

Reizigerspotentie en -voorkeuren ten aanzien van zelfrijdende voertuigen op de last-mile in een openbaar vervoer reis

Ir. A.F. Scheltes

Goudappel Coffeng BV ¹

Ir. M.D. Yap

Goudappel Coffeng BV ²

Dr. ir. N. van Oort

Goudappel Coffeng BV ³

Themanummer CVS 2016

Uitgebreide samenvatting op basis van een CVS-artikel. Het volledige artikel staat op:

http://www.cvs-congres.nl/e2/site/cvs/custom/site/upload/file/papers_final/2016/cvs16_029.pdf

¹ Goudappel Coffeng BV, E: AScheltes@goudappel.nl

² Goudappel Coffeng BV, E: MYap@goudappel.nl

³ Goudappel Coffeng BV, E: NvOort@goudappel.nl

Introductie

De last-mile in een openbaar vervoer (OV) reis wordt vaak ervaren als een van de meest hinderlijke gedeelten van een reis (Wang & Odoni, 2012, van Nes et. Al., 2014). Hierdoor is het OV vaak niet in staat om te kunnen concurreren met de auto. (Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), 2015) De oorzaak kan deels worden gevonden in het gebrek aan flexibiliteit, veelal lage frequenties en het overstappen en de daarbij horende veelal lange wachttijden die de conventionele vervoermiddelen op de last-mile kennen. Recente technologische ontwikkelingen maken innovatieve vraaggestuurde vervoerconcepten mogelijk op de last-mile (bijvoorbeeld car-sharing, Mobility as a Service) (Correia & Antunes, 2012) (Jorge & Correia, 2013). Gezien de recente technologische ontwikkelingen op het gebied van zelfrijdende voertuigen wordt het aannemelijk geacht dat in de komende jaren enige vorm van zelfrijdend vervoer onderdeel gaat uitmaken van ons hedendaags mobiliteitssysteem (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM), 2015). Van Arem et al. (2015) stellen dat de meest kansrijke toepassing in het openbaar vervoer op de korte termijn ligt voor gedeelde voertuigen op de last-mile om zo de deur-tot-deur performance te verbeteren.

Volledig zelfrijdende voertuigen (SAE, 2016) zijn onafhankelijk van een bestuurder en zijn in essentie onafhankelijk van "eigen" infrastructuur en zouden hierdoor ideaal op de last-mile ingezet kunnen worden. Hierdoor zijn ze in staat het veelal diffuse vervoerpatroon en het lage vervoervolume efficiënt te kunnen bedienen. Daarnaast beschikt de last-mile veelal over gunstige condities om zelfrijdende voertuigen te kunnen accommoderen; daarnaast zijn snelheden van het overige verkeer en de verkeersdichtheden op de meest kansrijke locaties op de korte termijn (zoals universiteitscampussen) over het algemeen laag (van Arem et al, 2015). Zelfrijdende voertuigen zouden dan ook in staat zijn om gebruik te maken van bestaande infrastructuur, wat resulteert in een hoge flexibiliteit van het systeem en relatief beperkte investeringskosten. Vanuit exploitatie oogpunt zijn voordelen te behalen aangezien de zelfrijdende voertuigen alleen operationeel zijn indien er vervoersvraag bestaat (Mageean & Nelson, 2003). Veel van het huidige onderzoek naar zelfrijdende voertuigen focust zich op aspecten zoals veiligheid, techniek, ethiek en wetgeving rondom zelfrijdende voertuigen., Het onderbelichte onderwerp in deze studies blijkt telkens de vervoerwaarde te zijn, die een systeem van zelfrijdende voertuigen kan realiseren (Correia et al, 2015). Onze studie geeft inzicht in de vervoerwaarde van zelfrijdende voertuigen door combinatie van een instrumenteel simulatiemodel en een stated-preference onderzoek, om zo de waardering en de keuze van de reiziger voor zelfrijdende voertuigen in beeld te brengen. Bij een vervoerwaarde studie met dergelijke innovatieve techniek wordt verwacht dat psychologische factoren, naast de puur instrumentele aspecten als reistijd- en kosten, expliciet een rol spelen in de vervoerwijzekeuze van reizigers. Het meenemen van deze preferenties is daarom van belang, teneinde de vervoerwaarde niet substantieel te over- of onderschatten.

Vervoerwaarde zelfrijdende voertuigen: een agent-based simulatiemodel

Om de vervoerwaarde en de prestatie van een vraaggestuurd vervoersysteem met zelfrijdende voertuigen op de last-mile te bepalen is het traject station Delft Zuid – universiteitscampus TU Delft als onderdeel van het Research Lab Delft (MRDH, 2016) als case study gehanteerd. In deze paper worden resultaten van dit gecombineerde onderzoek getoond.

Met een agent-based (volgens de definitie van (Bonabeau, 2002)) simulatiemodel zijn diverse scenario's geanalyseerd voor de last-mile in de case study. Maatgevende parameters voor de

performance van het systeem op de last-mile zijn de systeemcapaciteit (het aantal te vervoeren reizigers), gemiddelde last-mile reistijd en wachttijd op een zelfrijdend voertuig.

“De dagelijkse reisbewegingen tussen station Delft Zuid en de TU Delft campus zijn bepaald middels een enquête, welke op 2 verschillende werkdagen is gehouden (n=961). De resultaten van de enquête laten zien dat er dagelijks 1700 reizen tussen station Delft Zuid en de TU Delft campus plaats vinden. Op basis van de bereidheid om deze reis per zelfrijdend voertuig af te leggen is het dagelijks aantal ritten bepaald, 850 in totaal.”

De lengte van de last-mile varieert in deze case study tussen de 1,5 en 2,4 kilometer en is hierdoor qua afstand uitermate geschikt voor toepassingen met zelfrijdende voertuigen (Young & Miller, 2003). Daarnaast is er momenteel geen verbinding met conventioneel OV tussen Delft Zuid en de universiteitscampus. Uit de enquête kwam naar voren dat gemiddeld 50% van de steekproefpopulatie (N=480) op Delft Zuid zelfrijdende voertuigen overweegt als last-mile vervoermiddel. Om deze vervoerbehoefte te kunnen bedienen zijn er in het referentiescenario 35 eenpersoons voertuigen beschikbaar, wat resulteert in een gemiddelde reistijd van bijna 12 minuten. Dit is aanzienlijk lager dan voor de langzaamste vervoerwijze (lopen; 19 minuten). Hiermee reduceert de inzet van zelfrijdende voertuigen de last-mile reistijd met 41% (Scheltes & Correia, 2017).

Een vijftal scenario's laat de effecten zien van het strategisch plaatsen van lege voertuigen, het vooraf laten reserveren, tussentijds opladen van voertuigen, de geboden netwerkstructuur en het zelf laten rijden van reizigers met een rijbewijs. Het vooraf reserveren, het strategisch plaatsen van lege voertuigen en het tussentijds laden verbeteren de prestatie van het systeem op de last-mile aanzienlijk. Het strategisch plaatsen van lege voertuigen levert een reductie in gemiddelde wachttijd op tot 40%. Het vooraf reserveren door 65% van de reizigers reduceert de wachttijd tot 58% en het tussentijds laden verhoogt de capaciteit met 0,6%, de verhoogde systeemcapaciteit maakt het mogelijk om dagelijks 50 extra reizigers te vervoeren. Deze verbeteringen leiden tot een aantrekkelijker concurrentiepositie ten opzichte van de conventionele vervoerwijzen: zo wordt door het simultaan toepassen van bovenstaande scenario's voor tenminste 54% van de reizigers een sneller alternatief geboden op de last-mile. Belangrijke conclusie is, ook vanuit duurzaamheidsperspectief, dat de fiets een belangrijk en snel vervoermiddel is en blijft op de last-mile.

Attitudes jegens zelfrijdende voertuigen: factoranalyse en een SP-experiment

Naast bovenstaande conclusies, gebaseerd op de puur instrumentele uitkomsten van het bovengenoemde simulatiemodel, is het ook van belang om in vervoerwaarde studies van automatische voertuigen expliciet psychologische factoren mee te nemen. Deze zijn gerelateerd aan (gepercipieerd) vertrouwen en veiligheid van zelfrijdende voertuigen. Aangezien attitudes vaak complexe en impliciete aspecten zijn die niet direct meetbaar zijn, is als eerste stap een exploratieve factoranalyse uitgevoerd naar de onderliggende, latente attitudes. Op basis van literatuur naar attitudes rondom automatisering en zelfrijdende voertuigen zijn 23 relevante indicatoren aan 1.150 respondenten voorgelegd (rate of response 72%) (Casley et al, 2013); (Payre et al, 2014); (Merritt et al, 2011). Op basis van factoranalyse zijn vijf onderliggende factoren geïdentificeerd qua attitude jegens zelfrijdende voertuigen: vertrouwen (de mate waarin reizigers de veiligheid van zelfrijdende voertuigen vertrouwen), attitude wat betreft betrouwbaarheid (komt het voertuig op tijd op de bestemming aan?), attitude betreffende duurzaamheid van het voertuig, productiviteit tijdens de last-mile reis (mogelijkheid om andere zaken tijdens de rit te doen), en het plezier om zelf auto te rijden.

De reistijdwaardering van zelfrijdende voertuigen ten opzichte van andere modaliteiten is inzichtelijk gemaakt door middel van een stated preference experiment. Respondenten kregen elk 6 keuzesets voorgelegd wat betreft vervoerwijzekeuze tussen huis en werk. Hierbij kon gekozen worden tussen het unimodale gebruik van de auto, en acht multimodale reisalternatieven. In de multimodale alternatieven is onderscheid gemaakt tussen vier verschillende last-mile vervoerwijzen: bus/tram/metro, fiets, car-sharing (bijv. Greenwheels) en een zelfrijdend voertuig. De hoofdvervoerwijze betrof steeds de trein, waarbij voor elke last-mile vervoerwijze de keuze bestond om de treinreis in de 1e of 2e klas af te leggen. Dit resulteert in totaal in $4 \times 2 = 8$ multimodale reisalternatieven, naast 1 unimodaal reisalternatief. De respondenten zijn benaderd via een groot nationaal online panel in Nederland. Alleen respondenten die gemiddeld minimaal twee keer per maand reizen, en daarmee voldoende ervaring hebben om de afweging tussen de alternatieven te kunnen maken, zijn benaderd. Voorafgaand aan het experiment is de zelfrijdende voertuig zowel tekstueel als grafisch aan de respondent geïntroduceerd. De gehanteerde introductietekst, alsmede de lay-out van de keuzesets, is te vinden in Yap et al. (2016).

De verkregen factorscores uit de eerste stap zijn als composiet factor, samen met de instrumentele attributen (reistijden- en kosten) op basis van in het SP experiment gemaakte keuzen, meegenomen als attributen in het geschatte discrete keuzemodel. Er is een sequentiële, hybride modelschatting uitgevoerd waarbij de in de eerste stap berekende factorscores zijn toegevoegd aan het discrete keuzemodel. Omwille rekentijd en complexiteit is geen simultane schatting van de beide modellen uitgevoerd. Uit de geschatte coëfficiënten blijkt dat 'duurzaamheid' en 'vertrouwen' de twee belangrijkste aspecten zijn in de vervoerwijze keuze in het totale model. Daarnaast laten de uitkomsten van het SP experiment een aantal belangrijke conclusies zien. Respondenten die gekozen hebben voor een multimodaal reisalternatief met een 1e klas treinreis waarden een zelfrijdend voertuig gemiddeld positiever als last-mile vervoermiddel, dan het gebruik van fiets of bus/tram/metro. Dit terwijl respondenten die in het experiment gekozen hebben voor een 2e klas treinreis een zelfrijdend voertuig als last-mile gemiddeld juist negatiever waarden dan fiets en bus/tram/metro. Een hypothese hierbij is dat 1e klas treinreizigers, die over het algemeen meer waarde hechten aan reistijd- en comfort, met name dit comfortabelere last-mile transport positief waarden. Gemiddeld wordt de in-voertuig tijd in een zelfrijdend voertuig negatiever gewaardeerd dan de in-voertuig tijd in een car-sharing systeem waarbij de reiziger zelf moet rijden. Als gevolg hiervan is de willingness-to-pay voor een reistijdreductie in zelfrijdende voertuigen aanzienlijk groter dan bij een car-sharing systeem. Vanuit theorie was de hypothese dat reistijd in een zelfrijdend voertuig juist minder negatief zou worden gewaardeerd, omdat de reiziger in staat is andere taken te verrichten (werk, bellen etc.). De resultaten laten zien dat reizigers dit voordeel (nog) niet ervaren (Yap et al, 2016).

Conclusies en aanbevelingen

Systemen met zelfrijdende voertuigen worden (zeker op de korte termijn) vooral kansrijk gezien in aanvulling op hoogwaardig openbaar vervoer om zo de last mile connectiviteit aanzienlijk te verbeteren. De simulatieresultaten laten bij lage operationele snelheden reeds een flinke potentiële verbeteringen zien op de last mile in termen van reistijd en wachttijd. Echter de resultaten van het stated preference onderzoek impliceren hierbij dat voorzichtig omgegaan moet worden met puur instrumentele vervoerwaarde studies voor systemen met automatische voertuigen. Daarnaast is aandacht voor percepties en attitudes van reizigers ten opzichte van zelfrijdende voertuigen van groot belang voor een succesvolle implementatie van een dergelijk innovatief vervoersysteem. Om de interactie tussen de vervoerwaarde en percepties van reizigers beter te duiden wordt aanbevolen om (meer) praktijktoepassingen te organiseren om zo de volledige potentie van systemen met zelfrijdende voertuigen beter te kunnen bepalen.

Referenties

- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*(99), 7280-7287.
- Casley, S., Jardim, A., Quartulli, A. (2013). *A study of public acceptance of autonomous cars*. Massachusetts, USA: Worcester Polytechnic Institute Massachusetts.
- Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). (2015). *Transport en Mobiliteit*. Den Haag.
- Correia, G., & Antunes, A. (2012). Optimizing approach to depot location and trip selection in one-way carsharing systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, pp. 233-247. doi:10.1016/j.tre.2011.06.003
- Correia, G., Milakis, D., van Arem, B., & Hoogendoorn, R. (2015). *Vehicle Automation and Transport Systems Performance. Handbook on Transport and Urban Planning in the Developed World*. Edward Elgar Publishing Limited.
- Jorge, D., & Correia, G. (2013). Carsharing systems demand estimation and defined operations: A literature review. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, pp. 201-220.
- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM). (2015). *Chauffeur aan het stuur? Zelfrijdende voertuigen en het verkeer en vervoersysteem van de toekomst; 4 scenario's*. Den Haag.
- Mageean, J., & Nelson, J. (2003). The evaluation of demand responsive transport services in Europe. *Journal of Transport Geography*(11).
- Merritt, S., Heimbaug, H., LaChapell, J., Lee, D., (2011). I trust it, but I don't know why: effects of implicit attitudes towards automation on trust in an automated system. *Human Factors*, 520-534.
- MRDH. (2016). *Plan van Aanpak - Automatisch Vervoer Last Mile in de Zuidelijke Randstad*. Den Haag: Metropoolregio Rotterdam Den Haag (MRDH).
- Payre, W., Cestac, J., Delhomme, P., (2014). *Intention to use fully automated car: Attituded and a priori acceptibility*. Transportation Research Part F.
- Scheltes, A., & Correia, G. (2017). Exploring the use of automated vehicles as last mile connection of train trips through an agent-based simulation model: an application to Delft, Netherlands. *International Journal of Transportation Science and Technology*(Special Issue on Connected and Automated Vehicles: Effects on Traffic, Mobility and Urban Design).
- SAE. (2014). Automated Driving. *Levels of Automation Standard J3016*
- van Arem, B., van Oort, N., Yap, M.D., Wiegman, B., Correia, G.C. (2015). Opportunities and challenges for automated vehicles in the Zuidvleugel.
- van Nes, R., Hansen, H., & Winnips, C. (2014). Potentie multimodaal vervoer in stedelijke regio's.
- Wang, H., & Odoni, A. (2012). *Approximating the Performance of a Last Mile Transportation System*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology. Dept. of Civil and Environmental Engineering.
- Yap, M.D., Correia, G., Van Arem, B., (2016). Preferences of travellers for using automated vehicles as last mile public transport of multimodal train trips. *Transportation Research Part A*, , in press.

A. Scheltes, M. Yap, N. van Oort

Reizigerspotentie en -voorkeuren ten aanzien van zelfrijdende voertuigen op de last-mile in een openbaar vervoer reis

Young, S., & Miller. (2003, August 21). Travel demand modelling of automated small vehicle transit on a university campus. *Mid Continent Transportation Research Symposium*.