

Adaptieve planning voor duurzame steden: de invoering van zelfrijdende taxi's in Amsterdam

Vincent A.W.J. Marchau
Radboud Universiteit¹

Warren E. Walker
TU Delft²

Henk Meurs
Radboud Universiteit³, MuConsult⁴

Er wordt verwacht dat rond 2050 ongeveer 2/3 van de wereldbevolking in steden zal wonen. Een dergelijke verstedelijking zal transport-gerelateerde problemen, zoals bereikbaarheid, milieubelasting, verkeersveiligheid en ruimtegebruik, doen toenemen. Traditionele oplossingen worden onvoldoende geacht om deze problemen te lijf te gaan. De hoop is gevestigd op implementatie van innovatieve ontwikkelingen zoals zelfrijdende auto's en vraaggestuurd transport. De combinatie van deze disruptieve ontwikkelingen kunnen toekomstige stedelijke transport problemen significant reduceren. Echter, de implementatie van dergelijke innovaties worden gehinderd door allerlei onzekerheden zoals bijv. maatschappelijke acceptatie, wettelijke aansprakelijkheid en privacy. Deze onzekerheden zorgen ervoor dat de implementatie van deze innovaties niet of maar langzaam gerealiseerd wordt. Traditionele, scenario-gebaseerde benaderingen zijn onvoldoende om met deze onzekerheden om te gaan. In dit artikel wordt daarom een adaptieve implementatie-benadering voorgesteld en geïllustreerd voor een innovatief transportsysteem voor steden: zelfrijdende taxi's. Volgens deze adaptieve benadering worden eerst zelfrijdende taxi's met chauffeur geïmplementeerd en allerlei adaptieve maatregelen voorbereid die in de toekomst geïmplementeerd kunnen worden naarmate de kennis over de prestaties en acceptatie van zelfrijdende taxi's toeneemt en kritieke ontwikkelingen voor verdere implementatie plaatsvinden. De adaptieve benadering wordt geïllustreerd voor de stad Amsterdam.

Trefwoorden: adaptieve planning, diepe onzekerheid, vraaggestuurd transport, zelfrijdende taxi's .

¹ Radboud Universiteit, Nijmegen School of Management, Nijmegen, E: v.marchau@fm.ru.nl

² Technische Universiteit Delft, Faculteit Technologie, Bestuur en Management, Delft, E: w.e.walker@tudelft.nl

³ Radboud Universiteit, Nijmegen School of Management, Nijmegen, E: h.meurs@fm.ru.nl

⁴ MuConsult, Apeldoorn, E: h.meurs@muconsult.nl

1. Inleiding

Moderne steden worden door toenemende verstedelijking steeds meer geconfronteerd met externe effecten van het wegverkeer – congestie, verkeersdoden- en gewonden, het gebruik van schaarse ruimte, het gebruik van energie, en emissies. Grotendeels kunnen deze problemen worden toegeschreven aan een inefficiënt autogebruik en een verkeerd rijgedrag. Recente technologische ontwikkelingen bieden een kans om deze externaliteiten aanzienlijk te verminderen en tegelijkertijd het rij- en reisgedrag te verbeteren. De potentiële verbeteringen die allerlei informatie- en communicatie technologie voor verkeer en vervoer kunnen brengen, worden samengevat door Banister en Stead (2004). In dit artikel richten we ons op de combinatie van dominante technologische ontwikkelingen die, wanneer gecombineerd, een significante bijdrage kunnen leveren aan deze verbeteringen: zelfrijdende voertuigen die de rijtaken van de bestuurder overnemen gebruikmakend van voertuig-sensoren en actuatoren, technologie om het voertuig te geleiden en smartphones die het mogelijk maken voor reizigers om ritten te reserveren en af te rekenen. Deze nieuwe modaliteit wordt in dit artikel verder 'Zelfrijdende Taxi's' (ZT's) genoemd en is gebaseerd op de definities van 'real-time ridesharing' (Chan en Shaheen (2012)) en de definitie van 'ride-sourcing' (Chen, 2015)). Andere termen die worden gebruikt in het buitenland zijn 'automated universal taxi system' of meer populair 'dial-a-pod' (Enoch, 2015). Het wordt hier verder gedefinieerd als een dienst die gebruikt maakt van technologieën op smartphones om reizigers van realtime reisadviezen in een zelfrijdend voertuig te voorzien, gegeven hun gewenst vertrek-tijdstip. Ride-matching software koppelt automatisch voertuigen aan reizigers gebruikmakend van de smartphone van de reiziger. Betalingen worden direct afgerekend via de creditcard van de reiziger. Zelfrijdende taxibedrijven opereren op soortgelijke wijze als traditionele taxibedrijven; het grootste verschil is dat technologie de ritreservering, rittoedeling en rijtaken overneemt. Zelfrijdende taxi's hebben dezelfde kenmerken als zelfrijdende auto's en worden geëxploiteerd door commerciële aanbieders. Een verschil kan wel zitten in het gebruik; mogelijk dat nieuwe mobiliteitsdienstconcepten, zoals platforms, het mogelijk maken dat deze voertuigen worden gedeeld door onbekenden die via het platform bij elkaar worden gebracht.

De implementatie van ZT's op grote schaal biedt, in potentie, aanzienlijke economische, milieugerelateerde en sociale voordelen (Fagnant en Kockelman, 2015a). De economische voordelen omvatten o.a. een forse vermindering van verkeersongevallen, vermindering van de files en besparingen in parkeerkosten en ruimtegebruik. Aangaande milieu zijn een vermindering van de uitstoot en het brandstofverbruik te verwachten. Onder de sociaal gerealiseerde voordelen zijn o.a. reistijd reducties en besparingen in de kosten van de voertuigen, brandstof, verzekering, en een parkeerplaats te verwachten. Daar alle rijtaken automatisch worden uitgevoerd zal reizen met een zelfrijdende taxi ook een stuk comfortabeler en productiever worden. Er kunnen ook echter ook nadelen zijn. De implementatie van ZT's kan leiden tot een lichte toename in afgelegde voertuigkilometers (Gucwa, 2014; Childress et al., 2014) en zelfs een substantiële toename indien steden hun OV-aanbod verminderen (International Transport Forum, 2015a). Daarnaast zal de invoering van ZT's wellicht conflicten veroorzaken met taxichauffeurs, daar hun baan hierdoor verdwijnt. Anderson et al. (2016) noemen in aanvulling hierop nog het verlies aan parkeerinkomsten, een nadelig effect op OV-gebruik, banenverlies en effect op verzekeringsmaatschappijen.

Beleidsmakers in verschillende landen zijn in toenemende mate geïnteresseerd in de grootschalige implementatie van zelfrijdende voertuigen. Autofabrikanten bieden de laatste jaren steeds meer rijtaak-ondersteunende systemen aan in hun voertuigen. En veel 'shared driving' organisaties (bijvoorbeeld Uber en Lyft) verkennen de mogelijkheden om hun voertuigen in de toekomst zelfrijdend aan te bieden (zie bijvoorbeeld Goddin, 2015). Er lijkt dus een grote kloof tussen wat technologisch mogelijk is en wat er in werkelijkheid bereikt is. Ofschoon de voordelen van ZT's groot zijn, wordt de implementatie op grote schaal vertraagd door verschillende 'diepe

onzekerheden', die voornamelijk betrekking hebben op het gebruik van zelfrijdende voertuigen. Tot op heden is de ontwikkeling van zelfrijdende voertuigen sterk technologie-gedreven geweest. Hierbij worden de operationele werking en prestaties van zelfrijdende voertuigen beoordeeld op basis van experimenten onder strikte aannames. Dit experimentele karakter heeft (uiteraard) een beperkte geldigheid voor implementatie van zelfrijdende voertuigen in de praktijk. Er is bijvoorbeeld veel discussie wanneer de technologie van zelfrijdende voertuigen voldoende 'volwassen' is om op grote schaal geïmplementeerd te worden. Ook wordt vaak beweerd dat reizigers zullen aarzelen om zelfrijdende voertuigen te gebruiken omdat er geen menselijke bestuurder achter het stuur zit. Een ander probleem betreft de wettelijke voorschriften en aansprakelijkheid. De invoering van ZT's vereist dat regels aangaande type-goedkeuring, regels met betrekking tot aansprakelijkheid en regels voor de verzekering (bijv. Wettelijke Aansprakelijkheid) gewijzigd worden. Er zijn ook vragen over dataprivacy en elektronische beveiliging. Wie heeft bijvoorbeeld straks beschikking over de reisgegevens van individuele reizigers? Dit soort problemen te genereren grote onzekerheden rond de haalbaarheid van implementatie van ZT's. In reactie op deze onzekerheden is het huidige beleid aangaande implementatie van zelfrijdende voertuigen vaak afwachtend. Hierdoor wordt de implementatie gedomineerd door technologieontwikkeling en marktwerking. Deze afwachtende houding kan de implementatie van ZT's vertragen (en daarmee de bijdrage aan algemene transport beleidsdoelen). Daarom is er behoefte aan een beleidsaanpak rondom ZT's dat het bestaan van deze onzekerheden expliciet erkent binnen de mogelijkheden en verantwoordelijkheden van overheden met betrekking tot transport beleidsdoelen. In dit artikel wordt een dergelijke aanpak voorgesteld door te focussen op het identificeren en omgaan met onzekerheden binnen beleidsvorming aangaande ZT-implementatie. Deze benadering behelst een flexibele of adaptieve planning, die aanpassingen in de tijd (na implementatie) mogelijk maakt indien de kennis over zelfrijdende voertuigen en ZT toeneemt (en de onzekerheid dus afneemt) en kritische gebeurtenissen voor verdere implementatie plaatsvinden. Sommige overheden hebben inmiddels aangegeven behoefte te hebben aan benaderingen om om te gaan met onzekerheden bij hun beleidsontwikkeling voor zelfrijdende voertuigen en stellen hiervoor adaptieve benaderingen voor. Recent heeft bijvoorbeeld de National Highway Traffic Safety Administration voorgesteld om de test-protocollen voor zelfrijdende voertuigen flexibel en adaptief te maken (NHTSA, 2016). De Europese Unie heeft de lidstaten opgeroepen een stapsgewijze en leren-door-ervaring benadering toe passen op het gebied van zelfrijdende voertuigen (European Union, 2016).

De adaptieve benadering wordt in dit artikel geïllustreerd voor de implementatie van ZT's in Amsterdam. Omdat de taximarkt in Nederland het grootst is in Amsterdam, met meer dan 4.000 taxivergunningen en 11 taxiorganisaties, is het aannemelijk dat in deze stad ZT's kunnen penetreren; er is immers voldoende 'massa'. Deze innovatiegeneigdheid blijkt ook uit het aantal elektrische taxi's in Amsterdam; er rijden thans meer dan 250 elektrische taxi's rond.

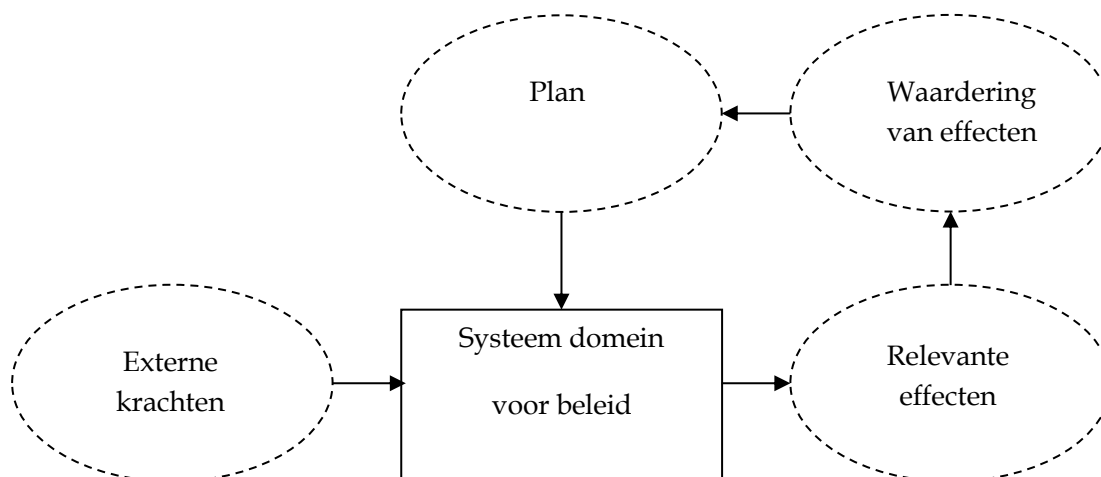
Dit artikel is als volgt opgebouwd. In paragraaf 2 wordt eerst een kader voor (transport)beleid gegeven teneinde de onzekerheden aangaande de implementatie van ZT's te identificeren en te structureren. Vervolgens wordt in paragraaf 3 een adaptieve plannings- benadering voorgesteld om met deze onzekerheden om te gaan. Deze benadering wordt toegepast voor de ontwikkeling van een adaptief plan voor de implementatie van ZT's in de stad Amsterdam in paragraaf 4. In paragraaf 5 worden conclusies en aanbevelingen gedaan.

2. Een kader voor beleidsanalyse

Beleidsontwikkeling kan gezien worden als het maken van keuzes voor een systeem om de systeem effecten in een gewenste richting te sturen (zie Figuur 1) (Walker, 2000). Centraal in deze visie staat het beleidsdomein, in dit geval het stedelijk transportsysteem voor personen. Het is belangrijk om (1) de grenzen van het systeem aan te geven en (2) de systeemstructuur te bepalen (d.w.z. de systeemelementen en hun onderlinge relaties). Een transportsysteem kan gedefinieerd worden door

een onderscheid te maken tussen de fysieke elementen van het systeem en hun onderlinge interacties (Van de Riet and Egeter, 1998). Deze fysieke elementen omvatten de subjecten van of transport (personen), de transportmiddelen (voertuigen) en de infrastructuur (wegen). De resultaten van deze interacties (systeem-output) worden *relevante effecten* genoemd. Relevante effecten refereren aan die systeem-kenmerken die relevante criteria voor de evaluatie van beleid worden beschouwd. Voor stedelijk transportbeleid kan hierbij gedacht worden aan bijvoorbeeld de mate van uitstoot door voertuigen, het aantal verkeersongevallen, de mate van congestie op het stedelijk wegennetwerk, etc. (Van der Loop en Mulder, 2003). De *waardering van relevante effecten* omvat het (relatieve) belang of gewicht wat toegekend wordt aan relevante effecten door essentiële stakeholders, inclusief beleidsmakers. Deze waardering omvat hoe stakeholders de effecten van veranderingen in het systeem, zoals verbeterde doorstroming, minder ongevallen, lagere emissies, verbeterde reistijd-betrouwbaarheid, waarderen.

Twee typen 'krachten' beïnvloeden het systeem: *externe krachten* en een *plan*. Beide typen krachten zijn systeem-exogeen en kunnen de structuur van het systeem beïnvloeden (en als zodanig de relevante effecten van beleidsmakers en andere essentiële stakeholders). *Externe krachten* zijn die ontwikkelingen die de beleidsmaker niet controleert maar wel het systeem (en de prestatie-indicatoren) significant kan beïnvloeden – i.e. exogene ontwikkelingen. Bekende externe krachten op het transportsysteem zijn bijvoorbeeld demografische, economische, ruimtelijke, sociale en technologische ontwikkelingen (Button en Taylor, 2002; Van Wee, 2002). Het *plan* omvat maatregelen die door beleidsmakers bepaald worden in relatie tot het systeem. Met andere woorden, beleid omvat een verzameling maatregelen die genomen wordt om het systeem te sturen teneinde problemen van het systeem op te lossen of kansen te benutten. Voor landelijk beleid worden problemen en kansen in het algemeen gerelateerd aan nationale doelen. In Nederland bijvoorbeeld zijn de nationale transport beleidsdoelen om Nederland competitief, bereikbaar, leefbaar en veilig te maken (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012).

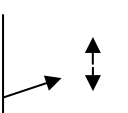
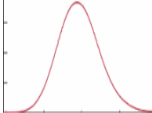
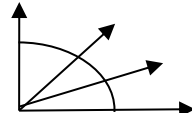
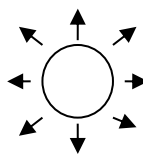


Figuur 1: Een kader voor beleidsanalyse (Walker, 2000)

Gebruikmakend van dit kader kunnen onzekerheden als volgt geclassificeerd worden (zie Figuur 2) (Walker et al., 2003). Transport beleidsanalytische problemen worden hierin gekarakteriseerd door verschillende niveaus van onzekerheid met betrekking tot de externe krachten; het transportsysteem (i.h.b. het model hiervan) en de relevante effecten, en de waardering van de relevante effecten. Niveau 1 onzekerheid wordt vaak behandeld door middel van eenvoudige gevoeligheidsanalyse van transport model parameters, waarbij de effecten van kleine verstoringen van invoerparameters op de relevante effecten worden beoordeeld. Niveau 2 onzekerheid is elke onzekerheid die adequaat in statistische termen kan worden beschreven. In het geval van onzekerheid over de toekomst, wordt Niveau 2 onzekerheid vaak beschreven in de vorm van ofwel een (enkele) prognose (meestal

trendmatig) met een betrouwbaarheidsinterval of meerdere prognoses ('scenario's') met bijbehorende waarschijnlijkheden.

Niveau 3 en Niveau 4 onzekerheden zijn lange-termijn gerelateerd en kunnen niet worden aangepakt door het gebruik van waarschijnlijkheden en niet worden verminderd door het verzamelen van informatie, maar zijn in principe onkenbaar en onvoorspelbaar ten tijde van plan- en besluitvorming. En deze hogere niveaus van onzekerheid kunnen op alle aspecten van het transport probleem van toepassing zijn - externe of interne ontwikkelingen, het juiste (toekomstige) transportsysteemmodel, de parametrisering van het model, de effecten en de waardering van de effecten door (toekomstige) stakeholders. Er is een groeiende literatuur over de beoordeling van de kosten en baten van zelfrijdende voertuigen (en zelfrijdende taxi's). Echter, meestal wordt hierbij de impliciete aanname gemaakt is dat er sprake is van Niveau 3 onzekerheden. Dit veronderstelt dat de toekomst voldoende gespecificeerd kan worden om beleidsmaatregelen te identificeren die gunstig zullen uitpakken in één of meer plausibele, toekomstige werelden (genoemd scenario's). Voorbeelden van het gebruik van scenario's om toekomstig van zelfrijdende voertuigen en zelfrijdende taxi's te begrijpen en implementatie-maatregelen te plannen zijn: Fagnant en Kockelman (2014), Fagnant en Kockelman (2015b), Fagnant en Kockelman (2015c), Milakis, et al. (2017), Gucwa (2014), Childress, et al. (2014), International Transport Forum (2015a), Zmud, et al. (2015), Correia en van Arem (2016) en Bisschoff en Maciejewski (2016). Deze traditionele scenario-gebaseerde benaderingen zijn echter onvoldoende geschikt in geval van situaties van 'diepe' onzekerheid.

		Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4	
Complete Zekerheid	Context	Eén voldoende, heldere toekomst 	Alternatieve toekomst (met kansen) 	Een aantal plausibele toekomst 	Onbekende toekomst 	Totale Onzekerheid
	Systeem model	Eén systeem model	Eén systeem model met een probabilistische parametrisering	Meerdere systeem modellen met verschillende structuren	Onbekend systeem model; onbekendheid is bekend	
	Systeem Effecten	Puntschattingen met gevoeligheid	Verschillende verzamelingen puntschattingen met betrouwbaarheidsintervallen	Een bekend bereik van effecten	Onbekende effecten; onbekendheid is bekend	
	Gewichten van de Systeem Effecten	Eén verzameling van gewichten	Verschillende verzamelingen van gewichten met een kans per verzameling	Een bekend bereik van gewichten	Onbekende gewichten; onbekendheid is bekend	

Figuur 2: Classificatie van onzekerheden

De implementatie van ZT's wordt gekarakteriseerd door Niveau 4 onzekerheden (zie bijv. International Transport Forum, 2015a). Ten eerste is de invloed van allerlei externe ontwikkelingen, inclusief technologie ontwikkeling van zelfrijdende voertuigen, zeer onzeker. Tegelijkertijd is het onwaarschijnlijk dat alleen technologische vooruitgang de implementatie zal bepalen. Zelfrijdende

voertuigen (en hun toepassing als ZT's) zijn disruptieve technologieën. Hun introductie zal mogelijk structurele aanpassingen eisen in de opzet en organisatie van het stedelijk transportsysteem. Het is allesbehalve zeker of deze noodzakelijke aanpassingen gemaakt zullen worden, hoe deze gemaakt dienen te worden en hoe deze door de stedelijke populatie beoordeeld zullen worden. Ten tweede zijn de effecten van de introductie van ZT's zeer onzeker. De manier waarop ZT-implementatie de relevante effecten van het stedelijk transportsysteem zal beïnvloeden is op dit moment onbekend, daar de essentiële verbanden tussen ZT-implementatie en het transportsysteem zeer onzeker zijn. Tot slot is de waardering of beoordeling van de relevante effecten van ZT-implementatie zeer onzeker. Stakeholders lijken verschillende meningen te hebben over de kosten en baten (een manier om effecten af te wegen) van implementatie van een ZT-systeem in hun stad. Als zodanig is hun bereidwilligheid om ZT-implementatie te accepteren (of af te wijzen) onzeker.

3. Adaptief plannen

Samenvattend, zoals in paragraaf 2 aangegeven, blijkt de implementatie van ZT's gekenmerkt te worden door Niveau 4 onzekerheden. Traditionele, scenario-gebaseerde benaderingen zijn onvoldoende om met deze onzekerheden om te gaan daar deze o.a. veronderstellen de bandbreedte van de toekomst voldoende te kunnen specificeren.

Een manier voor beleidsontwikkeling voor situaties onder 'diepe onzekerheid' is een planningsbenadering waarbij gestart wordt met een initieel basisplan dat over de tijd aangepast kan worden aan toekomstige (nu nog onzekere) relevante ontwikkelingen, gebruikmakend van de kennis en ervaring die in de toekomst beschikbaar komt. Walker et al. (2001) hebben dit concept verder uitgewerkt in een systematische planningsbenadering genaamd 'Dynamische Adaptieve Planning' (DAP). DAP gaat niet uit van maatregelen gebaseerd op (onbetrouwbare) voorspellingen en (onzekere) modellen maar van adaptieve maatregelen die aangepast kunnen worden aan (onzekere) ontwikkelingen in de tijd door continue monitoring van deze ontwikkelingen. De toepassing van DAP is verkend voor verschillende toepassingsdomeinen inclusief watermanagement in Nederland binnen de context van onzekere klimaatverandering (Rahman et al., 2008), transport-infrastructuur planning binnen de context van onzekere klimaatverandering (Wall et al., 2015), en beleidsontwikkeling voor de implementatie van innovatieve stedelijke transport-infrastructuren (Marchau et al., 2008), beprijzen van weggebruik (Marchau et al., 2010), intelligent snelheidsbegrenzers (Agusdinata et al.), en Magneetweeftreinen (Maglev) (Marchau et al., 2010). Binnen DAP staat erkenning van onzekerheid centraal daar in de huidige, snel veranderende wereld statische plannen niet werken. Indien binnen de levenscyclus van een plan nieuwe kennis en informatie over een relevante ontwikkeling beschikbaar komt dan kan dit plan aangepast worden door aan deze ontwikkeling (Walker, 2011).

De DAP-benadering expliciteert aanpassingen bij het begin van de belevingsvorming. Zo worden onvermijdelijke veranderingen in het toekomstig beleid onderdeel van een groter, erkend proces. Op deze wijze worden beleidsmaker niet gedwongen om herhaaldelijk ex post aanpassingen te doen op een ad-hoc basis. Adaptieve plannen zijn niet optimaal voor één, best voorspelde, toekomst, maar robuust voor een heel scala van plausibele, toekomstige ontwikkelingen. Een adaptief plan combineert urgente maatregelen met maatregelen die de benodigde flexibiliteit voor de (onzekere) toekomst zijn. Volgens DAP zouden significante veranderingen in het stedelijk transportsysteem gebaseerd worden op een beleidsanalytische aanpak, waarbij eerst de systeem- doelen geïdentificeerd worden en vervolgens beleid ontwikkeld wordt om deze doelen te bereiken en manieren om dit beleid aan te passen indien omstandigheden veranderen. Binnen een dergelijk adaptieve beleidskader zouden de individuele stakeholders hun activiteiten gewoon zoals ze dit onder normale omstandigheden zouden doen. Beleidsmakers zouden echter door middel van monitoren van ontwikkelingen en eventuele koerscorrecties het systeem blijven sturen richting de oorspronkelijke doelstellingen.

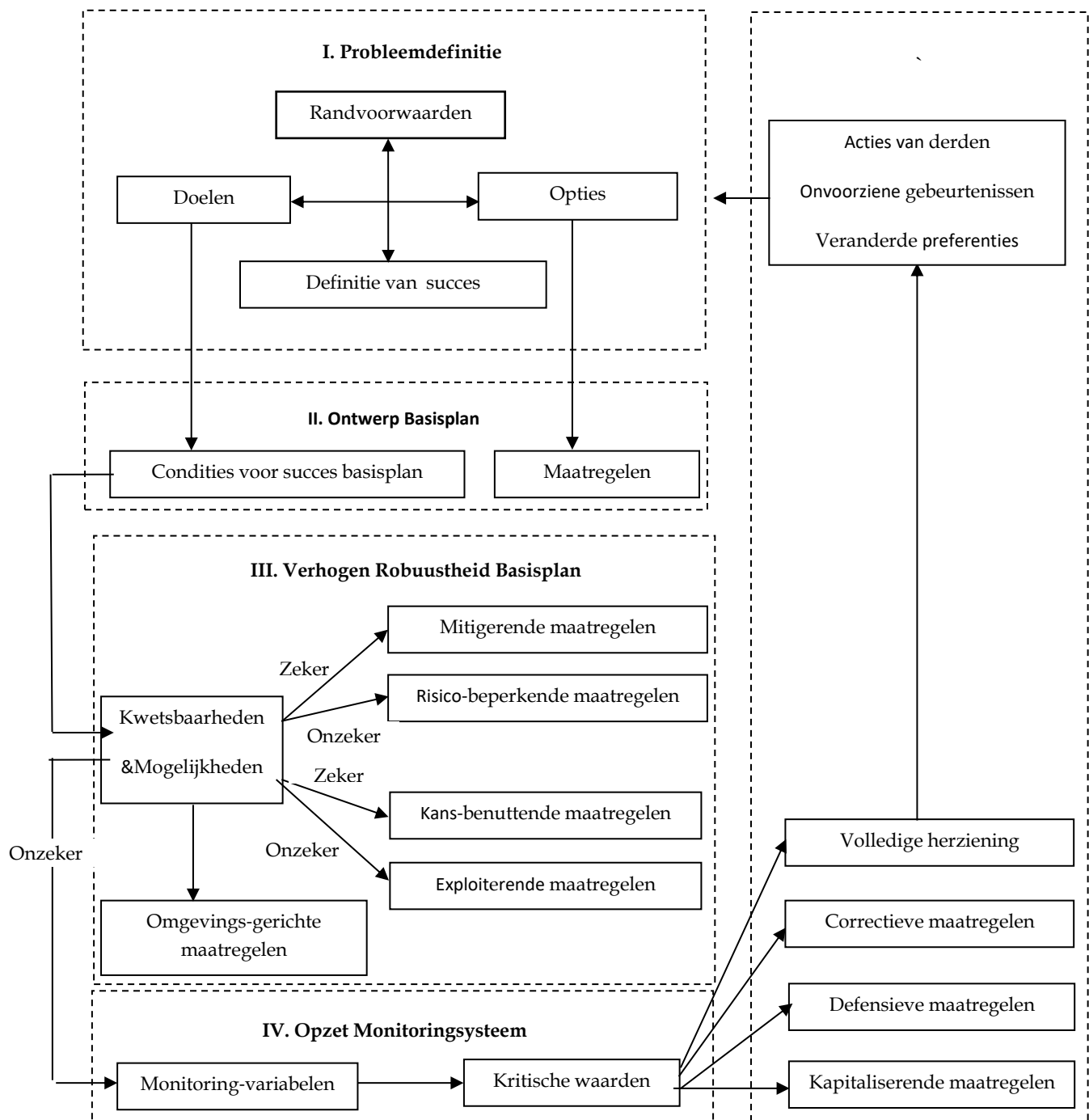
DAP gebeurt in twee fasen: (1) een ontwerpfasen, waarbij het basisplan, monitoring-programma en verschillende maatregelen voor voor en na de implementatie worden ontworpen, en (2) een implementatiefase, waarin het basisplan en het monitoring-programma worden geïmplementeerd en adaptieve maatregelen (indien noodzakelijk) worden geïmplementeerd. De 5 stappen van de ontwerpfasen zijn weergegeven in figuur 3. Zodra het adaptieve plan ontworpen is volgens deze 5 stappen wordt het basisplan geïmplementeerd en start het monitoring-programma. Hieronder worden de stappen voor het ontwerpen van een adaptief plan nader toegelicht.

In stap I wordt de probleemdefinitie gespecificeerd. Alvorens een basisplan ontwikkeld kan worden dienen allereerst het probleem en doelstellingen, de randvoorwaarden en beschikbare opties gespecificeerd te worden. Deze beschrijving moet leiden tot de definitie van succes, d.w.z. de specificatie van gewenste resultaten.

In stap II wordt een basisplan ontworpen, bestaande uit een selectie uit de beleidsopties samen met een plan om deze te implementeren. Het gaat hierbij om (a) de specificatie van één (of meerdere) veelbelovende optie(s) en (b) de identificatie van de noodzakelijke condities om dit basisplan tot een succes te maken. Merk op dat zowel de eerste als de tweede stap in principe hetzelfde zijn als in de huidige praktijk van beleidsontwikkeling.

In de volgende drie DAP-stappen (stap III, IV en V) wordt de rest van het plan gespecificeerd, teneinde de robuustheid of toekomstbestendigheid van het basisplan in de tijd te vergroten. Dit zijn de onderdelen die het plan dynamisch en adaptief maken. Deze stappen zijn gebaseerd op het van tevoren identificeren van de kwetsbaarheden en mogelijkheden van het basisplan, d.w.z. de omstandigheden of gebeurtenissen die ervoor zouden kunnen zorgen dat het basisplan faalt c.q. meer succesvol is; het specificeren van anticiperende maatregelen hiervoor (stap III en IV); en het voorbereiden van responsieve maatregelen (stap V).

Stap III omvat (a) de identificatie van de kwetsbaarheden (en mogelijkheden) van het basisplan en (b) het definiëren van anticiperende maatregelen die tegelijkertijd met het basisplan geïmplementeerd moeten worden. *Kwetsbaarheden* zijn ontwikkelingen of gebeurtenissen die het basisplan kunnen doen falen. *Mogelijkheden* zijn ontwikkelingen of gebeurtenissen die het plan juist meer succesvol kunnen maken, of eerder doen slagen. Anticiperende maatregelen worden gedefinieerd afhankelijk van het type kwetsbaarheid en type mogelijkheid. Een onderscheid kan gemaakt worden tussen zekere en onzekere kwetsbaarheden en zekere en onzekere mogelijkheden. Voor zekere kwetsbaarheden kan worden geanticipeerd door implementatie van mitigerende maatregelen—dit zijn maatregelen die tegelijkertijd met het basisplan geïmplementeerd worden om zekere, ongewenste effecten van implementatie van het basisplan te verminderen. Onzekere kwetsbaarheden worden geassocieerd met risico-beperkende maatregelen – maatregelen die tegelijkertijd met het basisplan geïmplementeerd worden om het risico van nadelige effecten te verminderen of te spreiden. Op zekere mogelijkheden kan worden geanticipeerd door zgn. kansbenuttende maatregelen, maatregelen die erop gericht zijn om profijt te trekken van zekere, gewenste effecten van het basisplan. Op onzekere mogelijkheden kan worden geanticipeerd door zgn. exploiterende maatregelen. Te denken valt bijvoorbeeld bij het bouwen van een brug, de fundamente en pijlers zo te ontwerpen dat deze stevig genoeg zijn om uitbreiding van de brug in de toekomst mogelijk te maken. Tot slot kunnen ook nog anticiperende, omgevings-gerichte maatregelen genomen worden die de kans op een negatieve externe ontwikkeling of gebeurtenis voor het basisplan verminderen, c.q. de kans op een positieve externe ontwikkeling of gebeurtenis voor het basisplan verhogen.



Figuur 3: De ontwerpfase van de DAP-benadering (Van der Pas, 2011)

In stap IV wordt het monitoringsysteem gespecificeerd om in de gaten te houden of de implementatie van het basisplan en anticiperende maatregelen goed verloopt en dat adaptieve maatregelen op een tijdige en effectieve manier geïmplementeerd zullen worden. Het monitoringsysteem bestaat uit de specificatie van relevante ontwikkelingen en gebeurtenissen (monitoring-variabelen) teneinde de voortgang van de implementatie van het basisplan te bewaken. In het bijzonder worden vooraf kritische waarden gespecificeerd van deze monitoring-variabelen die aangeven onder welke specifieke, toekomstige condities responsieve maatregelen geïmplementeerd dienen te worden.

Er zijn verschillende typen responsieve maatregelen (stap V). Zolang de oorspronkelijke doelstellingen en randvoorwaarden hetzelfde zijn als oorspronkelijk gedefinieerd (in stap I), hebben deze responsieve maatregelen een defensief of correctief karakter - dat wil zeggen, dit zijn aanpassingen aan het basisplan om de effectiviteit te vergroten, c.q. mogelijkheden te benutten (kapitaliserende maatregelen). Er kunnen zich omstandigheden voordoen waarbij noch defensieve noch corrigerende, responsieve maatregelen voldoende zijn. In dat geval zou het hele plan moet opnieuw moeten worden geëvalueerd en ingrijpend veranderd of volledig herzien. In dit geval kan echter geprofiteerd worden van de opgedane ervaring uit de eerdere planvorming. De kennis verzameld in de initiële planvorming betreffende relevante effecten, doelstellingen, maatregelen, opties, enz., is immers bekend en zou nieuwe planvorming wellicht versnellen.

De DAP-benadering lijkt veelbelovend voor de ontwikkeling van beleidsvorming betreffende stedelijke transportsystemen, gegeven grote onzekerheden over externe ontwikkelingen, effecten van innovatieve oplossingen en waardering van deze effecten. In de volgende paragraaf zal de DAP-benadering geïllustreerd worden voor de implementatie van ZT's in een stedelijke omgeving Amsterdam. Deze casus is gesimplificeerd daar het doel van deze illustratie is om te laten zien hoe DAP-aanpak toegepast kan worden en niet om alle relevante ZT-details voor Amsterdam mee te nemen.

4. DAP voor de implementatie van ZT's in Amsterdam

Zoals in de inleiding aangegeven zijn er veel problemen gerelateerd aan het stedelijk vervoerssysteem en het individuele autobezit. Zelfrijdende voertuigen hebben in potentie veel voordelen: o.a. betere verkeersveiligheid, minder files en minder stress voor bestuurders, (International Transport Forum, 2015a). Verder worden privéauto's maar een beperkt deel van de dag gebruikt (gemiddeld staat een auto in bijv. Nederland 23 uur stil (ANWB, 2015); in drukke steden wordt er geschat dat minder dan 11% van de voertuigen gedurende de dag in gebruik is (Fagnant en Kockelman, 2015a). Als zodanig is er een ontwikkeling op gang gekomen om auto's te delen, die het mogelijk maakt dat individuen voertuigen delen i.p.v. dat ieder huishouden een eigen (vooral stilstaande) auto heeft. Niettegenstaand is toch de algemene verwachting dat privéauto's, OV en taxi's de dominante modaliteiten zullen blijven voor lokale verplaatsingen. Deze traditionele modaliteiten beginnen echter wel langzaam marktaandeel te verliezen aan nieuwe, intermediaire modaliteiten zoals deel-taxi's, online carpool aanbieders, vraaggestuurd vervoer, en autodeel clubs (Enoch, 2015). Deze ontwikkelingen zouden kunnen uitmonden in een geheel nieuwe, dominante modaliteit voor personenvervoer genaamd zelfrijdende taxi's of dial-a-pod.

Deze nieuw modaliteit kan reizigers en de samenleving aanzienlijke voordelen bieden. Maar de implementatie van ZT's wordt gekenmerkt door gekenmerkt door vele hindernissen en is omgeven met diepe onzekerheden. Deze barrières en onzekerheden kunnen aangepakt worden door een implementatie-strategie te ontwikkelen die gebaseerd is op de DAP-benadering, die begint met een basisplan wat past bij de huidige omstandigheden en aangepast wordt op basis van in de toekomst opgedane kennis en ervaring. Meer specifiek wordt er vanuit gegaan dat de 'probleemeigenaar' het stadsbestuur van een grote stad (bijv. Amsterdam) is wat kampt met problemen als beperkte parkeergelegenheid, congestie, veiligheid, vervuiling, etc. Stel verder dat er weliswaar de verwachting is bij de probleemeigenaar dat ZT's deze problemen kan reduceren, maar de technologie is niet getest, het publiek is sceptisch, taxichauffeurs zijn tegen, en er is geen wettelijk kader voorhanden voor de implementatie van ZT's. Verder kunnen er vier stakeholders/actoren worden beschouwd, die elk hun eigen doelstellingen hebben (en de daarmee samenhangende relevante resultaten): het stadsbestuur, de bewoners van de stad (inclusief de reizigers), de taxibedrijven (inclusief hun chauffeurs), en de autofabrikanten (inclusief de technologie-ontwikkelaars).

De Society of Automotive Engineers (SAE) heeft zes niveaus van automatisering van rijtaken gedefinieerd om de industrie en consumenten beter te laten begrijpen hoe zelfrijdende voertuigen kunnen evolueren, variërend van niveau 0 (geen automatisering, volledig handmatig rijden) tot niveau 5 (volledige automatisering, volledig zelfrijdend) (SAE, 2016). Hieronder wordt elk van de vijf DAP stappen om een adaptief plan voor implementatie te ontwerpen doorlopen, teneinde de doelstellingen van Amsterdam te bereiken, inclusief de mogelijkheid van het implementeren van een ZT-systeem. Getoond wordt hoe zou kunnen begonnen worden met de implementatie van een ZT-systeem van 'voorwaardelijke automatisering' – het systeem neemt alle aspecten van de rijtaken over maar de menselijke bestuurder (de taxi-chauffeur) neemt de rijtaken weer terug over op verzoek van het systeem. Vervolgens wordt getoond hoe op basis van een DAP-benadering toegewerkt kan worden naar de implementatie van een ZT-systeem met 'volledige automatisering' – de fulltime overname door een systeem van alle aspecten van de rijtaak onder alle omstandigheden. Met andere woorden, een transitie wordt voorgesteld van een bemande, geautomatiseerde, maar door de mens gecontroleerde taxi naar een onbemande, geautomatiseerde taxi.

4.1 Stap I (Probleemdefinitie)

De mobiliteitsproblemen van veel grote steden komen veelal overeen. Ook voor Amsterdam gaat het hierbij om hoe de snel groeiende stad op termijn bereikbaar en leefbaar te houden. De verwachting is dat het autoverkeer in de stad Amsterdam op werkdagen met 50% groeit tussen 2015 en 2050 door autonome factoren (basecase) (BCG, 2016). Er is behoefte aan beter ruimtegebruik (bijv. minder ruimtebeslag voor straat-parkeren en parkeergarages), het reduceren van congestie, het verbeteren van de verkeersveiligheid (vooral voor fietsers), en verlagen van de milieubelasting (bijv. verminderen van luchtvervuiling door schadelijke stoffen) (Gemeente Amsterdam, 2015). Het stadsbestuur heeft een flink aantal maatregelen gedefinieerd om deze doelen te bereiken inclusief herinrichting infrastructuur, verbetering verkeersafwikkeling, betere aansluiting verschillende OV-modaliteiten, meer ruimte voor fietsers en voetgangers en veiliger fietsgebruik, etc.

De implementatie van zelfrijdende taxi's (ZT's) kan hierbij worden gezien als een optie voor de langere termijn. Er kleven echter vele randvoorwaarden en onzekerheden aan deze optie. Wellicht de belangrijkste voorwaarden hierbij hebben te maken met de veiligheid. Zelfrijdende voertuigen hebben de potentie om de verkeersveiligheid substantieel verbeteren, daar menselijke fouten in het verkeer de oorzaak zijn van het leeuwendeel van de ongevallen. In de VS is bijvoorbeeld geschat dat 90% van alle voertuig-ongevallen (mede) te wijten zijn aan menselijke fouten. (NHTSA, 2015). Soortgelijke schattingen worden genoemd voor andere landen (Wegman, 2002). Dit percentage zou substantieel verminderd kunnen worden. Het is echter onzeker hoe veilig de technologie van zelfrijdende voertuigen zal zijn. Hayes (2011) verwacht bijvoorbeeld dat het risico op een dodelijk ongeval met een voertuig (per afgelegde persoon-mijl) uiteindelijk gelijk zou kunnen zijn aan die voor luchtvaart en rail – ongeveer 1% van het huidige risico. Kalra en Paddock (2016) schatten echter dat zelfrijdende voertuigen minimaal honderden miljoenen kilometers, of zelfs honderden miljarden kilometers zouden moeten rijden om hun betrouwbaarheid aan te tonen aangaande het voorkomen van verkeersslachtoffers. Dergelijke onzekerheden motiveren het gebruik van de DAP-benadering voor implementatie van ZT's. Andere randvoorwaarden en onzekerheden zijn de kosten voor de aanpassing van infrastructuur en maatschappelijke acceptatie.

Sommige taxibedrijven –en operators (bijv. Uber) zijn zeer geïnteresseerd in de implementatie van ZT's. Er wordt verwacht dat er beter gebruik kan gemaakt worden van de vloot (minder 'lege ritten'), tegen substantieel lagere kosten (geen personele kosten voor de inzet van chauffeurs). Eén van de grootste, te verwachten obstakels hierbij is de weerstand van de huidige taxichauffeurs. De implementatie van een dergelijk ZT-systeem in een grote stad is wellicht zeer disruptief. New York City heeft bijvoorbeeld meer dan 50.000 taxichauffeurs en meer dan 13.000 taxi's. De gemiddelde wachttijd voor een passagier op een taxi is 5 minuten (passagiers kunnen geen taxi bestellen). Volgens Burns et al.(2013), zou een vloot van slechts 9.000 ZT's dezelfde taken kunnen vervullen als

de huidige vloot met een gemiddelde wachttijd van 36 seconden en gemiddelde kosten van ongeveer \$1.00 per rit (versus ongeveer \$7.80 per rit in het huidige systeem). Minder voertuigen zijn nodig doordat ZT's een veel betere afstemming van het aanbod op de vraag mogelijk maken (minder lege kilometers). Een efficiënter gebruik van ZT-vloot zorgt voor lagere kosten (naast het ontbreken van kosten voor de chauffeur).

De toekomstige klanten zullen het meest geïnteresseerd in het niveau van de dienstverlening (wachttijden en duur van de rit), de kosten en de veiligheid. De resultaten hierboven suggereren significante verminderingen van wachttijden, reistijden, en kosten. Maar het overtuigen van de klanten over de verbetering van de verkeersveiligheid zal een stuk lastiger zijn en vereist wellicht demonstraties, proefprojecten, ervaring en/of voorlichtingscampagnes. De acceptatie van nieuwe, zelfrijdende voertuigen kan verhoogd worden door klanten de voordelen te laten ervaren. De autofabrikanten zijn vooral geïnteresseerd zijn in het verkrijgen van een wettelijke goedkeuring van zelfrijdende voertuigen en dat aansprakelijkheidskwesties naar hun voorkeur geregeld zijn. Volgens de fabrikanten is de technologie voor zelfrijdende voertuigen niet het probleem. Deze technologie bestaat al of zal in de nabije toekomst voorhanden zijn.

Ook Amsterdam verkent de mogelijke implementatie van zelfrijdende auto's. Uit recent onderzoek van BCG (2016) blijkt dat meer dan de helft van reizigers in Amsterdam aangeeft dat ze een voorkeur voor het gebruik van Zelfrijdend Vervoer (ZV) hebben. Voor autogebruikers is dit 60%, van de treinreizigers is dit 50% en van de bus, tram en metro gebruikers is dit 70%. Volgens dit onderzoek zou 50% van deze overstappers naar een zelfrijdende auto overstappen en circa 50% naar een vorm van voertuig- of ritdeling (ZT of gedeeld ZV). In dit onderzoek zijn een drietal scenario's onderzocht: (1) ZV alleen op snelweg (2) ZV alleen op verkeersaders en (3) ZV in gehele stad. Bij het eerste scenario mag het ZV de stad niet in en is daarom niet geschikt voor ZT's. Bij scenario (2) zullen passagiers afgezet worden bij specifieke haltes en bij (3) wordt deur-tot-deur vervoer geboden. Door BCG (2016) wordt geschat dat in scenario 2 en 3 het aantal autokilometers verdubbelen, mede door overstap vanuit het OV en de fiets, evenals door de grotere aantrekkelijkheid van de auto. Dit zal leiden tot forse problemen in de stad, met name door capaciteitsbeperkingen, vooral in scenario 3. Zij verwachten echter ook een aantal positieve effecten, zoals een grotere verkeersveiligheid, sterkere concurrentiepositie van de stad en verbetering van de doorstroming op belangrijke assen. Ook de betere bruikbaarheid van de reistijd voor andere doelen kan aantrekkelijk zijn voor de stedelijke economie. Tenslotte wordt voorzien dat bij scenario 2 en 3 een flink deel van de parkeerproblematiek kan worden opgelost. Door hen worden een aantal interventies voorgesteld, waaronder vereenvoudigen van complexe verkeerssituaties, stimulering van bundeling van stromen in busjes en het openstellen van OV-banen voor ZV. Er wordt op gewezen dat de introductie van ZT's snel kan gaan. De besparing van chauffeurskosten is voor bedrijven aantrekkelijk ten opzichte van de aanschafkosten van deze taxi's. Daarbij moet er wel voor worden gezorgd dat sprake blijft van voldoende aanbieders en moet een arbeidsmarktbeleid worden opgezet voor de chauffeurs. BCG wijst erop dat de ontwikkeling richting ZV zal gaan en dat daarom de stad op de komst daarvan moet anticiperen.

Het stadsbestuur (de probleemeigenaar) zal toekomstige plannen als een succes beoordelen op basis van het aantal passagiers die het ZT-systeem gebruiken, de mate van weerstand door bijv. reizigers, taxiondernemers en -chauffeurs, inwoners en andere overheden, en de bijdrage aan van het systeem aan algemene stedelijke vervoersdoelen (ruimtebeslag, congestie, veiligheid, milieu). Andere kritische succesfactoren zijn dat de ZT-technologie nauwkeurig en betrouwbaar functioneert en eenvoudig kan worden opgewaardeerd, dat de aansprakelijkheid bij eventueel systeem-falen duidelijk is, en dat alle partijen tevreden zijn over de mate van privacy van de informatie die wordt verzameld via het systeem.

Samenvattend (voor stap I) dienen alle nieuwe Amsterdamse verkeer- en vervoersplannen (met inbegrip van ZT's) aan bepaalde voorwaarden voldoen om als een succes te worden beoordeeld. In

het bijzonder zal het succes van de implementatie van ZT's worden beoordeeld op de volgende criteria (zie kolom 1 van tabel 1):

1. Draagvlak van regionale/nationale overheden en andere stakeholders
2. Vraag naar taxi's ontwikkeld zich als oorspronkelijk voorspeld
3. Acceptatie door taxichauffeurs, bedrijven en passagiers
4. ZT technologie performance
5. Vervoersaanbod door andere modaliteiten ontwikkeld zich als oorspronkelijk voorspeld
6. ZT performance in relatie tot algemene stedelijke mobiliteitsdoelen

4.2 Stap II (Ontwerpen van een basisplan)

Op basis van de doelstellingen, de randvoorwaarden, de definitie van succes, en de eerste verzameling van opties, wordt ervan uitgegaan dat het basisplan zou zijn om een Uber-achtig systeem te implementeren in de stad Amsterdam (vergelijkbaar met systemen die al functioneren in steden over de hele wereld, deze dienst is momenteel beschikbaar in meer dan 66 landen en 449 steden wereldwijd), met voorwaardelijke geautomatiseerde voertuigen. Deze zelfrijdende voertuigen zouden alle aspecten van de rijtaak automatiseren, maar een menselijke, hiervoor opgeleide (taxi-) chauffeur is aanwezig om de rijtaken over te nemen indien het systeem dit aangeeft.

4.3 Stap III (Verhogen van de robuustheid van het basisplan)

In deze stap worden anticiperende maatregelen aan het basisplan toegevoegd teneinde dit plan te beschermen, mislukken van implementatie hiervan te voorkomen en het succes van het basisplan te verhogen. De kwetsbaarheden en mogelijkheden zijn zeker (dit vereist anticiperende maatregelen die direct met basisplan geïmplementeerd worden) of onzeker (dit vereist de specificatie van een monitoringsysteem om te zien hoe onzekerheden zich ontwikkelen alvorens aanvullende maatregelen te implementeren; maar deze responsieve maatregelen, in reactie op de te monitoren ontwikkelingen, dienen vooraf voorbereid te worden). De kolommen 2-5 in tabel 1 geven een illustratief overzicht van de kwetsbaarheden (Kw) en Mogelijkheden (Mo) van het in stap I ontwikkelde basisplan; of de kwetsbaarheid/kans zeker of onzeker is; en het type anticiperende maatregel die geïmplementeerd dient te worden op $t=0$ (samen met de implementatie van het basisplan) om de robuustheid van het basisplan te vergroten - mitigerend (M), risico-beperkend (R), kans-benuttend (K), exploiterend (E) of omgevings-gericht (O).

Hieronder worden niet alle kwetsbaarheden en kansen uit tabel 1 in detail besproken maar kort toegelicht om de essentie van het Adaptieve Plan voor de implementatie van ZT's weer te geven. Een eerste onzekerheid (rij 1, tabel 1) is de acceptatie van het basisplan door andere overheden en stakeholders. Ter bevordering van de acceptatie kan aan anticiperende maatregelen gedacht worden als lobbyen en onderhandelen met deze stakeholders waarbij de voordelen van ZT's duidelijk gecommuniceerd worden.

Een tweede onzekerheid (rij 2, tabel 1) betreft de toekomstige vraagontwikkeling naar taxi's. Anticiperend op zowel een hogere vraag (mogelijkheid) of lagere vraag (kwetsbaarheid) dan oorspronkelijk voorspeld, worden kans-benuttende respectievelijk risico-beperkende maatregelen geïmplementeerd tegelijk met het basisplan. Bij een hogere vraag kan gedacht worden aan het ontwikkelen van plannen voor het uitbreiden van de ZT-vloot (exploiterende maatregel); bij een lagere vraag kan hierbij gedacht worden aan het ontwikkelen van een plan om de ZT-dienstverlening uit te breiden voor specifieke groepen reizigers en/of omliggende regio's die door het basisplan nog niet bediend worden (risico-beperkende maatregel).

Eén van de grootste, zekere kwetsbaarheden van het basisplan is de te verwachten weerstand van de huidige taxibedrijven en -chauffeurs, en reizigers tegen ZT-implementatie (rij 3, tabel 1). Ter anticipatie hierop kan aan allerlei mitigerende maatregelen worden gedacht. Taxichauffeurs kunnen voorgelicht worden over de voordelen van rijden met ZT's, taxibedrijven kunnen voorgelicht worden over de kostenbesparingen voor hun bedrijf door de vervanging van hun huidige vloot met ZT's. Daarnaast kunnen ZT-demonstraties gegeven worden om de maatschappelijke acceptatie te vergroten. Tot slot spelen privacy kwesties een belangrijke rol bij de acceptatie van ZT's. Fagnant en Kockelman (2015a) suggereren dat er vijf vragen rondom privacy naar tevredenheid beantwoordt dienen te worden voordat ZT's geïmplementeerd kunnen worden: Wie moet de eigenaar van de voertuig-data zijn? Welke data zal verzameld worden? Met wie wordt deze dat gedeeld? Op welke wijze wordt deze data beschikbaar gemaakt? Voor welke doeleinden wordt de dat gebruikt?

Een belangrijke, onzekere kwetsbaarheid is een technische falen van een zelfrijdend voertuig, bijv. een ongeval als gevolg van een technische storing die door de chauffeur onvoldoende gecompenseerd wordt (rij 4, tabel 1). Anticiperende, risico-beperkende maatregelen hiervoor zijn het aanbieden van een verzekering tegen technologisch falen en het oprichten van een ZT-ongevallen commissie die dergelijke incidenten kan onderzoeken en oorzaken kan achterhalen. Anderzijds kan de technologie zich in de toekomst dusdanig ontwikkelen dat de implementatie van volledig automatisch rijden (ZT's zonder chauffeur) mogelijk wordt. Op deze onzekere kans dient verschillend geanticipeerd worden. Ten eerste kan een plan ontwikkeld worden om de ZT-vloot te upgraden van conditioneel naar volledig geautomatiseerd rijden. Daarnaast kunnen onderhandelingen gestart worden met taxichauffeurs hoe deze gecompenseerd worden bij een eventueel gedwongen ontslag. Tot slot kan de overheid het proces om tot een wettelijk kader voor de overgang van voorwaardelijke tot volledige automatisering van rijtaken beginnen, wellicht in samenwerking met andere jurisdicties en autofabrikanten. De aansprakelijkheid zou kunnen verschuiven van ZT-chauffeurs naar de fabrikanten van ZT's. De verdeling van deze aansprakelijkheid tussen de partijen moet vooraf worden vastgesteld. Om een vroege 'lock-in' te voorkomen is enige flexibiliteit in deze wet- en regelgeving gewenst. Denk bijvoorbeeld aan het tijdelijk toestaan van alleen volledig automatische ZT's met een lage snelheid binnen bepaalde gebieden, teneinde ervaring op te doen met deze ZT-vorm, alvorens een volledige wet- en regelgeving hiervoor te implementeren (International Transport Forum, 2015b).

De ZT-basisplan is duidelijk disruptief ten opzichte van het huidige taxi-systeem. Het stadsbestuur dient echter andere, onzekere vervoersaanbod-ontwikkelingen, die de vraag naar ZT's kunnen beïnvloeden, in de gaten te houden. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat andere vervoerswijzen dan ZT's aantrekkelijker kunnen worden of dat er zelfs geheel nieuwe modaliteiten hun intrede doen (rij 5 tabel 1). Een voorbeeld hiervan (die de implementatie van ZT's kan bedreigen) is de implementatie van Mobility as a Service (MaaS) (Hietanen, 2014). MaaS is een vervoersdienst waarbij de klant zijn mobiliteitsbehoefte inkoopt en regelt via één loket. MaaS wordt mogelijk gemaakt doordat individuele en publieke vervoersdiensten samengevoegd worden in een gecombineerde interface die de rit-reservering, -uitvoering en -betaling afhandelt. Anticiperend op deze ontwikkeling kan samengewerkt worden met MaaS-ontwikkelaars om te kijken ZT's in MaaS kunnen worden geïntegreerd. Anderzijds kan het ook zo zijn dat de huidige ontwikkelingen in verschillende modaliteiten convergeren tot één universele automatische taxi-service (Enoch, 2015).

Een laatste, overkoepelend aan eerder genoemde onzekerheden, onzekere kwetsbaarheid is dat de integrale bijdrage aan de transportdoelen (bereikbaarheid, veiligheid, ruimtegebruik, milieu, gezondheid, toegankelijkheid, etc.) van de implementatie van ZT's in de praktijk toch onvoldoende blijkt te zijn. aan (rij 6, tabel 1). Anticiperend hierop kan, naast de bovengenoemde anticiperende maatregelen, het ZT-basisplan geïntegreerd worden met andere mobiliteitsmaatregelen (bijv. o.g.v. verkeers- en vervoersmanagement) om de bijdrage van ZT-implementatie te vergroten.

4.4 Stap IV (Opzet Monitoring Systeem) en Stap V (Voorbereiden Responsieve Maatregelen)

Het initiële ZT-systeem zou kunnen worden opgezet als een pilot op kleine schaal (een deel van de stad) met een grote mate van monitoring (en interactie met de autofabrikanten en technologie-ontwikkelaars). Er zijn diverse ontwikkelingen en gebeurtenissen die gemonitord moeten worden en responsieve maatregelen die voorbereid dienen te worden (zie kolommen 5 en 6, tabel 1). Toekomstig ZT gebruik kan te laag blijven (zie rij 3), gegeven doelstellingen in stap I. Responsieve maatregelen als een voorlichtingscampagne kunnen worden voorbereid of, indien dit onvoldoende werkt, zelfs een subsidie-plan voor ZT-gebruikers. De snelheid van de technologische ontwikkeling op autonome voertuigen moeten worden gemonitord om een upgrade van voorwaardelijke automatisering tot volledige automatisering (zie rij 4) te signaleren. De plannen voor een dergelijke upgrade zijn opgesteld op $t = 0$, samen met een overeenkomst met taxichauffeurs over hoe te compenseren in geval van banenverlies. Een laatste voorbeeld betreft het monitoren van de voortdurende ontwikkeling van andere vervoerswijzen, bijvoorbeeld MaaS (rij 5). Dit vereist dat de eerdere samenwerking (gestart op $t=0$) met MaaS-ontwikkelaars gematerialiseerd wordt door de integratie van de ZT's in MaaS.

Conclusie

Dit artikel richt op het omgaan met onzekerheden rond de implementatie van innovatieve stedelijke vervoersoplossingen vanuit een beleidsperspectief. Een voorbeeld hiervan is de combinatie van zelfrijdende voertuigen en technologie-gebaseerd taxivervoer (dat wil zeggen Zelfrijdende Taxi's (ZT's)). De implementatie van ZT's lijkt veelbelovend om bij te dragen aan de stedelijke mobiliteitsdoelen. Aan de andere kant wordt de publieke besluitvorming geconfronteerd met grote onzekerheden, die de huidige ZT-implementatie belemmeren. De uitdaging is om innovatieve benaderingen te ontwikkelen voor de behandeling van deze onzekerheden.

In dit artikel wordt daartoe een flexibele of adaptieve planningsbenadering voorgesteld, die het mogelijk maakt dat in de tijd de implementatie van ZT's aangepast wordt, naarmate kennis en ervaring is opgedaan over het functioneren van ZT's in werkelijkheid. In het bijzonder dient hierbij eerst probleem en doelen gedefinieerd te worden (samen met een definitie van succes) om vervolgens het beleids-, implementatie- en adaptatie-proces te ontwikkelen gebaseerd op het verzamelen van informatie in de tijd die de onzekerheden reduceren. De adaptieve aanpak werd geïllustreerd voor een vereenvoudigde, hypothetische case, de invoering van ZT's in Amsterdam. Er is getoond hoe kan worden omgegaan met de onzekerheden betreffende ZT's door het ontwerpen van een adaptieve aanpak, waarbij het plan kan worden aangepast als er nieuwe informatie beschikbaar is over de werkelijke prestaties van ZT's. De casus toont aan dat, in vergelijking met traditionele planvorming, de adaptieve aanpak veelbelovend is in termen van de behandeling van het scala van onzekerheden gerelateerd aan ZT implementatie.

Met betrekking tot de casus, zou eerst een Uber-achtige taxi-systeem geïmplementeerd kunnen worden in Amsterdam met 'voorwaardelijke geautomatiseerde' voertuigen. In deze taxi's zouden alle aspecten van de rijtaak geautomatiseerd zijn, waarbij een (taxi-)chauffeur aanwezig is om in te grijpen op verzoek van het systeem. Allerlei anticiperende maatregelen kunnen worden toegevoegd aan dit basisplan om dit te beschermen tegen toekomstige kwetsbaarheden of om toekomstige mogelijkheden te benutten waaronder: voorlichting over de voordelen van ZT's voor taxichauffeurs, subsidie voor ZT-vloot ontwikkeling, ZT-campagnes voor het grote publiek, een verzekering in geval van technische storingen. Daarnaast dient men zich voor te bereiden op allerlei (onzekere) toekomstige ontwikkelingen, zoals de toekomstige acceptatie van ZT, technologische vooruitgang op het gebied van automatische voertuigen, de ontwikkeling van alternatieve vervoerswijzen, enz. Deze ontwikkelingen worden gemonitord en responsieve maatregelen worden voorbereid om

geïmplementeerd te worden indien (vooraf bepaalde) kritieke gebeurtenissen of ontwikkelingen plaats vinden.

Het ontwikkelen en implementeren van een dergelijk adaptief plan zal in de praktijk niet gemakkelijk zijn. Er zijn belangrijke juridische, politieke en analytische obstakels nog te overwinnen. Het resulterende plan kan uiteindelijk meer kosten indien geen van de voorbereide, responsieve maatregelen geïmplementeerd dienen te worden. Daarnaast kan de opzet van het monitoring systeem ingewikkeld en kostbaar zijn voor een langere periode. Tot slot kunnen beleidsmakers zich niet op voorhand willen committeren aan adaptieve maatregelen. Echter, in vergelijking met de traditionele planvorming is de adaptieve aanpak veelbelovend in termen van de behandeling van het scala aan onzekerheden gerelateerd aan de implementatie van transport-innovaties.

Tabel 1: Kwetsbaarheden en Kansen van het Basisplan en gerelateerde Maatregelen

Conditie voor Succes	Kwetsbaarheid (Kw)/ Mogelijkheid (Mo)		Zeker/ Onzeker	Implementatie maatregelen t = 0 (verhogen robuustheid basisplan)	Monitoring (begint op t = 0) en eventuele kritische gebeurtenissen	Implementatie maatregelen t > 0 (responsieve maatregelen)
Draagvlak regionale/ nationale overheden en andere stakeholders	Kw	Onvoldoende draagvlak	Onzeker	(O) Onderhandel en lobby, (bijv. PR campagne om voordelen ZT's aan te geven) (O) Werk samen met onderzoeksinstituten om de voordelen van ZT's te communiceren	Monitor stakeholder feedback op het basisplan, indien deze onder een vooraf vastgesteld niveau komt, implementeer correctieve maatregel	(C) Pas het basisplan aan o.b.v. specifieke feedback (bijv. aanpassing ZT-diensten)
Vraag naar taxi's ontwikkelt zich als voorspeld	Mo	Toekomstige vraag neemt sneller toe dan voorspelde vraag	Onzeker	(E) Ontwikkel plannen voor uitbreiding ZT-vloot	Monitor ZT- vraag, indien een kritische bovengrens bereikt wordt implementeer correctieve maatregel	(C) Implementeer aanvullende ZT-uitbreidingsplannen
	Kw	Toekomstige vraag blijft achter bij voorspelde vraag	Onzeker	(R) Ontwikkel plannen voor uitbreiding ZT-diensten voor bijv. nieuwe doelgroepen, aanpalende regio's	Monitor ZT-vraag, indien een kritische ondergrens bereikt wordt implementeer correctieve maatregel(en). Indien de ZT-vraag alsnog te laag blijft, neem een herzieningsmaatregel	(C-1) Bied ZT voor nieuwe doelgroepen aan (C-2) Bied ZT aan in aanpalende regio's (H) Herzie het gehele basisplan
Acceptatie door taxichauffeurs, taxiorganisaties en reizigers	Kw	Oppositie door taxichauffeurs, taxiorganisaties en reizigers	Zeker	(M1) Geef voorlichting aan chauffeurs over de voordelen van automatisch rijden (M2) Geef campagnes en demo's over de voordelen van ZT-gebruik. (M3) Licht reizigers voor hoe hun privacy gewaarborgd is.	Monitor oppositie per groep. Indien oppositie aanhoudt implementeer een defensieve, correctieve of herzieningsmaatregel	(C-1) Verbeter de privacy bescherming (C-2) Stimuleer ZT-gebruik (bijv. subsidies) (C-3) Subsidieer ZT-vloot ontwikkeling voor vlooteigenaren (H) Stel implementatie ZT's uit tot er voldoende maatschappelijke

Conditie voor Succes	Kwetsbaarheid (Kw)/ Mogelijkheid (Mo)		Zeker/ Onzeker	Implementatie maatregelen t = 0 (verhogen robuustheid basisplan)	Monitoring (begint op t = 0) en eventuele kritische gebeurtenissen	Implementatie maatregelen t > 0 (responsieve maatregelen)
				(M4) Geef voorlichting over de voordelen van ZT-gebruik (bijv. over de kosten van autobezit en gebruik in relatie tot ZT-gebruik)		acceptatie is
ZT-technologie performance	Kw	Betrouwbaarheid/ nauwkeurigheid ZT-technologie	Onzeker	(R1) Bied verzekering aan voor technologisch falen van ZT's (R2) Richt een ZT-Veiligheidscommissie op	Monitor technologische performance van ZT's, indien technologie faalt implementeer correctieve of herzieningsmaatregel	(C) Doe een onderzoek (Veiligheidscommissie) naar de oorzaken van het technologisch falen (H) In geval van een groot technologisch ZT-incident, herzie het gehele plan
	Mo	Technologische doorbraak op gebied van automatisch rijden	Onzeker	(E) Ontwikkel plan om ZT's te upgraden van conditionele naar volledige automatisering (E) bereid wet- en regelgeving voor om volledig geautomatiseerde ZT's te implementeren (R) Start onderhandelingen met taxichauffeurs inzake compensatie voor eventueel toekomstig banenverlies	Monitor de ontwikkeling van voertuigtechnologie, indien 'volledige automatisering' mogelijk is implementeer kapitaliserende maatregel	(Kap) Upgrade ZT vloot naar volledige automatisering inclusief wetgeving
Aanbod andere modaliteiten ontwikkelen zich zoals voorspeld	Kw	Andere modaliteiten worden aantrekkelijker (bijv. MaaS)	Onzeker	(R) Werk samen met MaaS om ZT's in de toekomst onderdeel te maken van hun aanbod	Monitor ontwikkeling van MaaS infrastructuur- en gebruik, indien aantrekkelijkheid MaaS kritische grens passeert implementeer correctieve of	(C) Maak ZT-modaliteit onderdeel van MaaS-aanbod

Conditie voor Succes	Kwetsbaarheid (Kw)/ Mogelijkheid (Mo)		Zeker/ Onzeker	Implementatie maatregelen t = 0 (verhogen robuustheid basisplan)	Monitoring (begint op t = 0) en eventuele kritische gebeurtenissen	Implementatie maatregelen t > 0 (responsieve maatregelen)
					kapitaliserende maatregel	
	Mo	ZT's worden de dominante modaliteit	Onzeker	(E) Plan voor een opscaling voor de volledige stad	Monitor ontwikkeling van ZT- gebruik, indien gebruik kritische grens passeert implementeer kapitaliserende maatregel	(Kap) schaal ZT- implementatie op naar volledige stad
6. ZT-bijdrage aan algemene stedelijke transportdoelen	Kw	De implementatie van ZT's draagt onvoldoende bij aan gestelde doelen o.g.v. bereikbaarheid, veiligheid, milieu, ruimtegebruik, etc.	Onzeker	(R) Integreer het ZT- basisplan met andere mobiliteits-maatregelen om de bijdrage van ZT- implementatie te vergroten	Monitor effecten van het basisplan, afhankelijk van welk doel niet bereikt wordt implementeer een defensieve, correctieve of herzieningsmaatregel	(D) Geef voorlichting aan publiek over zorgvuldig ZT-gebruik in relatie tot stedelijke transportdoelen (C) Pas ZT implementatie aan om doelen te bereiken (bijv. hogere ritprijzen bij onnodig ZT-gebruik) (H) Indien defensieve of correctieve maatregelen onvoldoende resultaat hebben, herzie hele plan.

(M) = Mitigerende maatregel; **(R)** = Risico-beperkende maatregel; **(K)** = Kans-benuttende maatregel; **(E)** = Exploiterende maatregel; **(O)** = Omgevingsgerichte maatregel; **(D)** = Defensieve maatregel; **(C)** = Correctieve maatregel; **(Kap)** = Kapitaliserende maatregel; **(H)** = Herziening

Referenties

- Agusdinata, D.B., V.A.W.J. Marchau, and W.E. Walker (2007). Adaptive Policy Approach to Implementing Intelligent Speed Adaptation, *IET Intelligent Transport Systems (ITS)*, 1(3), 186-198.
- Anderson, J.M., N. Kalra, K.D. Stanley, P. Sorensen, C. Samaras, O.A. Oluwatola (2016). *Autonomous Vehicle Technology: A Guide for Policymakers*, RR-443-2.RC, The RAND Corporation.
- ANWB (2015). ANWB Connected Car Nederland. Online document at URL: <http://www.anwb.nl/bestanden/content/assets/anwb/pdf/auto/connected-car/connected-car-infographic-nl.pdf>
- Banister, D., and D. Stead (2004). Impact of information and communications technology on transport. *Transport Reviews*, 24(5), 611-632.
- BCG-Boston Consultancy Group (2016). *Impactanalyse Zelfrijdende Voertuigen*. BCG, Amsterdam.
- Bischoff, J. and M. Maciejewski (2016). Simulation of city-wide replacement of private cars with autonomous taxis in Berlin. *Procedia Computer Science*, 83, 237-244
- Burns, L.D., W.C. Jordan, and B.A. Scarborough (2013). *Transforming Personal Mobility*. The Earth Institute, Columbia University, New York.
- Button, K., and S. Taylor (2002). Linking Telecommunications and Transportation - The Macro Simplicity and the Micro Complexity. *The International Journal of Technology, Policy and Management*, 2(1), 40-55.
- Chan, N.D, and S. A. Shaheen (2012). Ridesharing in North America: Past, Present, and Future. *Transport Reviews*, 32(1), 93-112.
- Chen, Z. (2015). *Impact of Ride-Sourcing Services on Travel Habits and Transportation Planning*. Master of Science dissertation, University of Pittsburgh.
- Childress, S., B. Nichols, and S. Coe (2015). Using an activity-based model to explore possible impacts of automated vehicles. Paper presented at the Transportation Research Board 94th Annual Meeting, Washington DC, January 2015.
- Correia, G.H. de A. and B. van Arem (2016). Solving the User Optimum Privately Owned Automated Vehicles Assignment Problem (UO-POAVAP): A model to explore the impacts of self-driving vehicles on urban mobility. *Transportation Research Part B*, 87, 64-88.
- Enoch, M.P. (2015). How a rapid modal convergence into a universal automated taxi service could be the future for local passenger transport. *Technology Analysis & Strategic Management*, 27(8), 910-924.
- European Union (EU) (2016). *Declaration of Amsterdam: Cooperation in the field of connected and automated driving*.

Fagnant, D. J., and K.M. Kockelman (2014). The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 40, 1-13.

Fagnant, D.J., and K.M. Kockelman (2015a) Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A*, 77, 167-181.

Fagnant, D. J., and K.M. Kockelman (2015b). Preparing a Nation for Autonomous Vehicles: Opportunities, Barriers and Policy Recommendations for Capitalizing on Self-Driven Vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77, 1-20.

Fagnant, J. D., and K.M. Kockelman (2015c). Dynamic ride-sharing and fleet sizing for a system of shared autonomous vehicles in Austin, Texas. *Proceedings of the 94th Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Paper 15-1962, Washington DC, January 2015.

Gemeente Amsterdam (2015). *Uitvoeringsagenda Mobiliteit*. Gemeente Amsterdam.

Goddin, P. (2015). Uber's Plan for Self-Driving Cars Bigger Than its Taxi Disruption. Online document at URL: <http://mobilitylab.org/2015/08/18/ubers-plan-for-self-driving-cars-bigger-than-its-taxi-disruption/>.

Gucwa, M. (2014). Mobility and Energy Impacts of Automated Cars. Paper presented at the Automated Vehicles Symposium (AVS) 2014. San Francisco, CA.

Hayes, B. (2011). Leave the Driving to It. *American Scientist*, 99, 363-366.

Hietanen, S. (2014). Mobility as a Service' - The New Transport Model?. *Eurotransport*, 12(2).

Online document at URL:

http://www.itsineurope.com/its10/media/press_clippings/ITS%20Supp_et214.pdf.

International Transport Forum (ITF) (2015a). *Urban Mobility System Upgrade: How shared self-driving cars could change city traffic*. Paris: OECD.

International Transport Forum (ITF) (2015b). *Automated and Autonomous Driving: Regulation Under Uncertainty*. Paris: OECD.

Kalra, N., and S. M. Paddock (2016). How Many Miles of Driving Would It Take to Demonstrate Autonomous Vehicle Reliability?. *RAND Research Report RR-1478-RC*, RAND, Santa Monica, CA.

Marchau, V.A.W.J., W.E. Walker, and G.P. van Wee (2010). Dynamic Adaptive Transport Policies for Handling Deep Uncertainty. *Technological Forecasting & Social Change*, 77(6), 940-950.

Marchau, V.A.W.J., W.E. Walker, and R. van Duin (2008). An Adaptive Approach to Implementing Innovative Urban Transport Solutions. *Transport Policy*, 15(6), 405-412.

Milakis, D., M. Snelder, B. van Arem, B. van Wee, and G. Correia (2017). Development and transport implications of automated vehicles in the Netherlands: scenarios for 2030 and 2050. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 17(1), 63-85.

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) (2015). *Traffic Safety Facts, A Brief Statistical Summary: Critical Reasons for Crashes Investigated in the National Motor Vehicle Crash Causation Survey*. Washington, D.C.: National Center for Statistics and Analysis, U.S. Department of Transportation.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2012). *Structuurvisie Infrastructuur en Ruimte (SVIR)*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) (2016). *Federal Automated Vehicles Policy. Accelerating the Next Revolution In Roadway Safety*. U.S. Department of Transportation, Washington, D.C.

Rahman, S.A., W.E. Walker, and V.A.W.J. Marchau (2008). *Coping with Uncertainties About Climate Change in Infrastructure Planning: An Adaptive Policymaking Approach*. Rotterdam: Ecorys.

Society of Automotive Engineers (SAE) (2016). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems*. Online document at URL: http://standards.sae.org/j3016_201609/.

Van de Riet, O.A.W.T., and B. Egeter (1998). *Systeemdiagram voor het beleidsveld vervoer en verkeer - Beschrijving vervoer- en verkeerssysteem ten behoeve van het project Questa*. Rand Europe Rapport RE-98.003. Delft: Rand Europe.

Van der Loop, H., and M. Mulder (2003). *To Measure - To Know: Results of a transport policy monitoring system in the Netherlands*. *Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research*. Elsevier.

Van der Pas, J.W.G.M. (2011). *Clearing the Road for ISA Implementation*. TRAIL Thesis Series 2011/13. Delft: TRAIL Research School.

Van Wee, B. (2002). *Land Use and Transport: Research and Policy Changes*. *Journal of Transport Geography*, 10(4), 259-271.

Walker, W.E. (2000). *Policy Analysis: A Systematic Approach to Supporting Policymaking in the Public Sector*. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 9, 11-27.

Walker, W.E. (2011) *Policy Analysis, 1962 – 2012: From Predict And Act To Monitor And Adapt*, Farewell Lecture. Delft: Delft University of Technology.

Walker, W.E., P. Harremoës, J. Rotmans, J.P. van der Sluijs, M.B.A. van Asselt, P. Janssen, and M.P. Krayen von Krauss (2003). *Defining Uncertainty: A Conceptual Basis for Uncertainty Management in Model-Based Decision Support*. *Integrated Assessment*, 4(1), 5-17.

Walker, W.E., S.A. Rahman, and J. Cave (2001). *Adaptive Policies, Policy Analysis, and Policymaking*. *European Journal of Operational Research*, 128(2), 282-289.

Wall, T., W.E. Walker, V.A.W.J. Marchau, and L. Bertolini, L. (2015). *Dynamic Adaptive Approach to Transportation-Infrastructure Planning for Climate Change: San-Francisco-Bay-Area Case Study*. *Journal of Infrastructure Systems*, 21(4).

Wegman, F. (2002). *Verkeersonveiligheid: oorzaken, ontwikkelingen*. B. van Wee en M. Dijkstra (eds) *Verkeer en Vervoer in hoofdlijnen*. 175-220. Bussum: Coutinho.

Zmud, J., M. Tooley, T. Baker, and J. Wagner (2015). *Paths of Automated and Connected Vehicle Deployment: Strategic Roadmap for State and Local Transportation Agencies*. Report TTI/SRP/15/161504-1, Texas A&M Transportation Institute.