

“Invloeden autonome shuttle op exploitatie openbaar vervoer”



Bachelor Eindopdracht

Bas Pluister
S1718150

Universiteit Twente
Bachelor Civiele Techniek

Begeleiders:
Koen Vervoort – Arcadis
Karst Geurs – Universiteit Twente

Versie: final – 23 oktober 2019

Voorwoord

Voor u ligt mijn bachelor eindopdracht “Invloeden autonome shuttle op exploitatie openbaar vervoer”. In dit verslag wordt geschreven over hoe autonome shuttles in de exploitatie van het openbaar vervoer kunnen gaan deelnemen. Deze opdracht is ter afronding van de bachelor Civiele Techniek aan de Universiteit Twente. Dit onderzoek is gedaan in opdracht van Arcadis.

De afdeling Beleid en Strategie had een jaar eerder een onderzoek afgerond over de impact van autonome voertuigen in het algemeen. Vanuit dit onderzoek waren er nog veel open einden, zoals impact op openbaar vervoer. Zelf wilde ik meer te weten komen over openbaar vervoer en autonome voertuigen hebben mij altijd geïnteresseerd. Vanuit Arcadis kreeg ik dan ook de ruimte om hier een interessante vraag te formuleren en hier een onderzoek bij te maken. Daarnaast heb ik bij Arcadis de kans gekregen om mee te kijken hoe een groot ingenieursbureau in elkaar zit, wat zeer leerzaam was.

Tijdens de periode bij Arcadis heeft Koen Vervoort me erg geholpen met het onderzoek en kon me verscheidene keren verder helpen in het onderzoek. Daarnaast heb ik veel gehad aan zijn feedback en wil ik hem hiervoor heel erg bedanken voor alle hulp tijdens de periode. Daarnaast wil ik mijn begeleider van de Universiteit Twente, Karst Geurs en bij de afronding Gert Brinkman bedanken voor de fijne informatie en feedbackgesprekken.

Tenslotte wil ik het Writing Centre van de UT nog bedanken voor tips en tricks die ze me hebben kunnen geven voor het afronden van deze eindopdracht aangezien het taalkundig het niet van de bovenste plank is.

Veel leesplezier,
Bas Pluister
Enschede, 23 oktober 2019

Samenvatting

Afgelopen jaar heeft een combinatie van Arcadis en TNO een onderzoek gedaan naar de impact van autonome voertuigen in Noord-Holland. Vanuit dit onderzoek waren er een aantal losse eindes en onduidelijkheden. Zo onder andere de impact op openbaar vervoer. Dit onderzoek gaat hier dieper op in en de hoofdvraag luidt: *“Wat hebben mogelijke verwachte ontwikkelingen van autonome voertuigen voor invloed op de exploitatie van openbaar vervoer in Noord-Holland?”*

Dit onderzoek omvat twee delen. Het eerste deel gaat in op mogelijke verwachte ontwikkelingen op gebied van autonome voertuigen. Hiervoor zijn interviews bij belanghebbenden van het openbaar vervoer in Noord-Holland gehouden. In deze interviews is gevraagd wat hun beeld en visie is op autonome voertuigen in het openbaar vervoer. Daarnaast zijn een aantal scenario's voorgelegd volgens uit het Arcadis/TNO onderzoek. Deze scenario's zijn beoordeeld door de belanghebbenden. De uitkomst van deze interviews was dat de voorgelegde scenario's met autonome voertuigen als concurrent van het openbaar vervoer, als niet-realistisch werden geacht. Wel werden er kansen voor autonome technologieën binnen het openbaar vervoer kansrijk geacht, zoals de autonome shuttle.

Het tweede deel van het onderzoek is ingegaan op deze kansrijke autonome shuttle. Met behulp van landelijke kengetallen, wetenschappelijke literatuur, actuele jaarverslag en dashboards is een model gemaakt van de exploitatiestructuur van het openbaar vervoer. Hiertoe zijn drie lijntypes bedacht om verschillen in exploitatie te vergelijken. De lijnen zijn opgedeeld in dun (weinig vervoer, lage frequentie), gemiddeld en dik (veel vervoer, hoge frequentie). In dit model kwam naar voren dat bij alle lijntypes personeelskosten de grootste kostenpost van ov-exploitatie zijn.

Daarna is met gegevens van autonome shuttles dit doorgerekend in het model. Hieruit kwam dat er bij alle drie de lijntypes er een goedkopere exploitatie te behalen is. Bij dikkere lijnen was dit sterker te zien. Dit is toe te schrijven aan het niet hoeven hebben van één chauffeur per voertuig, maar alleen één operator over alle voertuigen.

Op dit moment zijn er proeven in Nederland met de autonome shuttle. Er is geconcludeerd dat dit type shuttle niet voldoet om de exploitatie van de lijntypes goedkoper te maken. De shuttles die goedkopere exploitatie mogelijk maken hebben een aantal punten. Dit zijn een grotere capaciteit, kleinere aanschafprijs en geen behoefte van een steward. De huidige generatie shuttles zijn in die gebieden nog onvoldoende goed. Bij doorontwikkeling van de techniek is dit wel mogelijk, daarmee zijn de huidige proeven niet nutteloos maar een begin van een rendabele autonome shuttle.

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Samenvatting	2
1. Probleemstelling.....	5
2. Interviews actoren openbaar vervoer	6
2.1. inleiding	7
2.2. Terminologie.....	8
Autonome voertuigen.....	8
Scenario's	8
Belanghebbenden openbaar vervoer	9
2.3. Meetinstrumenten	10
2.4. Deelnemers.....	11
2.5. Procedure	11
2.6. Resultaten.....	11
Visie belanghebbenden.....	11
Reactie op scenario's	12
Verwachting van autonoom vervoer	13
2.7. Conclusie en vooruitblik	13
3. Autonome shuttles in exploitatie openbaar vervoer.....	14
3.1. Aanpak.....	14
3.2. Literatuur	15
Autonome shuttle.....	15
Exploitatie openbaar vervoer.....	16
3.3. Methode	24
Invoer	24
Verdere aannames.....	25
3.4. Doorrekening	26
Exploitatie bus	26
Exploitatie shuttle.....	26
Variëren in parameters	27
3.5. Conclusie	29
4. Conclusie	30
5. Discussie.....	30
Onderzoek	31
Model	31
Vervolgonderzoek.....	32

6. Verwijzingen.....	34
Bijlage A – Vervoersmodel TNO	38
Bijlage B – Uitkomsten studie Arcadis/TNO.....	39
Metropolitaan	40
Centrum stedelijk	41
Stedelijk woon-werk	42
Landelijk	42
Hubs en mainports	43
Bijlage C– Vragen interview	43

1. Probleemstelling

De technologische ontwikkelingen van autonomie in voertuigen is de laatste tijd vaker in het nieuws. Autonome voertuigen (AV) zijn voertuigen die systemen aan boord hebben die gedeeltelijk of volledig de functies van de bestuurder ondersteunen of overnemen. Op dit moment zijn er allerlei soorten autonome voertuigen op de markt, variërend van automatische metrosystemen tot park-assist in een personenauto. Een nieuwe ontwikkeling is dat er in toenemende mate autonome voertuigen op de markt komen die volledig zelfstandig kunnen rijden. Met andere woorden, deze voertuigen kunnen zichzelf voortbewegen door het verkeer zonder menselijk ingrijpen (Designboom, 2017).

De populaire nieuwsmedia zijn positief over deze ontwikkeling. Zo zou de capaciteit van wegen omhoog gaan omdat deze voertuigen dichter op elkaar rijden en wordt het reizen comfortabeler en efficiënter. Tevens wordt het verkeerssysteem toegankelijker omdat een rijbewijs niet benodigd is. Wetenschappers zijn daarentegen verdeeld en zijn sceptischer. Dit omdat autonome voertuigen minder efficiënt zijn in bijvoorbeeld ruimtegebruik (Möhring & van Oort, 2017) en is het tijdspad onduidelijk wanneer autonome voertuigen écht helemaal zelf kunnen rijden zonder bestuurder in de openbare ruimte.

Overheden zien deze ontwikkelingen ook en willen hier meer over weten in het kader van hun rol als infrabeheerder. Hierop heeft de provincie Noord-Holland samen met de Vervoersregio Amsterdam een combinatie van Arcadis en TNO gevraagd een onderzoek te doen naar de impact van autonome voertuigen op infrastructuur (Arcadis/TNO, 2018). Ze concludeerden, op basis van potentiële scenario's beschreven door het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid (KiM) en een model, dat de manier van verplaatsen zal veranderen. Dit betekent dat mensen met andere transportmiddelen gaan reizen, namelijk de autonome voertuigen.

De gevolgen van deze verandering voor het openbaar vervoer (OV) zijn beperkt in kaart gebracht door Arcadis/TNO. De studie heeft zich voornamelijk gefocust op private auto's en wat dit betekent voor omgeving, wegennet en andere ruimtelijke objecten. In sommige gevallen wordt in de studie wel het openbaar vervoer genoemd, maar wordt er geen verdere aandacht aan besteed.

Om dit te verduidelijken zal in dit onderzoek worden ingegaan op de openbaar vervoerskant van deze ontwikkelingen. Immers is het ov ook een belangrijk deel van het verkeerssysteem. Het model van de Arcadis/TNO-studie liet wel zien dat de vraag naar openbaar vervoer veranderd. Autonome voertuigen nemen bijvoorbeeld mogelijk de functie van het OV over in dunbevolkte gebieden. Aan de andere kant wordt een toename in ov-gebruik ook voorspeld. Zo kunnen autonome voertuigen dienen als "last-mile"-oplossing door reizigers van en naar OV-halteplaatsen of knooppunten te vervoeren. Dit kan leiden tot stijgende passagiersaantallen voor het OV (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2015).

De introductie van autonome voertuigen zorgt voor een verandering in vraag naar en aanbod van het openbaar vervoer. Dit heeft gevolgen op de concurrentiepositie van het openbaar vervoer ten opzichte van andere modaliteiten. Om dergelijke effecten kwantitatief zichtbaar te maken is een analyse benodigd, met name in financiële zin. Omdat economische analyses complex zijn zal dit onderzoek zich beperken tot de exploitatie van openbaar vervoer. Zo heeft de introductie van autonome voertuigen als consequentie dat de reizigersaantallen veranderen. Dit heeft als gevolg dat de exploitatiebaten veranderen voor vervoerders, welke doorwerken naar openbaar vervoersnetwerken en exploitatiekosten. De toekomstige plaats en mate van autonome voertuigen in de maatschappij is onzeker en heeft daarmee gevolgen voor het huidige openbaar vervoer. Deze bachelor eindopdracht geeft inzichten in de exploitatiekosten en opbrengsten van openbaar vervoer en de mogelijke effecten van autonome voertuigen. Hierdoor komt er meer inzicht in de komst van

autonome voertuigen in het openbaar vervoer zodat erop gehandeld kan worden door belanghebbenden in het openbaar vervoer.

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt dan als volgt:

“Wat hebben mogelijke verwachte ontwikkelingen van autonome voertuigen voor invloed op de exploitatie van openbaar vervoer in Noord-Holland?”

De hoofdvraag wordt opgedeeld in deelvragen. De eerste deelvraag betreft het uitzoeken van mogelijke verwachte ontwikkelingen op het gebied van autonome voertuigen. Deze worden daarop vergeleken met een oordeel van belanghebbenden. De tweede deelvraag zal gaan over exploitatie van openbaar vervoer, om te evalueren of de ideeën van de belanghebbenden kansen bieden of bedreigingen zijn. Met deze informatie wordt een schatting gemaakt wat de invloeden betekenen voor exploitatie van openbaar vervoer.

De eerste deelvraag luidt als volgt: *“1. Hoe zien verschillende actoren van het openbaar vervoer in Noord-Holland de kansen, bedreigingen en onzekerheden van ontwikkelingen van autonome voertuigen op openbaar vervoer?”* Om deze vraag te beantwoorden worden er interviews gehouden met actoren, ofwel belanghebbenden, in het openbaar vervoer. In deze interviews zullen de opgestelde scenario's van Arcadis/TNO voorgelegd worden en gevraagd of deze kansen, bedreigingen of onzekerheden bevatten voor het openbaar vervoer. Hieruit wordt de autonome shuttle als kans genoemd. Daarnaast zijn er in Nederland proeven met autonome shuttles (Scheltes, Ackerman, & Heida, Help, mijn wethouder wil een zelfrijdend voertuig, 2018) die bevestigen dat overheden hier interesse in hebben.

Deze informatie wordt gebruikt als input voor de tweede deelvraag: *“2. Hoe verhouden autonome shuttles zich tot de belangrijkste parameters van de exploitatie van openbaar vervoer?”* In deze deelvraag wordt met behulp van de resultaten uit de interviews en een literatuurstudie de exploitatie van openbaar vervoer inzichtelijk gemaakt. Tegelijkertijd worden ook de belangrijkste parameters benoemd. Daarnaast zullen de verschillen in exploitatie tussen autonome shuttle en huidig openbaar vervoer in kaart worden gebracht. Deze informatie tezamen zal dan met behulp van een model worden doorerekend. Met deze doorrekening wordt een antwoord gegeven op de tweede deelvraag.

Het onderzoek is als volgt opgebouwd. De deelvragen worden apart worden ingeleid, daarna zal per deelvraag de terminologie en theorie besproken worden. Daarna zullen per deelvraag de resultaten worden behandeld en de conclusies getrokken. Het onderzoek kan daarmee als twee deelonderzoeken gezien worden.

In het eerste hoofdstuk zal de eerste deelvraag centraal staan. In deze deelvraag zal worden stilgestaan bij de theorie uit wetenschappelijke literatuur en de Arcadis/TNO studie, de deelnemers van de interviews, de procedure van de interviews en de resultaten van de interviews. In het tweede hoofdstuk zal de tweede deelvraag centraal staan. Deze deelvraag is opgebouwd met de theorie, het model en de resultaten. Daarna zal in twee slothoofdstukken de conclusie en discussie van het volledige onderzoek worden toegelicht. Achteraan in dit document zijn de verwijzingen en bijlages te vinden.

2. Interviews actoren openbaar vervoer

Het eerste deel van het onderzoek zal zich richten op de mogelijke ontwikkelingen van autonome voertuigen en wat de visie van actoren binnen het openbaar vervoer op dit onderwerp is. In dit hoofdstuk zal als eerste de aanleiding worden beschreven, waarna de theorie behandeld wordt. Daarna zullen de deelnemers en procedure beschreven worden. Daarna zullen de resultaten en

conclusies worden behandeld. Hierna zal worden vooruitgeblikt op het volgende deel van het onderzoek.

2.1. inleiding

In de eerste deelvraag wordt behandeld welke technologieën in opkomst zijn wat betreft autonome voertuigen. Deze technologieën hebben een aantal onzekerheden in de ontwikkeling en zijn daarom verdeeld in scenario's. Daarna zijn de concessieverlener en -nemer van het openbaar vervoer in Noord-Holland geïnterviewd hoe zij hierover denken. Hiermee kan een vergelijking gemaakt worden tussen theorie en praktijk.

Zoals benoemd in de probleemstelling heeft het KiM recent een studie gedaan naar autonome voertuigen (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2015). Zij hebben hiermee wetenschappelijke literatuur over verwachte ontwikkelingen overzichtelijk samengevat. De studie is voor Nederlands onderzoek een basis geworden, waarop verdere studies gebaseerd zijn.

Zo ook de studie van Arcadis/TNO (Arcadis/TNO, 2018). Deze studie is de startpositie van dit onderzoek en zal deze hier verder toegelicht worden. De studie is in de basis een gedetailleerde verkenning van de impact van autonome voertuigen op de maatschappij. De provincie Noord-Holland en de Vervoersregio Amsterdam wilde als infrabeheerder weten of zij actie hierop moesten nemen. Omdat de techniek relatief gezien nieuw is, is er nog weinig kennis en data hoe deze voertuigen zich gaan vestigen in de maatschappij. De studie heeft getracht dit inzichtelijk te maken. Hiervoor is een model opgesteld door onderzoeksinstituut TNO. De werking van dit model staat verder beschreven in Bijlage A – Vervoersmodel TNO.

Het model van TNO gebruikt vier scenario's en een referentie voor een kwantitatieve bepaling van vervoersveranderingen onder invloed van AV. De belangrijkste uitkomst van dit model is dat de verkeersdruk enorm toeneemt. In het referentiescenario was al duidelijk dat het aantal voertuigkilometers verdubbeld ten opzicht van de huidige tijd, dit op basis van voorspelde groei door het CBP (Centraal Planbureau, Planbureau voor de Leefomgeving, 2015). Bij één van de scenario's met gemodelleerde autonome voertuigen blijkt dat het aantal voertuigkilometers nogmaals verdubbeld. De autonome voertuigen hebben dus een significant effect op de totale verkeersdruk. Verdere uitkomsten van het onderzoek staan benoemd in Bijlage B – Uitkomsten studie Arcadis/TNO.

De uitkomsten betekenen dat er een verandering optreedt in hoe men reist. Dit zorgt ervoor dat het openbaar vervoer veranderde reizigers aantallen gaat krijgen. Het Arcadis/TNO onderzoek benoemt alleen de verandering en gaat hier verder niet op in. Dit onderzoek gebruikt het Arcadis/TNO onderzoek als startpunt en wordt er verdiept in het openbaar vervoer. Hiermee is de eerste deelvraag van het onderzoek opgesteld. *“1. Hoe zien verschillende actoren van het openbaar vervoer in Noord-Holland de kansen, bedreigingen en onzekerheden van ontwikkelingen van autonome voertuigen op openbaar vervoer?”*

Om deze deelvraag te beantwoorden zijn er interviews gehouden met de belanghebbenden uit de openbaar vervoerssector in Noord-Holland. De partijen zijn de verschillende scenario's voorgelegd met een aantal additionele vragen over hun visie over verwachte ontwikkelingen zoals beschreven in het Arcadis/TNO rapport. Vanuit antwoorden die de belanghebbenden geven wordt een conclusie geredeneerd die als startpunt kan dienen voor het tweede deel van het onderzoek.

In de volgende secties zullen een aantal begrippen worden ingekaderd en vastgesteld. Daarna zullen de betrokken partijen, de gevolgde procedure en resultaten worden behandeld. Als laatste wordt de conclusie benoemd en het startpunt van het tweede deel van dit onderzoek.

2.2. Terminologie

In het gebied van de autonome voertuigen kunnen een aantal begrippen en termen meerduidig opgevat worden. Hieronder zullen deze uitgelegd worden in het kader van dit onderzoek. Als eerste zullen de begrippen worden toegelicht die mogelijke ontwikkelen vanuit het Arcadis/TNO onderzoek toelichten. Daarna worden de actoren van het openbaar vervoer toegelicht.

Autonome voertuigen

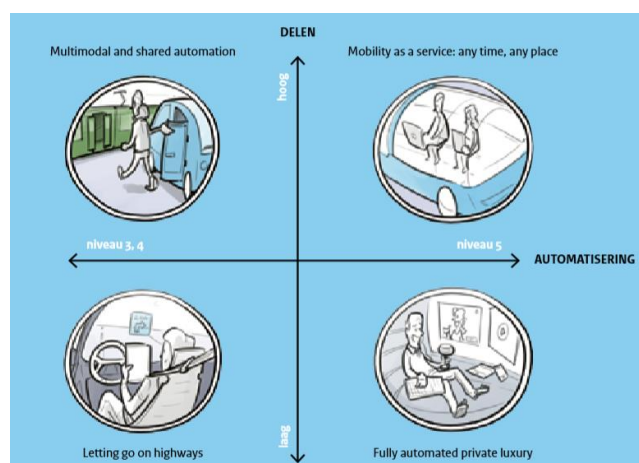
Als eerste de term “autonome voertuigen” (AV). Een autonoom voertuig is een voertuig dat kan rijden en manoeuvreren zonder tussenkomst van de mens (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2015). De mate van autonomie is onderverdeeld in een aantal klassen, ofwel SAE-levels. Deze zijn opgesteld door SAE International, een wereldleider in het standaardiseren van gegevens in de auto-ontwikkel industrie (SAE International, 2019). De verschillende klassen zijn afgebeeld in Tabel 1.

Level	Naam	Voorbeeld
Menselijke bestuurder monitort de rijomgeving		
0	No automation	Lane Departure Warning
1	Driver assistance	Adaptive Cruise Control
2	Partial automation	Parking Assistance
Het automatische systeem monitort de rijomgeving		
3	Conditional automation	Highway Chauffeur
4	High automation	Parking Garage Pilot
5	Full automation	Robot Taxi

Tabel 1: De verschillende klassen van autonomie van voertuigen

Scenario's

Het model van Arcadis/TNO kent vier scenario's met autonome voertuigen en één referentiescenario zonder AV. Deze zijn ook gebruikt in de interviews die worden gehouden met de belanghebbenden in het openbaar vervoer. De scenario's zijn gebaseerd op twee maatgevende onzekerheden: het niveau van automatiseren en de mate van bereidheid tot delen van autobezit en -ritten. Deze twee parameters zijn op te delen over twee assen en hiermee zijn de vier scenario's opgesteld, zie Figuur 1.



Figuur 1: De verschillende scenario's

Bij elk scenario is een korte beschrijving te maken.

1. Level 5 en delen: “Mobility as a Service: any time, any place”

De technologie is tot een hoog niveau ontwikkeld en consumenten zijn in hoge mate bereid hun vervoermiddel te delen. Mobiliteit wordt een dienst en zelfrijdende auto's zijn altijd en overal beschikbaar. Mogelijke gevolgen in dit scenario zijn:

- ➔ Deur tot deur met automatische taxibots
- ➔ De deeleconomie floreert (bezit en ritten)
- ➔ Traditioneel openbaar vervoer is grotendeels verdwenen
- ➔ Voertuigen parkeren zelf buiten de stad
- ➔ Fietsen en lopen zijn populair
- ➔ Prijs per kilometer binnen de stad neemt toe

2. Level 5 en niet delen: *"Fully automated private Luxury"*

De consument hecht sterk aan het bezit van een eigen auto. In de auto is de technologie tot een hoog niveau ontwikkeld. Mogelijke gevolgen in dit scenario zijn:

- ➔ 'Fully connected' cocon, zonder stuur
- ➔ Delen alleen binnen een huishouden
- ➔ Traditioneel openbaar vervoer is grotendeels verdwenen
- ➔ Uber-achtig systeem voor mensen zonder auto
- ➔ Auto's staan voor de deur
- ➔ Mensen kopen hun auto's bij autodealers
- ➔ Platoons op de snelweg voor vrachtverkeer; geen cabine of chauffeur benodigd

3. Level 3/4 en niet delen: *"Letting go on highways"*

De technologie is minder ver ontwikkeld. In de drukke, onoverzichtelijke steden moeten automobilisten nog steeds zelf rijden. Een minderheid van de automobilisten is bereid een auto te delen. De meerderheid kiest voor het bezit van een eigen auto. Mogelijke gevolgen in dit scenario zijn:

- ➔ 'Handen los' op de snelweg
- ➔ 'Stuur in handen' in de stad, er zijn wel ondersteunende systemen van SEA-niveau 1
- ➔ 'Transitiezone' nodig van snelweg naar stad
- ➔ Automatisch inparkeren in parkeergarages
- ➔ Auto's staan voor de deur
- ➔ Platoons op de snelweg voor vrachtverkeer; rustende chauffeur

4. Level 3/4 en delen: *"Multimodal and shared automation"*

Het delen van een auto is de normaalste zaak van de wereld. Volledig geautomatiseerd rijden zit er niet in, de technologie is daarvoor niet ver genoeg ontwikkeld en het draagvlak te beperkt. Mogelijke gevolgen in dit scenario zijn:

- ➔ 'Handen los' op de snelweg voor velen
- ➔ Hoge mate van delen, zowel bezit als ritten
- ➔ Openbaar vervoer is populair vanwege de voorkeur voor delen
- ➔ Treinen/trams/metro's zonder bestuurder en met hoge frequentie
- ➔ De overheid stimuleert grootschalig openbaar vervoer in de stad
- ➔ Efficiëntie multimodale ritten en overstappen
- ➔ Digitale reisassistent ondersteunt de rit

Belanghebbenden openbaar vervoer

Het openbaar vervoer kent een aantal belanghebbenden, ofwel actoren. Zo zijn er de concessieverleners, concessienemers, werknemers en reizigers (ofwel klanten). In dit onderzoek wordt gekeken naar de instanties die belangrijk zijn op het opstellen van een visie en die betrokken zijn bij ontwikkelingen binnen het openbaar vervoer. Dit is enerzijds een overheidspartij, ofwel de

provincie Noord-Holland en Vervoersregio Amsterdam. Anderzijds zijn dat de marktpartijen, ofwel de vervoerders zoals Connexxion.

De Provincie Noord-Holland (PNH) heeft een eigen provinciehuis die verantwoordelijkheden heeft en beslissingen kan nemen. Ze zijn bijvoorbeeld belast met het gunnen en controleren van ov-concessies in haar gebied, met uitzondering van de regio Amsterdam. Dit bevatten de concessies *Noord-Holland Noord*, *Haarlem-IJmond* en *Gooi- en Vechtstreek*.

De Vervoersregio Amsterdam (VRA) is een samenwerkingsverband tussen vijftien gemeentes rond Amsterdam. De VRA heeft verantwoordelijkheid over de ov-concessies in haar gebied. Ze beheert de concessies *Zaanstreek* en *Waterland*. Verder de concessie *Amstelland-Meerlanden* en *Stadsvervoer Amsterdam*.

De vervoerders in het projectgebied Noord-Holland zijn de volgende: *Connexxion*, *EBS* en *GVB* (CROW-KpVv, 2017). Connexxion is onderdeel van Transdev Nederland en is de grootste openbaar vervoerder in Nederland. In Noord-Holland vervoeren ze op dit moment alle reizigers in de concessies van de PNH en zijn ook concessienemer van de concessies *Waterland* en *Zaanstreek* van de VRA. Verdere vervoerders in het projectgebied zijn EBS en het GVB. Beide met één concessie. Deze twee vervoerders konden dit onderzoek niet verder helpen doordat de partijen geen tijd hadden voor een interview.

2.3. Meetinstrumenten

Als meetinstrument voor de eerste deelvraag zullen een aantal interviews zijn met belanghebbenden van het openbaar vervoer in Noord-Holland. De interviews zullen semigestructureerd zijn, dit betekent dat er een set met vragen is opgesteld maar dat er wel doorgevraagd kan worden als de geïnterviewde iets interessants zegt waar in de vooruit opgestelde vragen niet voldoende zijn dit te dekken. De vragenlijst die gebruikt is bij de interviews staat beschreven in Bijlage C– Vragen interview.

2.4. Deelnemers

De belanghebbenden van openbaar vervoer in Noord-Holland zijn gecontacteerd om een interview mee te houden. Hier is voor gekozen omdat zij elke dag te maken met het openbaar vervoer en de daarbij behorende ontwikkelingen. Dit betekent dat zij hier de beste ideeën en inzichten uit de praktijk over de ontwikkelingen hebben. In Tabel 2 is te zien dat beide concessieverleners in de provincie Noord-Holland en de grootste vervoerder geïnterviewd zijn.

Autoriteit/Bedrijf	Naam	Functie
Provincie Noord-Holland	Parvin Hoseini	Beleidsadviseur Mobiliteit (Smart Mobility)
(Concessieverlener PNH)	Jan Wijkhuizen	Beleidsadviseur Mobiliteit (Openbaar Vervoer)
Vervoersregio Amsterdam	David Uiterwaal	Programmaregisseur Investeringsagenda Smart Mobility
(Concessieverlener VRA)	Rozemarijn Doornewaard	Strategie en Management Consultant (vanuit Royal Haskoning DHV)
Connexxion (alleen mailreacties)	Mark Thoma	Manager Revenue Management
(Concessienemer 5 concessies in onderzoeksgebied)		

Tabel 2: Geïnterviewde partijen

2.5. Procedure

In de interviews worden de genoemde scenario's voorgelegd aan de belanghebbenden in het openbaar vervoer. Er zal bijvoorbeeld gevraagd worden welke drempels overschreden moeten worden om het beleid te veranderen. Verder zal gevraagd worden of ze op dit moment al iets merken van bepaalde vormen van autonoom vervoer. Daarnaast zal gevraagd worden hoe het openbaar vervoersnetwerk op dit moment in elkaar zit en hoe dit financieel geregeld is. De vragenlijst van het interview staat in Bijlage C– Vragen interview.

2.6. Resultaten

In deze sectie zal per groepering van de interviewvragen worden beschreven. Als eerste komt de visie aan bod, in aansluiting daarop de reactie op de scenario's. Daarna zal de verwachting van autonoom vervoer in het openbaar vervoer zelf worden besproken.

Visie belanghebbenden

Beide concessieverleners verklaren dat er (nog) geen visie is ten opzichte van de opkomst van autonome voertuigen. Enerzijds zien zij geen concurrentie in een zelfrijdende auto op de weg en anderzijds is er bij autonome voertuigen in openbaar vervoer nog te weinig informatie beschikbaar, zoals bijvoorbeeld bij autonome shuttles. Omdat er bij deze shuttles nog geen voldoende concrete gegevens zijn hoe deze zich gedragen in normale dienst is het een groot risico. Hierdoor is er (nog) geen beleid op gemaakt. Er zijn hier wel veranderingen in, de concessieverleners vertelden dat er op dit moment wel veel informatie wordt vergaard met proeven en pilots. Bovendien wordt deze informatie wel gedeeld tussen de verschillende concessieverleners en vervoerders. Dit heeft als voordeel dat elke proef van elkaar kan leren en een eindsituatie met een volledige zelfstandige autonome dienst, eerder bereikt kan worden.

Dat er nog geen beleid over deze ontwikkelingen is, heeft een tweede reden. Het Nederlandse ov-systeem is opgebouwd doormiddel van concessies. Deze concessies zorgen ervoor dat in de meeste gevallen 10 of 15 jaar een bepaalde vervoerder het openbaar vervoer in een gebied mag aanbieden. Door deze lange tijdsperiodes van de concessie worden er tijdens deze geen grote stappen gezet in innovatie, omdat deze stappen veel risico's en onzekerheden met zich meebrengen. Door kleine winstmarges is een dergelijk groot risico niet rendabel en wordt het risico niet genomen. De stap naar

een autonoom voertuig of autonome dienstregeling is ook zo'n grote stap en wordt daarom niet genomen (Boersma, Scheltes, & van Oort, 2018).

Ook vervoerder Connexxion heeft aangegeven dat er nog veel onbekend is in hoeverre autonome voertuigen in het collectieve vervoer gaan komen (Thoma, 2019). Door deze onbekendheid heeft ook Connexxion nog geen visie over autonome voertuigen. Connexxion ziet wel kansen voor autonome voertuigen en staat daarmee er wel positief tegenover. Connexxion heeft hiermee eenzelfde mening als die van de ov-autoriteiten.

Reactie op scenario's

In de interviews kwam vooral aan bod of de scenario's realistisch zijn. Zo zien de ov-autoriteiten autonome voertuigen als privé eigendom niet als concurrentie voor hun bus of tram. Verder vertelden ze dat autonome voertuigen technisch niet slim genoeg zijn en dat de techniek niet het ontwikkelingstempo heeft zoals verwacht. Er heerst een beeld met de vraag of autonome voertuigen ooit wel zo goed worden dat ze altijd en overal autonoom kunnen rijden. Dit komt bijvoorbeeld doordat autonome voertuigen minder assertief rijden dan menselijke bestuurders. De systemen zijn zo gebouwd dat de voertuigen niets en niemand aanrijden. In een stad kan dit funest worden doordat de autonome voertuigen continu moeten remmen en stoppen door voetgangers en fietsers die willekeurig oversteken. Dit kan als een harmonica doorwerken op achteropkomend verkeer wat kan leiden tot volledige stilstand. De autoriteiten zien dit als een groot gevaar van de autonome auto's en beschouwen dit als een voordeel voor het openbaar vervoer, dat door privileges zoals eigen baan betrouwbaarder is.

Ten tweede, mochten private autonome voertuigen de reizigers uit de bus en tram halen, zoals voorspeld, komen er meer voertuigen in het systeem en daarmee meer files (Arcadis/TNO, 2018) (COWI/PVT, 2019). Private autonome voertuigen hebben niet dezelfde capaciteit als het ov. Hierdoor raakt de effectiviteit dat ov nu heeft verloren. Net als het eerste argument zien de autoriteiten hier een gevaar in voor de autonome auto, doordat deze voor hetzelfde aantal personen meer auto's en



Figuur 2: Visualisatie dat openbaar vervoer minder ruimte inneemt in het straatbeeld dan individueel vervoer (Human Transit, 2012).

dus meer ruimte nodig is. Een voorbeeld van de ruimtelijke is de foto in Figuur 2. De PNH gaf daaropvolgend nog aan dat ze verwachten de overheid hierop in zal moeten grijpen doordat de bereikbaarheid aanzienlijk verlaagd wordt, aldus het Arcadis/TNO-rapport. Beide zaken zijn ten gunste van het openbaar vervoer.

Het scenario dat de ov-autoriteiten op dit moment zien als de meest potentiele, kansrijke en realistisch is het vierde scenario: *"Multimodal and shared automation"*. Dit heeft een aantal redenen. Ten eerste is dit scenario gemakkelijk te realiseren, de techniek is er grotendeels al. Daarmee is dit scenario goed voor te stellen door de betrokken medewerkers. Daarnaast heeft dit scenario de meeste openbaar

vervoersmodaliteiten, zoals autonome shuttles. Het openbaar vervoer blijft in dit scenario aanwezig wat de kerntaak van de belanghebbenden behoudt. Bovendien lopen er op dit moment een aantal proeven met autonome shuttles, waardoor dit scenario geen toekomstmuziek meer is. Het begint beproefde techniek te worden.

Verwachting van autonoom vervoer

Onafhankelijk van elkaar gaven de ov-autoriteiten antwoorden met dezelfde strekking over kansen met autonoom vervoer, met name de autonome shuttle, ondanks ze beide een andere ov-doelgroep bedienen (PNH meer landelijk gebied en VRA meer stedelijk gebied red.). De belangrijkste punten die werden genoemd staan hieronder op een rij:

1. Autonome shuttles zijn nuttig als last-mile service. Dit betekent dat shuttles als laatste schakel kunnen dienen tussen het laatste ov-knooppunt en de eindbestemming. Het aantal proeven met autonome shuttles is op dit moment in Nederland aanzienlijk (Scheltes, Ackerman, & Heida, Help, mijn wethouder wil een zelfrijdend voertuig, 2018). Beide ov-autoriteiten gaven aan de uitkomsten deze proeven in de gaten te houden en daarnaast zelf ook proeven te willen doen.
2. Beide autoriteiten zien kansen om op bepaalde delen van de dag huidige bussen die niet zo goed bezet zijn, te vervangen met autonome voertuigen. De reden is dat geen chauffeur meer voor nodig is waarmee verwacht wordt dat dit rendabeler is in exploitatie.
3. Daarnaast zien beide autoriteiten dat een autonoom voertuig comfortabeler kan zijn dan een huidige bus of tram. Dit doordat het rijcomfort hoger is doordat er bijvoorbeeld gelijkmatiger geremd wordt door een computer dan door een menselijke bestuurder. Een comfortabelere reis wordt door reizigers beter gewaardeerd wat als gevolg heeft dat de vraag naar openbaar vervoer toeneemt.

2.7. Conclusie en vooruitblik

Vanuit de gesprekken met belanghebbenden in het openbaar vervoer zijn de volgende zaken te concluderen en is de eerste deelvraag 1: *“1. Hoe zien verschillende actoren van het openbaar vervoer in Noord-Holland de kansen, bedreigingen en onzekerheden van ontwikkelingen van autonome voertuigen op openbaar vervoer?”* te beantwoorden.

Er is op dit moment weinig visie bij de belanghebbenden over hoe te concurreren tegen de private autonome auto. Dit komt mede omdat er een sceptisch beeld hangt of autonome auto's ooit wel voldoende slim zijn om zich in het verkeer te kunnen mengen. Daarnaast denken de ov-autoriteiten dat openbaar vervoer altijd zijn concurrentiepositie behoudt omdat voorspellingen laten zien dat de verkeersdruk toeneemt tot ver over de capaciteit van het wegennet. Dit kan leiden tot een complete stilstand van het netwerk.

De ov-belanghebbenden zien daarom alleen het scenario van een *“Multimodal and shared automation”* als realistisch en potentieel. Hierin blijft openbaar vervoer op de hoofdassen bestaan, al dan niet waar mogelijk geautomatiseerd, en zijn er kansen voor autonome shuttles als aanvullend last-mile of daluren vervoer. Desalniettemin zal deze transitie langzaam gaan doordat ontwikkeling door kleine winstmarges en langdurende concessies wordt vertraagd.

Er is dus verder onderzoek benodigd op het vlak van kansrijke autonome voertuig-ontwikkelingen in het openbaar vervoer: de autonome shuttles. Op dit moment zijn er proeven die laten zien of de techniek voldoende is, maar om autonome shuttles een succes te maken zullen deze ook rendabel moeten zijn. In het volgende deel van het onderzoek zal hier verder op ingegaan worden.

3. Autonome shuttles in exploitatie openbaar vervoer

In het vorige hoofdstuk is duidelijk geworden dat autonome shuttles een kansrijke ontwikkeling zijn voor het openbaar vervoer. In dit tweede deel van het onderzoek zal hier verder op ingegaan worden in het kader van een rendabele exploitatie. Hiermee is de tweede deelvraag van dit onderzoek opgesteld. “2. Hoe verhouden autonome shuttles zich tot de belangrijkste parameters van de exploitatie van openbaar vervoer?”. Hoe deze deelvraag wordt beantwoord wordt verder toegelicht in de aanpak. Daarna zal dit hoofdstuk ingaan op de resultaten en eindigen met een conclusie.

3.1. Aanpak

Om de tweede deelvraag van dit onderzoek te beantwoorden zijn een aantal stappen benodigd. Allereerst zal met behulp van een literatuurstudie ov-exploitatie inzichtelijk gemaakt worden. Hiermee zullen ook de belangrijkste parameters uitgelicht worden. Vanuit deze parameters wordt een model opgesteld van ov-exploitatie. Met dit model zal de exploitatie van autonome shuttles worden geëvalueerd.

De parameters worden opgesteld aan de hand van een aantal lijntypes. Om een evaluatie te kunnen doen van de exploitatie zijn namelijk meer datapunten benodigd. Omdat er geen exacte data te vinden is van exploitatie omdat deze marktgevoelig zijn, zal de analyse uit het model op basis van verhoudingen opgesteld worden en worden relatieve verschillen duidelijk. Daarnaast is het doel van de tweede deelvraag om te zien hoe autonome shuttles zich verhouden tot de reguliere bus, ofwel invloed hebben op exploitatie van openbaar vervoer. Om dat te onderzoeken zijn er drie lijntypes opgesteld.

Het KiM heeft onderzoek gedaan naar verschillende type ov-lijnen. In dit onderzoek zijn alle ov-lijnen ingedeeld van “dun” (weinig gebruikt) naar “dik” (veel gebruikt) (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2018). Deze categorisering is in dit onderzoek, in versimpelde vorm, ook gebruikt. In onderstaande Tabel 3 zijn de lijnen opgesteld en een aantal kenmerken neergezet. Hierbij zijn de niet-unieke uitersten van het KiM als uitgangspunt genomen, ofwel de dikste en de dunste type lijnen die meer dan eenmaal voorkomen in Nederland. Daarnaast is er een gemiddelde lijn opgesteld die in het midden van het spectrum ligt. Dit midden is meegenomen omdat in literatuur veel kengetallen worden uitgemiddeld. Deze kengetallen zijn dan te koppelen aan dit lijntype.

	Lijn 1	Lijn 2	Lijn 3
Naam	Dunne lijn/haarvat	Gemiddelde lijn	Dikke lijn of HOV
Komt voornamelijk voor in	Landelijk	Stedelijk	Centrum-stedelijk
Voorbeeldlocatie	Callantsoog	Heerhugowaard	Haarlem of Zuidas
Huidig vervoersmiddel om aan vervoersvraag te voldoen	Buurtbus of minibus	Bus voor stad en streekvervoer	Gelede bus of dubbeldekker bus
Kenmerken baan	Maakt gebruik van bestaande infra	Prioriteitsbaan bij verkeerslichten, parkeerhavens bij haltes	(Grotendeels) eigen baan
Haltes	Abri langs de weg, bus stopt op de weg	Aparte havens langs de weg voor haltes, bij grotere haltes reisinformatie	Halte aan eigen baan, actuele reisinformatie
Frequentie	1x per uur	2x tot 4x per uur	4x per uur of meer

Tabel 3: Kenmerken van de verschillende lijnen

3.2. Literatuur

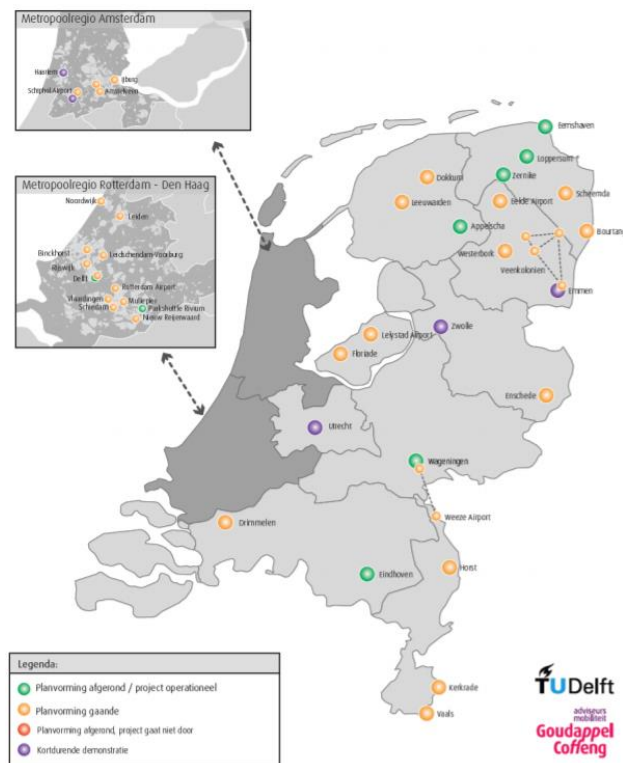
Dit deel van het onderzoek zal het literatuuronderzoek van deze deelvraag bevatten en daarmee de theorie van ov-exploitatie. Als eerste wordt beschreven wat de autonome shuttle precies inhoudt. Daarna zal de ov-exploitatie toegelicht worden en de belangrijkste parameters uitgelegd. Als laatste zullen de verschillen in exploitatie van een autonome shuttle en regulier ov geconcludeerd worden.

Autonome shuttle

Autonome shuttles zijn kleine elektrische busjes die groepjes personen kunnen vervoeren en zich zelfstandig door het verkeer kunnen manoeuvreren (Navya, 2019). Er zijn een aantal fabrikanten van deze shuttles, zo onder andere Navya en 2GetThere. De huidige generatie shuttles kunnen 8 tot 15 personen vervoeren. Daarnaast is er geen chauffeur meer benodigd maar door wetgeving is er wel een steward of een zogenaamde operator benodigd die kan ingrijpen bij calamiteiten. Tevens moet in de huidige generatie shuttles deze steward een startprocedure uitvoeren om de shuttle te laten rijden. De nieuwe experimenteerwet die is ingetreden op 1 juli 2019 jl. kan er wel voor zorgen dat de steward mag verdwijnen (Eerste kamer, 2019).

Een aantal voorbeelden van deze shuttles zijn te vinden bij het Rotterdamse Rivium (Connexxion, 2019) en bij de Zwitserse Rijnwatervallen (Swiss Transit Lab, 2019). Deze twee shuttles zijn naast een type openbaar vervoer ook een proef. Zo rijdt de Rivium-shuttle al sinds de jaren 1990 om ervaring op te doen met dergelijke voertuigen zonder chauffeur, maar rijdt deze wel op een eigen baan. Door deze eigen baan is dit een afgesloten systeem en valt deze buiten de definitie. In 2020 zal deze shuttle worden doorgetrokken naar een nieuwe waterbushalte over de openbare weg (Except, 2016) en is er te spreken van een volwaardige shuttle in deze definitie.

Andere proeven met een 'echte' autonome shuttle zijn er volop in Nederland (Scheltes, Ackerman, & Heida, Help, mijn wethouder wil een zelfrijdend voertuig, 2018). In bijgaande Figuur 3 staan locaties



Figuur 3: Proeven autonome shuttle in Nederland (Scheltes, Ackerman, & Heida, Help, mijn wethouder wil een zelfrijdend voertuig, 2018)

waar in 2018 proeven bezig waren, zijn gepland of afgerond zijn. Zoals te zien zijn dit voornamelijk

proeven in de regio Den Haag/Rotterdam en in de noordelijke provincies. Beide hebben hun gebieden dan ook omgedoopt tot proeflocatie. De betrokken overheden investeren hier ook fors in blijkt uit investeringsagenda's en begrotingen (Except, 2016) (@North, 2019). Dit bevestigt de uitkomst uit deelvraag 1 waar overheden potentie zien in de autonome shuttle binnen het openbaar vervoer.

De Zwitserse shuttle in de plaats Schaffhausen is een last-mile verbinding tussen een industrieterrein en het centrum. Daarnaast gaat deze shuttle sinds juni 2019 ook over een toeristische weg naar een uitzichtspunt bij de Rijn-watervallen. Deze weg is door hoge stijgpercentages onbegaanbaar voor normale bussen, maar de shuttle kan hier wel rijden. Door die toevoeging is er een ov-verbinding ontstaan tussen het centrum en het uitzichtspunt en laat daarmee een kans zien van autonome shuttles, namelijk ov bieden waar dat eerst niet mogelijk was.

Al deze voorbeelden laten zien dat de autonome shuttle in opmars is. Als blijkt dat exploitatie rendabel is zullen de overheden en bedrijven blijven investeren in deze technologie.

Exploitatie openbaar vervoer

Exploitatiesaldi van openbaar vervoer zijn bedrijfsgevoelige gegevens. Bij de gesprekken met de ov-autoriteiten en vervoerders is gevraagd of deze gegevens beschikbaar waren, maar bij navraag door de betrokken personen konden deze niet verstrekt worden. In de literatuur wordt wel gesproken over exploitatiekosten en opbrengsten van het openbaar vervoer, maar alleen in verdelingen of totalen van kosten en baten. Exacte gegevens staan niet in openbare stukken.

Er is daarom gebruikt gemaakt van landelijke kengetallen en onderzoeken. Deze stukken zijn voornamelijk studies van het Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid en het CROW/KpVV. De stukken zijn nuttig om een beeld te krijgen waar ov-exploitatie uit bestaat. Om een gedetailleerder beeld te krijgen op regionaal niveau, zoals provincie Noord-Holland, zijn er ook jaarverslagen van vervoerders en concessieverleners gebruikt. Om een verdere detaillering te krijgen van deze verslagen zijn ook actuele dashboards gebruikt. Deze stukken geven een stand van zaken over exploitatie in een concessie. Als laatste wordt er ook wetenschappelijke literatuur geraadpleegd op het gebied van effecten in ov-exploitatie en effecten van autonoom vervoer in het ov.

Naast literatuur is er ook contact gezocht met investeerder Rebel Group van een autonome shuttle-pilot. De pilot betreft die van het Haga-ziekenhuis in Den Haag. Deze proef is een autonome shuttle over een openbare weg tussen een ov-halte en de ingang van het ziekenhuis. Dit project is een samenwerking tussen vervoerder HTM, het Haga Ziekenhuis en Rebel Group (Haagse Tramweg Maatschappij, 2019). Met advies- en investeringsbureau Rebel is contact gemaakt om een aantal details over het project te weten te komen. Het bureau heeft een reputatie dat zij alleen investeren als een project rendabel te krijgen is, hierdoor bleek het interessant om met hen contact te leggen (Van Baekel, 2019), zie Tabel 4.

Bedrijf	Naam	Functie
Rebel Group	Koen van Baekel	Financieel adviseur infrastructuur en verkeer; Director RebelGroup International en RebelGroup Automated Shuttles

Tabel 4: Geïnterviewde partij autonome shuttles

Exploitatieopbrengsten openbaar vervoer

De baten van het OV bestaan uit meerdere delen. Zo is het OV meer dan alleen de bus die buiten rijdt, maar ook een grote speler in het bereikbaar houden van mensen. Zo kan het OV invloed hebben op verschillende vlakken. Als eerste zijn er directe effecten voor reizigers, zoals wacht- en rijtijd. Verder zijn er directe effecten voor infrabeheerders en vervoerders, zoals exploitatiesaldi; indirecte effecten, zoals agglomeratie-effecten. Tevens zijn er externe effecten, zoals emissies en geluidshinder. Tenslotte zijn er verdelingseffecten, zoals toename van het bbp. (CPB/KiM, 2009).

Zoals vermeld in de probleemstelling is de scope van dit onderzoek de ov-exploitatie. Dit zorgt voor een duidelijker beeld voor het onderzoek en maakt de analyse meer kwantitatief en minder complex. In goede terminologie wordt er gesproken over opbrengsten of exploitatiebaten.

De exploitatiebaten of -opbrengsten bestaan uit twee grote delen. Het eerste deel zijn de opbrengsten uit ticketverkoop van passagiers en een tweede deel zijn (overheids)bijdragen vanuit opdrachtgevers, zoals de provincie Noord-Holland. Uit deze twee resultaten wordt de *kostendekkingsgraad* berekend. De kostendekkingsgraad is de hoeveelheid van de kosten die gedekt worden door kaartverkoop. Een kostendekkingsgraad van 100% betekent dan ook dat de reizigersverkoop alle kosten van het aangeboden OV kunnen dekken. In bijna alle gevallen is dit niet zo en betaalt de overheid middels een subsidie via de concessieverlener een groot deel van het openbaar vervoer.

De (overheids)bijdrage wordt bekostigd vanuit het BDU (Brede Doel Uitkering Verkeer en Vervoer), geregeld door de gelijknamige wet (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2005). Deze bijdrage wordt per OV-autoriteit vastgesteld voor een bepaalde tijd en kan gebruikt worden voor bijvoorbeeld de exploitatie van het openbaar vervoer, sociale veiligheid in OV en infrastructuurprojecten op basis van meerjarige beleidsplannen. De OV-autoriteit is binnen de gestelde regels vrij om de BDU te verdelen.

Het andere deel van de exploitatiebaten komt vanuit de reizigersopbrengsten. Zoals beschreven is de kostendekkingsgraad een goede indicator voor de verhouding van exploitatiebaten van het OV. Immers als het aantal betalende reizigers groeit, dan zal de kostendekkingsgraad ook stijgen. Niet alle OV-concepten zijn even kostendekkend en daarnaast zijn er per concessie verschillende kostendekkingsgraden te vinden (Noordelijke Rekenkamer, 2017). Deze zijn vaak als eis of doel in een concessie of visie meegenomen (OV Bureau Groningen Drenthe, 2019). De concessie-verstrekende partij zal namelijk de 'overheidsbijdragen' moeten bekostigen vanuit hun BDU en heeft dus baat bij een afgesproken kostendekkingsgraad met de concessienemer.

Vanuit jaarverslagen en literatuur is het volgende overzicht gemaakt van verschillende kostendekkingsgraden in Tabel 5. De resultaten uit de tabel zijn niet verrassend, aangezien lijn-types zijn opgesteld op gebruik door reizigers en de kostendekkingsgraad ook afhankelijk is van aantallen reizigers.

	Dunne lijn	Gemiddelde lijn	Dikke lijn
(Provincie Utrecht, 2017)/ (Bestuur Regio Utrecht, 2012)	20%	47%	69%
(GVB, 2017)	-	-	88%
(Provincie Noord-Holland, 2012)	47% (Texelhopper)	30%	>50%
(Noordelijke Rekenkamer, 2017)	26%	39%	99%
(OV Bureau Groningen Drenthe, 2019)	26%	39%	99% (Q-liner)/ 59% (Q-link)
(Regio Gooi en Vechtstreek, 2018)	<30%	42%	-
(Provincie Fryslân, 2018)	35%	45%	-
Concluderend (gemiddelde)	<30%	40%	~75%

Tabel 5: Kostendekkingsgraden van de verschillende type lijnen

Aan de andere kant van de exploitatieopbrengsten van het openbaar vervoer zijn de directe opbrengsten uit reizigers. Per concessiegebied hangt het ervan af wie deze int. Zo is bij ov-autoriteit Groningen-Drenthe het ov-bureau verantwoordelijk voor inning en verdeling van de opbrengsten en

is bij de Vervoersregio Amsterdam de vervoerder verantwoordelijk voor inning van de reisopbrengsten.

De opbrengsten uit reizigers bestaan uit vier categorieën: Studenten ov, abonnementsgelden, reizen op saldo en overige producten, zoals dagkaartjes of eurokaartjes. Hieronder een korte toelichting en de grootste gebruikersgroep.

Studenten ov is de verzamelnaam voor een contract van de overheid met de ov-autoriteiten die ervoor zorgt dat studenten en scholieren gratis of met korting met het openbaar vervoer kunnen reizen. Naar aanleiding van een verdeelsleutel die is opgesteld op basis van het aantal gereisde student-ov-kilometers wordt een bedrag vergoed aan de ov-autoriteit (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2014). Alle inkomsten in deze categorie zijn dus vanuit studenten en scholieren en hebben daarmee ook voornamelijk een reisdoel als school of studie.

Ten tweede zijn de abonnementsgelden en de daaraan klevende opbrengsten. Abonnementsgelden kunnen regionale en nationale abonnementen bevatten. De opbrengsten kunnen per abonnement verschillen. De voornaamste doelgroep zijn forensen en regelmatige gebruikers. Dit omdat de kosten voor een abonnement pas bij veelvuldig gebruik opwegen tegenover de lagere ritkosten. Hierdoor is dit alleen voor regelmatige gebruikers rendabel. De reisdoelen zullen worden daarmee op woon-werkverkeer geschat, immers is een woon-werk verplaatsing een dagelijkse bezigheid.

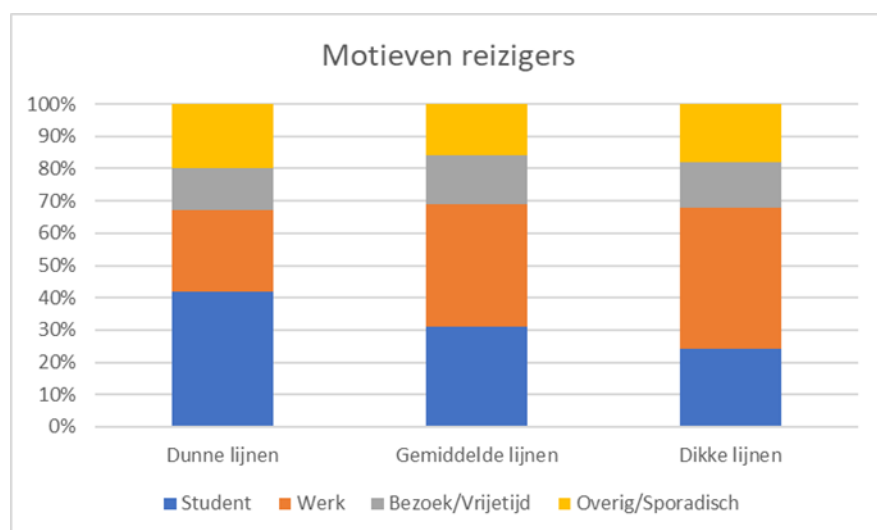
De derde categorie is het reizen op saldo. Deze opbrengsten komen direct van de gebruiker af naar de systemen. Reizen op saldo wordt gebruikt door reizigers die niet vaak reizen. Een abonnement is daarom dan ook niet rendabel. Reisdoelen zijn daarmee sporadisch zoals een ziekenhuisbezoek, een dagje uit of familiebezoek.

De laatste categorie is zijn de overige producten. Dit zijn landelijke acties zoals goedkope trein-dagkaartjes of regionale producten zoals het eurokaartje in Groningen of de "Dagkaart Limburg Bus" in Limburg (Arriva, 2019). Deze groep is vaak wel op de hoogte van dit soort kaartjes en zal hier onderzoek naar gedaan hebben of hebben nagevraagd. Deze groep is als sporadisch of vrijetijdsreiziger aan te merken qua reisdoelen omdat ze zich interesseert in hoe te reizen.

Met behulp van de ov-klantenbarometer kunnen de reisdoelen binnen bepaalde concessies in kaart gebracht worden. De reisdoelen geven op hun beurt een indicatie in de opbrengsten. Deze opbrengsten zijn op hun beurt niet uit te rekenen omdat dit marktgevoelige informatie betreft, maar een verandering is wel in kaart te brengen (CROW, 2019). Deze resultaten zijn weergegeven in Tabel 6. Een bewerking hierop voor het onderzoek in Figuur 5.

Concessie	Nummer figuur 2	Type hoofdmoot concessie	Student	Werk	Bezoek Vrijetijd	Overig	Totaal
Stadvervoer Amsterdam - Tram	5	Dikke lijnen	20%	31%	12%	37%	100%
Stadvervoer Amsterdam - Bus	5	Dikke lijnen	29%	42%	12%	17%	100%
Waterland		Gemiddeld	35%	39%	11%	15%	100%
Zaanstreek	3	Gemiddeld	29%	42%	13%	16%	100%
Amstelland-Meerlanden	6	Gemiddeld tot HOV*	17%	58%	11%	14%	100%
Gooi en Vechtstreek	7	Dun tot gemiddeld	34%	34%	16%	16%	100%
Haarlem/IJmond	4	Gemiddeld	30%	32%	17%	21%	100%
Noord-Holland Noord		Dunne lijnen	49%	22%	13%	16%	100%

Tabel 6: Percentage reismotieven binnen concessie *: Amstelland-Meerlanden bevat ook HOV R-Net lijnen en de Zuidtangent rond mainport Schiphol



Figuur 5: Visualisatie reismotieven



Figuur 4: Visualisatie concessiegebieden Noord-Holland

Omdat de provincie Noord-Holland het onderzoeksgebied is van de scope zijn de concessies die in deze provincie liggen gekozen, ofwel die van ov-autoriteiten provincie Noord-Holland en Vervoersregio Amsterdam. In Figuur 4 staat een schematische afbeelding van de concessiegebieden, de nummers komen overeen met die in Tabel 6.

Wat er uit de tabel en de figuur gehaald kan worden zijn een aantal zaken, deze staan hieronder beschreven.

Als eerste valt op te merken dat binnen de meer stedelijke gebieden, waar de dikke vervoerstromen liggen, het aandeel werkmotieven hoog ligt. Dit is te zien in de concessies van het stadsvervoer en de Amstelland-Meerlanden concessie, waar een groot HOV-busnetwerk rondom Schiphol onder valt.

Tevens is een uitschieter te zien bij de overige reismotieven op de tramconcessie. Dit laatste is te verklaren doordat dagjesmensen eerder geneigd zijn de stadstram te nemen dan de op de buitenwijk gerichte stadsbus.

Ten derde valt bij gemiddelde lijnen op te merken dat het aandeel studentreizen ongeveer gelijk ligt aan het aandeel woon-werk reizen, de forensen. Bij concessie Zaanstreek is wel een hoger aandeel werkreizen te zien, dit zal te verklaren zijn door de goede verbinding die de Zaanstreek heeft met Amsterdam en de Zaanstreek een goed woonklimaat heeft (Centraal Bureau Statistiek, 2017).

Als laatste valt op dat in de gebieden met dunnere lijnen, voornamelijk concessie Noord-Holland Noord, een groot aandeel van studiereismotieven heeft. Omdat er in deze provincie maar één duidelijke dunne lijnen concessie is, is dit ook bekeken bij de concessies in de provincies Groningen, Friesland en Drenthe. In deze provincies is het aandeel dunne lijnen hoog. Hier is te zien dat in deze concessies met dunne lijnen het reismotief grotendeels 'studie' betreft (OV Bureau Groningen Drenthe, 2019).

Exploitatiekosten openbaar vervoer

Naast de exploitatie-opbrengsten van het ov zijn er ook exploitatiekosten van het ov. In deze sectie worden de kosten toegelicht. Ook de kosten zijn marktgevoelige informatie en de geïnterviewde partijen kon deze niet prijsgeven. Wel kan er wederom gebruikt worden gemaakt van kostenkengetallen, wetenschappelijke stukken en jaarverslagen (CROW-KpVV, 2015) (CVOV, 2005) (Van Goeverden & Schoemaker, 2000) (MuConsult, 2015) (Inno-V, 2007). Met behulp van deze documenten kunnen wel relatieve verdelingen en inschattingen worden gemaakt van exploitatiekosten.

De kosten van de exploitatie zijn te verdelen in zes categorieën; direct personeel, indirect personeel, materieel, kilometerkosten, indirecte kosten en risico en winst. De posten worden in de volgende paragrafen toegelicht samen met wat hierop invloed heeft.

Als eerste zijn er de directe personeelskosten. Deze kosten omvatten het personeel wat op de bus of tram zit, ofwel de bestuurder en eventuele stewards. Vanuit alle documenten en jaarverslagen wordt duidelijk dat het percentage van direct personeel ongeveer de helft van alle kosten bedragen om de bus of tram te laten rijden. De invloeden die hierop uitgeoefend kunnen worden zijn vanzelfsprekend minder personeel inhuren of de taken versimpelen waardoor personeel in een lagere loonschaal kan vallen.

Als tweede categorie is er het indirecte personeel. Dit is personeel dat de marketing doet, de administratie, het beleid, de verkeersleiding en het klantencentrum. Kortweg alle functies die op een hoofdkantoor uitgevoerd kunnen worden. Deze groep is een stuk kleiner qua omvang in het totale kostenplaatje met een percentage van 10%. Ook hier zijn de jaarverslagen en kengetallen het met elkaar eens over de omvang. Invloeden die deze kostengroep veranderen zijn lastig te kwantificeren en zullen daarmee niet significant toe- of afnemen bij een groter of kleiner wordend netwerk. Bij een groot netwerk en dienstuitvoering zijn er uiteraard wel schaalvoordelen ten opzichte van een klein netwerk en dienstuitvoering.

De derde categorie is het materieel. Immers kan een dienstuitvoering niet gedaan worden zonder materieel. In vroegere tijden werd het materieel door de vervoerder zelf gekocht en dan over een periode van x jaar afgeschreven. Tegenwoordig ligt dat anders, materieel wordt nu geleased van leasemaatschappijen. De vervoerder betaald dan een bepaald bedrag per jaar (wat iets hoger is dan wat de eigen afschrijving was geweest) maar er is minder risico. Dit risico is significant in de laatste jaren van een concessie als deze niet voorgezet mag worden. Het kan ook zijn dat uit milieuoverwegingen de concessiehouder het materieel leaset aan de vervoerder (Provincie

Gelderland, 2019). Het aandeel materieelkosten in het totaalplaatje van de exploitatie ligt dit op ongeveer 10 tot 12 procent. De jaarverslagen en kengetallen zitten zijn het met elkaar eens met een aandeel rond 1/10^e tot 1/9^e deel van het totaal. Invloeden op deze kostencategorie liggen in de verandering van aanschaf- of leaseprijs van het materieel.

Naast de materieelkosten om het materieel in de remise te hebben zijn er ook kilometerkosten. De kilometerkosten bestaan uit het onderhoud en brandstof. Deze kosten worden groter naarmate er meer gereden wordt en minder als er minder gereden wordt. Daarnaast worden met de huidige technologische ontwikkelingen deze kosten lager. Dit omdat de trend is dat er uit milieuoverwegingen meer op stroom wordt gereden dan op diesel of benzine als brandstof, wat het goedkoper maakt. Elektriciteit is namelijk goedkoper dan fossiele brandstoffen (Shell, 2019). Tevens komen in de motoren minder bewegende delen voor, (mede veroorzaakt door de omschakeling naar elektrische motoren) wat het onderhoud ook minder frequent maakt (Nauta, 2018). Over deze categorie is niet alle literatuur het eens met elkaar. Jaarverslagen noemen de kilometerkosten niet specifiek omdat dit marktgevoelig is. Er wordt hier dan ook uitgegaan van het meest recente kostenkengetal van het CROW-KpVV van ongeveer 20% van de totaalsom. Kleinere buurtbusconcepten zijn over dit onderdeel iets specifieker, maar ondersteunen het kengetal van CROW-KpVV ook (ARUP/TNO, 2018).

Waar de kilometerkosten directe kosten zijn, zijn er ook indirecte kosten. Deze kosten bevatten de overhead van de organisatie, ofwel huisvesting, ICT en beheer. Deze kosten veranderen net als bij de indirecte personeelskosten niet significant bij verandering in de dienstuitvoering. Dit komt door factoren dat een kantoorpand of ICT-infrastructuur moet blijven bestaan ondanks dat er minder of meer gebruikt door wordt gemaakt. De kostenkengetallen en jaarverslagen laten zien dat dit het kleinste deel is van de totaalsom van de kosten, ongeveer 5%.

Als laatste categorie van de kosten is die van de risico en winst. Onder aan de streep van alle kosten blijft er nog een gedeelte over; de risico en winst. Deze wordt ingecalculeerd en de hoogte is afgesproken met de ov-autoriteit. Immers is winst nodig voor de vervoerder om zich te kunnen blijven ontwikkelen en eventuele tegenslagen op te kunnen vangen, bijvoorbeeld een busbrand. De “risico en winst” is daarmee het restant van de kosten en hangt tussen de 5 en 7 procent van het totaal. In de loop van de jaren zijn de winstmarges wel veranderd. Waar eerder dit niet als aparte categorie werd gerekend en ingecalculeerd, is dat in huidige begrotingen wel het geval. Dit is om zo transparant mogelijk te zijn omdat een groot deel van de opbrengsten overheidssubsidie zijn, zoals bij de opbrengsten beschreven.

Wat we dus kunnen concluderen over exploitatiekosten in het openbaar vervoer is samen te voegen in de volgende Tabel 7 en Figuur 6:

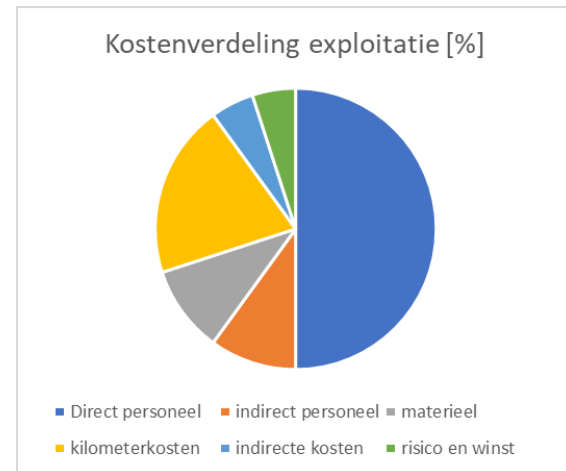
Kostensoort	Percentage	Bevat onder andere
Directe personeelskosten	50%	Rijdend personeel
Indirecte personeelskosten	10%	Marketing, administratie en verkeersleiding
Materieelkosten	10%	Lease of afschrijving van voertuigen
Kilometerkosten	20%	Onderhoud en brandstof
Indirecte kosten	5%	Huisvesting en ICT
Risico en Winst	5%	Risico en winst voor de vervoerder

Tabel 7: Verschillende exploitatiekosten

Dit is verder te projecteren op de verschillende type lijnen. Binnen deze verschillende type lijnen zijn de exploitatiekosten anders van verdeling. Aangezien het CROW een veralgemenisering heeft gemaakt voor de kengetallen, kan er aangenomen worden dat de bovengenoemde percentages voor de gemiddelde lijn gelden.

Bij de andere twee lijntypes behoren andere eigenschappen. Dit betekent dat de exploitatiekostenverdeling ook anders zijn. Deze worden hieronder behandeld.

De dunne lijn heeft als kenmerk voornamelijk door landelijk gebied te rijden. Daarnaast zijn de landelijke lijnen door grotere concessiegebieden. Om het hele gebied te bedienen zijn er langere lijnen nodig. Hierdoor worden er meer kilometers gemaakt per lijn. (David, 2018). Dit heeft als gevolg dat de kilometerkosten, onderhoud en brandstof, omhoog gaan. Uit de cijfers van het CROW (CROW-KpVv, 2017) blijkt dat de concessies die als “landelijk” of “dun” te categoriseren zijn dat deze een tweemaal zo grote afstand afleggen dan de gemiddelde lijn.



Figuur 6: Visualisatie exploitatiekosten ov

Daarnaast is de frequentie van de dunne lijn minder hoog. Dit heeft als gevolg dat er minder voertuigen nodig zijn om de frequentie te kunnen aanbieden. Het gevolg hiervan is, is dat de materieelkosten en de directe personeelskosten minder zijn dan bijvoorbeeld bij een gemiddelde lijn. De frequentie is de helft minder dan de gemiddelde lijn en daarmee zijn dus de helft minder voertuigen en personeelsleden benodigd.

Bij dikke lijnen liggen deze eigenschappen omgekeerd. De lijnen bedienen veel haltes op korte afstanden en maken daarmee minder kilometers. Uit cijfers van het CROW blijkt dat de concessies die als “centrum-stedelijk” of “dik” gecategoriseerd kunnen worden blijkt dat dit type lijn de helft van de afstand aflegt dan de gemiddelde lijn.

Daarnaast is de frequentie en het gebruik van de dikke lijn hoger dan die van de gemiddelde lijn. Dit betekent dat er meer voertuigen nodig zijn dan bij de gemiddelde lijn. Doordat de frequentie twee keer zo hoog is dan een gemiddelde lijn betekent dat het aantal voertuigen ook twee keer zo hoog ligt. Daarnaast zal elk voertuig een chauffeur nodig hebben wat die kosten ook dubbel zoveel maken.

Ten derde is de vervoersbehoefte op de dikke lijnen hoog waardoor normale bussen niet voldoende zijn. Hierdoor zijn dubbeldekker of gelede bussen benodigd. Deze zijn volgens het CROW ongeveer dertig procent duurder dan normale bussen.

De bovengenoemde veranderingen in exploitatiekosten gaan over een aantal posten. Dit betekent niet dat de verhouding van de andere posten verandert. Zo zijn directe personeelskosten van een dunne lijn twee keer zo laag dan in de gemiddelde lijn, gevolg is dus 25% directe personeelskosten. Het totaal van de dunne lijn wordt daarmee lager. Om deze weer op 100% te krijgen is een correctie benodigd over alle posten. Zo blijft de verhouding gelijk maar is het totaal weer gelijk aan 100%. Dit heeft als gevolg dat de directe personeelskosten van de dunne lijn wordt gecorrigeerd naar 40% en wordt de post van "risico en winst" 7% in plaats van 5%. Dit is toegepast op alle posten die veranderen. Al deze verschillen tussen de lijnen bij elkaar genomen kan de volgende tabel worden samengesteld:

Kostensoort	Dunne lijn	Gemiddelde lijn	Dikke lijn
Directe personeelskosten	40%	50%	57%
Indirecte personeelskosten	13%	10%	8%
Materieelkosten	7%	10%	20%
Kilometerkosten	27%	20%	8%
Indirecte kosten	7%	5%	4%
Risico en Winst	7%	5%	4%

Tabel 8: Exploitatiekosten per lijntype

Exploitatiever verschillen autonome shuttles

Uit de proeven met autonome shuttles zijn een aantal eigenschappen te halen die nuttig zijn om de exploitatie van deze in te schatten.

1. De afstand wordt te ver geacht om te lopen.
2. Het reizigerspotentieel is te laag om een reguliere bus te laten rijden.
3. Er zijn geen piekmomenten of de service is nodig op onregelmatige uren.
4. Er zijn twee points of interest; vaak HOV-halte en iets anders.
5. De shuttle is flexibel en kan opgeroepen worden in plaats van dat deze continu rijdt.

In de exploitatie zitten voordelen ten opzicht van de huidige situatie. De trend van eerdere proeven is dat de shuttles beter en goedkoper worden. Zo zijn er op dit moment een aantal duidelijke voordelen te noemen en is daarnaast nog potentie voor meer voordelen van de shuttle.

Uit de proef met de shuttle bij het Haga-ziekenhuis zijn een aantal duidelijke voordelen te noemen. Zo is de shuttle zeer toegankelijk en makkelijk te gebruiken als vervoersmiddel. Er is bijvoorbeeld een rolstoelvriendelijke instap en is de shuttle gratis. Daarnaast zorgt deze shuttle ervoor dat de verplaatsingstijd tussen de ov-halte en het ziekenhuis verkort wordt en minder moeite kost. Immers kan de reiziger verplaatsen terwijl ze zit in plaats van fysiek te hoeven lopen. Een andere kracht van de Haga-shuttle is dat er gebruik wordt gemaakt van vrijwilligers. Deze vrijwilligers hebben geen kosten tijdens operatie-uren van de shuttle wat deze goedkoper maakt in exploitatie. De vrijwilligers zelf hebben daarentegen wel een training gehad wat wel iets in de kosten werkt. Deze vrijwilligers zijn bij elke rit van de shuttle aanwezig als steward voor toezicht. Dit is naar wens van het ziekenhuis, ondanks dat de shuttle zelf kan en mag rijden. Het laatste grote voordeel van deze shuttle is dat er toezicht wordt gehouden vanuit de controlekamer van de HTM. Deze controlekamer bestond al waardoor er geen extra kosten gemaakt hoefde te worden.

De geïnterviewde van Rebel Group kon naast deze daadwerkelijke voordelen ook nog potentiële voordelen benoemen. Zo beschreef hij dat de shuttle in de toekomst zodanig rendabel kan zijn dat deze hetzelfde ov-tarief kan hebben als de rest van het netwerk. Dit maakt het dat er gemakkelijk mee te reizen is door de reiziger. Deze sprong kan behaald worden door een gespecificeerde inzet van stewards. Daarnaast zou de shuttle ook op onregelmatige tijden kunnen rijden tussen nachtnethaltes van de HTM en het ziekenhuis wat nu door onregelmatigheidstoelagen van personeel te duur is.

Op dit moment hebben de proeven met de shuttles nog een aantal nadelen met een reguliere exploitatie met een bus. Zo heeft de bus een hogere topsnelheid ten opzicht van de huidige gebruikte generatie shuttles, namelijk 100 km/h voor de bus en 30 km/h voor de shuttle. Dit werkt ook door in de gemiddelde dienstnelheid omdat de bus op bepaalde stukken sneller kan rijden en daarmee minder tijd nodig heeft. Daarnaast heeft de stadsbus meer capaciteit te bieden dan de shuttle, namelijk 70 voor de bus en 10 voor de shuttle. Er zijn dus 7 shuttles benodigd om op dit moment een bus te vervangen, wat niet bevorderlijk is voor het rendabel krijgen van de lijn.

Met informatie vanuit de exploitatie van huidig openbaar vervoer en de verschillen hiertussen met shuttles zijn er schattingen te maken van de exploitatie van shuttles. Daarin is dat te zien hoeveel duurder of goedkoper shuttles zijn in de uitvoering van een lijndienst. Hiervoor is een model gemaakt die hierna behandeld zal worden.

3.3. Methode

Voor inschatten van hoeveel goedkoper of duurder de shuttles in een reguliere lijndienst zijn, is een model gemaakt van exploitatie van openbaar vervoer. Het model betreft een rekentool die van de verschillende parameters van ov-exploitatie een doorrekening maakt. Het model heeft als uitkomst een bepaald DRU-tarief. Dit tarief staat voor de kosten van een DienstRegelingsUur. Zoals gebleken uit de theorie zijn er geen exacte cijfers bekend van kostenparameters, er zijn alleen verhoudingen en kostenkengetallen bekend. Naast deze verhoudingen zijn de verschillen in exploitatie bekend tussen de bus en de shuttle. De output van het model geeft dan ook de relatieve verandering van het DRU-tarief als er shuttles worden gebruikt ten opzichte van bussen. Voor het onderzoek is het interessant om te zien op welk punt de shuttles goedkoper worden in exploitatie dan een reguliere bus en dus een omslagpunt inzichtelijk te maken.

Invoer

Er wordt onderscheid gemaakt tussen drie lijntypes, zodat de invloed op meerdere vlakken met elkaar vergeleken kan worden. In de theorie is duidelijk gemaakt wat de verschillen zijn tussen de drie lijnen. Daarmee is er ook een verschil in invoer tussen de lijnen. In Tabel 9 staan de verschillen per invoercategorie, deze zijn afgeleid en aangenomen uit de literatuur.

	Dunne lijn	Gemiddelde lijn	Dikke lijn
Gemiddelde snelheid [km/h]	40	30	15
Frequentie [/h]	1	2	4
Rij-uren per dag [h]	14	16	18
Energie [€/km]	0,3	0,4	0,575
Wegenbelasting [€/jaar]	650	700	750
Kilometerkosten [€/km]	0,25	0,325	0,4225
Indirecte kosten [%]	7	5	4
Risico/winst [%]	7	5	4
Aantal passagiers per voertuig [-]	20	70	90

Tabel 9: invoerverschillen tussen de lijntypes

Ook is er een verschil in invoer tussen shuttle en bus. Zoals in de theorie vermeld zijn een aantal parameters die veranderen bij de komst van een shuttle. Zo duurt het bijvoorbeeld langer voordat een shuttle onderhoud benodigd heeft omdat er minder bewegende delen zijn. Dit heeft een positief effect op de kilometerkosten. De verschillende invoer staat in Tabel 10 vermeld. Het getal bij de bus staat het getal van de gemiddelde lijn vermeld. Bij de doorrekening is uiteraard ook gebruik gemaakt van de verschillen tussen de drie lijntypes.

	Shuttle	Bus (gemiddelde lijn)
Kilometerkosten [€/jaar]	0,26	0,325
Energie [€/km]	0,3	0,4
Materieel [€/jaar]	Gevarieerd	36000
Aantal passagiers per voertuig [-]	Gevarieerd	70
Aantal chauffeurs/operators	Altijd 1	1 per voertuig

Tabel 10: Verschillen invoer bus en shuttle

Zoals te zien in de tabel zijn er bij de shuttle een aantal parameters “Gevarieerd”. Deze parameters zijn, om te zoeken naar het omslagpunt, gevarieerd om het omslagpunt te kunnen vinden. Dit staat verder beschreven onder de sectie Doorrekening.

Verdere aannames

Zoals bij elk model zijn niet alle parameters exact te bepalen. Zo zijn ook bij dit model en de analyse een aantal aannames gemaakt. Voor de shuttles is aangenomen dat de gemiddelde snelheid hetzelfde is als die van de reguliere bus. Dit is gedaan omdat als de gemiddelde snelheid niet even groot is een dermate groot aantal shuttles benodigd is dat ze geen concurrent zijn voor de bus. Tevens zijn de allernieuwste shuttles die op dit moment geleverd kunnen worden wel van voldoende niveau om de gemiddelde snelheid te halen (Navya, 2019), maar wordt in de Nederlandse proeven dit nog niet toegepast.

Verder is aangenomen dat de exploitatie van de shuttles geen extra kostencategorieën met zich meebrengt. Dit is gedaan om het verschil tussen bus en shuttle duidelijk te houden. Op dit moment zijn er bij autonome shuttles nog extra categorieën aanwezig zoals onderzoek en speciale toelating. Deze kosten zijn voor de vergelijking niet meegenomen.

Ook is aangenomen dat de loonkosten voor een operator van shuttles gelijk zijn als die van een buschauffeur. Bij autonome shuttles ligt de verantwoordelijkheid van het rijden van de shuttle bij de operator. Op dit moment wordt dan ook de operator als chauffeur gezien en is de schatting in dit onderzoek dat deze in een vergelijkbare loonschaal zit. Er is wel een verschil tussen de operator en de chauffeur. De operator moet meer shuttles in de gaten kunnen houden, wat wel geclassificeerd kan worden als zwaarder werk. Aan de andere kant is de operator niet bezig met fysiek rijden, wat het werk lichter maakt.

Tevens is aangenomen dat een autonome shuttle 10 jaar mee kan. Dit is vergelijkbaar als met een huidige bus. Dit betekent dat de aanschafprijs van een shuttle door 10 wordt gedeeld om een jaarlast te krijgen. Voor de uitgangssituatie is een schatting gemaakt vanuit het Haga-shuttle-project. De kosten van dit project zijn €1,2 miljoen (Haagse Tramweg Maatschappij, 2019), daarvan is ongeveer de helft voor de aanschaf van de shuttle (Van Baekel, 2019) en de andere helft voor trainingen, infrastructuur, onderzoek en overige kosten.

Aan de andere kant is ook een aanname gedaan aan de opbrengsten kant, namelijk een constante vervoersvraag. Het aantal shuttles wordt bepaald op basis van de vervoersvraag op die lijn. Dit kan betekenen dat er meer shuttles nodig zijn als de capaciteit per shuttle klein is. Dit betekent dat er een hogere frequentie kan worden gereden omdat er meer voertuigen beschikbaar zijn. Volgens (CPB/KiM, 2009) is het gevolg van hogere frequentie ook een hogere vervoersvraag. De lijntypes zelf schrijven een bepaalde frequentie voor en deze wordt daarom aangehouden en daarmee de vervoersvraag constant. Deze aanname strijkt daarmee niet met wetenschappelijke literatuur maar is gemaakt ter versimpeling van het model.

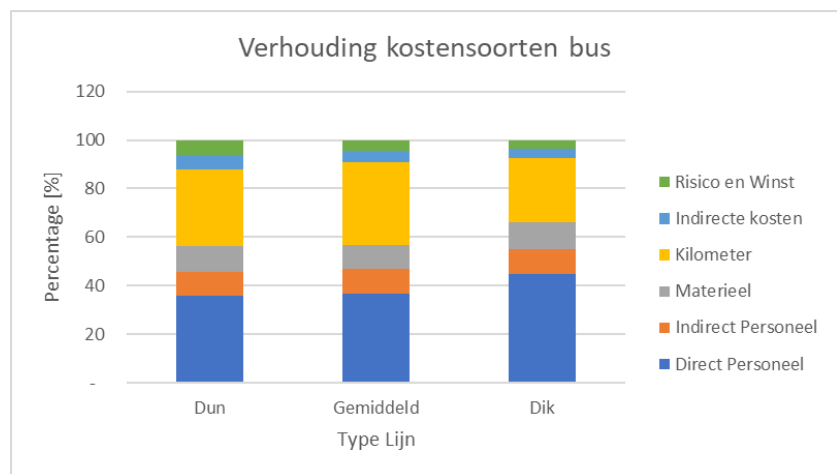
3.4. Doorrekening

De doorrekening van de exploitatie is in een aantal stappen gedaan. Eerst zijn de invoerparameters vergeleken aan de theorie. Daarna is voor de autonome shuttles de verschillen per lijn bekeken met een vaste waarde in “materieelkosten” en “aantal passagiers”. Na deze twee stappen is er met deze twee parameters gevarieerd om achter een omslagpunt te komen.

Exploitatie bus

Eerst zijn de verschillende kostensoorten van de reguliere bus als uitkomst gekomen en zijn deze gevalideerd aan de bekende verhoudingen vanuit de landelijke kostenkengetallen en jaarverslagen. Daarna zijn de invoerparameters meer toegespitst op de (actuele) data van Noord-Holland zodat het model een beter beeld van de werkelijkheid kan worden verkregen.

In Figuur 7 staat de verdeling van kosten van de reguliere bus per type lijn. Zoals te zien zijn de verhoudingen uit de theorie iets anders dan die uit het model. Het verschil zit hier vooral in hoge

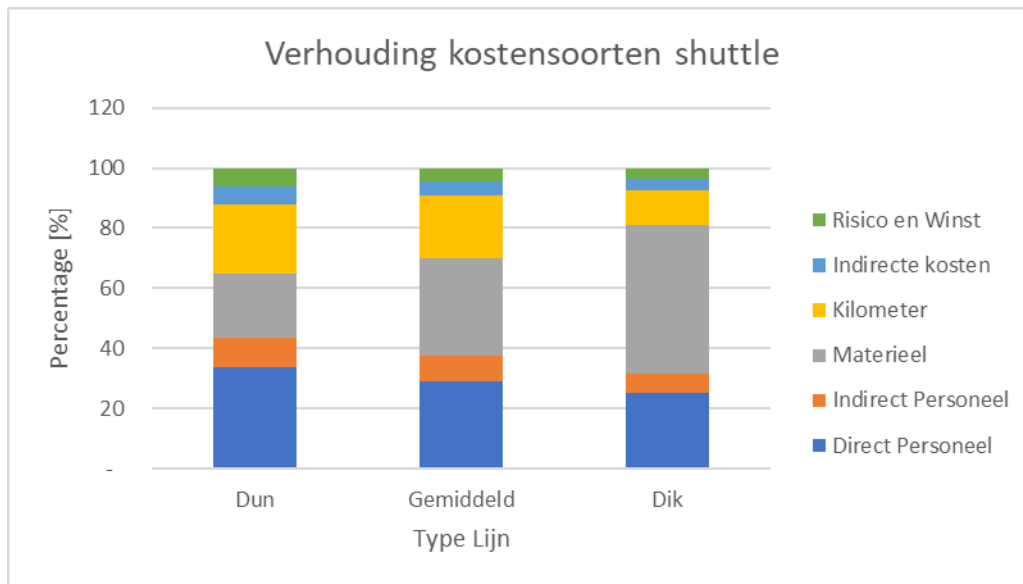


Figuur 7: Kostenverdeling reguliere bus

kilometerkosten. Waarom deze kosten in het model ten opzichte van literatuur en jaarverslagen verschilt, is niet te achterhalen omdat kilometerkosten bedrijfsgevoelig zijn. De schatting van de kilometerkosten in het model zijn daarentegen gemaakt op de kostenkengetallen en data waarvan wordt aangenomen dat deze correct zijn.

Exploitatie shuttle

Na de reguliere bus is de invoer voor de shuttle in het model ingevoerd. Uit het model kwam de verdeling die staat in Figuur 8.



Figuur 8: Kostenverdeling autonome shuttle

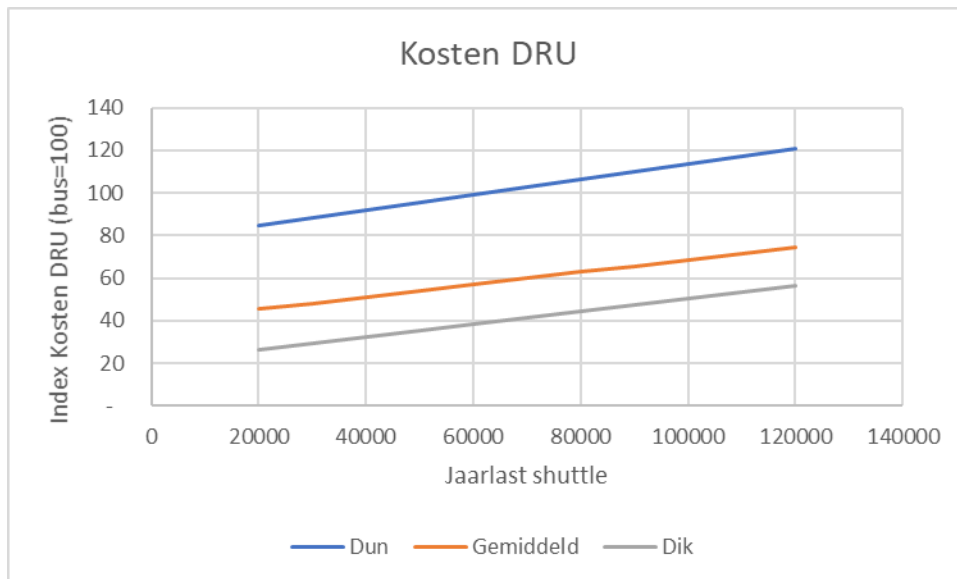
In deze figuur is te zien dat in de verdeling van exploitatiekosten het materieel een groter deel inneemt dan bij de bus (in Figuur 7). Tevens wordt het aandeel materieel steeds groter als de lijn “dikker” wordt. Deze twee zaken zijn te verklaren doordat een autonome shuttle duurder is dan een reguliere bus én er minder chauffeurs (bij shuttles: operators) benodigd zijn.

Bij de dunne lijn waar 1 shuttle per uur rijdt is dat goed te zien. Hier is het voordeel van geen chauffeur niet te zien ten opzichte van de verdeling van de reguliere bus. Immers rijdt er in dat uur 1 voertuig op de lijn, die wel een eigen operator nodig heeft. Met een andere kijk kan men zeggen dat er alsnog 1 chauffeur per voertuig is. Bij de gemiddelde en dikke lijn is het schaalvoordeel van zonder chauffeur rijden, wel te zien. Hier blijft 1 operator benodigd, ook bij meer voertuigen. Dit verklaart het toegenomen aandeel materieel en afgenomen aandeel direct personeel.

Variëren in parameters

Nadat de verdeling van de kosten over de drie type lijnen bekend is, kan er bekeken waar het omslagpunt zit per type lijn. Dit wordt gedaan op twee manieren. De eerste manier is het variëren in de aanschafkosten, aangezien deze kosten het grootste aandeel hebben bij de shuttle. De tweede manier is het variëren in passagiersaantallen. De huidige shuttles hebben op dit moment een kleine capaciteit, maar het is interessant om te weten wanneer de capaciteit zodanig is dat de kosten van het aantal shuttles minder hoog zijn dan die van een reguliere bus met chauffeur (het belangrijkste kostenaandeel van de reguliere bus).

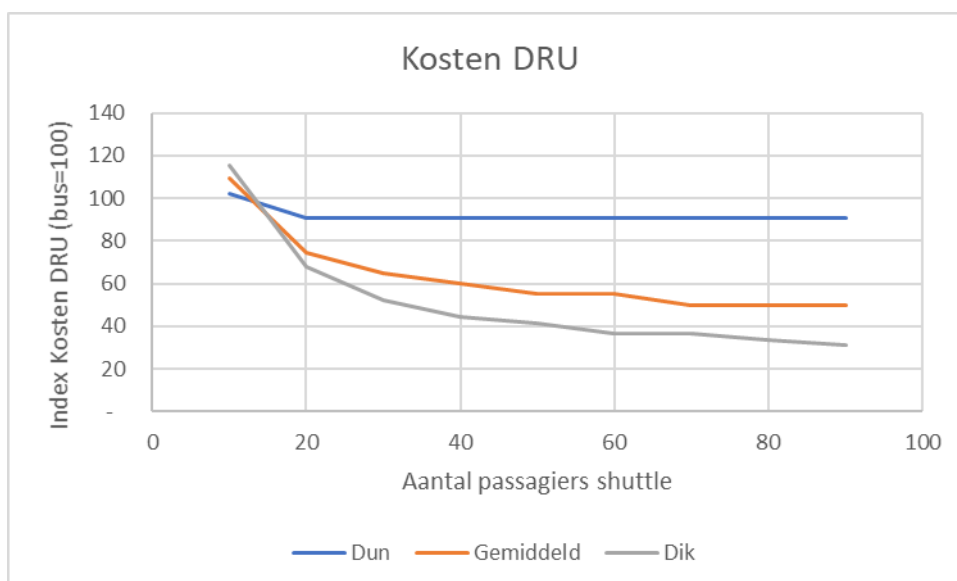
Als eerste de variatie in aanschafkosten van de shuttle. Ook hier zal de analyse relatief zijn omdat er geen exacte cijfers bekend zijn. In Figuur 9 staat de analyse met variatie in de aanschafprijs van shuttles. De kosten van het DRU van de shuttle staat als indexlijn weergegeven ten opzichte van de bus. De DRU kosten van de bus is de basis en is op 100 gesteld. In deze vergelijking is aangenomen dat de shuttles evenveel passagiers kan vervoeren als de bus.



Figuur 9: Gevarieerde aanschafkosten shuttle

Uit deze figuur is te halen dat de autonome shuttle qua dienstregeluur goedkoper is dan die van de bus. Zeker als er meer voertuigen benodigd zijn, bij de gemiddelde en dikke lijnen, liggen de kosten tot wel 75% lager bij een goedkope shuttle. Als de jaarlast van de bus wordt bekeken (€36.000,- red.) dan zijn de shuttles met elk lijntype goedkoper, met de dunne lijn het duurst per uur. Dit is te verklaren doordat bij de dunne lijn alleen winst wordt behaald in goedkopere onderhoudskosten en een goedkopere energiebron (elektriciteit). Bij de gemiddelde en dikke lijn is het nog goedkoper doordat het schaalvoordeel optreedt dat er 1 operator benodigd is ten opzichte van 1 chauffeur per voertuig.

Naast deze uitkomst is ook de passagierscapaciteit gevarieerd. De jaarlast van het materieel van de shuttle is in deze analyse op gelijke hoogte gezet als die van een bus. Dit om een goed beeld te krijgen waar het omslagpunt zit. Voor de analyse is per lijn bepaald wat de capaciteit is per uur, namelijk frequentie maal capaciteit per voertuig. Het aantal shuttles dat op dat moment nodig is wordt dan bepaald door de capaciteit per uur te delen door het aantal passagiers dat de shuttle kan vervoeren. In Figuur 10 staat de uitkomst van deze analyse.



Figuur 10: Gevarieerde passagiersaantallen shuttle

Wat aan deze figuur te zien is, is dat het voordeel van goedkopere exploitatie bij een dunne lijn kleiner is dan bij de gemiddelde en dikke lijn. Dit heeft te maken doordat de capaciteit van een dunne lijn klein is, namelijk 20 personen per uur. Bij meer dan 20 personen capaciteit in de shuttle kan al aan de vervoersvraag worden voldoen en vervalt het voordeel bij verdere capaciteitsvergroting van de shuttle. Eventuele verdere reductie van de DRU is om de frequentie te verlagen, maar dit valt buiten de scope van deze analyse. De kosten van het DRU blijven dan ook gelijk bij een frequentie van 1 maal per uur. De kosten zijn wel iets lager (ongeveer 10%) dan bij een normale bus. Dit is toe te schrijven aan het goedkopere onderhoud en goedkopere energie.

Bij de gemiddelde en dikke lijn is wat anders te zien. Deze twee lijntypes zijn bij 10 personen capaciteit duurder in DRU dan de reguliere bus. Dit komt omdat de vervoersvraag hoger ligt dat er een dermate grote hoeveelheid shuttles benodigd is, dat dit duurder wordt dan een bus met chauffeur. Bij een capaciteit van 20 personen is dit verschil verdwenen. Bij die capaciteit is het aantal meer aan te schaffen shuttles goedkoper dan 2 (bij gemiddeld) of 4 (bij dik) bussen per uur met chauffeur. Op een bepaald moment stagneert het behaalde voordeel. Dit is toe te schrijven omdat er om aan de frequentie van 2 (of 4) maal per uur moet worden voldaan dus er blijven altijd 2 (of 4) shuttles benodigd, hoe groot de capaciteit van de shuttle ook is.

3.5. Conclusie

Vanuit voorgaande stukken zijn de volgende zaken te concluderen om deelvraag 2: *“2. Hoe verhouden autonome shuttles zich tot de belangrijkste parameters van de exploitatie van openbaar vervoer?”* te beantwoorden.

Vanuit het literatuuronderzoek is bekend geworden dat exacte cijfers over exploitatie van openbaar vervoer lastig te verkrijgen zijn, omdat het marktgevoelige informatie betreft. Wel is bekend geworden dat de belangrijkste baten in exploitatie van openbaar vervoer kaartverkoop en subsidies zijn. Daarnaast blijkt hoe ‘dikker’ de lijn is, hoe meer kostendekkend deze is. De kaartverkoop richt zich op een aantal reizigersgroepen waarvan de forens en student samen de grootste deel van 70% vormen. Tevens neemt het aantal forensen toe naarmate de lijn dikker wordt geclassificeerd.

Aan de kant van exploitatiekosten is duidelijk geworden dat de belangrijkste parameter “directe personeelskosten” betreft. Hierin vallen de chauffeurs en andere werknemers op het ov-voertuig. Dit is gunstig voor de concurrentiepositie van de autonome shuttle omdat deze geen chauffeur benodigd heeft. Dit is ook te zien in een doorrekening die is gemaakt met behulp van een model. De autonome shuttle heeft een groter aandeel materieelkosten naarmate de lijn dikker wordt. Dit is te verklaren omdat er 1 operator benodigd. Bij meer shuttles is dan te zien dat dat kostenaandeel daalt omdat het materieelkosten aandeel stijgt.

Bij het variëren in aanschafkosten van shuttles valt op te merken dat de shuttles op de dunne lijn goedkoper zijn dan bussen als de shuttles minder dan €600.000,- kosten. Bij de gemiddelde en dikke lijn zijn shuttles altijd goedkoper. Hier is wel op te merken dat de capaciteit en snelheid van de shuttles gelijk zijn als die van een bus.

Als er wordt gekeken naar een even dure shuttle als bus dan is te zien dat bij 20 passagiers per shuttle er een goedkopere exploitatie is. Er is hierin meer voordeel te halen als de frequentie omhoog gaat en er daarmee meer vervoerscapaciteit is. Dit is vooral handig bij een grote vervoersvraag. Bij een kleine vervoersvraag is het efficiënter omgaan met vervoersvraag effectiever omdat er geen groter voordeel is te behalen met een lagere frequentie, er blijft altijd een voertuig benodigd. Bij de analyse is duidelijk geworden dat de dunne lijn 10% goedkoper is, de gemiddelde lijn 50% goedkoper en de dikke lijn 75% goedkoper te exploiteren is dan met reguliere bussen. In acht genomen dat de aanschafprijs en snelheid gelijk is aan die van de huidige bus.

Er zijn dus een aantal factoren benodigd om van de autonome shuttle een rendabele exploitatie te maken. De shuttle moet minimaal 20 personen kunnen vervoeren, geen gebonden steward per voertuig hebben, niet te duur zijn en de snelheid vergelijkbaar zijn als met de huidige bus. Deze eigenschappen zijn op dit moment niet aanwezig bij de shuttles waar proeven mee worden gedaan. De lijntypes die bij dit onderzoek zijn opgesteld, om de exploitatie van shuttles te meten, zijn dus niet geschikt voor huidige generatie shuttles. Deze kunnen wel geschikt zijn op plekken waar nu de frequentie minder dan 1x per uur is, of geen ov is. Hiervoor is wel verder onderzoek benodigd. Daarentegen staat de techniek niet stil en is de verwachting dat er betere shuttles op de markt zullen verschijnen, net zoals bij het Rivium. Bij doorontwikkeling van de huidige generatie shuttles kunnen bovenstaande eigenschappen wel bereikbaar worden. Daarmee kan op de lange termijn de exploitatie van de shuttle goedkoper worden dan exploitatie met een bus op de onderzochte lijntypes.

4. Conclusie

De hoofdvraag van dit onderzoek is *“Wat hebben mogelijke verwachte ontwikkelingen van autonome voertuigen voor invloed op de exploitatie van openbaar vervoer in Noord-Holland?”*. Aan de hand van de twee deelvragen is deze te beantwoorden.

Met de eerste deelvraag *“1. Hoe zien verschillende actoren van het openbaar vervoer in Noord-Holland de kansen, bedreigingen en onzekerheden van ontwikkelingen van autonome voertuigen op openbaar vervoer?”* is tijdens de uitvoering van dit onderzoek gebruik gemaakt van interviews om reacties te verzamelen van ov-autoriteiten. In deze interviews zijn verschillende scenario's aan bod gekomen, opgesteld door het KiM en kwantitatief gemaakt door Arcadis/TNO. De uitkomst van deze interviews is dat er een sceptisch beeld is of private autonome voertuigen ooit wel een dominante positie gaan krijgen in het verkeersbeeld. Aan de andere kant zien de belanghebbenden wel kansen om autonome technieken in te zetten in de volledige deur-tot-deur ketenreis van het openbaar vervoer. Dit in de vorm van autonome shuttles.

Met de tweede deelvraag *“2. Hoe verhouden autonome shuttles zich tot de belangrijkste parameters van de exploitatie van openbaar vervoer?”* is via een literatuuronderzoek een overzicht verkregen over ov-exploitatie. Dit exploitatiemodel is gebruikt om de exploitatie van autonome shuttles te berekenen. Hieruit komt dat autonome shuttles kenmerken hebben die de grootste factoren van exploitatie op de lange termijn verminderen. Zo kunnen autonome shuttles zonder chauffeur geëxploiteerd worden. Hoewel de aanschafkosten van deze voertuigen hoger zijn, zijn de voordelen van het rijden zonder chauffeur dermate hoog dat de extra aanschafkosten daarmee weg te kruisen zijn. Zeker als de frequentie en het aantal benodigde voertuigen hoog is, kan dit tot wel 75% goedkoper zijn. Dit is wel in het toekomstbeeld dat de autonome shuttle wordt doorontwikkeld. De huidige generatie shuttles heeft op dit moment nog tekortkomingen om rendabel te zijn. Dit zijn punten als een te lage capaciteit, te duur, te lage snelheid en de behoefte van een steward aan boord.

Afsluitend kan de hoofdvraag van dit onderzoek beantwoord worden met dat de mogelijke verwachte ontwikkelingen van autonome voertuigen, autonome shuttles bedoeld worden. Deze autonome shuttles zijn op dit moment nog niet rendabel om in te zetten in de onderzochte lijntypes. Bij doorontwikkeling van deze shuttles kan de exploitatie wel goedkoper worden dan een huidige bus.

5. Discussie

Dit hoofdstuk bestaat uit drie delen. Het eerste deel beschrijft welke punten er beter konden in het onderzoek zelf en reflectie op de conclusie. Het tweede deel beschrijft zaken die anders hadden gekund in het exploitatiemodel. Het derde deel bevat onderwerpen en uitkomsten die tijdens het onderzoek tegen zijn gekomen en interessant zijn voor verder onderzoek.

Onderzoek

In het onderzoek konden een aantal punten anders gedaan worden. Zo is aan te raden dat als een onderzoek als deze nogmaals uitgevoerd gaat worden exploitatiedata van ov-autoriteiten te krijgen is. Zoals in de tekst beschreven is deze data marktgevoelig en daarom lastig te verkrijgen als 'buitenstaander'. Ook een adviesbureau als Arcadis staat zonder opdracht vanuit een ov-autoriteit zonder voldoende data. Een aanbeveling is dan ook om een onderzoek als dit uit te voeren bij een ov-autoriteit die dagelijks deze data kan krijgen.

Verder kan bij herhaling van dit onderzoek een betere tijd in het jaar gekozen worden om het onderzoek uit te voeren. Ten tijde van uitvoer van dit onderzoek was een periode voor de zomervakantie. Doordat tijdens de zomervakantie veel mensen weg zijn, is er voor de vakantie een groot piekmoment in werkzaamheden onder het mom van "dit moet nog even voor de vakantie gebeuren". Dit heeft als gevolg dat partijen minder tijd hebben voor dergelijke interviews. In dit onderzoek zijn de interviews dan ook laat in het proces afgenomen, wat niet bevorderlijk was voor het tijdig afronden van het onderzoek. Een aanbeveling is dus ook het onderzoek zo te plannen dat in de tijd dat interviews benodigd zijn bij ov-autoriteiten deze in een werkluwe periode vallen.

In het onderzoek zijn een aantal aannames gedaan bij het model. Zo is de vervoersvraag als constante gesteld en zijn factoren geschat. Er is gesteld dat een operator hetzelfde verdient als een buschauffeur nu. Deze aanname is een belangrijke, de directe personeelskosten zijn namelijk groot bij de exploitatie. Ook bij de autonome shuttle is dit een groot deel van de kosten en blijven ook bij de dikste lijnen substantieel. Bij het variëren van personeelskosten bij de operator blijkt dat deze wel toeneemt maar niet zodanig dat de bekende verhouding tussen materieel/personeel erg verandert. Het materieeldeel blijft veruit het grootste kostenaandeel, zeker bij de dikke lijn.

Een andere aanname was de kostprijs van een shuttle en de daarbij behorende jaarlast. Deze aanname is in de analyse al aan bod gekomen hoe erg deze verandert bij een andere jaarlast. De aanname heeft wel degelijk invloed maar kan wel ingeschat worden doordat de parameter verandert in de analyse.

Zoals blijkt uit de conclusie is de huidige generatie shuttles niet rendabel op de lijntypes. Ondanks dat zijn er wel vele proeven met deze shuttles die op dit moment uitgevoerd worden. Hiermee laten bedrijven en overheden zien dat er wel degelijk perspectief zit in de autonome shuttle en dat deze in een bepaalde vervoersbehoefte kan voorzien. Dit onderzoek laat zien dat op dit moment een rendabele exploitatie niet mogelijk is, maar dat bij doorontwikkeling van de shuttle dit wel veel voordelen kan bieden. Dit kan de vele proeven en enthousiaste concessiehouders verklaren.

Model

Het model dat gebruikt is in dit onderzoek is gebaseerd op basis van enkele datapunten en voornamelijk verhoudingen van kosten met elkaar. Dit zorgt ervoor dat er een onzekerheid is in de uitkomst hiervan. Daarom is in dit onderzoek bewust gekozen geen absolute getallen te noemen als uitkomst, maar alleen percentages en verhoudingen. In het vervolg zou, bij meer data, vanuit het model wel een absoluut voordeel in exploitatie gegeven kunnen worden.

Daarnaast is het model opgebouwd in het programma Microsoft Excel. Dit is een zeer krachtige rekentool maar fouten zijn snel gemaakt. Bij een meer ingewikkelder programma met een programmeertaal zullen fouten eerder opgemerkt worden omdat het script fouten kan vertonen en direct wordt gestopt met berekenen. Verder dienen bij een model als deze de uitkomsten handmatig overgenomen te worden. Dit heeft potentie dat er menselijke fouten snel gemaakt zijn. Beter is om bepaalde berekeningen waarin verschillende parameters gevarieerd worden in een script of macro uit te voeren. Er kan dus worden aanbevolen om een dergelijk model niet in Excel maar een ander programma zoals Matlab uit te werken.

Tevens zijn in het model de drie lijntypes afzonderlijk van elkaar bekeken en ook de dienstuitvoering sluitend. Dit betekent dat er 1 operator zat die alleen de dunne lijn bekijkt. In de werkelijkheid zit er in een netwerk altijd dunne en dikke lijnen. Dit betekent dat de operator van de dikke lijn, gemakkelijk een enkele shuttle van een dunne 'erbij' kan bekijken. Dan zou de dunne lijn geen operator meer nodig hebben en daarom goedkoper worden. In dit model is bewust het onderscheid gemaakt maar zou in vervolgonderzoek realistischer gemaakt kunnen worden.

Als laatste zit het model te handmatig in elkaar. Er is niet met een druk op de knop een beeld te krijgen wat een enkele parameter precies voor invloed heeft. Dit komt mede door de software die gebruikt is maar ook door de verhoudingen en getallen die gebruikt zijn. De getallen die gebruikt zijn in het model zijn kostenkengetallen en geven geen exact beeld van de situatie in Noord-Holland. Deze kengetallen zijn wel gecorrigeerd op de situatie maar maakt het daardoor niet exacter. Als een gevoeligheid van een parameter moet worden bekeken heeft deze ook vele invloeden op verhoudingen in de rest van het model waardoor deze verder van de werkelijkheid af komt te liggen en daardoor minder bruikbaar. Dit is het grote nadeel doordat niet met absolute getallen gewerkt kon worden in het model. Mochten deze getallen wel bekend zijn vanuit vervoerders en opdrachtgevers kan het model vele malen beter worden en daarbij ook de invloed van parameters beter zichtbaar worden. Dit is ook de reden waarom in de resultaten met indexcijfers en verhoudingen wordt gewerkt en niet met absolute getallen. Desalniettemin valt er wel wat te zeggen aan de verandering in verhouding van het kostenplaatje en ontkracht de conclusie van dit onderzoek niet volledig.

Vervolgonderzoek

Tijdens de interviews kwamen nog een aantal onderwerpen ter sprake die niet in dit onderzoek behandeld zijn omdat deze buiten de scope vielen. Dit zijn voornamelijk onderwerpen op sociaal vlak.

In de interviews is meerdere malen genoemd of het wel wenselijk is dat autonome shuttles vrij overal zouden moeten kunnen rijden. Dit met het oog op een complete stilstand in stedelijke gebieden door verkeerstoename. De geïnterviewde bij de provincie gaf bijvoorbeeld aan dat er heel goed gekeken moet worden naar deze ontwikkelingen. Tevens gaf deze aan dat de lijn tussen publiek en privaat (collectief) vervoer vervaagt. Dit is bijvoorbeeld te zien in concepten als Uber en e-steps. Beide een vervoerskeuze voor de reiziger die privaat geregeld zijn.

Daarnaast gaven de geïnterviewde bij de VRA nog aan dat er nog geen vragen zijn of het wel wenselijk is om deelbare autonome voertuigen of shuttles te hebben. Het kan namelijk voorkomen dat je in "the middle of nowhere" alleen in een autonoom voertuig zit met een vreemde. Als deze vreemde een onguur type is kan dit voor onveilige situatie leiden. Hedendaags zal dat niet voorkomen omdat er altijd een chauffeur aanwezig is die zou kunnen steunen in een onveilige situatie. Naar deze paar punten zou vervolgonderzoek nuttig zijn.

Tevens is het interessant om te kijken of ov-autoriteiten in andere provincies dezelfde visie hebben over ontwikkelingen van autonome technieken op het openbaar vervoer als die in Noord-Holland. De provincie Noord-Holland heeft een aantal interessante gebieden en vrijwel elke vorm van landschap, maar het zou interessant zijn om te zien of een landelijke provincie als Drenthe of een zeer verstedelijkte provincie als Zuid-Holland denkt over deze ontwikkelingen.

Tevens bleek dat in de analyse van de exploitatievoordelen van autonome shuttles dat bij de dunne lijnen een mager voordeel bleek te behalen ten opzichte van de andere lijntypes. Daaruit bleek ook dat een verdere efficiëntieslag te behalen is als de frequentie daalt en dus vervoer op aanvraag wordt. Dit betekent dat er afgestapt moet worden van huidige aanbodgestuurde dienstregelingen. De shuttles hebben potentie die slag te kunnen maken en daarmee op aanvraag bij een halte aan te

kunnen komen. Dat zorgt voor een veel efficiëntere bezetting van de shuttle en zou rendabeler moeten kunnen zijn. Het is interessant om hier een verdere analyse op te doen.

6. Verwijzingen

- @North. (2019, 07 03). *Autonoom vervoer in Groningen, Friesland en Drenthe*. Opgehaald van @north: <https://www.at-north.nl/>
- 2getthere. (2019). *GRT vehicle: automated minibus*. Opgehaald van 2getthere: <https://www.2getthere.eu/grt-vehicle-automated-minibus/>
- Arcadis/TNO. (2018). *Impactstudie Autonome Voertuigen*.
- Arriva. (2019). *E-tickets & kaartjes Limburg*. Opgehaald van Arriva: <https://www.arriva.nl/limburg/abonnementen-kaartjes-1/etickets-kaartjes.htm>
- ARUP/TNO. (2018). *Innovatieve vraaggestuurde mobiliteitsconcepten*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Ashkrof, P., Correia, G., Cats, O., & van Arem, B. (2019, Mei 1). Impact of Automated Vehicles on Travel Mode Preference for Different Trip Purposes and Distances. *Journal of the Transportation Research Board*(2673 (5)), 607-616.
- Bestuur Regio Utrecht. (2012). *Snel, betrouwbaar en effectief. OV-Visie voor de regio Utrecht*. Utrecht: Bestuur Regio Utrecht.
- Boersma, A., Scheltes, A., & van Oort, N. (2018). Automatische voertuigen; kans of bedreiging voor het OV in Nederland? *Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk*. Amersfoort: Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid.
- Boston Consulting Group. (2016). *Impactanalyse Zelfrijdende Voertuigen*. Amsterdam: Boston Consulting Group.
- Bronsvoort, K. (2019). *Exploring alternative public transport in rural areas*. Delft: TU Delft.
- Capgemini. (2018). *Trends in Mobiliteit 2018*.
- Centraal Bureau Statistiek. (2017, november). *Kaart van 100 meter bij 100 meter met statistieken*. Opgehaald van CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/nederland-regionaal/geografische%20data/kaart-van-100-meter-bij-100-meter-met-statistieken>
- Centraal Planbureau, Planbureau voor de Leefomgeving. (2015). *Nederland in 2030 en 2050: twee referentiescenario's*. Den Haag: Uitgeverij PBL.
- Connexxion. (2019). *Parkshuttle Rivium*. Opgehaald van Connexxion: <https://www.connexxion.nl/nl/onze-routes/vervoersgebieden/parkshuttle-rivium>
- COWI/PVT. (2019). *The Oslo study, how autonomous cars may change transport in cities*. Oslo: Ruter.
- CPB/KiM. (2009). *Het belang van openbaar vervoer*. Den Haag: CPB/KiM.
- CROW. (2019, april 4). *Resultaten onderzoek OV-Klantenbarometer 2018*. Opgehaald van CROW: <https://www.crow.nl/kennis/bibliotheek-verkeer-en-vervoer/kennisdocumenten/resultaten-onderzoek-ov-klantenbarometer-2018>
- CROW-KpVV. (2015). *Kostenkengetallen regionaal openbaarvervoer 2015*. Ede: CROW.
- CROW-KpVv. (2017). *Staat van het regionale openbaar vervoer 2016*. Ede: CROW.
- CVOV. (2005). *Kostenkengetallen openbaar vervoer*. Den Haag: Rijkswaterstaat.

- David, J. (2018). *Als de bus onhaalbaar is*. Breda: NHTV.
- de Looft, E. (2017). *Value of travel time changes as a result of vehicle automation*. Delft: TU Delft.
- de Vos, A. (2011, mei 12). OV-studentenkaart is de kurk van het ov. *OV Magazine*, pp. 12-14.
- Designboom. (2017, maart 7). *Meet Cedric*. Opgehaald van designboom.com: <https://www.designboom.com/technology/volkswagen-sedric-self-driving-03-07-2017/>
- Eerste kamer. (2019, juli). *Experimenteerwet zelfrijdende auto's*. Opgehaald van Eerste kamer der staten generaal: https://www.eerstekamer.nl/wetsvoorstel/34838_experimenteerwet
- Except. (2016). *Investeringspakket automatisch vervoer last mile*. Den Haag: Metropoolregio Rotterdam Den Haag.
- Griffe, P. (1997). Automation will Enhance Quality and Security of Meteor 14th Line of Paris Metro. *IFAC Proceedings Volumes*, 1163-1168.
- Gucwa, M. (2014). The mobility and energy impacts of automated cars.
- Gurp, van, T. (2016, juli 20). *Daimler Buses voert succesvolle proef uit met autonoom rijdende stadsbus*. Opgehaald van zelfrijdendvervoer.nl: <https://www.zelfrijdendvervoer.nl/auto/2016/07/20/daimler-buses-voert-succesvolle-proef-uit-met-autonoom-rijdende-stadsbus/?gdp=accept>
- GVB. (2017). *Jaarverslag 2017*. Amsterdam: GVB.
- GVB. (2019). *Bus in cijfers*. Opgehaald van GVB: <https://over.gvb.nl/ov-in-amsterdam/feiten-en-cijfers/bus-in-cijfers/>
- Haagse Tramweg Maatschappij. (2019, juni). *Den Haag krijgt zelfrijdende minibus*. Opgehaald van HTM: <https://www.overhtm.nl/nl/nieuws-en-media/nieuws/2019/den-haag-krijgt-zelfrijdende-minibus/>
- Hoseini, P., & Wijkhuizen, J. (2019, juni 19). (B. Pluister, Interviewer)
- Human Transit. (2012, september 21). *the photo that explains almost everything*. Opgehaald van Human Transit: <https://humantransit.org/2012/09/the-photo-that-explains-almost-everything.html>
- Inno-V. (2007). *Benchmark GVB, HTM, RET en GVV*. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid. (2014). *Effecten ander ov-studentenproduct*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid. (2015). *Chauffeur aan het stuur?* Den Haag.
- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid. (2017). *Paden naar een zelfrijdende toekomst*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid. (2018). *Busgebruikers door dik en dun*. Den Haag: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- KPMG. (2018). *Autonomous vehicles readiness index*. KPMG international.
- LACMTA-Metro. (2013). *First Last Mile Strategic Plan; Path planning guidelines*. Los Angeles: Los Angeles County: Metropolitan Transit Authority.

- Legêne, M. (2018). *Transportation and spatial impact of automated driving in urban areas*. Delft: TU Delft.
- Metropoolregio Rotterdam-Den Haag. (2019, mei 27). *Den Haag heeft zelfrijdende minibus*. Opgehaald van Metropoolregio Rotterdam-Den Haag: <https://mrdh.nl/nieuws/den-haag-heeft-zelfrijdende-minibus>
- Meyer, J., Becker, H., Bösch, P., & Axhausen, K. (2017, june). Autonomous vehicles: The next jump in accessibilities. *Research in Transportation Economics*(62), 80-91.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2005). *Brede Doeluitkering Verkeer en Vervoer*. Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- Möhring, R., & van Oort, N. (2017). Spatial impacts of autonomous vehicles compared to railways. *European Transport Conference*. Barcelona.
- MuConsult. (2015). *Literatuurstudie tijd- en convenience gevoeligheden openbaar vervoer*. Amersfoort: KiM.
- Nauta, M. (2018, september 4). Nieuwe directeur OV-Bureau: 'Rit wordt niet duurder door elektrische bus'. *RTV Noord*.
- Navya. (2019). *Autonom Shuttle*. Opgehaald van Navya: <https://navya.tech/en/autonom-shuttle/>
- Navya. (2019). Providing fluid mobility with autonomous vehicles. Villeurbanne, Frankrijk.
- Noordelijke Rekenkamer. (2017). *Met de bus naar de stad*. Assen.
- OV Bureau Groningen Drenthe. (2019). *Dashboard*. Opgehaald van OV Bureau Groningen Drenthe: <https://www.ovbureau.nl/ov-cijfers/dashboard/>
- OV Bureau Groningen Drenthe. (2019). *Ontwerpbegroting 2019*. Groningen: Ov bureau Groningen Drenthe.
- Paulley, N., Balcombe, R., Mackett, R., Titheridge, H., Preston, J., Wardman, M., . . . White, P. (2006). The demand for public transport: the effects of fares quality of service, income and car ownership. *Transport Policy*(13(4)), 295-306.
- Provincie Fryslan. (2018). *Jaarverslag openbaar vervoer 2017*. Leeuwarden: Provincie Fryslan.
- Provincie Gelderland. (2019, april 23). Aanbesteden Valleilijn. *Marktconsultatiedocument*. Arnhem, Gelderland.
- Provincie Noord-Holland. (2012). *Visie openbaar vervoer 2020*. Haarlem: Provincie Noord-Holland.
- Provincie Utrecht. (2017). *Jaar- en trendrapportage 2017*. Utrecht: Provincie Utrecht.
- Raad voor de leefomgeving en infrastructuur. (2015). *Verkenning technologische innovaties in de leefomgeving*. Den Haag: Rli.
- Regio Gooi en Vechtstreek. (2018). *Mobiliteitsnetwerk*. Regio Gooi en Vechtstreek.
- RET. (2019). *Bus*. Opgehaald van RET: <https://corporate.ret.nl/over-ret/materieel/bus>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2017, 1 24). *Betekenis en definitie*. Opgehaald van Ensie: <https://www.ensi.nl/rvo/impact>

- Rodie, S. (2017, april 3). *Here are the prices - What kind of driverless car subscription service do you want*. Opgehaald van BDO Global: <https://global-www.bdo.global/en-gb/blogs/tech-media-watch-blog/april-2017/here-are-the-prices-what-kind-of-driverless-car>
- Royakkers, L., Daemen, F., & van Est, R. (2012). *Overal Robots*. Den Haag: Boom Lemma uitgevers.
- Royal Haskoning DHV/TNO. (2016). *Verkenning van implicaties op het ontwerp van wegen*. Den Haag: CROW, Rijkswaterstaat en WVL.
- Royal HaskoningDHV. (2017). *Ontwikkelingsbeeld mobiliteit 2050*. Provincie Noord-Holland.
- SAE International. (2019). Setting the standards.
- Scheltes, A., Ackerman, H., & Heida, P. (2018). *Help, mijn wethouder wil een zelfrijdend voertuig*. Amersfoort: Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk.
- Scheltes, A., Yap, M., & van Oort, N. (2016). Het verbeteren van de last-mile in een OV reis met automatische voertuigen; Een Delftse case studie en stated preference onderzoek gecombineerd. *Bijdrage aan het Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk*. Zwolle: KiM.
- Shell. (2019, 10 3). *Historisch prijzenoverzicht*. Opgehaald van Shell: <https://www.shell.nl/consumenten/shell-fuels/historisch-prijzenoverzicht.html>
- Snelder, M. (2019, juni 11). Interview modelbouwer autonome voertuigen. (B. Pluister, Interviewer)
- Snelder, M., van Arem, B., Hoogendoorn, R., & van Nes, R. (2015). *Methodische verkenning zelfrijdende auto's en bereikbaarheid*. Delft: TU Delft.
- Swiss Transit Lab. (2019). *Route 12 and the swiss transit lab*. Opgehaald van Swiss Transit Lab: <https://www.swisstransitlab.com/en/route-12>
- Thoma, M. (2019, juli 29). (B. Pluister, Interviewer)
- TU Delft. (2019). Smartptlab TU Delft. Delft.
- Uiterwaal, D., & Doornewaard, R. (2019, juli 2). (B. Pluister, Interviewer)
- Van Arem, B., van Oort, N., Yap, M., Wiegman, B., & Correia, G. (2015). *Opportunities and challenges for automated vehicles in the Zuidvleugel*. Delft: TU Delft.
- Van Baekel, K. (2019, juli 23). Interview Haga-shuttle. (B. Pluister, Interviewer)
- Van der Aa, M., & Hodde, A. (2017). *Slim Roosteren*. Gent: Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk.
- Van Goeverden, C., & Schoemaker, T. (2000). *Openbaar vervoer op eigen benen*. Delft: TRAIL/TU Delft.
- Wien, F. (2019). *An assessment of the willingness to choose a self-driving bus for an urban trip: A public transport user's perspective*. Delft: TU Delft.
- Winter, K., Cats, O., Correia, G., & Arem, van, B. (2018, juni). Performance analysis and fleet requirements of automated demand-responsive transport systems as an urban public transport service. *International journal of transportation science and technology*(7 (2)), 151-167.

Zijlstra, T., Bakker, P., & Harms, L. (2017). Reizigers in de haarvaten van het openbaar vervoersysteem. *Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk*. Gent.

7. Bijlagen

Bijlage A – Vervoersmodel TNO

Het model dat is gebruikt in de Arcadis/TNO studie was het allereerste model wat een inschatting kon maken hoe autonome voertuigen in het verkeerssysteem van Noord-Holland zich zouden bewegen. Daarnaast leende het model zich ervoor om een inschatting te krijgen van de modal split, de verdeling van gemaakte verplaatsingen. Het model is zo gebouwd dat het ook buiten de provincie Noord-Holland ingezet kan worden (Snelder, Interview modelbouwer autonome voertuigen, 2019).

Het model kent vijf verschillende scenario's. Vier daarvan met autonome voertuigen zoals in de hoofdttekst al beschreven en één als referentiescenario zonder. Het referentiescenario is de situatie als in het door het CPB/PBL geschetste situatie WLO-Hoog (Centraal Planbureau, Planbureau voor de Leefomgeving, 2015). Er is door het Arcadis/TNO onderzoek gekozen voor het WLO-Hoog scenario omdat de provincie Noord-Holland zich de afgelopen jaren rond dat scenario heeft ontwikkeld.

Het model is een verkeers- en vervoersmodel met de verplaatsingen van en naar de provincie Noord-Holland als uitgangspunt. De data hiervan komt uit het Onderzoek Verplaatsingen in Nederland (OVIN) dat wordt uitgevoerd door het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). Daarop werd een groei toegepast zoals verondersteld in het referentiescenario van WLO-hoog en is de input gebruikt van het LMS-model (Landelijk ModelSysteem). De bestemmingskeuze-effecten zijn bepaald door gebruik te maken van het VMA-model (Verkeersmodel Amsterdam). Deze tool onderscheid geen reismotieven en daarom is er 1 gemiddelde elasticiteit gesteld van -1. Dit betekent dat als de tijdswaardering met 10% afneemt, het aantal verplaatsingskilometers met 10% toeneemt. Dit representeert het effect dat mensen bijvoorbeeld verder kunnen wonen bij een lagere tijdswaardering omdat reizen minder erg bevonden wordt. Vervoerwijzekeuze-effecten werden bepaald met een logit model waarbij er verschillende parameters meegenomen worden. Deze parameters zijn bepaald op kenmerken van de vervoersconcepten. Voor de nieuwe vervoersconcepten met autonome voertuigen zijn aannames gemaakt in deze parameters. Voor de huidige vervoersconcepten is het model gekalibreerd op basis van het OVIN 2015. Als laatste is de reistijdbepaling bepaald met behulp van een macroscopisch fundamenteel diagram per gebieds- en wegtype. Parameters hiervoor zijn bepaald op kenmerken van wegtype en gevalideerd op basis van een macroscopisch fundamenteel diagram dat is opgesteld met behulp van Google-data.

De scenario's waren in het model extreem gekozen, dit betekent dat in het scenario er 100% autonome auto's zijn en er dus geen conventionele auto's meer zijn. Dit volgt het onderzoek van Arcadis/TNO zodat een goed beeld van de maximale impact te zien is. In werkelijkheid zal de transitie meer geleidelijk verlopen en zal er voor langere tijd een mix van voertuigen op de weg te vinden zijn. Verder heeft de Arcadis/TNO studie een aantal kenmerken van de scenario's gedefinieerd zodat er daadwerkelijk verschil in invoer in hun model is. Deze staan hieronder vermeld.

	Level 5 – delen	Level 5 – niet delen	Level 3/4 – niet delen	Level 3/4 – delen
Automatiseringsniveau	100% level 5	100% level 5	100% level 3/4	100% level 3/4

Communicatie tussen voertuigen	100%	100%	60%	60%
Bereidheid tot delen	80%	0%	0%	80%
Parkeren	Niet, voor de deur afgezet	Mix van parkeren voor de deur, automatische valet parking en parkeren op afstand	Grotendeels voor de deur parkeren. In dichtbevolkte gebieden meer op afstand parkeren	In dichtbevolkte gebieden voornamelijk op afstand, dunbevolkte gebieden bij bestemming
Ruimtelijke effecten*	Veel deelconcepten en trek naar steden	Kleine verschuiving van grote centra naar daarbuiten	Geen	Zeer kleine verschuiving naar steden

Tabel 11: specifieke verschillen scenario's

* De mogelijkheid om de tijd in het voertuig anders te besteden dan het besturen ervan en de kosten van nieuwe concepten kunnen leiden dat mensen op andere plekken gaan wonen (Kennisinstituut voor Mobiliteitsbeleid, 2017).

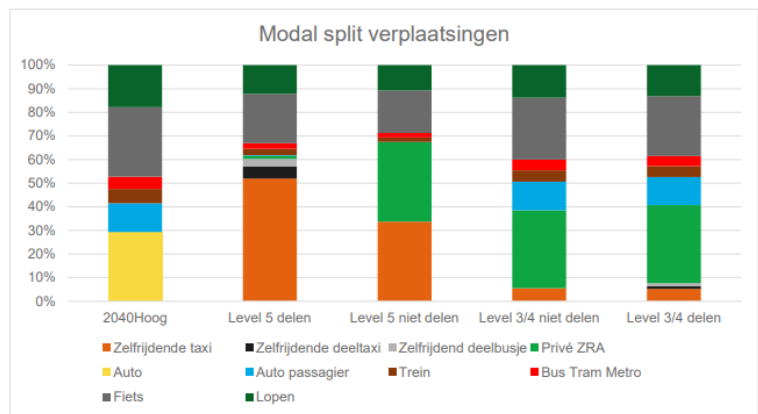
Bijlage B – Uitkomsten studie Arcadis/TNO

De komst van autonome voertuigen zorgt voor veranderingen en vernieuwingen in de mobiliteit als geheel. De studie van Arcadis/TNO heeft dit gevangen in een model en hieruit voorspellingen gedaan wat er zou kunnen gebeuren. Het onderzoek heeft als basis en daarmee het aantal verplaatsingen van het scenario 2040-hoog van het WLO-onderzoek (Centraal Planbureau, Planbureau voor de Leefomgeving, 2015). Dit is gekozen omdat het AV-onderzoek over de toekomst gaat en bij geen veranderingen zal de provincie Noord-Holland zich rond dit scenario groeien, zoals ook bleek in het verleden.

De belangrijkste conclusie uit het Arcadis/TNO-onderzoek is dat de verkeersdruk alleen maar toeneemt. Het onderzoek gaat uit van het WLO-hoog scenario als referentie. Het WLO-hoog scenario stelt dat de verkeersdruk al een aantal malen hoger is. Hierdoor is het logischerwijs ook zo dat het onderzoek van Arcadis/TNO ook een toename in het aantal verplaatsingen en voertuigverliesuren kent in de referentiescenario. Opvallend is wel dat als de autonome voertuigen erbij worden betrokken dat de verkeersdruk sterk toeneemt, tot wel drie keer zoveel als het referentiescenario van 2040-Hoog in een aantal gevallen. Het betekent dus dat als autonome voertuigen worden toegevoegd in het model dat deze een significant effect hebben op de totale verkeersdruk.

De toename van de verkeersdruk is daarmee toe te schrijven aan de autonome voertuigen. Als er wordt gekeken naar de modal split van de verplaatsingen dan is daar ook te zien dat in alle scenario's het gebruik van de auto toeneemt, vooral in de level 5-scenario's waar dus de autonome auto's volledig zelf kunnen rijden. Het Arcadis/TNO onderzoek staat daarin niet op zichzelf, zo wordt ook in een onderzoek in Oslo (COWI/PVT, 2019) geconcludeerd dat de autonome voertuigen een verdubbeling van de verkeersdruk kunnen betekenen.

In de modal split vanuit het model is te zien dat de zelfrijdende auto voornamelijk verplaatsingen van lopen, fietsen en openbaar vervoer vervangen, naast dat men vanuit hun manuele naar autonome auto gaan, zie Figuur 11. Dit komt voornamelijk doordat de moeite van het reizen met een zelfrijdende auto een stuk minder is dan wandelen, fietsen of gebruik van het openbaar vervoer. De Value of Time (VoT), ofwel tijdswaardering, van de zelfrijdende auto ligt lager dan die van fietsen, lopen of OV terwijl dat bij de huidige auto ongeveer gelijk ligt. Een voertuig met een lage tijdswaardering betekent dat het voor de persoon minder ‘kost’ om te reizen in een voertuig dan een voertuig met een hoge tijdswaardering. Deze waarden in het modelonderzoek zijn dan ook van groot bepalend niveau als men kijkt naar een keuze voor een bepaalde vervoerswijze. De Arcadis/TNO studie heeft hiervoor een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Uit deze analyse blijkt dat de reistijdswaardering wel degelijk een grote invloed heeft in het model en dat deze parameters zorgvuldig bepaald moeten zijn.



Figuur 11: Modal split - verplaatsingen provincie Noord-Holland (Arcadis/TNO, 2018)

Hoeveel verplaatsingen van lopen en fietsen overstappen naar de zelfrijdende taxi's veranderen spelen, naast de factoren zoals kosten en tijden, ook nog andere meer intrinsieke factoren een rol. Hierbij is te denken aan comfort en gezondheid. Lopen en fietsen kunnen namelijk ook een doel op zichzelf hebben in het kader van recreatie, ontspanning en gezondheid. Het kan bijvoorbeeld zo zijn dat iemand de fiets pakt om gezonder te worden, maar dat dit wel een langere reistijd heeft dan dat een autorit heeft. In een onderzoek dat is uitgezocht door BCG is dit, doormiddel van een enquête in Amsterdam, uitgezocht. Hieruit kwam naar voren dat ongeveer 30% van de lopers en fietsers zal gaan veranderen van modaliteit (Boston Consulting Group, 2016). Dit onderzoek is ook meegenomen in het model van Arcadis/TNO.

Verder is te concluderen uit de Arcadis/TNO studie dat het zelfrijdende autogebruik toeneemt naarmate de verstedelijking afneemt. Dit is voornamelijk te verklaren door het feit dat de afstanden in de meer buitengebieden groter zijn en hierdoor lopen en fietsen minder snel een alternatief zijn. Tevens zijn door de mindere verkeersdruk de voertuigverliesuren lager waardoor het aantrekkelijker is om in een auto te stappen. Als laatste is het aanbod openbaar vervoer in deze gebieden laag wat deze optie ook niet aantrekkelijk maakt.

Dit laatste laat zien dat er daadwerkelijk verschillende uitkomsten zijn per gebiedstype. Zoals hierboven al uitgelegde gebiedstypen al laten zien, worden de typen verdeeld in verstedelijking. Hieronder zullen de grootste opvallende conclusies uit de Arcadis/TNO studie per gebiedstype beschreven worden.

Metropolaan

Metropolitaanse gebieden, de grote stadscentra, kenmerken zich met het feit dat er veel gelopen en gewandeld wordt. Tevens is het OV-gebruik hoog ten opzichte van andere gebieden en wordt de auto significant minder gebruikt. Als de modellen dit doortrekken voor het scenario 2040Hoog is dit ook het geval. Bij de komst van de zelfrijdende auto zal deze dan ook voor een groot deel het terrein winnen van fietsen en lopen. Als de techniek nog niet ver gevorderd

Figuur 12: Modal split verplaatsingen metropolitaans gebied (Arcadis/TNO, 2018)

is, level 3/4 SEA, dan is de toename in het autogebruik niet zo groot bij volledige autonome auto's op level 5. Zeker het gebruik van de zelfrijdende taxi kent een zeer sterke toename bij de level 5 scenario's.

Deze toenames gaan voornamelijk ten koste van de verplaatsingen van fietsen en wandelen en bij de level 5 scenario's ook van het openbaar vervoer. Opvallend is wel dat in dit gebiedstype de verplaatsingen van het regionale openbaar vervoer (bus, tram en metro), bij de level 3/4 zelfrijdende auto, maar marginaal afneemt.

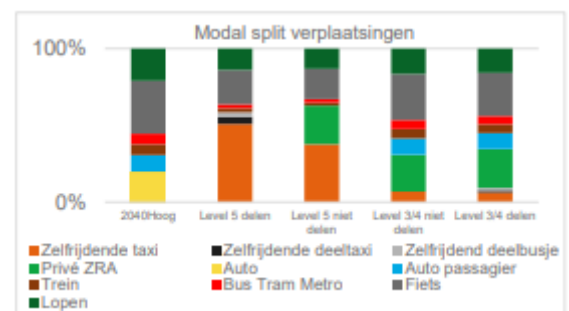
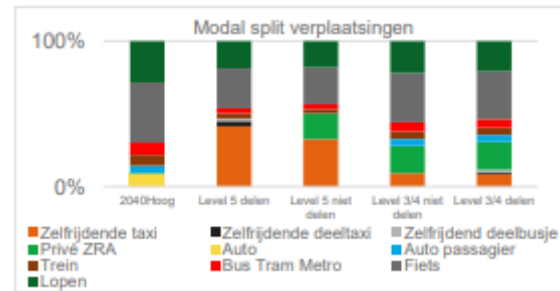
Door de grote toename van de zelfrijdende auto en taxi zullen de voertuigverliesuren meer dan verdubbelen ten opzichte van 2040Hoog. Dit is voornamelijk als men niet bereid is hun rit te delen en daardoor de privé zelfrijdende auto goed gebruikt wordt. Daarnaast is er nu al veel congestie op het wegennet in de huidige situatie en bij een grote toename zoals voorspeld vanuit het model komt het wegennet echt vast te staan. In dit gebied is wel de vraag in hoeverre de gemiddelde snelheid van het model gehaald wordt door de grote hoeveelheid (onvoorspelbare) fietsers en wandelaars in combinatie met het risicomidende gedrag van een autonome auto.

Centrum stedelijk

De centrum stedelijke gebieden zijn in de huidige en referentiesituatie vergelijkbaar met de metropolitane gebieden met meer autogebruik. Fietsen en lopen is hier iets minder en openbaar vervoer is vergelijkbaar qua aandeel in de modal split. Vanuit het model is te zien dat de komst van de autonome voertuigen betekent dat er een toename in het aandeel van privé zelfrijdende auto's en zelfrijdende taxi's. Het passagieren in auto's blijft stabiel.

Bij level 3/4 van autonomie neemt het autogebruik niet veel toe. De toename die aanwezig is komt voornamelijk door het verkleinen van het aandeel fietsen. Als het niveau van autonomie naar level 5 gaat, dan verliest het aandeel fietsen aanzienlijk en zal het openbaar vervoer ook qua aandeel inleveren. De verschuiving is, net zoals in het algemene beeld, te verklaren in het feit dat een gedeelde rit in een chauffeursloze taxi een stuk goedkoper en sneller is dan andere modaliteiten.

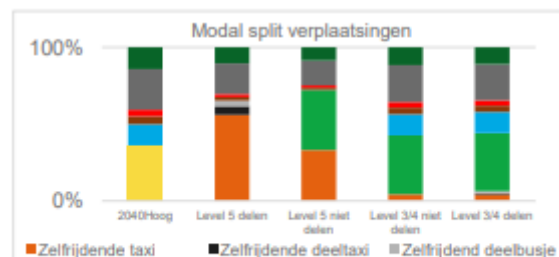
De toename in de voertuigverliesuren en daarmee de filedruk is een stuk lager dan in het metropolitane gebied, dit vanwege de lagere graad bevolkingsdichtheid. Desondanks komt er uit het model nog steeds dat er een grote stijging is in de voertuigverliesuren. Doordat het wegennet in het referentiescenario nog voldoet, is er bij de level 3/4-scenario's nog geen enorme overbelasting in tegenstelling tot de level 5-scenario's. Dit is dan ook te verklaren door de toename in het aantal verplaatsingen per zelfrijdende auto, deeltaxi of deelbusjes.



Figuur 13: Modal split verplaatsingen centrumstedelijk gebied (Arcadis/TNO, 2018)

Stedelijk woon-werk

In de stedelijke woon-werk gebieden zijn er ook een aantal opvallende verschuivingen in de modal split te zien. Het gebiedstype is het meest representatief voor de gehele provincie van Noord-Holland (qua inwonersaantal) en de modal split komt het meest overeen met die van de gehele provincie). In het huidige beeld kent dit gebiedstype een groter autogebruik dan de hier voorgaande gebieden. Dit komt voornamelijk omdat de afstanden groter zijn en daarbij de centra en wijken goed ontsloten op het wegennet.



Figuur 14: Modal split stedelijk woon-werk gebied (Arcadis/TNO, 2018)

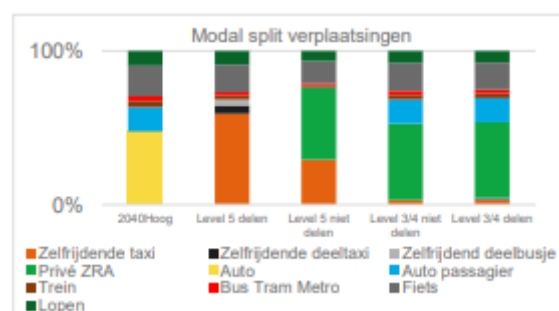
Door de komst van autonome voertuigen zal hier ook het huidige aandeel autogebruikers overstappen naar de zelfrijdende auto. In de beide level 5 scenario's hebben de zelfrijdende privé auto en zelfrijdende taxi een nog groter aandeel dan in de voorgaande gebiedstypen. Deze aandelen gaan ten koste van de aandelen van fietsen, lopen en openbaar vervoer, zeker in de level 5-scenario's. Verder worden de deelconcepten in de level 3/4-scenario's vrijwel niet gebruikt, in de level 5-scenario's zijn deze wel significant aanwezig.

Ook in dit gebied is er een toename van voertuigverliesuren in alle scenario's, waarbij deze toename het grootst is in de level 5 scenario's. Dit duidt dus op meer autogebruik. Door de toename in capaciteit, doordat de auto's dichter op elkaar kunnen rijden, is de toename in de level 3/4 scenario's beperkt. Dit is te verklaren met het feit dat er voornamelijk stroomwegen in dit gebiedstype zijn die voor SEA level 3/4 goed autonoom te berijden zijn. Tevens is er in het referentiescenario van 2040Hoog al minder verkeer.

Landelijk

In het landelijk gebied is er in de huidige situatie en in de referentiesituatie al een groot aandeel van de privé auto. Ook het aandeel openbaar vervoer is lager in dit gebiedstype. Dit heeft te maken door het feit dat ov-lijnen in deze meer 'lege' gebieden niet rendabel zijn.

De komst van de zelfrijdende auto's betekent dan ook voornamelijk dat de huidige privé auto overgaat naar de zelfrijdende privé auto en in de level 5-scenario's ook naar de zelfrijdende taxi. Er is wel een kleine toename te zien in het gebruik van een zelfrijdende auto of taxi, vooral in level 5 niet delen. Ook hier gaan de toenames van de auto's ten koste van lopen, fietsen en openbaar vervoer. Doordat de toename niet heel groot is zullen de aandelen fietsen en lopen ook maar marginaal afnemen. Het openbaar vervoer daarentegen beschrijft wel een afname in de level 5 scenario's. De deelconcepten zijn qua aandeel verwaarloosbaar klein, zelfs in de delen-scenario's.



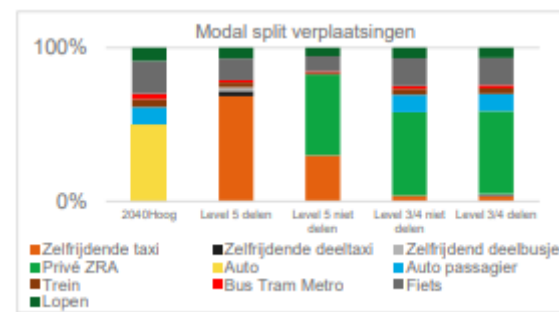
Figuur 15: Modal split landelijk gebied (Arcadis/TNO, 2018)

Het aantal voertuigkilometers neemt in alle scenario's toe. Maar doordat de wegcapaciteit nog voldoende is in het referentiescenario levert dit geen extra voertuigverliesuren op. Integendeel, door de toename in capaciteit worden de voertuigverliesuren zelf een klein beetje minder, op uitzondering van het level 5 niet delen scenario. Wat direct veroorzaakt wordt door de toename van het aandeel zelfrijdende auto's in de modal split.

Hubs en mainports

Het laatste gebiedstype van hubs en mainports is qua modal split een gemiddelde van alle bovenstaande gebiedstypen. Doordat de hubs nogal van elkaar verschillen, bijvoorbeeld Schiphol versus de greenport Wieringen, is er niet echt een eenduidig gevolg te formuleren. Wat wel te zeggen is, is dat er een toename is in het aandeel auto's ten koste van fietsen en voornamelijk openbaar vervoer.

Dit werkt ook weer door op de voertuigkilometers in totaal. Deze toename is licht te beoordelen waardoor door de capaciteitstoename op de weg door invloed van de zelfrijdende auto het totaal aan voertuigverliesuren iets af neemt. Schiphol als hub krijgt wel te maken met een toename in voertuigverliesuren, dit doordat er nu al een hoop taxi's rondrijden en alleen maar goedkoper worden als er geen chauffeur benodigd is in de level 5 scenario's.



Figuur 16: Modal split hubs en mainports (Arcadis/TNO, 2018)

Bijlage C– Vragen interview

Voor mijn opdracht ben ik aan het kijken wat autonome voertuigen voor impact hebben op het ov. De impact wil ik meten in de exploitatie van ov. Afgelopen jaar hebben jullie in door een samenwerking van Arcadis en TNO een onderzoek laten uitvoeren op de impact. Dit rapport stel ik als basis en ben vanuit daar verder aan het kijken wat de invloed is op openbaar vervoer.

Het rapport gaat dan ook uit van personen auto's of busjes die autonoom zullen worden en gedeeltelijk of overal autonoom kunnen rijden.

1. Hoe zien jullie de toekomst van autonome voertuigen (AV); wordt er als het ware al rekening ermee gehouden?
2. Denken jullie dat het openbaar vervoer als geheel veranderd als autonome voertuigen?
3. Wordt AV gestimuleerd door de concessiehouder of juist niet?
 - a. Zijn er op dit moment concrete proeven of pilots?
4. Denken jullie dat het openbaar vervoer als geheel veranderd als autonome voertuigen hun intrede doen?
 - a. Zou je de last-mile AV willen opnemen in je concessie?
5. Wat denken jullie dat de grootste kansen voor AV in zijn algemeenheid bij de jullie als concessiehouder zijn?
6. Wordt het netwerk van het OV bedacht door de vervoerder of concessiehouder?
 - a. Veranderd het netwerk of eisen voor het netwerk als blijkt dat er vraag daalt. Of blijven jullie vol inzetten op OV zodat het een alternatief blijft voor AV?
 - b. Veranderd het netwerk als blijkt dat slimme oplossingen zorgen voor nieuwe vervoersstromen?
 - c. Zijn de huidige en toekomstige concessies ingericht om met AV te kunnen werken?
7. Zijn die veranderingen te kwantificeren met een soort drempelwaarde? Bijvoorbeeld bij 10 procent vraagdaling of modal split verandering veranderd het netwerk zo en laten we bepaalde lijnen niet meer rijden?

8. In een eindsituatie ooit als alles autonoom rijdt, zien jullie als concessieverlener nog toekomst voor het OV in huidige vorm?

In mijn onderzoek wil ik de impact meten aan de exploitatiekosten en opbrengsten. Bij een verandering in modal split zal natuurlijk als eerste de opbrengsten veranderen (meer en minder gebruik)

9. Hebben jullie overzichten of een idee van huidige orde groottes in opbrengsten van de OV-concessies. Bijvoorbeeld Groningen/Drenthe heeft een dashboard. Is er bij jullie concessie ook iets in die trant? Of is er een ander middel voor?
 - a. Bijvoorbeeld dat x-procent van bepaalde lijnen reist met een student-ov of juist met enkeltjes
10. Hebben AV nog invloeden op het BDU en daarmee ook de verdeling van het BDU in jullie concessiegebied?
11. Hebben jullie overzichten van huidige orde groottes in kosten van het OV. De kosten kunnen namelijk veranderen doordat het netwerk groter of kleiner wordt door de AV.