

Het verbeteren van de last-mile in een OV reis met automatische voertuigen; Een Delftse case studie en stated preference onderzoek gecombineerd

Ir. A.F. Scheltes – Goudappel Coffeng – AScheltes@goudappel.nl

Ir. M.D. Yap – Goudappel Coffeng / TU Delft – M.D.Yap@tudelft.nl

Dr.ir. N. van Oort – Goudappel Coffeng / TU Delft – NvOort@goudappel.nl

**Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk
24 en 25 november 2016, Zwolle**

Samenvatting

De last-mile in een openbaar vervoer (OV) reis is een van de meest hinderlijke gedeelten van een reis per OV, hierdoor is het OV veelal niet in staat om te kunnen concurreren met de auto. De oorzaak kan deels worden gevonden in het gebrek aan flexibiliteit en de lage snelheden die de veelal conventionele vervoersmiddelen op de last-mile kenmerken.

Recente technologische ontwikkelingen maken innovatieve vraaggestuurde vervoersconcepten met zelfrijdende voertuigen mogelijk. Deze zijn onafhankelijk van vaste infrastructuur en zouden ideaal op de last-mile ingezet kunnen worden, om zo het diffuse patroon en lage vervoersvolume efficiënt te bedienen.

Om de vervoerwaarde en de prestatie van een vraaggestuurd vervoersysteem met zelfrijdende voertuigen op de last-mile te bepalen is als case: Station Delft-Zuid – TU Delft gekozen. Bij een vervoerwaarde studie met dergelijke innovatieve techniek wordt verwacht dat psychologische factoren, naast de puur instrumentele aspecten, 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. In dit paper zijn de uitkomsten van twee onderzoeken gecombineerd, een instrumenteel onderzoek (simulatiemodel + enquête) naar de vervoerwaarde van een systeem van zelfrijdende voertuigen en een stated preference (SP)-experiment om de invloed van diverse psychologische factoren op de vervoerwaarde te bepalen.

De resultaten laten zien dat er een aanzienlijke vervoerwaarde bestaat voor zelfrijdende voertuigen op de last-mile, te weten 57% van de steekproefpopulatie. Met het simulatiemodel zijn diverse ITS maatregelen gesimuleerd, deze maatregelen omvatten wijzigingen in de netwerkstructuur, voertuiggedrag en het reizigersgedrag.

De prestatie van het last-mile systeem, bleek veelal positief beïnvloedt te worden door bovenstaande maatregelen. Effecten werden gemeten in een vergroting van de systeemcapaciteit, een reductie van de gemiddelde wachttijd ofwel van de gemiddelde reistijd. Het parallel toepassen van deze maatregelen realiseert een aantrekkelijkere concurrentiepositie ten opzichte van de conventionele vervoerswijzen. De meest kenmerkende maatregel, het strategisch plaatsen van voertuigen, op locaties voorafgaand aan het ontstaan van vervoersvraag laat een reductie in de gemiddelde wachttijd van 40% zien.

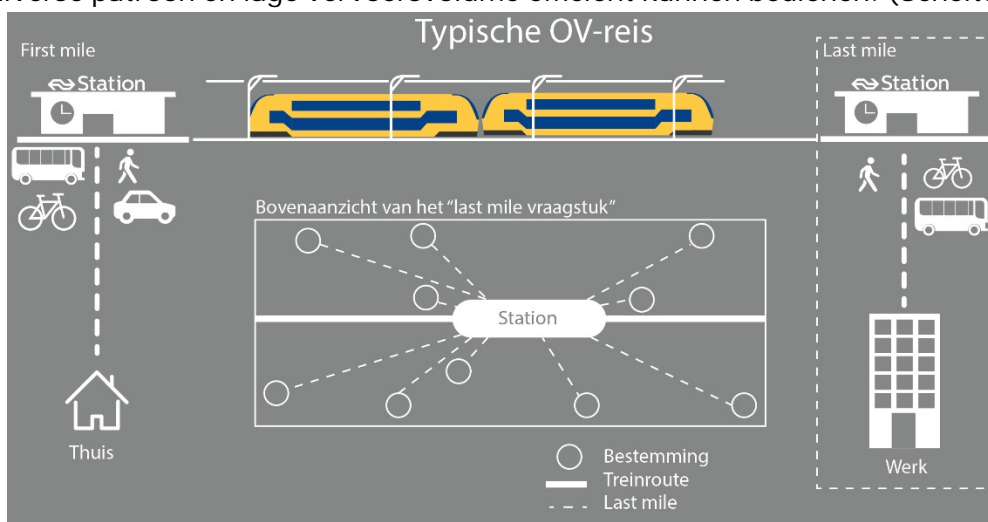
Uit het SP-experiment blijkt dat de attitudes 'duurzaamheid' en 'vertrouwen' de twee belangrijkste aspecten zijn in de vervoerwijzekeuze, terwijl de in-voertuigtijd niet minder negatief wordt ervaren dan in een door de reiziger gereden carsharing systeem. Dit suggereert dat de gebruikelijk genoemde voordelen van zelfrijdende voertuigen wellicht nog niet worden ervaren door de reiziger van vandaag, en illustreert het belang om hier aandacht aan te schenken voor een succesvolle implementatie van zelfrijdende voertuigen.

1. Inleiding

1.1 De last-mile in een OV-reis

De typische reis van een reiziger is gedefinieerd als de reis tussen de herkomst en de bestemming van de reiziger. Openbaar vervoer (OV) bedrijven bieden veelal vervoer aan voor de kern van een typische reis, dit wil zeggen tussen "OV-knooppunten" in de nabijheid van de herkomst en bestemming van een reiziger. Het laatste gedeelte van de reis vanaf het OV-knooppunt naar de bestemming is gedefinieerd als de last-mile in een OV-reis (LACMTA-Metro, 2013)

De last-mile in een ov reis is een van de meest hinderlijke gedeelten van een reis met het openbaar vervoer (Wang & Odoni, 2012). Mede hierdoor is het OV veelal niet in staat om te kunnen concurreren met de auto als vervoersmiddel (Chandra et al, 2013). De oorzaak kan deels worden gevonden in het gebrek aan flexibiliteit en de relatief lage snelheden die de veelal conventionele vervoersmiddelen op de last-mile met zich mee brengen (Bos & v.d. Heijden, 2005). De last-mile veroorzaakt hierdoor een uit verhouding zijnde aandeel in de totale reistijd. Een illustratie van dit probleem is weergegeven in figuur 1. Typische vervoersmiddelen voor de last-mile zijn fiets, bus en lopen. De last-mile wordt vaak gekenmerkt door relatief lage vervoersvolumes met een diffuus bestemmingspatroon, waarbij conventioneel OV niet in staat is om een passende vervoersoplossing te bieden. Op de last mile past hierdoor veelal een vraagafhankelijk vervoerssysteem het beste. Dit maakt het tevens mogelijk om een daadwerkelijke deur-tot-deur reis aan te bieden, aangezien met kleinschalige vervoersmiddelen gewerkt kan worden. Gezien de technologische ontwikkelingen zijn er innovatieve vraaggestuurde vervoersconcepten, zoals zelfrijdende voertuigen, denkbaar die op de last-mile toegepast kunnen worden, om zo het diverse patroon en lage vervoersvolume efficiënt kunnen bedienen. (Scheltes, 2015)



figuur 1: Last mile in een OV-reis (Scheltes, 2015)

Onlangs hebben de Nederlandse Spoorwegen en de vier stadsvervoerders een visie gepresenteerd voor het Randstedelijk OV in 2040 waarin het belang van de last-mile nogmaals benadrukt wordt. De vervoerders zien kansen voor vraag gestuurde vervoerssystemen en auto deelsystemen: *„Het stukje van huis naar station en van station naar eindbestemming, de ‘first and last mile’, moet beter, zegt Pedro Peters (RET). „Dat weerhoudt mensen er van om het openbaar vervoer te nemen, daar zit de potentiële winst aan nieuwe reizigers.“* (Duursma, 2016)

1.2 Ontwikkeling van, en kansen voor zelfrijdende voertuigen

Wereldwijd vindt er veel onderzoek plaats naar zelfrijdende voertuigen. Dit onderzoek focust zich veelal op de technische- en veiligheidsaspecten rondom dit vervoersmiddel. Ook worden er wereldwijd pilots uitgevoerd met automatische voertuigen, zowel in gemengd verkeer als in gecontroleerde omstandigheden (NCTR, 2016). De experimentenwet welke in 2017 ingaat in Nederland (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) staat het toe om pilots te doen met zelfrijdende voertuigen zonder bestuurder. Derhalve worden binnen Nederland momenteel op diverse locaties automatische voertuigen getest op de last-mile, zoals in Ede-Wageningen en Appelscha. Zelfrijdende voertuigen bieden kansen op het gebied van flexibiliteit, bereikbaarheid, snelheid en comfort. Dit omdat automatische voertuigen in essentie niet gebonden zijn aan vaste routes, infrastructuur en dienstregelingen. De meerwaarde van vraaggestuurde vervoerssystemen zit voornamelijk in het fungeren als belangrijke feeder van vervoer in gebieden waar conventionele vervoersoplossingen niet haalbaar zijn (Mageean & Nelson, 2003) Deze redenatie wordt gesteund door (May et al, 2009), zij stellen dat een vraaggestuurd feeder systeem financieel niet haalbaar is in steden met een hoog OV gebruik, hoge OV kwaliteit, en relatief lage kosten. Daarentegen, in landelijke gebieden, waar conventioneel OV een relatief lage OV kwaliteit biedt met een lage kostendekkingsgraad kunnen vraaggestuurde systemen met zelfrijdende voertuigen als aanvulling op Hoogwaardig Openbaar Vervoer (HOV) goed functioneren als feeder service. (van Arem et al, 2015)

Het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) heeft 4 scenario's geschetst waarin de ontwikkeling van zelfrijdende voertuigen wordt beschreven (KiM, 2016). De ontwikkeling van automatische voertuigen vindt plaats op verschillende velden, ieder afhankelijk van het niveau van automatisering en het al dan niet delen van het voertuig. Dit paper focust op het veld "*Multimodal and shared automation*", waarin automatische voertuigen als aanvulling op het openbaar vervoer opereren. Doordat geautomatiseerde voertuigen als feeder van conventioneel OV de door-to-door (D2D) performance verbeteren, wordt de aantrekkelijkheid van de complete multimodale keten verbeterd.

1.3 Voorwaarden voor zelfrijdende voertuigen: vervoerwaarde

De voornaamste focus van onderzoek en pilots is tot op heden gericht op techniek, veiligheid en wetgeving rondom zelfrijdende voertuigen. Een belangrijk aspect voor de succesvolle implementatie van een systeem van zelfrijdende voertuigen, welke vaak onderbelicht blijft in studies, is de vervoerwaarde. Een netto voldoende vervoerwaarde is echter een randvoorwaarde om een dergelijk systeem te realiseren, waarbij de bestemmingen dusdanig gespreid dienen te zijn dat conventioneel OV geen rendabele oplossing biedt. Het doel van deze studie is daarom om de vervoerwaarde en prestatie te bepalen van een vraaggestuurd vervoersysteem met zelfrijdende voertuigen als last-mile transport, in multimodale reizen waarin OV gebruikt wordt als hoofdvervoerswijze. Van groot belang voor de netto vervoersvraag is de bereidheid van de reizigers om gebruik te maken van zelfrijdende voertuigen. Omdat het een nieuwe techniek betreft, waarbij het voertuig automatisch met behulp van een computer rijdt, is de verwachting dat ook psychologische concepten – vertaald via positieve en negatieve attitudes ten opzichte van deze voertuigen – een rol spelen in de bereidheid van een reiziger om voor deze vervoerswijze te kiezen (Yap et al. 2016). Het begrijpen van de waardering en preferenties

van reizigers, onder meer wat betreft de reistijdbeleving en acceptatie van dergelijke voertuigen, is essentieel om te kunnen voorspellen in welke mate zelfrijdende voertuigen als last-mile transport kunnen bijdragen aan de realisatie van een modal shift ten gunste van het OV.

1.4 Systeembeschrijving

Het systeem dat in dit onderzoek wordt voorgesteld is een vloot van kleine elektrische zelfrijdende voertuigen die vraag gestuurd last-mile vervoer aanbieden aan reizigers. In tegenstelling tot Personal Rapid Transit (PRT) systemen hebben deze voertuigen geen afgescheiden infrastructuur nodig. Dit biedt de mogelijkheid om een diffuus bestemmingspatroon te kunnen accommoderen, zonder dat hoge investeringskosten hiermee gemoeid zijn. Reizigers kunnen door middel van een smartphone applicatie of een knop op een halte een voertuig opvragen, om vervolgens in het voertuig de bestemming in te geven, voor een verdere inhoudelijke beschrijving wordt verwezen naar (Scheltes, 2015). Scheltes (2015) stelt dat in vergelijking met conventioneel OV er diverse voordelen zijn te benoemen. De voertuigen rijden alleen wanneer er vervoersvraag bestaat. Dit is voor zowel de reiziger als de operator positief. De reiziger hoeft niet meer te wachten op een dienstregeling gebonden voertuig, waardoor wachttijd gereduceerd kan worden. Hierdoor is de prestatie op de last-mile niet langer afhankelijk van het op tijd arriveren van voorafgaande vervoerswijzen in de multimodale keten. Voor de aanbieder worden financiële voordelen in termen van operationele kosten beoogd, waar als voorbeeld lijnbussen gedurende de daluren veelal met een hoge restcapaciteit rondrijden, wordt er in het geval van het D2D systeem precies het aantal voertuigen beschikbaar gesteld wat op dat moment benodigd is om aan de vervoersvraag te kunnen voldoen. Doordat er gebruik wordt gemaakt van kleine voertuigen met een lage capaciteit is het mogelijk om een veelal directe verbinding aan de reiziger aan te bieden, waardoor korte reistijden ontstaan. Mede doordat de automatische voertuigen op de bestaande infrastructuur kunnen rijden geeft dit naast dat het een snellere verbinding oplevert, ook voordelen ten opzichte van de flexibiliteit van conventioneel OV.

2. Methodiek

Om de bruto vervoerwaarde en de prestatie van een vraaggestuurd vervoersysteem met zelfrijdende voertuigen op de last-mile te bepalen is er een agent-based simulatiemodel opgesteld voor de case study station Delft Zuid – TU Delft campus. Binnen dit simulatiemodel zijn diverse scenario's geanalyseerd welke de prestatie van het voorgestelde systeem op de last-mile beïnvloeden. De uitkomsten van het simulatiemodel geven resultaten in instrumentele aspecten als reistijd en capaciteit. Echter om de daadwerkelijke vervoerwaarde te kunnen benaderen dient ook inzicht te worden verkregen in de waardering en attitude van reizigers ten opzichte van zelfrijdende voertuigen, waarvoor een stated preference onderzoek is uitgevoerd.

2.1 Case study station Delft Zuid – TU Delft campus

Als case study is de last-mile tussen het treinstation Delft Zuid en de campus van de TU Delft gekozen, tussen deze locaties vindt momenteel geen openbaar vervoer plaats en

reizigers leggen deze last mile van hun reis veelal te voet of met de fiets af. Ten tweede heeft de Metropoolregio Rotterdam Den Haag deze verbinding als een investeringsproject benoemd (MRDH, 2016). Deze case study voldoet aan de eerder gestelde voorwaarden om geschikt te zijn voor een last mile vraaggestuurd vervoerssysteem: er is geen OV aanwezig, er is een divers bestemmingspatroon, de vervoersvolumes zijn te klein voor efficiënt conventioneel OV en een vervoerssysteem van zelfrijdende voertuigen zou als feeder functioneren voor de sprinters tussen Rotterdam en Den Haag. De afstanden vanuit Delft Zuid naar de diverse bestemmingen in de TU Delft Campus voor de vervoerswijzen fiets en lopen variëren tussen de 1,5 en 2,4km, waarbij reistijden per fiets variëren van 5 tot 9 minuten en voor lopen van 14 tot 24 minuten. Hieruit kan men concluderen dat wederom relatief hoge reistijden voor de last mile gelden, ondanks dat de te overbruggen afstand relatief klein is.

2.2 Data collectie

De case study specifieke input voor het simulatiemodel zijn de herkomst- en bestemmingen van de reizigers op de verbinding Delft Zuid – TU Delft campus. Deze zijn door middel van een survey op het station Delft Zuid met een steekproefgrootte van 950 reizigers bepaald. Gedurende een tweetal dagen zijn tussen 07:00 en 19:00 reizigers ondervraagd over hun herkomst, bestemming, tijd van reizen, het bijbehorende vervoersmiddel en de bereidheid om de last mile per zelfrijdend voertuig af te leggen. De uitkomsten van de survey zijn gecombineerd met door NS beschikbaar gestelde ov-chipkaartdata om zo de totale populatie te kunnen bepalen en het geobserveerde reisgedrag van de steekproef te kunnen verifiëren. De HB-matrix is bepaald op zone niveau waarin iedere faculteit als een aparte bestemming wordt beschouwd. Netwerk specifieke data is bepaald door gebruik te maken van een gps-apparaat waarmee lengte en hellingspercentages voor alle links in het netwerk bepaald zijn.

2.3 Simulatiemodel

De beschrijving van het simulatiemodel is opgesplitst in input, de voertuigen, het demand model en het beoogde toedeling algoritme. Als simulatiemethodiek is voor een agent based simulatiemodel gekozen, deze methodiek staat het toe om tot op een zeer gedetailleerd niveau het gedrag en interactie van en tussen de verschillende objecten (voertuigen en passagiers) te modelleren door gebruik te maken van state charts. Het simulatiemodel is geconstrueerd in het op JAVA gebaseerde simulatieprogramma AnyLogic. Binnenin de simulatieomgeving worden netwerken, voertuigen en passagiers gekenmerkt als entiteiten, welke gedefinieerd zijn door middel van state charts, parameters, variabelen en functies. Voor een gedetailleerde beschrijving van het simulatiemodel, zie (Scheltes, 2015)

Input

Het simulatiemodel gebruikt als input voor het demand model een HB-matrix gecombineerd met een drietal statistische verdelingen voor het simuleren van de time of travel van de reizigers gedurende een drietal periodes (ochtendspits, daluren en avondspits). Als netwerk input voor het simulatiemodel diende de huidige infrastructuur tussen Delft Zuid en de TU Delft campus. In het simulatiemodel is het netwerk opgebouwd uit een veelvoud aan links, ieder meteen veelvoud aan individuele eigenschappen zoals

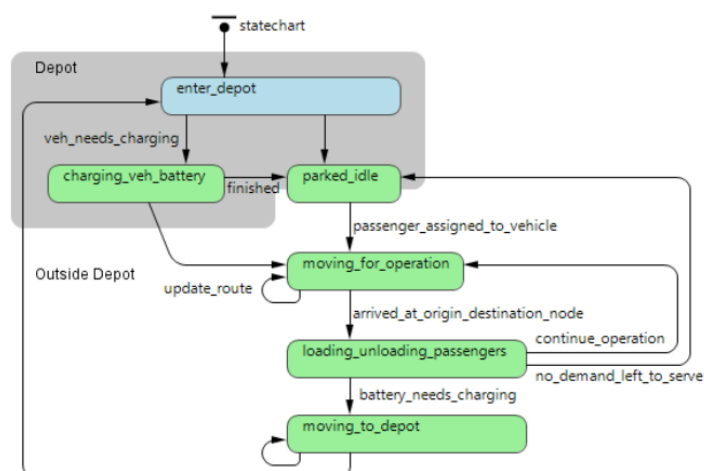
lengte, toegestane snelheid, helling etc. De input voor de voertuigen laat zich kenmerken door voertuig specifieke parameters zoals, capaciteit, range, gewicht en snelheid.

Voertuigen

Bij de start van het simulatiemodel heeft de gebruiker de mogelijkheid om een aantal input model gerelateerde variabelen in te stellen, zoals fleet size, maximaal toegestane snelheid, voertuigtype, oplaad regime en de gewenste herlocerings-algoritme. Gedurende de simulatie worden de voertuigspecifieke parameters constant vernieuwd op basis van de betreffende voertuig specifieke situatie, zoals bijvoorbeeld de invloed van het gewicht van het aantal passagiers in een voertuig.

De voertuigen maken gebruik van statische decentrale routekeuze (ieder voertuig bepaald zelf zijn route) door middel van het Dijkstra algoritme (Dijkstra, 1959). Routekeuze vindt plaats na het ontvangen van een vervoersverzoek. Gedurende de reis wordt de route continu geüpdatet op basis van nieuwe binnenkomende informatie, om zo een efficiënt mogelijke route te bepalen. Een voorbeeld van de "state-chart" uit AnyLogic van een voertuig is weergegeven in figuur 2. In iedere "state" zit code bijgevoegd welke het bijbehorende gedrag van het voertuig voor de desbetreffende state beschrijft. Zo zit in de state "charging_veh_battery" code bijgevoegd welke de oplaadcurve bevat. Voertuigen worden getriggerd om naar een volgende state te gaan middels diverse condities, ter illustratie, om het halteproces in gang te zetten dienen de coördinaten van het voertuig overeen te komen met de coördinaten van de halte.

Het energieverbruik van de voertuigen is inbegrepen in het model, het opladen van de voertuigen is een afhankelijke variabele welke de prestatie van het systeem beïnvloed. Het energieverbruik van het voertuig is gemodelleerd volgens de differentiaalvergelijking voor potentiële en kinetische energie, welke wordt beïnvloed door de verschillende netwerkkenmerken (XPrize, 2007). Het opladen van de voertuigen vindt plaats in het depot, volgens de voertuig specifieke eigenschappen. Een voertuig wordt opgeladen wanneer de resterende range van het voertuig gelijk is aan tweemaal de maximale afstand binnen het netwerk. Deze voorwaarde stelt het in staat om een vervoersverzoek af te ronden en terug te keren naar het depot en accu depletie te voorkomen.

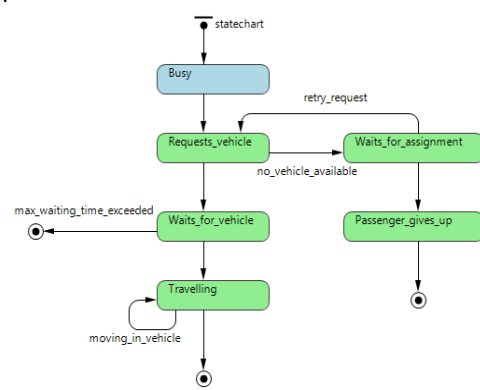
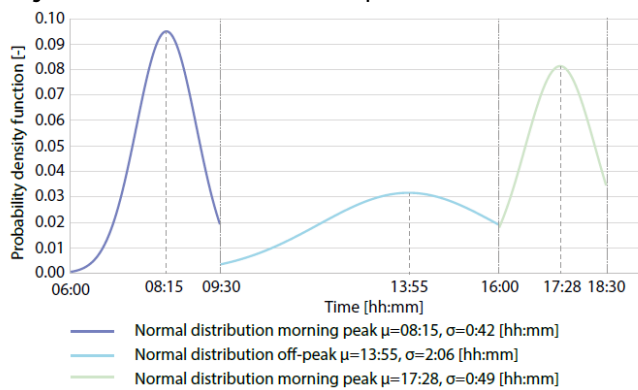


figuur 2: State-chart van een voertuig

Demand model

Het gedrag van de passagiers zowel in tijd als ruimte is vastgelegd in het demand model, wat is opgebouwd uit de HB-matrix gecombineerd met de probability density function (pdf) (normaal verdeeld) voor de "time of travel" per typerende dagperiode (ochtendspits,

daluren en avondspits). Deze statistische verdelingen zijn in figuur 3 getoond, waarin duidelijk de ochtend en avondspits te zien is met de piekmomenten rond 08:15 en 17:28.

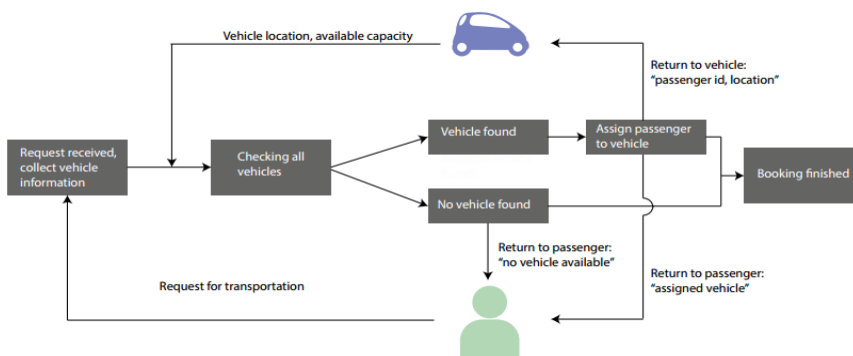


figuur 3: “Time of travel” distributies (links) en state chart van een passagier (rechts)

De probability density functions van de passagiers zijn in twee richtingen (heen en terug) door middel van synchronisatie met de dienstregeling van de treinen gekoppeld aan de treinen richting Den Haag en Rotterdam, deze methodiek simuleert de groepsgewijze aankomst van reizigers, en dus ook de pieksgewijze vraag die ontstaat bij de aankomst of voorafgaand aan het vertrek van een trein op Delft Zuid. Reizigers dienen een vervoersverzoek in wanneer de modeltijd gelijk is aan de bepaalde vertrektijd op basis van het bovenstaande demand model, vervolgens wordt middels het toedelingsalgoritme een geschikt voertuig gezocht. In het geval van een situatie waarin geen voertuigen beschikbaar zijn, blijft een passagier met periodieke regelmaat een vervoersverzoek indienen, mocht dit binnen 5 minuten niet lukken, staakt de passagier zijn verzoek en kiest een ander vervoersmiddel. De state chart van een passagier is weergegeven in figuur 5.

Toedelingsalgoritme

De toedeling van reizigers over de beschikbare voertuigen geschiedt volgens het hieronder voorgestelde toedelingsalgoritme, welke het dichtstbijzijnde beschikbare voertuig zoekt voor een vervoersverzoek op basis van een set van vooraf gedefinieerde randvoorwaarden. Een voertuig is beschikbaar als het nog niet toegewezen is aan een reiziger en voldoende batterijcapaciteit heeft om het vervoersverzoek te voltooien. De set van geschikte voertuigen worden vervolgens gesorteerd op minimum reistijd, waarna het dichtstbijzijnde voertuig wordt geselecteerd. Het toedelen van reizigers over de voertuigen gaat volgens het FIFO-principe (First In First Out). In figuur 4 is een overzicht gegeven van het algoritme, welke begint met het verzoek vanuit de reiziger.



figuur 4: Control algoritme

2.4 Overzicht van de verschillende scenario's

Middels het simulatiemodel zijn er veranderingen doorgevoerd in de netwerkstructuur, het vervoersaanbod, de vervoersvraag, de energievoorziening van de voertuigen. Per scenario zijn telkens een tweetal variaties doorgerekend om de gevoeligheid van de effecten te bepalen. Bovenstaande veranderingen zijn vergeleken met het baseline scenario. Uitgangspunten voor het baseline scenario zijn hieronder weergegeven. In het baseline scenario wordt gebruik gemaakt van 35 voertuigen met een capaciteit van 1persoon per voertuig, welke rijden met een maximale snelheid van 18km/h gedurende 07:00 en 19:00. Voertuigen worden geboekt middels het voorgestelde toedelingsalgoritme, en worden opgeladen in een depot enkel wanneer de batterijcapaciteit beneden de voorgestelde randvoorwaarde daalt.

Veranderingen in de netwerkstructuur zijn gedaan door links toe te voegen aan het basisnetwerk, deze toegevoegde links representeren de reeds bestaande infra welke extra bovenop het basisnetwerk gebruikt konden worden. Eveneens zijn links uit het basisnetwerk weggehaald welke op basis van fysieke beperkingen (helling, radius) nog niet geschikt zijn voor het toelaten van automatische voertuigen. Doel van deze variaties was het bepalen van de invloed van de netwerkstructuur op de capaciteit van het systeem. Veranderingen in het demand model zijn gedaan in via het boeken van de automatische voertuigen, reizigers werden in staat gesteld om een voertuig voorafgaand aan de reis te reserveren middels een smartphone applicatie. Een tweetal variaties zijn uitgevoerd waarin in de eerste de gehele populatie gebruik maakt van het boeken via een smartphone, in het tweede scenario gebruikt 65% van de populatie gebruik van deze mogelijkheid. De waarde van 65% is gebaseerd op het aandeel van de populatie welke in het bezit is van een smartphone met toegang tot internet. Doel van deze scenario's is het reduceren van de gemiddelde wachttijd van het systeem.

In het 3e scenario was het voor reizigers mogelijk om de voertuigen zelf te besturen met een hogere snelheid (30km/h), met als doel de reistijd te verkorten en de capaciteit van het systeem te vergroten. Wederom zijn een tweetal variaties gesimuleerd, in de eerste variatie was de gehele populatie in staat van bovenstaande optie gebruik te maken, als tweede variatie werd het aandeel van de populatie in bezit van een rijbewijs (22%) gesimuleerd.

Het 4^e scenario geeft inzicht in de effecten van het strategisch alloceren van voertuigen op locaties binnen het netwerk waar veel vervoersvraag verwacht wordt, met als doel om de gemiddelde wachttijd te verkorten. Gedurende de spitsperioden werden alle voertuigen gealloceerd volgens de dominante richting van de vervoersvraag, de effectiviteit is gedurende deze perioden het hoogste gezien verplaatsingen vooral in 1 richting plaatsvinden. Er zijn variaties gesimuleerd waarbij enkel gedurende de ochtendspits, en zowel gedurende de ochtend en avondspits allocatie plaatsvindt.

Als laatste scenario is het effect van opportunity charging gesimuleerd om de capaciteit van het systeem te vergroten. Voertuigen werden binnen dit scenario in staat gesteld om op een aantal locaties gebruik te maken van opladers wanneer verwacht wordt op een vervoersverzoek. Variaties zijn gedaan door gebruik te maken van langzaam en snelladers.

2.5 Stated Preference onderzoek Automatische voertuigen

Het doel van het Stated Preference (SP) onderzoek is het verkennen van preferenties van reizigers wat betreft het gebruik van zelfrijdende voertuigen, om hiermee zelfrijdende voertuigen te kunnen positioneren ten opzichte van andere last-mile vervoerwijzen. Hiertoe is een survey afgenomen via een representatief online panel in Nederland. Van de

1.149 respondenten heeft 72% de vragenlijst compleet en betrouwbaar ingevuld, waardoor de resulterende steekproefgrootte 761 bedroeg.

De vragenlijst bestond uit drie delen. Het eerste deel omvatte 6 keuzesets voor het SP experiment. In elke keuzeset werd de respondent een reis tussen huis en werk voorgelegd, waarbij de keuze was tussen het unimodale gebruik van de auto, en 8 multimodale reisalternatieven. In de multimodale alternatieven is onderscheid gemaakt tussen 4 verschillende last-mile vervoerwijzen: bus/tram/metro, fiets, car-sharing (bijv. Greenwheels) en een zelfrijdend voertuig. De hoofdvervoerwijze betrof de trein, waarbij voor elke last-mile vervoerwijze de keuze bestond om de treinrit in de 1^e of 2^e klas af te leggen ($4 \times 2 = 8$ multimodale alternatieven). Voor alle 9 alternatieven zijn reiskosten, in-voertuigtijd, eventuele wachttijd bij een overstap en looptijd vanaf de OV halte / parkeerplaats naar de eindbestemming als attributen meegenomen. Voor car-sharing en zelfrijdende voertuigen is daarnaast ook een attribuut opgenomen welke vermeldt of het voertuig gedeeld moet worden met enkele andere passagiers, of dat de passagier alleen in het voertuig de last-mile rit aflegt. Met behulp van een Bayesiaans efficiënt design zijn in totaal 12 keuzesets gegenereerd. Door middel van blocking kreeg elke respondent slechts 6 keuzesets te zien, uit efficiency oogpunt, figuur 5 toont een voorbeeld keuzeset.

Hoofdtransport: trein				Hoofdtransport: auto
Reistijd naar het station en reistijd in trein: 40 min Kosten reis naar station en treinkaartje 2 ^e klas: €7,50 Kosten reis naar station en treinkaartje 1 ^e klas: €11,25				
Natransport				Reistijd en tijd om parkeerplaats te vinden: 45 min : Kosten brandstof en parkeren €5,00 : Looptijd naar bestemming: 8 min
Bus / tram / metro	Fiets	Car-sharing (zelf rijden)	Zelfrijdend voertuig	
Wachttijd: 10 min		Wachttijd: 3 min	Wachttijd: 0 min	
Reistijd: 15 min	Reistijd: 18 min	Reistijd: 10 min	Reistijd: 15 min	
Reiskosten: €1,00	Reiskosten: €1,50 (fietsuur)	Reiskosten: €3,00 Reiskosten indien 1 ^e klas gereisd: €0	Reiskosten: €2,00 Reiskosten indien 1 ^e klas gereisd: €0	
Looptijd naar bestemming: 8 min	Looptijd naar bestemming: 0 min	Voertuig delen? Ja Looptijd naar bestemming: 0 min	Voertuig delen? Nee Looptijd naar bestemming: 0 min	
Uw keuze				
Trein + bus/tram/metro	Trein + fiets	Trein + car-sharing (zelf rijden)	Trein + zelfrijdend voertuig (automatisch rijden)	Auto
<input type="radio"/> Trein 2 ^e klas	<input type="radio"/> Trein 2 ^e klas	<input type="radio"/> Trein 2 ^e klas	<input type="radio"/> Trein 2 ^e klas	<input type="radio"/>
<input type="radio"/> Trein 1 ^e klas	<input type="radio"/> Trein 1 ^e klas	<input type="radio"/> Trein 1 ^e klas	<input type="radio"/> Trein 1 ^e klas	

figuur 5: Voorbeeld keuzeset zoals getoond aan respondent in SP experiment

In het tweede deel van de vragenlijst werd gevraagd naar diverse socio-economische gegevens van de respondenten, zoals leeftijd, geslacht, opleidingsniveau, reismotief en inkomen, om te verkennen of deze variabelen verklaringskracht aan het model voor vervoerwijze keuze kunnen toevoegen. Het derde deel van de vragenlijst richtte zich op het onderzoeken van attitudes van respondenten jegens zelfrijdende voertuigen. Aangezien attitudes vaak complexe en impliciete aspecten zijn die niet direct meetbaar zijn, is een exploratieve factoranalyse toegepast naar de onderliggende, latente attitudes. Op basis van literatuur naar attitudes rondom automatisering en zelfrijdende voertuigen zijn 23 relevante indicatoren aan respondenten voorgelegd ((Casley et al, 2013); (Payre et al, 2014); (Merritt et al, 2011)). Voor alle 23 beweringen konden respondenten op een 7-punts schaal aangeven in welke mate ze het eens waren met de betreffende stelling. Als eerste stap is een factoranalyse uitgevoerd om op basis van de indicatoren de factorscores

van de onderliggende constructen te bepalen. Deze factorscores zijn in een tweede stap als composiet factor, samen met de instrumentele attributen (reistijden- en kosten) en socio-economische variabelen, opgenomen in de nutsfunctie van het discrete keuzemodel. Er is een Mixed Logit model geschat, waarbij zowel gecorrigeerd wordt voor correlaties tussen keuzes van dezelfde respondent (panel data), als voor correlaties tussen alternatieven die niet in de structurele nutsfunctie zijn opgenomen.

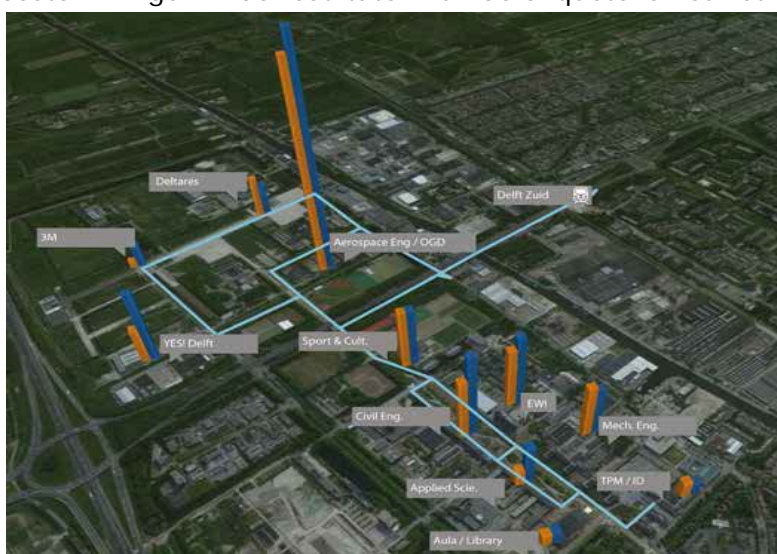
3. Resultaten

De resultaten van de survey worden besproken in paragraaf 3.1, gevolgd door de resultaten van de simulatie in paragraaf 3.2 waarna het hoofdstuk wordt afgesloten in paragraaf 3.3 met de resultaten van het stated preference onderzoek.

3.1 Survey

De survey heeft de huidige vervoersvraag in kaart gebracht voor wat betreft het gebruik van vervoerswijzen, evenals de bereidheid van de respondenten om een zelfrijdend voertuig te overwegen om de last mile mee te reizen. Hieruit kan worden geconcludeerd dat het merendeel (88%) van de reizigers tussen Delft Zuid en de TU Campus met de fiets of te voet de last mile afleggen, en dat het gewogen gemiddelde over alle vervoerswijzen gemiddeld 57% een zelfrijdend voertuig als alternatief ziet voor zijn of haar huidige vervoerswijze. Hiermee ligt het aandeel enigszins hoger dan het Europees gemiddelde van 37-45% (Cisco, 2013)).

Op basis van de uitkomsten van de enquête is eveneens de HB-matrix geconstrueerd. Uit de HB-matrix is een typerend reispatroon zichtbaar, in de ochtendspits vindt $\pm 90\%$ van de reizen plaats in de richting van de TU Delft, in de avondspit is het reispatroon precies tegengesteld en in de daluren enigszins gelijk. In onderstaande figuur is het aandeel bestemmingen van de respondenten gedurende 2 dagen (oranje en blauw) waarop de enquête is gehouden weergegeven. Het overgrote gedeelte van de respondenten heeft zijn of haar bestemming bij de faculteit Lucht & Ruimtevaarttechniek, op basis van de geobserveerde bestemmingen in de resultaten van de enquête is het netwerk opgebouwd.



figuur 6: Herkomst van de respondenten

3.2 Scenario's

De verschillende scenario's zijn allen vergeleken met het basisscenario. De belangrijkste uitkomsten van het basisscenario zijn weergegeven in tabel 1.

tabel 1: Belangrijkste uitkomsten basisscenario

Parameter	Waarde
Totale capaciteit	839 passagiers per dag
Gemiddelde bezettingsgraad voertuig	0,61 passagiers/voertuig
Gemiddelde wachttijd	4:27 minuten
Gemiddelde reistijd	7:10 minuten
Gemiddeld aantal km per passagier	3,39

Kijkend naar de uitkomsten valt op dat een gemiddelde reis $(7:10+4:27)=11:37$ minuten duurt, vergelijkend met de reistijden voor fiets en lopen in paragraaf 2.1, kan men de conclusie trekken dat het systeem in het basisscenario niet in staat is om te concurreren met de fiets, mede door het relatief grote aandeel wachttijd en de relatief lage snelheid van de voertuigen. De resultaten van de verschillende scenario's zijn weergegeven in tabel 2, voor ieder scenario is het procentuele verschil per output parameter ten opzichte van het basisscenario weergegeven.
























Constatering van belangrijke resultaten

Het toevoegen van diverse links aan het beschikbare netwerk resulteerde slechts in een zeer beperkte daling van de tijd parameters wat resulteerde in een bijna vergelijkbare prestatie op de last mile. Echter wanneer een aantal links uit het netwerk verwijderd werden is zichtbaar dat deze selectie een aantal kritische links omvatte aangezien de prestatie op de last mile zeer verslechterd. Dit wordt mede veroorzaakt doordat een van de links in het kortste pad van de grootste stromen reizigers zit.

Het strategisch alloceren van voertuigen op basis van de te verwachten directionele vraag gedurende de spitsperiodes levert een aanzienlijke reductie in de gemiddelde wachttijd. Het strategisch alloceren van voertuigen in de ochtendspits leidt tot een reductie van 33% van de gemiddelde wachttijd en een lichte stijging (1,5%) van de totale capaciteit van het systeem. Wanneer ook gedurende de avondspits voertuigen strategisch worden gealloceerd om de precies omgekeerde stroom op te vangen resulteert dit in een reductie van 40% van de gemiddelde wachttijd en een stijging van de totale capaciteit van 1,8%. De relatief beperkte reductie gedurende de avondspits wordt veroorzaakt door een daling van beschikbare voertuigen als gevolg van een groot aantal voertuigen met een lege accu. Het op voorhand reserveren van voertuigen laat een aanzienlijke reductie in gemiddelde wachttijd zien. Wanneer 100% van de reizigers een voertuig op voorhand reserveert is het maximale effect zichtbaar, waarmee een reductie van 80% in gemiddelde wachttijd werd behaald. Wanneer 65% van de reizigers een voertuig op voorhand reserveert werd een reductie van 58% behaald in gemiddelde wachttijd.

Wanneer alle reizigers de mogelijkheid krijgen om zelf het voertuig te besturen met een hogere snelheid (30km/h) een reductie van de gemiddelde invoertuigtijd zichtbaar van 40%, echter wel tegen een gereduceerde systeemcapaciteit van -7%. Deze reductie in systeemcapaciteit wordt veroorzaakt door een verhoogd energiegebruik door de hogere snelheid van de voertuigen. Wanneer echter het aandeel reizigers wat in het bezit is van een rijbewijs (22%) is wordt beschouwd, is het positieve effect op de gemiddelde in voertuigtijd gering terwijl de systeemcapaciteit negatief wordt beïnvloedt (-2%).

tabel 2: Uitkomsten scenarios

	BASE SCENARIO 	NETWORK STRUCTURE - Adding links 	NETWORK STRUCTURE - Removing links 	RELOCATING EMPTY VEHICLES - During morning peak 	RELOCATING EMPTY VEHICLES - During morning and evening peak 	PRE-BOOKING OF VEHICLES - 100% of the passengers 	PRE-BOOKING OF VEHICLES - 65% of the passengers 	ALLOWING PASSENGERS TO DRIVE - 100% of the passengers 	ALLOWING PASSENGERS TO DRIVE - 22% of the passengers 	CHARGING STRATEGIES - Adding multiple slow chargers at AE 	CHARGING STRATEGIES - Adding 1 fast charger at AE 
 Kilometers per passenger	3.39km	-1.5%	-12%	+4%	+7%	+0.9%	+1.1%	+0.4%	-0.6%	+0.4%	0%
kWh Total energy use	118kWh	-0.35%	-49%	+8%	+1.81%	-9.8%	-8.1%	+146%	+19%	+0.2%	+0.4%
km Total system kilometers	2849km	-0.65%	-46%	+5.5%	+6%	+0.7%	+0.2%	-6.4%	-2.4%	+0.6%	+0.6%
veh/km Maximum density	14,7 veh/km	0%	-46%	+5.0%	+6%	-1.2%	-1.2%	+1.4%	-1.2%	0%	0%
 Total travel time	6017min	+0.4%	-34%	+4.4%	+5.6%	-11%	-0.4%	-44%	-10.3%	+0.4%	+0.8%
 System capacity	839 pax	+0.5%	-39%	+1.4%	+1.8%	-1.3%	-0.7%	-6.7%	-1.7%	+0.2%	+0.6%
 Vehicle occupancy	0.61 pax/veh	+0.1%	+27%	-31%	-5.7%	-1.2%	-0.7%	-20%	-2.9%	-0.4%	+0.7%
 Time until first recharging vehicle	10hours (16:00)	+0.1%	+17%	-5%	-9.0%	+17%	+13%	-37%	-17%	-78%	-67%
 Max # charging vehicles	9 [-]	0%	-33%	+10%	+10%	-22%	-11%	+166%	+11%	0%	-33%
 Average vehicle operation time	04h38m	+1.9%	-40%	+4.9%	+7.0%	+11%	+0.2%	-30%	-8.0%	+0.7%	+0.8%
 Average traveled km per vehicle	81.4km	+2.0%	+2%	+1.5%	+8.7%	+0.7%	0.2%	6.4%	-2.4%	+0.6%	+0.6%
 Average assignment time	01m:31s	-4%	+93%	+8.8%	+21%	+21%	+16%	+8.9%	+3.7%	+0.6%	+0.6%
+/- Maximum waiting time for a vehicle	09m:06s	0%	+0.2%	0%	-1.4%	-11%	+4.3%	+10.4%	+10.4%	0%	0%
 Average waiting time	04m:27s	-1.3%	-9.7%	-33%	-40%	-80%	-58%	-5.4%	-4.7%	-3.0%	-4.5%
 Average travel time	07m:10s	-0.1%	+8.5%	0%	0%	0%	0%	-40%	0%	0%	0%
 Maximum Travel Time	09m:06s	0%	+9.0%	0%	0%	0%	0%	-40%	0%	0%	0%

Onder invloed van bovenstaande scenario's bleek de batterijcapaciteit steeds de beperkende factor in de systeemcapaciteit gedurende de avondspits. In het laatste scenario zijn een tweetal variaties van opportunity charging gesimuleerd. Het toevoegen van reguliere laders op een tweetal veelgebruikte locaties in het netwerk verhoogde de systeemcapaciteit met 0,2%. Het toevoegen van één snellader op de meest gebruikte

locatie in het netwerk verhoogde de systeemcapaciteit met 0,8%. Beide vormen van opportunity charging zijn in staat het capaciteitstekort gedurende de avondspits te compenseren.

3.3 Stated preferences

Op basis van het SP experiment kan een aantal belangrijke conclusies worden geformuleerd. Voor gedetailleerde informatie over de geschatte coëfficiënten, t- en p-waarden wordt verwezen naar (Yap et al, 2016).

Respondenten die gekozen hebben voor een multimodaal reisalternatief met een 1^e klas treinreis waarderen een zelfrijdend voertuig gemiddeld positiever als last-mile vervoermiddel, dan gebruik van fiets of bus/tram/metro. Dit terwijl respondenten die in het experiment gekozen hebben voor een 2^e klas treinreis een zelfrijdend voertuig als last-mile gemiddeld juist negatiever waarderen dan fiets en bus/tram/metro. Een hypothese hierbij is dat 1^e klas treinreizigers, die over het algemeen meer waarde hechten aan reistijd- en comfort, met name dit comfortabelere last-mile transport positief waarderen. Gemiddeld wordt de in-voertuig tijd in een zelfrijdend voertuig negatiever gewaardeerd dan de in-voertuig tijd in een car-sharing 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 (tabel 2). 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. Dit kan mogelijk verklaard worden doordat respondenten geen ervaring hebben met het rijden in een zelfrijdend voertuig, of doordat deze voordelen op een korte last-mile trip beperkt blijven.

tabel 3: Willingness-to-pay per 10 minuten reistijdreductie per vervoerwijze

Deel van reis	Vervoerwijze	Willingness-to-pay (€) per 10 minuten
Hoofdvervoerwijze	Auto (unimodaal)	€1,55 - €1,65
Last-mile	Bus/tram/metro	€0,65 - €0,75
Last-mile	Fiets	€1,70 - €1,80
Last-mile	Car-sharing	€0,75 - €0,85
Last-mile	Zelfrijdend voertuig	€2,00 - €2,10

Op basis van de factoranalyse zijn 5 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. Uit de geschatte coëfficiënten blijkt dat 'duurzaamheid' en 'vertrouwen' de twee belangrijkste aspecten zijn in de vervoerwijze keuze in het totale model (daarbij ook instrumentele attributen als reistijd- en kosten in beschouwing nemend). Maatregelen waarmee de perceptie van duurzaamheid en veiligheid van zelfrijdende voertuigen kan worden verbeterd, hebben daarom de grootste potentie om bij te dragen aan een succesvolle implementatie van deze technologie in een OV reis. De factoren 'perceptie van betrouwbaarheid' en 'productiviteit' hebben slechts een beperkt positief effect op het totale nut ontleend aan een alternatief met zelfrijdende voertuigen als last-mile, terwijl 'plezier om zelf auto te rijden' een beperkt negatief effect heeft op de totale nutsfunctie. Dit betekent dat de gebruikelijk genoemde voordelen van automatisering van autorijden wellicht nog niet zo worden ervaren door de reiziger van

vandaag. De socio-economische variabelen hebben slechts een beperkt effect op de verklaringskracht van het geschatte model.

4. Conclusie & Discussie

De last mile in een OV reis is inflexibel en traag is en brengt hiermee een aanzienlijke beperking met zich mee voor de reiziger, dit is een van de belangrijkste oorzaken waarom het OV slechts beperkt zijn concurrentiepositie ten opzichte van de auto kan benutten. Met Personal Rapid Transit (PRT) systemen is geprobeerd deze te verbeteren, echter zijn conventionele PRT systemen gebonden aan vaste infrastructuur en hiermee verbonden hoge investeringskosten en een lage flexibiliteit in het geval van verstoringen. Automatische voertuigen zijn in staat om op iedere beschikbare infrastructuur te rijden en zijn dus vrij in de routekeuze, en reduceert hiermee de benodigde investeringskosten en verhoogt de flexibiliteit van het systeem aanzienlijk.

Er zijn middels een simulatiemodel diverse scenario's doorgerkend voor de last mile in de case study Delft Zuid – TU Delft campus, waarvan de belangrijkste parameters om de performance van het systeem op de last mile te meten, de systeemcapaciteit, gemiddelde reis en wachttijd zijn. De vervoersvraag welke geobserveerd is tijdens de survey vindt gedurende de spitsuren in een richting plaats, waarbij de ochtendspits en avondspits een tegenovergesteld beeld vormen. Op een gemiddelde dag bestaat er een behoefte voor last mile transport van 850 trips met een lengte variërend tussen de 1,5 en 2,4 kilometer. Uit de enquête kwam eveneens naar voren dat 57% van de steekproefpopulatie op Delft Zuid zelfrijdende voertuigen overweegt als last mile vervoersmiddel, wat hiermee resulteert in een aanzienlijke vervoerwaarde.

Om deze vervoersbehoefte te kunnen bedienen zijn tenminste 35 eenpersoons voertuigen nodig, waarbij in het basisscenario de gemiddelde reistijd van 11,5 minuten aanzienlijk lager is dan voor de vervoerswijze lopen (19 minuten), echter is het D2D systeem nog niet in staat om in tijd te kunnen concurreren met de fiets (9 minuten).

De verschillende scenario's hebben de effecten van diverse maatregelen laten zien, welke de systeemcapaciteit kunnen vergroten, de gemiddelde wachttijd reduceerden ofwel de gemiddelde reistijd reduceerden. Door het parallel toepassen van deze maatregelen kunnen een groot aantal efficiency voordelen worden behaald. Op basis van de gepresenteerde operationele strategieën, kan men stellen dat een drietal strategieën de prestatie van het systeem op de last mile aanzienlijk verbeterd. Deze verbetering leidt tot een aantrekkelijkere concurrentiepositie ten opzichte van de conventionele vervoerswijzen. Naast bovenstaande conclusies gebaseerd op de puur instrumentele uitkomsten van het simulatiemodel is het ook van belang om in vervoerwaarde studies rondom automatische voertuigen expliciet psychologische factoren, o.a. gerelateerd een vertrouwen en veiligheid, in beschouwing te nemen, naast de puur instrumentele aspecten als reistijd en reiskosten, teneinde de vervoerwaarde niet substantieel te over- of onderschatten. Uit de geschatte coëfficiënten blijkt dat 'duurzaamheid' en 'vertrouwen' de twee belangrijkste aspecten zijn in de vervoerwijze keuze in het totale model en dat de socio-economische variabelen hebben slechts een beperkt effect op de verklaringskracht van het geschatte model. De uitkomsten van het SP experiment laten zien dat de gebruikelijk genoemde voordelen van automatisering van autorijden wellicht nog niet zo worden ervaren door de reiziger van vandaag, en dat er dus voorzichtig omgegaan moet worden met puur instrumentele vervoerwaardes voor systemen met automatische voertuigen.

Literatuur & Referenties

- Bos, I., & v.d. Heijden, R. (2005). Multi-Modal Transport Services in Urban Areas: Push or Forget. Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk.
- Casley, S., Jardim, A.S., Quartulli, A.M., (2013). *A study of public acceptance of autonomous cars*. Massachusetts, USA: Worcester Polytechnic Institute Massachusetts.
- Cisco. (2013). *Cisco Customer Experience Research - Automotive Industry*. Cisco.
- Dijkstra, E. (1959). A note on two problems in connection with graphs. *Numerische Mathematik*, 269-271.
- Duursma, M. (2016, Juli 7). Vervoerders: klanten in Randstad binnen een uur tijd van deur tot deur. *NRC*.
- KiM. (2016). Chauffeur aan het stuur.
- LACMTA-Metro. (2013). *"First Last Mile Strategic Plan; Path planning guidelines."*. Los Angeles, Los Angeles County: Metropolitan Transit Authority.
- Mageean, J., & Nelson, J. (2003). The evaluation of demand responsive transport services in Europe. *Journal of Transport Geography*, 225-270.
- May, A.D, Muir, H., Shepherd, S., Jeffery, D., Levin, T. (2009). An assessment of city-wide applications of new automated transport technologies.
- Merritt, S.M., Heimbaugh, 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.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2016, September). *Experimenteerwet Zelfrijdende Auto*. Opgehaald van Overheid.nl:
https://www.internetconsultatie.nl/experimenteerwet_zelfrijdendeauto
- MRDH. (2016, September). *Regionaal Investeringsprogramma*. Opgehaald van MRDH.nl:
<http://mrdh.nl/project/regionaal-investeringsprogramma>
- NCTR. (2016). *Evaluation of Automated Vehicle Technology for Transit - 2016 Update*. University of South Florida: National Center for Transit Research.
- Payre, W., Cestac, J., Delhomme, P. (2014). *Intention to use a fully automated car: Attitudinal and a priori acceptability*. Transportation Research Part F.
- Scheltes, A. (2015). *Improving the last mile in a public transport trip with automated vehicles using an agent based simulation model: A Delft case study*. The Netherlands: Delft University of Technology.
- van Arem, B., van Oort, N., Yap, M.D., Wiegmanns, B., Correia, G.C. (2015). Opportunities and challenges for automated vehicles in the Zuidvleugel.
- 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.
- XPrize. (2007). *The car equation*. Opgehaald van XPrize.org:
<http://autoblog.xprize.org/axp/2007/10/the-car-equatio.html>
- 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*, 94, 1-16.