Scania).



Afbeelding 2: Een WEpod (bron: (bron: wepods.com)).

¹ Tillema, T., et al. (2017). *Paden naar een zelfrijdende toekomst: vijf transitie-stappen in beeld*. Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid KiM, Den Haag.

² Nieuwenhuijsen, J., et al. (2018). *Towards a quantitative method to analyze the long-term innovation diffusion of automated vehicles technology using system dynamics*. In: *Transportation Research Part C*, vol. 86, p. 300-327.

³ Ook op het gebied van effecten op benzineverbruik zijn nog veel onzekerheden; zie bijvoorbeeld Worland, J. (2017). *Why self-driving cars might not lead to a huge drop in fuel consumption*. In: *Time*, 27 november – 4 december 2017.

Zelfrijdende voertuigen in interactie met fietsers en voetgangers

Een tot nu toe onderbelicht aspect, maar van groot belang voor de verkeersveiligheid, is de interactie tussen zelfrijdende voertuigen en fietsers en voetgangers. Bij de ontwikkeling van zelfrijdende voertuigen wordt weliswaar veel aandacht besteed aan het detecteren en herkennen van fietsers en voetgangers, maar er is nog nauwelijks gekeken naar hoe de fietser en voetganger zelf reageren op zelfrijdende voertuigen.⁴ En dat is niet onbelangrijk, zeker niet wanneer het gaat om verkeer in de stad. Fietsers en voetgangers zijn niet geautomatiseerd: ze hebben – en nemen – een grote bewegingsvrijheid in het verkeer. Daarmee zijn zij niet altijd goed voorspelbaar. Deze kenmerken van fietsers en voetgangers zijn bijzonder lastig voor het definiëren van gedragsalgoritmes voor zelfrijdende voertuigen en voor het optimaliseren van het zelflerend vermogen van zelfrijdende voertuigen. Ook bij het vaststellen van de implicaties van zelfrijdende voertuigen voor de infrastructuur zal rekening gehouden moeten worden met het gedrag van deze groepen kwetsbare verkeersdeelnemers, daar waar ze de verkeersruimte moeten delen met zelfrijdende voertuigen.⁵ Er zijn kortom nog veel vragen over de interacties tussen auto's en fietsers/voetgangers in een systeem waarin voertuigen in meer of mindere mate zelfstandig rijden (→ *Kader 1*).



Kader 1: Veel vragen over de interactie tussen zelfrijdende voertuigen en fietsers/voetgangers

“Maar hoe ‘fail proof’ is die [zelfrijdende] auto? En wat gebeurt er als kinderen – en andere voetgangers of fietsers – er bijna blind van uitgaan dat er toch wel voor ze gestopt wordt? Letten ze niet meer op bij het oversteken? Of gaan ze de intelligente auto uittesten? En, hoe kunnen voetgangers en fietsers weten of zij te maken hebben met zo’n intelligent of automatisch rijdend voertuig? Hoe kunnen zij met elkaar communiceren en samenwerken? Oogcontact met bestuurders van die auto’s om te checken of hij je gezien heeft, zegt niet zoveel meer als de bestuurder niet zelf rijdt en degene is die bepaalt wanneer er geremd wordt. Als voetgangers en fietsers niet weten of zij te maken hebben met slimme automatisch rijdende voertuigen of met ‘gewone’ handmatig bestuurd voertuigen, dan zullen sommigen zich twijfelend gedragen, en anderen juist heel zeker maar wel onveilig. Vanuit het oogpunt van de auto-auto [lees: de zelfrijdende auto] wordt het dan moeilijker om gedragsintenties van voetgangers en fietsers te voorspellen. Robots zijn namelijk niet goed in het omgaan met inconsequent gedrag. [.....]

Onderzoek vanuit het oogpunt van deze kwetsbare, want onbeschermde, verkeersdeelnemers zal moeten leiden tot inzicht in welke kenmerken van invloed zijn op een veilige samenwerking tussen enerzijds fietsers en voetgangers en anderzijds automatisch rijdende voertuigen.”

Uit: *Dat paaltje had ook een kind kunnen zijn; over verkeersveiligheid en gedrag van mensen in het verkeer*. Intreerede prof. dr. M.P. Hagenzieker, uitgesproken op 21 oktober 2015 ter gelegenheid van de aanvaarding van het ambt van hoogleraar Verkeersveiligheid aan de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de Technische Universiteit Delft, p. 17-18.

⁴ Zie bijvoorbeeld Voorsluijs, E. (2017). *Kennisontwikkeling rond autonoom vervoer in interactie met de mens; De paden op en de lanen in van de gebruiker en ethiek*. Voorsluijs Beleid en Strategie.

⁵ Morsink, P., et al. (2016). *Zelfrijdende auto's; Ontwikkelagenda ZRA en wegontwerp*. Royal HaskoningDHV Nederland B.V., Amersfoort.

SWOV-onderzoek: van literatuurstudie tot experiment

In een aantal onderzoeken heeft SWOV, in nauwe samenwerking met de TU Delft, een aanzet gemaakt om het genoemde hiaat in aandacht en kennis op te vullen. Om te beginnen zijn we op basis van algemene kennis en theorie nagegaan welke processen gewoonlijk een rol spelen bij interactie tussen auto's en fietsen en voetgan-

gers, welke van die processen beïnvloed zouden worden door het feit dat er sprake is van een zelfrijdend voertuig en wat daarover gerapporteerd is in de onderzoekliteratuur. Vervolgens heeft SWOV, ook al is dit niet eenvoudig, op een aantal punten zelf empirisch onderzoek gedaan (→ *Kader 2*). In de volgende hoofdstukken bespreken we in het kort de belangrijkste bevindingen.

Kader 2: Zelfrijdende voertuigen in interactie met fietsers/voetgangers lastig te onderzoeken

Er is nog niet veel onderzoek gedaan naar de interacties van fietsers en voetgangers met zelfrijdende voertuigen. Zulk onderzoek is ook niet eenvoudig. Er zijn immers nog nauwelijks zelfrijdende voertuigen, in elk geval niet voldoende om in het echte verkeer, onder niet-experimentele condities, te observeren hoe voetgangers en fietsers daarmee omgaan. Een deel van het onderzoek dat wel is gedaan, vraagt fietsers of voetgangers naar hun verwachtingen en hoe zij denken te gaan reageren. Dat gebeurt dan aan de hand van vragenlijsten, al dan niet ondersteund door beeldmateriaal. Een ander deel van het onderzoek vindt wel plaats in 'echte' verkeerssituaties, zij het dat die veelal afgesloten zijn voor ander verkeer. Het zijn daarmee vooral kleinschalige, experimenteel gecontroleerde onderzoeken met auto's die schijnbaar automatisch zijn, maar in werkelijkheid toch door iemand worden bestuurd: een zogeheten 'Wizard of Oz'-experiment. Deelnemers wordt dan meestal gevraagd hun intentie om al dan niet over te steken of voorrang te nemen kenbaar te maken. De steeds strengere onderzoeksethiek laat niet toe dat deelnemers daadwerkelijk oversteken, omdat ze daarmee aan mogelijk gevaarlijke situaties worden blootgesteld.

Onder bepaalde voorwaarden, in Nederland na goedkeuring van de RDW, vinden tegenwoordig ook proeven met zelfrijdende voertuigen op de openbare weg plaats. Waar relevant wordt andere verkeersdeelnemers gevraagd hoe zij de ontmoetingen met dergelijke zelfrijdende voertuigen hebben ervaren. In het Europese project interACT,⁷ dat onlangs van start is gegaan, wordt ook informatie verzameld over de reacties van andere verkeersdeelnemers, waaronder voetgangers en fietsers, op zelfrijdende voertuigen.



Gesimuleerde 'zelfrijdende' auto in een Wizard of Oz-experiment.⁶



Zicht vanuit de auto in een Wizard of Oz-experiment.⁶

⁶ Rodríguez Palmeiro, A., et al. (2017). *Interaction between pedestrians and automated vehicles: A Wizard of Oz experiment*. Paper presented at the Road Safety and Simulation (RSS) International Conference, October 2017, The Hague.

⁷ Zie voor meer informatie over dit Europese project <http://www.interact-roadautomation.eu/>.

2. Wat leren we uit literatuur?

Vanuit de theorie⁸ wordt het uiteindelijke gedrag bij interacties tussen verkeersdeelnemers bepaald door vier aspecten:

1. regelgeving;
2. informele gedragsregels: verwachtingen en vertrouwen;
3. communicatie tussen verkeersdeelnemers;
4. gedragsadaptatie.

Het eerstgenoemde aspect is **regelgeving**. Van belang daarbij zijn onder andere de juridische en ethische aspecten die gekoppeld zijn aan het verkeerssysteem van de toekomst.^{9,10} Hoe, waar, wanneer en onder welke voorwaarden mogen zelfrijdende voertuigen de weg op? Welke risico's accepteren we daarbij? Wie is aansprakelijk bij ongevallen: de bestuurder of de fabrikant? Of hangt dat af van de ongevalsoorzaak (systeemfout, fout van de bestuurder als 'supervisor' of fout van andere, niet-geautomatiseerde verkeersdeelnemers)? Heeft dit alles consequenties voor de formele verkeersregels? Mogelijk moet op grond van dit soort overwegingen op termijn ook de verkeerswetgeving als geheel aangepast worden. Op dit moment is hier echter nog onvoldoende duidelijkheid over.

Een tweede aspect betreft de informele gedragsregels. Deze worden voor een belangrijk deel gebaseerd op **verwachtingen en vertrouwen**. In een aantal studies, vooral vragenlijststudies, is getracht de verwachtingen van fietsers en voetgangers over ontmoetingen met zelfrijdende voertuigen in kaart te brengen. Echter, wat je als voetganger of fietser verwacht van het 'gedrag' van zelfrijdende voertuigen en in hoeverre je op hun gedrag vertrouwt, wordt in belangrijke mate bepaald door concrete ervaringen met zelfrijdende voertuigen. En die ervaringen hebben de meeste fietsers en voetgangers op dit moment natuurlijk nog niet. Het gaat bij dit soort onderzoek dan ook meer om verwachtingen en vertrouwen die gebaseerd zijn op theoretische kennis en vermoedens. De resultaten zijn niet eenduidig. De meeste studies concluderen dat fietsers en voetgangers zich betrekkelijk voorzichtig opstellen en desgevraagd aangeven eerder minder dan meer te vertrouwen op de reacties van zelfrijdende voertuigen dan op die van traditionele voertuigen. Maar er zijn ook tegenovergestelde resultaten: studies die aangeven dat fietsers en voetgangers zich juist veiliger voelen bij zelfrijdende voertuigen en studies die niet of nauwelijks verschil vinden in de interactie met zelfrijdende en traditionele voertuigen en. *Kader 3* gaat hier verder op in.

Kader 3: Verwachtingen over en vertrouwen in zelfrijdende voertuigen

In een aantal onderzoeken is gekeken naar verwachtingen en vertrouwen van fietsers en voetgangers, als het gaat om zelfrijdende voertuigen. Een onderzoek in de Verenigde Staten geeft aan dat fietsers en voetgangers meer behoefte hebben aan gescheiden fiets- en voetgangersfaciliteiten als er (ook) zelfrijdende voertuigen zouden rondrijden.¹¹ Dit duidt op minder vertrouwen. Ook Zweeds onderzoek wijst in die richting.¹² Daar bleek uit een veldstudie dat voetgangers minder geneigd waren over te steken bij een zogenaamde zelfrijdende auto waarvan de bestuurder bezig leek te zijn met andere dingen dan autorijden (krant lezen, laptop bedienen); de voetgangers gaven aan dit een onvoorspelbare en gevaarlijke situatie te vinden. Ook recent onderzoek van SWOV en de TU Delft (zie *Hoofdstuk 3*) wijst in deze richting.

Er zijn evenwel ook studies die positievere bevindingen rapporteren. Bijvoorbeeld uit een vragenlijst-onderzoek onder fietsers en voetgangers over de WEpod in Wageningen¹³ bleek dat de respondenten, grotendeels studenten, zich over het algemeen juist veiliger voelden als ze de weg moesten delen met een zelfrijdend voertuig als de WEpod. Voor fietsers gold dit niet op kruispunten zonder verkeerslichten, en voetgangers gaven aan in de aanwezigheid van een WEpod liever bij een zebrapad te willen oversteken. In een Britse veldstudie¹⁴ gedroegen voetgangers zich bij het oversteken in de buurt van een (schijnbaar) zelfrijdende auto niet anders dan bij een handgestuurde auto. Alleen als de auto erg hortend en stotend reed of niet leek te stoppen voor het zebrapad, gingen de voetgangers aarzelen.

⁸ Dit hoofdstuk is grotendeels gebaseerd op Vissers, L., et al. (2016). *Safe interaction between cyclists, pedestrians and automated vehicles*. R-2016-16. SWOV, The Hague.

⁹ BMVI (2017). *Ethik-Kommission Automatisiertes und Vernetztes Fahren*. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Bericht Juni 2017.

¹⁰ Boele, M.J. (2015). *Procedure en criteria voor de veiligheid van praktijkproeven op de openbare weg met (deels) zelfrijdende voertuigen*. R-2015-15A. SWOV, Den Haag.

¹¹ Blau, M. (2015). *Driverless vehicles' potential influence on cyclist and pedestrian facility preferences*. Ohio State University, Cleveland.

¹² Malmsten Lundgren, V. et al. (2017). *Will there be new communication needs when introducing automated vehicles to the urban context?* In: *Advances in Intelligent Systems and Computing*, p. 485-497.

¹³ Rodriguez Cabezas, P.K. (2017). *Safety of pedestrians and cyclists when interacting with automated vehicles: A case study of the WEpods*. TU Delft Civil Engineering - Transport & Planning.

¹⁴ Rothenbücher, D., et al. (2015). *Ghost driver: A field study investigating the interaction between pedestrians and driverless vehicles*. AutoUI, Nottingham.

Een derde relevant aspect is **communicatie tussen verkeersdeelnemers**. Het gaat daarbij om signalen van voertuigen aan voetgangers/fietsers over hun gedrag en hun gedragsintenties. Daarbij is de vraag welke signalen voetgangers en fietser het beste begrijpen en wat ze er vervolgens mee doen. In het huidige verkeerssysteem worden bij concrete interactiesituaties de verwachtingen over elkaars gedrag vaak ondersteund door (non-verbale) communicatie: oogcontact, een handgebaar en dergelijke. In een verkeerssysteem met zelfrijdende voertuigen zal dit anders zijn. Er is immers geen actieve bestuurder en dus zijn er geen oogbewegingen of handgebaren. Onderzoek laat zien dat fietsers en voetgangers het prettig vinden als een zelfrijdende auto zijn intenties duidelijk maakt via visuele of auditieve signalen. In diverse onderzoeken is nagegaan hoe die het beste kunnen worden gerealiseerd (→ *Kader 4*).

Een vierde relevant aspect is **gedragsadaptatie**. Dit is het fenomeen dat mensen zich anders gaan gedragen als ze menen dat een situatie veranderd is. Dergelijke gedragsaanpassingen zijn niet altijd in de gewenste richting. In het verkeer kan gedragsadaptatie er bijvoorbeeld toe leiden dat bepaalde maatregelen, die in theorie de veiligheid hadden moeten verbeteren, in de praktijk geen of zelfs een negatief effect laten zien doordat mensen zich anders, onveiliger gaan gedragen.¹⁵ Een vaak aangehaald voorbeeld is het tegenvallende veiligheidseffect van de invoering van remmen met een antiblokkeersysteem (ABS) omdat bestuurders van auto's met ABS bijvoorbeeld sneller of dichter op hun voorganger gingen rijden.¹⁶

Ook gedragsadaptatie is dus, in samenhang met verwachtingen, ervaringen en vertrouwen, van invloed op het **uiteindelijke gedrag** van voetgangers en fietsers bij interacties met zelfrijdende voertuigen. Het merendeel van de onderzoeken die hebben gevraagd of gekeken naar verschillen in gedrag bij gewone voertuigen en zelfrijdende voertuigen vonden geen verschil, of ze vonden een voorzichtiger houding jegens zelfrijdende voertuigen (→ *Kader 3* en *Hoofdstuk 3*). Afhankelijk van de daadwerkelijke ervaring met zelfrijdende voertuigen kan dit echter veranderen.¹⁷ Mochten fietsers en voetgangers bijvoorbeeld ervaren dat zelfrijdende voertuigen altijd tijdig remmen en hen altijd voor laten gaan, dan gaan ze zich mogelijk veiliger voelen en meer risico's nemen. Maar mochten de ervaringen minder positief zijn, dan kan het tegenoverstelde effect optreden. Aangezien er nog nauwelijks zelfrijdende voertuigen op de weg zijn, is

Kader 4: Communicatie van voertuig naar fietser en voetganger

In Zweden zijn onderzoeken gedaan naar het effect van informatie over de intentie van de zelfrijdende auto via ledlampjes boven de voorruit op de beleving en het gedrag van voetgangers.¹⁸ Het bleek dat voetgangers zich rustiger voelden en meer geneigd waren over te steken als de ledlampen lieten weten dat de auto ging stoppen.

Een studie in het kader van de evaluatie van zelfrijdende 'pods' in drie Europese steden (La Rochelle in Frankrijk, Trikala in Griekenland en Lausanne in Zwitserland) bevestigde het belang van signalen om gedragsintenties aan te geven.¹⁹ Uit vragenlijstonderzoek en discussie in focusgroepen bleek dat mensen het bij de interactie met een zelfrijdend personenbusje (een pod) vooral belangrijk vonden dat duidelijk werd gemaakt dat deze hen had 'gezien'. Informatie over de snelheid van het busje werd als minst belangrijk gezien. Het belang van informatie over of de pod wegrijdt, van richting verandert of stopt lag daar tussenin. Deze studie liet echter ook zien dat er belangrijke verschillen zijn in de wijze waarop voetgangers het liefst geïnformeerd wilden worden: auditief of visueel en met tekst of met symbolen/signalen.

Een studie in de Verenigde Staten daarentegen, gaf aan dat voetgangers bij zelfrijdende voertuigen meer geneigd waren te vertrouwen op bestaande oversteekroutines.²⁰ Ze beslisten eerder op factoren als snelheid en afstand dan op informatie over intenties op een display op het voertuig. Tegelijkertijd gaven de meeste deelnemers aan dat een dergelijk display wel noodzakelijk zou zijn voor de communicatie tussen voertuig en voetganger.

het erg lastig te bepalen in welke mate gedragsadaptatie in de praktijk zal gaan optreden. Toch is het van belang een bruikbare en voldoende realistische methode te ontwikkelen waarmee we op zijn minst een indicatie kunnen krijgen van mogelijke gedragsadaptatie voordat dit fenomeen zich werkelijk gaat voordoen.

¹⁵ Zie bijvoorbeeld Rudin-Brown, C. & Jamson, S. (eds.) (2013). *Behavioural adaptation and road safety: theory, evidence, and action*. CRC Press, Boca Raton, Florida.

¹⁶ Zie bijvoorbeeld Wilde, G.J.S. (2013). *Homeostasis drives behavioural adaptation*. In: Rudin-Brown, C. & Jamson, S. (eds.), ¹⁵ p. 61-86.

¹⁷ Núñez Velasco, J.P., et al. (2017). *Interactions between vulnerable road users and automated vehicles: A theoretical framework*. Paper at the Road Safety and Simulation (RSS) International Conference, October 2017, The Hague.

¹⁸ Lagström, T. & Malmsten Lundgren, V. (2015). *Autonomous vehicles' interaction with pedestrians. An investigation of pedestrian-driver communication and development of a vehicle external interface*. MSc Thesis. Chalmers University of Technology. Gothenburg.

¹⁹ Merat, N., et al. (2016). *What do vulnerable road users think about ARTS*. CityMobil2 Final Conference. Donostia, San Sebastian, Spain.

²⁰ Clamann, M., et al. (2016). *Evaluation of vehicle-to pedestrian communication displays for autonomous vehicles*. Duke University, Durham, USA.

3. Wat leren we uit SWOV-onderzoek?

SWOV heeft, deels in samenwerking met de TU Delft, in de periode 2016-2017 een aantal onderzoeken gedaan om meer zicht te krijgen op verschillende aspecten van interacties van fietsers en voetgangers met zelfrijdende voertuigen.

Voetgangers en zelfrijdende auto's: een 'Wizard of Oz'-experiment

In het onderzoek met voetgangers²¹ stond een deelnemer op het trottoir langs een weg met twee rijstroken. Deze weg was voor ander verkeer afgezet. De deelnemers moesten aangeven, door een stap terug te zetten, op welk moment zij niet meer zouden oversteken voor een aankomende auto. In totaal waren er 24 deelnemers die 20 keer een beslissing moesten nemen. De auto's naderden van een afstand van 70 meter, deels van links, deels van

rechts, met een snelheid van 25 km/uur. De naderende auto was ofwel een gewone, handgestuurde auto of een zogenaamd zelfrijdende auto (Wizard of Oz; → *Kader 2*). De volgorde waarin de auto's naderden was voor elke deelnemer verschillend. Daarmee wordt voorkomen dat deze volgorde de resultaten beïnvloedt.

Deze 'zelfrijdende' auto was ontworpen door de TU Delft en werd via een joystick bestuurd door iemand op de passagiersstoel. De zelfrijdende auto's waren op verschillende manieren herkenbaar gemaakt als zelfrijdende auto: doordat een bestuurder de krant aan het lezen was, door een bord 'self-driving' op het dak van de auto, of door de tekst 'self-driving' op de motorkap (→ *Kader 5*). Na elke ontmoeting, moest de deelnemer enkele vragen beantwoorden.

Kader 5: Auto's gebruikt in het Wizard of Oz-experiment²¹



Traditionele auto



Zelfrijdend: tekst 'self-driving' op motorkap



Zelfrijdend: bestuurder leest krant



Zelfrijdend: tekst 'self-driving' op dak

²¹ Rodríguez Palmeiro, A., et al. (2017). *Interaction between pedestrians and automated vehicles: A Wizard of Oz experiment*. Paper presented at the Road Safety and Simulation (RSS) International Conference, October 2017, The Hague.

De resultaten lieten geen verschil zien tussen de oversteekbeslissingen bij een gewone auto en bij een zelfrijdende auto. Het maakte ook geen verschil op welke manier de zelfrijdende auto herkenbaar was gemaakt. Evenmin maakte het uit of een deelnemer naar eigen zeggen veel of weinig vertrouwen had in de technologie van zelfrijdende voertuigen. Wel gaven de deelnemers aan zich minder veilig te voelen tegenover een zelfrijdende auto in vergelijking met een gewone auto. Opvallend was verder nog dat de deelnemers – ‘de voetgangers’ in het experiment – zeiden minder vertrouwen te hebben in de omgang van zelfrijdende voertuigen met voetgangers dan in andere technologische aspecten van zelfrijdende voertuigen.

Fietsers en zelfrijdende auto's: een foto-experiment

De interactie tussen fietsers en zelfrijdende auto's is ook onderzocht aan de hand van foto's van verkeerssituaties waarin een fietser een auto ontmoette. In sommige situaties naderde de auto van voren of van achteren en kruiste deze bij het afslaan het pad van een rechtdoorgaande fietser. In andere situaties was er sprake van een kruispunt waar de auto van links of rechts naderde; in sommige van deze situaties had de fietser voorrang, in andere de auto. De auto's waren deels gewone auto's en deels zelfrijdende auto's, aangegeven door de tekst 'self-driving' op een sticker op het zijportier of op een bord op het dak van de auto. Met behulp van twee vragen zijn de verwachtingen van de fietser over het gedrag van de auto onderzocht en met een derde vraag de reactie van de fietser. Het onderzoek is uitgevoerd onder 35 studenten en medewerkers van de TU Delft. *Kader 6* geeft meer informatie over de onderzoeksopzet.

In zijn algemeenheid wijzen de resultaten van deze studie²² op een tamelijk voorzichtige houding van fietsers jegens zelfrijdende auto's in de zin dat ze niet verwachten dat zelfrijdende auto's hen beter opmerken of vaker stoppen dan traditionele auto's. Ook lijken fietsers zich niet anders te gedragen wanneer ze een zelfrijdende auto ontmoeten dan wanneer ze een traditionele auto ontmoeten.

Kader 6: Opzet van het foto-experiment

Deelnemers:	18 mannen (gemiddeld 29,7 jaar) en 17 vrouwen (gemiddeld 28,8 jaar)
Foto's:	10 situaties X 3 autotypen = 30 foto's, elk tweemaal aangeboden
Aanbieding:	Individueel, in het bijzijn van een proefleider, met een laptop
Instructie:	De helft van de deelnemers kreeg bij de instructie positieve en de andere helft kreeg meer neutrale informatie over zelfrijdende auto's



Een van de tien situaties die zijn voorgelegd, met de 'fietsende' deelnemer (rood kruis) en een inhalende auto die aangeeft naar rechts te willen afslaan.

Vragen over de verwachtingen

(antwoord op een 10-puntsschaal – van zeker tot onzeker):

1. Hoe zeker bent u dat de auto u heeft opgemerkt?
2. Hoe zeker bent u dat de auto stopt als u doorfiets?

Vraag over de reactie van de fietser

3. Hoe reageert u?
(beetje sneller fietsen – gewoon doorfietsen – beetje vaart minderen – remmen – afstappen)

Extra vragenlijsten

- Spanningsbehoefte²³
- Vertrouwen in nieuwe technologieën
- Vertrouwen in technologie voor zelfrijdende voertuigen

²² Hagenzieker, M.P., et al. (2018, geaccepteerd). *Interactions between cyclists and automated vehicles: results of a photo experiment*. Geaccepteerd voor publicatie in *European Journal of Transport and Infrastructure Research EJTIR*.

²³ Spanningsbehoefte is een persoonlijkheidseigenschap die in het Nederlands kan worden omschreven als 'het zoeken van nieuwe, gevarieerde, complexe en intense sensaties en ervaringen en de bereidheid om daarvoor risico te nemen' (Zuckerman, M. (1979). *Sensation seeking: beyond the optimal level of arousal*. Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ).

De helft van de deelnemers had voorafgaand aan het onderzoek positieve en de andere helft meer neutrale informatie over zelfrijdende auto's gekregen. Deelnemers met de positieve informatie bleken er zekerder van dat een zelfrijdende auto hen had opgemerkt dan een traditionele auto. Bij de deelnemers met de neutrale informatie was dat precies andersom: zij waren er juist zekerder van dat de traditionele auto hen had opgemerkt. Toen deelnemers de situaties voor de tweede keer moesten beoordelen waren zij zekerder dat de zelfrijdende auto voor hen zou stoppen als zij doorfietsten. Deze keer was hun vooraf uitgelegd hoe ze konden zien of de auto op de foto zelfrijdend was of traditioneel; die informatie was bij de eerste ronde bewust achterwege gelaten.



Afbeelding 1: Onderzoek met een eye-tracker waarmee het visuele zoekgedrag kan worden onderzocht.

Een deel van de deelnemers had het onderzoek gedaan met een zogeheten eye-tracker op²⁴ (→ Afbeelding 1). Daarmee kan worden nagegaan op welke momenten deelnemers hun ogen op iets richten en voor hoe lang. In grote lijnen week het kijkgedrag van fietsers in situaties met zelfrijdende auto's niet af van het kijkgedrag in situaties met traditionele auto's. Opnieuw was er een verschil tussen de eerste aanbieding en de tweede aanbieding, dat wil zeggen nadat was uitgelegd op welke wijze zelfrijdende en traditionele auto's te onderscheiden waren: de tweede keer keken de deelnemers minder lang naar de zelfrijdende auto dan de eerste keer. In deze studie vonden we geen samenhang tussen de antwoorden en de mate waarin de deelnemers aangaven vertrouwen te hebben in nieuwe technologieën in zijn algemeenheid of in technologieën voor zelfrijdende auto's. Evenmin was er een samenhang met spanningsbehoefte.

De studie resulteerde in voldoende interessante bevindingen om eenzelfde soort onderzoek op grotere schaal uit te voeren. De resultaten hiervan worden in de loop van 2018 verwacht.

²⁴ Kint, S. van der, et al. (2017). *Eye movements of cyclists when interacting with automated vehicles: What can static images tell us?* Poster presented at the Road Safety and Simulation (RSS) International Conference, October 2017, The Hague.

4. Wat moeten we verder nog weten?

In de onderzoekswereld blijkt er – en dat is een belangrijke constatering – een toenemende belangstelling voor de positie van fietsers en voetgangers in een toekomstig (deels) geautomatiseerd verkeerssysteem. Steeds meer neemt dat onderzoek ook het perspectief van fietsers en voetgangers als uitgangspunt, wetende dat deze verkeersdeelnemers zich flexibel en vaak onvoorspelbaar gedragen en dat hun huidige gedrag zeer waarschijnlijk geen goede voorspeller is van hun gedrag in een verkeerssysteem met zelfrijdende voertuigen. Veel studies hanteren hierbij een meer beschouwende, theoretische benadering. Het aantal empirische onderzoeken met deze invalshoek, het perspectief van fietsers en voetgangers, is nog zeer beperkt.

Een kwalitatieve analyse van deze empirische studies laat zien dat er naar verhouding veel gekeken wordt naar de beslissingen van voetgangers en fietsers om al dan niet over te steken of voorrang te nemen, hetzij op basis van foto's, hetzij op basis van een 'echte' verkeerssituatie. De (psychologische) processen die ten grondslag liggen aan deze beslissingen zijn echter in veel mindere mate onderzocht. Van die onderliggende processen wordt nog het vaakst gekeken naar verwachtingen die voetgangers en fietsers hebben over het gedrag van zelfrijdende voertuigen in zijn algemeenheid (langetermijnverwachtingen) of in concrete interactiesituaties (kortetermijnverwachtingen). Het effect van vertrouwen in nieuwe technologieën komt al veel minder vaak aan bod. Voor zover ons bekend, is slechts in één studie gekeken naar waarnemings- en informatieverwerkingsprocessen. Gedragsadaptatie is tot nu toe helemaal niet onderzocht. Onderzoek naar de communicatie van het zelfrijdende voertuig met voetgangers of fietsers richt zich veelal op het achterhalen van geaccepteerde en begrijpelijke manieren om de intentie van het voertuig over te brengen. Een enkele studie heeft gekeken naar het effect van dergelijke boodschappen op het oversteekgedrag van voetgangers of fietsers; de resultaten daarvan spraken elkaar bovendien tegen (→ *Kader 4*).

Al met al weten we dus nog weinig van de wijze waarop fietsers en voetgangers reageren op zelfrijdende voertuigen. Er zijn op dit moment nog geen eenduidige antwoorden en soms spreken resultaten elkaar zelfs tegen. Deze hiaten in kennis moeten tijdig gevuld worden om ervoor te zorgen dat de positie van voetgangers en fietsers niet verslechtert naarmate het verkeerssysteem autonomer wordt. Een van de belangrijke kennishiaten betreft de psychologische processen die ten grondslag liggen aan de beslissingen van voetgangers en fietsers bij interacties met zelfrijdende voertuigen en hoe die te sturen zijn. Van belang is ook expliciet te kijken naar een transitiesituatie waarin sommige voertuigen wel, andere gedeeltelijk, en nog weer andere helemaal niet geautomatiseerd zijn. Hoe gaan voetgangers en fietsers daarmee om? En tot slot, welke maatregelen zijn nodig om voetgangers en fietsers maximaal te ondersteunen om veilig met zelfrijdende voertuigen om te gaan? In *Kader 7* zijn enkele concrete onderzoeksvragen geformuleerd.



Kader 7: Enkele belangrijke onderzoeksvragen op een rijtje

Op basis van welke criteria beslissen voetgangers en fietsers hoe ze reageren op een zelfrijdend voertuig en welke **(psychologische) processen** liggen daaraan ten grondslag? Relevante deelvragen zijn bijvoorbeeld:

- Wat is de rol van verwachtingen van voetgangers/fietsers op de interactie met zelfrijdende voertuigen en zijn die verwachtingen te sturen?
- Welke signalen zijn belangrijk bij beslissingen tijdens interacties met zelfrijdende voertuigen in vergelijking met traditionele voertuigen (oogcontact, gebaren) en wat is de rol van informatie op of aan de auto?
- In hoeverre zijn verwachtingen en beslissingen van voetgangers en fietsers afhankelijk van het type zelfrijdend voertuig (personenauto, bestelauto, vrachtauto, bus) of het type situatie (complexiteit, hoeveelheid verkeer, samenstelling verkeer)?
- In hoeverre zijn bepaalde kenmerken van de voetgangers/fietsers (leeftijd, geslacht, ervaring, attituden, vertrouwen in techniek) van invloed op hun verwachtingen over en beslissingen bij zelfrijdende voertuigen?
- Zullen voetgangers en fietsers hun gedrag aanpassen in een (deels) zelfrijdend verkeerssysteem (gedragsadaptatie) en in welke richting en in welke mate dan?

Hoe gaan voetgangers en fietsers zich gedragen in een **transitieperiode** waarin volledig zelfrijdende voertuigen zich mengen met voertuigen die gedeeltelijk zelfrijdend zijn en met traditionele handgestuurde voertuigen?

- Heeft dit effect op de risico's die voetgangers en fietsers ervaren in zijn algemeenheid of in bepaalde situaties?
- Passen voetgangers en fietsers hun gedrag aan aan het (verwachte) niveau van automatisering van een auto en op welke manier dan?
- Is het überhaupt belangrijk dat ze hun gedrag aanpassen aan het niveau van automatisering en zo ja, hoe kan dat niveau het beste zichtbaar worden gemaakt?

Welke **maatregelen** kunnen helpen om voetgangers en fietsers veilig te laten omgaan met (deels) zelfrijdende voertuigen?

- Kunnen zelfrijdende voertuigen zo geprogrammeerd worden dat ze maximaal aansluiten bij de verwachtingen van voetgangers en fietsers?
- Is het nodig voetgangers en fietsers te trainen in de omgang met zelfrijdende voertuigen en wat moet er dan getraind en hoe?
- Kan niet-geautomatiseerd verkeer, waaronder voetgangers en fietsers, de verkeersruimte delen met geautomatiseerd (auto)verkeer, of is het verstandiger de infrastructuur zo in te richten dat beide soorten verkeer grotendeels fysiek gescheiden zijn? Waar en hoe dan?
- Zijn de huidige voorrangsregels en aansprakelijkheidswetgeving bij ongevallen met kwetsbare verkeersdeelnemers nog adequaat in een autonoom verkeerssysteem of zijn er aanpassingen nodig en welke dan?

5. Verder met veldonderzoek

Alles overziend, zijn de resultaten van onderzoek naar de positie van voetgangers en fietsers in een deels of geheel geautomatiseerd verkeerssysteem tot nu toe niet eenduidig. Wanneer we de grote lijn zouden moeten samenvatten dan lijkt de conclusie gerechtvaardigd dat voetgangers en fietsers neutraal tot redelijk positief zijn in hun verwachtingen over hoe zelfrijdende voertuigen op hen zullen reageren. Wanneer we kijken naar hoe ze zich (zeggen te) gedragen in hun aanwezigheid, zijn er nauwelijks verschillen met situaties met traditionele voertuigen. Wel geven ze aan zich minder op hun gemak te voelen dan in een situatie met een traditioneel voertuig.

Echter, zoals aangegeven staan er nog veel vragen open. Het gaat dan vooral om vragen vanuit het perspectief van de voetganger en fietser: waar kijken ze naar, wat verwachten ze, hoe beslissen ze vervolgens en wat doen ze dan precies? Weliswaar neemt de belangstelling voor dit onderwerp toe, maar is het aantal empirische studies tot nu toe beperkt. Experimentele veldstudies zijn bovendien meestal tamelijk kleinschalig en worden vaak in een universitaire en dus niet erg representatieve setting uitgevoerd. De onderzoeksmethodologie staat nog in de kinderschoenen. Op zichzelf is dit alles niet verwonderlijk. Het is immers erg ingewikkeld na te gaan hoe fietsers en voetgangers in het werkelijke verkeer reageren op zelfrijdende voertuigen zolang die voertuigen er nog nauwelijks zijn en geen of nauwelijks deel uitmaken van dagelijkse verkeerssituaties. Dit vereist creatieve en vaak tijdrovende onderzoeksopzetten (zie ook *Kader 2*) die dan vervolgens ook nog niet uitblinken in realisme.

De (verdere) ontwikkeling van testtrajecten door bijvoorbeeld TNO Helmond, TU Delft en RDW maakt het steeds beter mogelijk om in realistischere omstandigheden onderzoek te doen naar de interactie tussen voetgangers, fietsers en zelfrijdende voertuigen. Verder wordt er op steeds bredere schaal gewerkt aan de ontwikkeling van een meer gestandaardiseerde onderzoeksmethodologie voor de verschillende openstaande vragen en komt er steeds meer duidelijkheid over de juridische en ethische aspecten van dit soort onderzoek. SWOV zal in de komende periode, in samenwerking met andere onderzoeksinstellingen, actief blijven bijdragen aan de verdere ontwikkeling van de kennis op dit gebied.



6. Meer informatie

Publicaties over dit project

Hagenzieker, M.P. (2015)

Dat paaltje had ook een kind kunnen zijn; over verkeersveiligheid en gedrag van mensen in het verkeer. Intreerede uitgesproken op 21 oktober 2015 ter gelegenheid van de aanvaarding van het ambt van hoogleraar Verkeersveiligheid aan de faculteit der Civiele Techniek en Geowetenschappen, Technische Universiteit Delft, Delft.

Hagenzieker, M.P., Kint, S. van der, Vissers, L., Schagen, I.N.L.G. van, Bruin, J. de, Gent, P. van & Commandeur, J.J.F. (2018, geaccepteerd)

Interactions between cyclists and automated vehicles: results of a photo experiment. Artikel geaccepteerd voor publicatie in European Journal of Transport and Infrastructure Research (EJTIR).

Kint, S. van der, Vissers, L., Schagen, I. van & Hagenzieker, M. (2017)

Eye movements of cyclists when interacting with automated vehicles: What can static images tell us? Poster presented at the Road Safety and Simulation (RSS) International Conference, October 2017, The Hague.

Kint, S. van der & Hagenzieker, M. (2017)

How do road users interact with automated cars? Presentation at the Young Researchers Seminar 2017, organized by ECTRI, FERSI, FEHRL, 16-18 May 2017, Berlin.

Rodríguez Palmeiro, A. (2017)

Interaction between pedestrians and Wizard of Oz automated vehicles. Master Thesis. Delft University of Technology.

Rodríguez Palmeiro, A., Kint, S. van der, Vissers, L., Farah, H., Winter, J.C.F. de & Hagenzieker, M. (2017)

Interaction between pedestrians and automated vehicles: A Wizard of Oz experiment. Paper presented at the Road Safety and Simulation (RSS) International Conference, October 2017, The Hague.

Vissers, L., Kint, S. van der, Schagen, I. van & Hagenzieker, M. (2016)

Safe interaction between cyclists, pedestrians and automated vehicles; What do we know and what do we need to know? R-2016-16. SWOV, The Hague.

SWOV-publicaties
zijn te downloaden via
swov.nl/publicaties





Colofon

Auteurs



drs. Ingrid van Schagen



Sander van der Kint, MSc



prof. dr. Marjan Hagenzieker

Fotografen

Paul Voorham, Voorburg
Peter de Graaff, Katwijk
Jonathan de Bruin, SWOV

De foto's in dit rapport zijn bedoeld als illustratie.
Afgebeelde personen hebben geen directe relatie
met beschreven situaties.

© 2017

SWOV – Instituut voor Wetenschappelijk

Onderzoek Verkeersveiligheid

Postbus 93113, 2509 AC Den Haag

Bezuidenhoutseweg 62, 2594 AW Den Haag

T +31 70 3173 333

E info@swov.nl

I www.swov.nl

E @swov_nl / @swov

in linkedin.com/company/swov

Dit onderzoek is gefinancierd door het
ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

De informatie in deze publicatie is openbaar.
Overname is toegestaan met bronvermelding.

Ongevallen **voorkomen**

Letsel **beperken**

Levens **redden**