



Addendum - Duurzaam OV in de Vervoerregio Amsterdam

Transitie naar zero emissie openbaar vervoer

13 augustus 2018

Status - *definitief*

COLOFON

ADDENDUM – DUURZAAM
OV IN DE VERVOERREGIO
AMSTERDAM

*Transitie naar zero emissie
Openbaar vervoer*

Opdrachtgever:

Vervoerregio Amsterdam

Auteurs:

Remco Hoogma
Dwarsverband

Wil Teunissen
Teunissen Consultancy

Monique Vloeijsberghs
Vervoerregio Amsterdam

Amsterdam, augustus 2018

Vervoerregio Amsterdam

Postbus 626
1000 AP Amsterdam

Jodenbreestraat 25
1011 NH Amsterdam

T 020 527 37 00
E info@vervoerregio.nl
W www.vervoerregio.nl

INHOUDSOPGAVE

Inleiding	5
1 Terugblik op de studie Duurzaam OV in de Vervoerregio	6
1.1 Aanleiding	6
1.2 Scope en definities	6
1.3 Doelstellingen	7
1.4 Conclusies en aanbevelingen	7
2 Ontwikkeling van de techniek	8
2.1 Uitbreiding techniekenportfolio	8
2.2 Batterijen	9
2.3 Elektrische Laadtechnieken	10
2.3.1 Plug-in	11
2.3.2 Opportunity charging (OC)	11
2.3.3 In-motion charging (IMC)	11
2.3.4 Inductief laden	12
2.3.5 Laadinfrastructuur	13
2.4 Waterstofbussen	18
3 Ontwikkelingen in de Vervoerregio	21
3.1 Amstelland-Meerlanden	21
3.2 Amsterdam	22
3.3 Waterland	23
3.4 Zaanstreek	23
4 Ontwikkelingen in Nederland en Europa	24
4.1 Duurzaam OV in Nederland	24
4.2 Duurzaam OV in Europa	28
5 TCO-berekeningen voor Waterland, Zaanstreek en Amstelland-Meerlanden	31
5.1 Uitgangspunten	31
5.2 Waterland	33
5.2.1 Vervangingsscenario's	33
5.2.2 Resultaten	34
5.3 Zaanstreek	38
5.3.1 Vervangingsscenario's	38
5.3.2 Resultaten	38
5.4 Amstelland-Meerlanden	41
5.4.1 Vervangingsscenario's	41
5.4.2 Resultaten	41
5.5 Conclusies uit TCO-berekeningen	45
5.6 Milieueffecten van vervangingsscenario's	46
6 Conclusies en aanbevelingen	47
6.1 Conclusies	47
6.2 Aanbevelingen	48

INLEIDING

In 2015-2016 heeft Stadsregio Amsterdam (nu Vervoerregio Amsterdam) een studie verricht naar duurzaam OV in de concessiegebieden van de Stadsregio¹. In deze studie zijn doelstellingen voorgesteld, de op dat moment bestaande situatie in de concessies qua duurzaamheid beschreven en de mogelijkheden voor de transitie naar zero emissie busvervoer onderzocht.

Sinds het opstellen van de genoemde studie hebben er veel ontwikkelingen plaatsgevonden wat betreft zero emissie technieken, toepassingen in binnen- en buitenland en concessieaanbestedingen. Deze ontwikkelingen kunnen van invloed zijn op de conclusies en aanbevelingen die in de studie van 2016 zijn gedaan. Om te toetsen of de conclusies en aanbevelingen nog geldig zijn en of ambities en doelen voor het transitieprogramma Zero Emissie Mobiliteit moeten worden aangepast, hebben Dwarsverband en Wil Teunissen Consultancy voor de Vervoerregio Amsterdam een update uitgevoerd. Omdat grote delen van de studie nog onverminderd van toepassing zijn, is ervoor gekozen om de update in de vorm van een addendum bij de studie uit te brengen. In de leeswijzer hiernaast is de opbouw van de update weergegeven.

¹ De studie is uitgevoerd door Werner Advies, Dwarsverband en Teunissen Consultancy.

LEESWIJZER

Hoofdstuk 1 gaat in op de motivatie, scope, de destijds geformuleerde doelstellingen voor duurzaam OV, en de conclusies en aanbevelingen van de studie uit 2015-2016.

Hoofdstuk 2 gaat over de ontwikkelingen in het portfolio van technieken voor zero emissie busvervoer en overige duurzame alternatieven. Er wordt aandacht besteed aan ontwikkelingen wat betreft batterijen, elektrische laadtechnieken en waterstof.

Hoofdstuk 3 beschrijft de ontwikkelingen in de Vervoerregio Amsterdam wat betreft duurzaamheid sinds 2016 in drie concessiegebieden.

Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van ontwikkelingen naar duurzaam OV in Nederland en in Europa. Het gaat hier om relevante trends in het aanbod en de wijze van invoering van zero emissie busvervoer.

Hoofdstuk 5 geeft de resultaten van hernieuwde TCO-berekeningen van duurzame scenario's in de concessies AML, Waterland en Zaanstreek. Voor deze berekeningen is de lijnenindeling in de studie van 2016 gehandhaafd maar zijn geactualiseerde waarden gebruikt voor de TCO-parameters.

Hoofdstuk 6 behandelt de vraag of de conclusies en aanbevelingen uit 2016 nog geldig zijn en of ambities en doelen voor het transitieprogramma Zero Emissie moeten worden aangepast.

1 TERUGBLIK OP DE STUDIE DUURZAAM OV IN DE VERVOERREGIO

1.1 AANLEIDING

Duurzaamheid is één van de thema's waar de Vervoerregio randvoorwaarden en prestatie-eisen voor opstelt bij het aanbesteden van OV-concessies. Om de mogelijkheden voor duurzaam OV te onderzoeken, heeft de Vervoerregio (toen nog Stadsregio) in 2015-2016 de studie *Duurzaam OV in de Stadsregio Amsterdam - Transitie naar zero emissie openbaar vervoer* laten uitvoeren. Deze studie betrof een verkenning naar de concrete en realistische mogelijkheden om het OV in de Metropoolregio Amsterdam (MRA) in de periode 2015-2030 te verduurzamen. De studie heeft het volgende opgeleverd:

- Actuele inzichten in en ervaringen met de milieu-, gezondheids- en kosten/ baten effecten van duurzame technieken en brandstoffen die in de planperiode voor het openbaar vervoer beschikbaar zijn of komen.
- Een overzicht van de ambities en wensen van verschillende stakeholders.
- Succesvoorwaarden voor duurzaam OV in de MRA.
- Een dialoog tussen concessieverlener en concessiehouders over het resultaat van de consultatie en de verkenning.

Op grond van de bevindingen is een bestuurlijk voorstel opgesteld voor de verduurzaming van de vier OV-concessies van de Stadsregio. Dit voorstel is in juni 2016 door de Regioraad van de Stadsregio vastgesteld.

1.2 SCOPE EN DEFINITIES

Bij de uitwerking zijn destijds enkele keuzes gemaakt om het onderzoeksveld af te bakenen. Voor deze update is aangenomen dat de scope en definities dezelfde blijven:

- *Trias Energetica*: Bij verduurzaming wordt vaak de drieslag toegepast van verminderen (beperken van de energievraag), verduurzamen (de resterende energievraag zoveel mogelijk duurzaam invullen) en efficiënter (indien nodig, fossiele brandstoffen zo efficiënt en schoon mogelijk gebruiken). De eerste slag, waarbij het gaat om de rol van het OV in het geheel van de bereikbaarheid, valt buiten de scope van dit onderzoek.
- *Focus op OV-bus*: OV in de Vervoerregio kent de modaliteiten bus, tram en metro, maar in dit onderzoek is besloten om te focussen op de verduurzaming van OV-bussen. Tram en metro zijn al relatief duurzame modaliteiten.
- *Tank-to-wheel, well-to-tank & well-to-wheel emissies*: Er is gekeken naar zowel emissies uit de uitlaatpijp van bussen ("tank-to-wheel") als naar emissies die samenhangen met het produceren van de energie voor de bussen ("well-to-tank"). Er is dus een "well-to-wheel"-benadering gekozen.
- *Emissies en schaduwkosten*: Om de schade die luchtverontreinigende emissies aan het leefmilieu veroorzaken te waarderen en mee te wegen in besluitvorming, is de methodiek van 'schaduwkosten' en 'schaduw prijzen' toegepast. Deze methode maakt het mogelijk om de investeringen in duurzaam busvervoer af te wegen tegen de milieuwinst uitgedrukt in vermeden schaduwkosten.
- De emissies die vrijkomen bij de productie van bussen, te vervangen onderdelen en infrastructuur worden buiten beschouwing gelaten in deze studie. In Noors en Fins onderzoek is vastgesteld dat de emissies voor de productie van bussen beperkt is ten opzichte van het gebruik van de bussen, zie bijlage D.

1.3 DOELSTELLINGEN

In de studie naar duurzaam OV uit 2015-2016 zijn de volgende doelstellingen opgesteld, die overeenkomen met de landelijke doelstellingen in het Bestuursakkoord Zero Emissie Regionaal Openbaar Vervoer Per Bus:

- Uiterlijk in 2025 zijn alle nieuw instromende bussen emissievrij aan de uitlaat (tank-to-wheel), met groengas of biodiesel (liefst in hybride bussen) als back-up voor situaties waar zero emissie bussen nog niet voldoen aan eisen van inzetbaarheid en kosten. Het jaartal 2025 is gekozen als gezamenlijk doel, maar concessieverleners kunnen hierop vooruitlopen als dat past bij de aanbestedingskalender en natuurlijke momenten van vlootvervanging.
- De bussen maken vanaf uiterlijk 2025 gebruik van 100% hernieuwbare energie of brandstof, die met het oog op economische ontwikkeling (groene groei) zoveel mogelijk regionaal wordt opgewekt.
- OV-concessies hebben een zo gunstig mogelijke score op well-to-wheel CO₂-emissie per reizigerskilometer. Deze parameter pakt twee duurzaamheidsaspecten samen: de milieuprestatie en de bezettingsgraad van het materieel.

1.4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Conclusies van de duurzaamheidsstudie uit 2015-2016 luiden als volgt:

- Het is technisch en operationeel mogelijk om direct te beginnen met verduurzamen van het OV in de Vervoerregio door gebruik te maken van batterijrolleybussen (met gedeeltelijke bovenleiding) en plug-in bussen. Voor een deel van de busvloot kan dit financieel neutraal, voor de volledige vloot is dit alleen mogelijk in combinatie

met groengas omdat dit de techniek is met de laagste TCO.

- De investering in duurzaam OV is vanuit milieu-economisch oogpunt solide. Voor acht deelnetwerken in drie van de Vervoerregio-concessies zijn met behulp van een TCO-rekenmodel duurzame scenario's opgesteld. Verwezenlijking van deze scenario's levert een milieuwinst van €3,8 miljoen per jaar op, wat meer is dan de jaarlijkse meerkosten voor het verduurzamen van het OV.
- Er is aanbevolen om bewezen zero emissie technieken op te nemen in het Programma van Eisen (PvE) voor de aanbesteding van de concessie AML, en om voor de lopende concessies met de zittende vervoerders kosteneffectieve verduurzamingsplannen te maken met toepassing van zero emissietechnieken tijdens de concessieperiode. Per deelnetwerk in de concessies zijn daarbij de meest kansrijke technieken voorgesteld.
- Er is aanbevolen om de ontwikkeling en de implementatie van de transitie in de Vervoerregio samen met alle betrokken partijen (vervoerbedrijven, de industrie, andere vervoersautoriteiten en het Rijk) te organiseren. Samenwerking levert op dat de transitie sneller en tegen lagere kosten verloopt. Het Bestuursakkoord Zero Emissie Regionaal Openbaar Vervoer Per Bus biedt hiervoor het geschikte kader.
- Er is aanbevolen om een onderzoek te starten naar het potentieel, de kosten en de economische effecten van de productie van nieuwe hernieuwbare brandstoffen (groengas, biodiesel, elektriciteit en waterstof) in de Vervoerregio, en daarbij in gesprek te gaan met huidige en aspirant producenten.

2 ONTWIKKELING VAN DE TECHNIEK

2.1 UITBREIDING TECHNIEKENPORTFOLIO

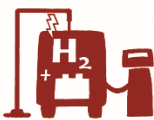
In de studie naar duurzaam OV uit 2016 is onderscheid gemaakt tussen vijf zero emissie technieken en twee overige duurzame technieken. Gezien de ontwikkelingen op dit gebied, worden twee technieken aan dit overzicht toegevoegd: de elektrische bus met range extender op waterstof, en de tussentijds opladende dieselhybride bus (OC-hybride). Tabel 1 geeft een korte schets van belangrijke eigenschappen van de technieken.

De zero emissie technieken hebben geen uitstoot uit de uitlaat (of slechts waterdamp), dus tank-to-wheel. Een verbrandingsmotor als range extender geeft wel uitstoot, evenals een standkachel op brandstof. De overig duurzame technieken hebben wel tank-to-wheel emissies.

In de volgende paragrafen worden de ontwikkelingen in de techniek van zero emissie bussen nader beschreven. Op de technieken van standaard en hybride bussen op diesel of gas (CNG) wordt niet verder ingegaan, omdat deze in de afgelopen jaren niet noemenswaardig zijn veranderd. Het grootverbruik van laagcalorisch aardgas wordt door de overheid ontmoedigt als gevolg van het terugschroeven van de Groningse gasproductie. Grootgebruikers van aardgas, zoals de OV-sector, kunnen of moeten dan overstappen op hoogcalorisch aardgas. Voor OV zou dat kunnen betekenen dat CNG getankt moet worden uit zogenaamde LCNG-tankstation, die bevoorrad worden met vloeibaar aardgas (LNG) dat ter plekke tot CNG wordt omgezet. Hoe dit in de praktijk te realiseren is, is nog niet duidelijk.

Tabel 1 - Portfolio van zero emissie en overige duurzame technieken en brandstoffen/energie

Zero emissie	
	Plug-in bus - Inzetbaar tot 250 km/dag (groeïend), meer met range extender 's Nachts langzaam opladen of overdag versneld bijladen in remise - Verlies passagierscapaciteit door zware batterij
	Opportunity Charging bus (tussentijds bijladen stationair, OC) - Snelladen inpassen in dienstregeling (wederzijds aanpassen) 1 minuut laden levert 7 km bereik met een 450 kW lader. - Kleinere batterij maar duurdere laadinfrastructuur
	Trolleybus - Directe energieoverdracht via bovenleiding - Inzet alleen onder draad, geen beperking van bereik - Dure infrastructuur, daarom alleen intensieve trajecten
	Batterijtrolleybus (rijdend opladen, In-motion charging, IMC) - Vereist bovenleiding-infra maar veel minder dan gewone trolleybus - Meer flexibele inzet - Batterij in 15 minuten opgeladen geeft 20 km autonomie zonder draad

	Waterstofbus • Flexibele inzet, waarschijnlijk zelden actieradiusbeperking • Vraagstuk: logistiek van waterstoflevering / on-site productie
	Elektrische bus met waterstof range extender • Flexibele inzet, geen beperking van bereik door combinatie OC en range extender • Vraagstuk: logistiek van waterstoflevering / on-site productie
Overig duurzaam	
	Hybride bus (zonder elektrisch opladen) • Energiebesparing door regeneratief remmen: 30% stad, 15% streek • Aandrijving meestal met dieselmotor, soms gasmotor • Beperkte actieradius in elektrische modus (enkele km)
	Hybride elektrische bus met tussentijds snel-laden (OC-hybride) • Flexibeler inzet dan OC elektrisch, energiezuiniger dan gewone hybride • % in elektrische mode hangt af van routing, tot 75-85% gedemonstreerd • Heden alleen beschikbaar voor (bio)-diesel
	CNG/groengasbus • Flexibele inzet, zelden beperking van bereik (500 km) • Aansluiting op aardgasnet in meeste gevallen eenvoudig • Standaard of hybride (maar hybride nauwelijks verkrijgbaar)
	(Bio)-dieselbus • Flexibele inzet, onbeperkt bereik • Toelaatbaar % in motor verschilt • Standaard of hybride

2.2 BATTERIJEN

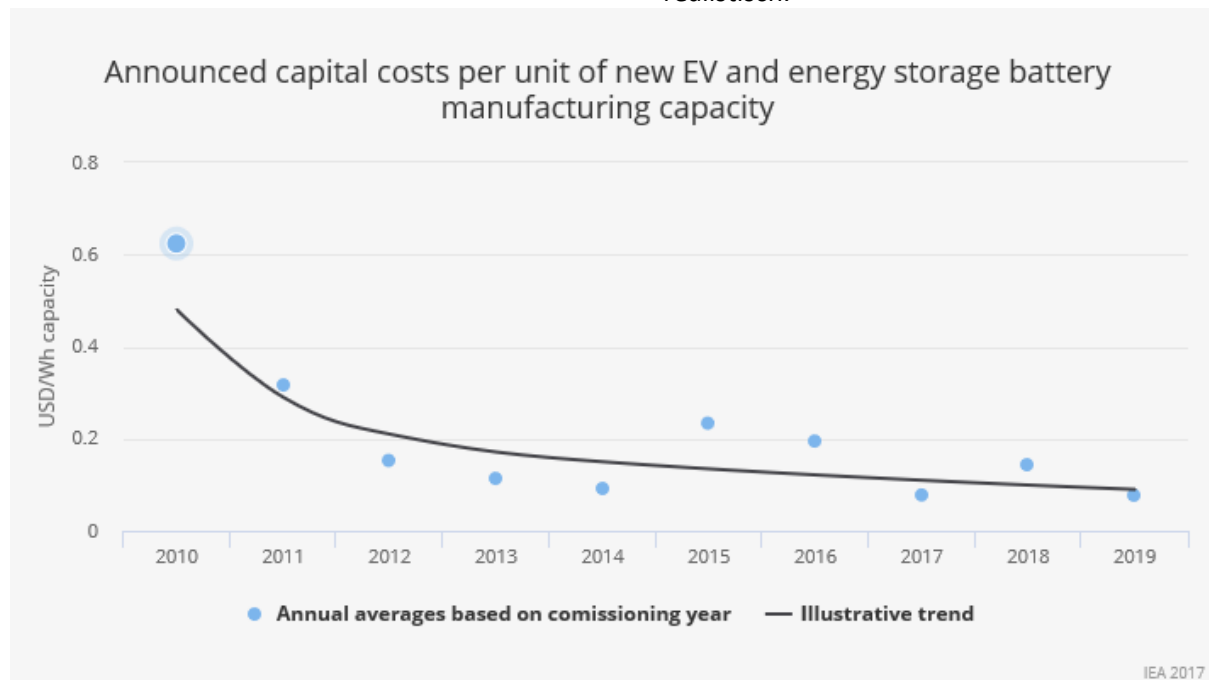
De ontwikkeling van batterijen die voor zero emissie voertuigen worden gebruikt gaat gestaag de goede kant op, met name in de varianten van Lithiumbatterijen (Li-NCA, Li-NMC, LMO en LFP). Over de laatste tien jaar is een jaarlijks gemiddelde verbetering van de energiedichtheid bereikt van circa 10%. Tegelijkertijd is sinds 2010 de productie van batterijen voor elektrische voertuigen sterk op gang gekomen. Drijfveren hiervoor zijn o.a. Tesla in Amerika en de noodzaak in Azië om verbrandingsmotoren te vervangen door elektrische vormen van aandrijving om de zeer slechte milieusituatie in de grote steden te

verbeteren. Europa maakt wat de ontwikkeling van batterijen betreft een inhaalslag om Azië en Noord-Amerika bij te houden.

Deze sterke volumegroei zorgt voor dalende kosten van de batterijproductie. De verwachting is dat de meest-belovende (en in de praktijk reeds ingezette) Lithium NCA variant in prijs gaat dalen van nu circa \$1.000/kWh naar \$400/kWh in 2020 en zelfs \$230/kWh in 2025. Eerder gedane voorspellingen van prijsontwikkelingen zijn uitgekomen. (BCG 2010, McKinsey 2012). De verwachting voor de komende 3 tot 5 jaar

liggen daarmee in lijn, waarbij het verloop volgens het Internationaal Energy Agency (publicatie 2017) er als volgt uit zou kunnen zien (figuur 1).

Bloomberg (2017) verwacht dat de huidige productie van Lithiumbatterijen van 90 GWh zal groeien naar 270 GWh in 2021. Naast een stijgende vraag is er een sterke groei in aanbod en daarmee is de verwachte prijsdaling realistisch.



Figuur 1 - Verwachte ontwikkeling van de kWh-prijs van Lithium-batterijen. Bron: IEA 2017.

2.3 ELEKTRISCHE LAADTECHNIEKEN

Er zijn verschillende laadtechnieken voor elektrische bussen. Tabel 2 geeft een overzicht van deze laadtechnieken en de bijhorende

kenmerken. Na de tabel volgt een nadere uiteenzetting.

Tabel 2 – Kenmerken van laadtechnieken voor elektrische bussen

Typing laadtechniek	Statisch / dynamisch	Max laadvermogen	Batterijcapaciteit	Gemiddelde laadduur
Plug-in	Statisch	80 kW	200 - 300 kWh	4 – 6 uur
OC	Statisch	600 kW*	150 - 200 kWh	6 – 10 minuten
IMC	Dynamisch	150 kW	20 – 50 kWh	Semi-continu via bovenleiding
Inductie	Statisch en/of dynamisch	30 kW	20 – 50 kWh	0,5 tot 2 uur of semi continue **
Plug-in hybride	Statisch	30 kW	20 – 80 kWh	Semi continue via dieselgenerator
Plug-in met H ₂ range extender	Statisch	30 kW	20 – 80 kWh	Semi continue via brandstofcel

* huidige toepassing, vermogens tot 1.000 kW zijn in ontwikkeling

** in Nederland enkel statisch toegepast (proef Den Bosch en pilot Utrecht)

2.3.1 Plug-in

De Plug-in techniek wordt veel gebruikt om bussen in de nacht op te laden. Doordat veel bussen tegelijkertijd worden opgeladen, is de belasting van het elektriciteitsnet aanzienlijk. Ook vraagt deze laadtechniek een goede planning om alle bussen op tijd opgeladen te hebben.

De Plug-in techniek vormt de oudste standaard en is oorspronkelijk ontwikkeld voor het laden van kleinere voertuigen (personenauto's). Deze laadtechniek is uitontwikkeld en kent zijn beperkingen in het overbrengen van vermogen. Binnen de standaardisatie van stekkers ligt het maximale laadvermogen op circa 60 kW (met uitzondering van speciale stekkers die in Japan ontwikkeld zijn en nog niet zijn opgenomen in de Europese standaardisatie).

De plug-in techniek is oorspronkelijk ontwikkeld voor het laden van personenauto's.

Om de beperkingen in actieradius van voertuigen met plug-in laadvoorzieningen voor een deel te compenseren, zijn mogelijkheden ontwikkeld om de voertuigen tijdens de exploitatie van stroom te voorzien; rijdend (in-motion charging) of stilstaand (opportunity charging). Daarnaast is er nog de techniek van het inductief laden, die zowel rijdend (Zuid-Korea) als stilstaand (o.a. Utrecht) wordt gebruikt.

2.3.2 Opportunity charging (OC)

De werking van OC is vergelijkbaar met die van de Plug-in techniek. De automatische pantograaf op het voertuig is vergelijkbaar met de stekker van een Plug-in lader (dezelfde contacten en communicatieprotocollen) en kent een redelijk hoge betrouwbaarheid. De ervaring met de contactpunten (aansluiting van de pantograaf op de contactkap) is echter nog een aandachtspunt. Dit heeft te maken

met de positionering van het voertuig onder de contactkap en het contact dat gemaakt moet worden. Bij slecht contact kan het communicatieprotocol uitvallen of kunnen de vermogenscontacten verbranden.

De laadvermogens voor de OC-techniek blijven zich ontwikkelen.

Ervaringen met laadapparatuur in een binnen opstelling (Hermes Eindhoven) zijn goed; de ervaring voor een grootschalige buiten opstelling (Schiphol Knoop Noord en P30), eventueel in combinatie met een niet egale wegondergrond (AML Cateringweg) moeten nog worden opgedaan.

De techniek van OC ontwikkelt zich verder op het gebied van laadvermogens. In de praktijk worden 450 kW en 600 kW toegepast. Dit stijgt naar verwachting tot 1.000 kW. Dit vereist een gelijktijdige ontwikkeling van batterij-specificaties. De onderhoudskosten van OC zijn (nog) hoog, omdat er vanwege onbekendheid met de effectieve beschikbaarheid hoge eisen worden gesteld aan monitoring, beheer en reparatie.

2.3.3 In-motion charging (IMC)

Bij in-motion charging worden de batterijen van de bus rijdend opgeladen door contact met een bovenleiding (vergelijkbaar met trolleybussen). Het bereik in batterijmodus dat daarmee kan worden behaald hangt af van de laadsnelheid, de laadduur, de opslagcapaciteit van de batterij en hoe zuinig de bus(chauffeur) rijdt. De laadduur hangt af van de lengte van de bovenleiding en de rijsnelheid.

In de studie *Duurzaam OV in de Stadsregio Amsterdam* uit 2016 is de vuistregel gehanteerd dat 1 kilometer rijdend opladen 1 kilometer autonomie oplevert bij gebruik van een 100 kW lader. Inmiddels worden 150 kW laders toegepast en wordt in het Duitse

Esslingen een 500 kW lader toegepast². Daarmee is in theorie minder bovenleiding op het traject nodig; dit kan dalen tot 30% volgens leveranciers van IMC-techniek, maar dit is sterk afhankelijk van gekozen rijnsnelheden op de trajecten met en zonder bovenleiding. Hier geldt, in analogie met OC, dat de keuze van laadvermogen en batterijgrootte een resultante is van het operationele model van de OV-dienst. Ook is de afname van stroom voor tegelijk rijden (tractie) en laden van de batterij begrensd door de belastbaarheid van de stroomafnemers voor batterijrolleybussen.

Batterijrolleybussen hebben steeds minder bovenleiding nodig.

Hoewel batterijrolleybussen steeds minder bovenleiding vereisen, blijft de aanleg ervan in stedelijk gebied lastig uit oogpunt van welstand. Er is met name aandacht voor deze techniek in steden die al een trolleybusnetwerk hebben (wereldwijd zijn dat er zo'n 300, in Nederland alleen Arnhem). De aanleg van bovenleiding is mogelijk het meest kansrijk op trajecten met vrije busbanen, zoals de Zuidtangent.

2.3.4 Inductief laden

Contactloos laden via inductie, stilstaand of rijdend, is de afgelopen jaren verder ontwikkeld en gedemonstreerd in pilotprojecten. In Nederland is een proef gedaan met het inductief laden van een stilstaand voertuig met 120 kW (Den Bosch

2015, zie figuur 2). In de Zuid Koreaanse stad Gumi zijn sinds 2014 twee bussen operationeel op een traject van 24 km die tijdens het rijden inductief worden geladen. De techniek wordt nog niet op grote schaal toegepast.



Figuur 2 – Proef met inductief laden van elektrische in Den Bosch (foto: Bluekens Volvo)

Inductief laden kent nog geen vorm van standaardisatie of normering en wordt enkel leverancier-specifiek aangeboden. De aan de ene kant hoge kosten in relatie met de beperkte vermogensoverdracht, en de aan de andere kant de voortvarende ontwikkeling en standaardisatie rond OC, lijken de ontwikkeling van inductief laden (voorlopig) te laten stoppen.

² http://www.knorr-bremsecvs.com/cz/_meta/pressreleases/press_detail_19073.jsp

2.3.5 Laadinfrastructuur

Langzaam- en snel-laders

Voor het opladen van elektrische bussen worden langzaam- en snel-laders gebruikt. Langzaam-laders worden in de remises geplaatst om zowel plug-in, OC-bussen en IMC-bussen 's nachts op te laden. Als kengetal wordt gehanteerd dat per bus een langzaam-lader van 30kW nodig is van €40.000,-.

Snel-laders worden gebruikt om OC-bussen tijdens exploitatie bij te laden. Snel-laders kosten €200.000,- per stuk (300-450 kW lader met constructie en bekabeling). Hier komen nog de kosten bij om de snel-laders aan te sluiten op het elektriciteitsnet, wat afhankelijk is van het vrije vermogen op een 10 kV-kabel in

de buurt. De kosten voor een trafo en laagspanningsverdeling liggen rond €100.000,-. Wanneer er een 10 kV-kabel bij moet komen, liggen de kosten rond €200.000,-.

De aanleg van de laadinfrastructuur is maatwerk en het is daarom lastig om hier generieke kosten voor te ramen. Voor de modelberekeningen zijn de volgende kengetallen gebruikt: €200.000,- voor een netaansluiting in geval van een remise met langzaam- en/of snel-laders en een laadhub met meerdere snel-laders, en €100.000,- in geval van een afzonderlijke snel-lader. Tabel 3 geeft een verdere onderverdeling van de kosten van elektrische laadinfrastructuur.

Tabel 3 - Globale onderverdeling kosten elektrische infrastructuur (Deze getallen moeten met de nodige zorgvuldigheid worden geïnterpreteerd omdat lokale situaties tot grote afwijkingen kunnen leiden en 2 x hetzelfde qua apparatuur niet 2 x dezelfde qua kostprijs hoeft te betekenen.)

Item	Vermogen	Kosten per stuk (€)
Trafostation	1 MVA	35.000
Netaansluiting	1 MVA	40.000
Trafostation	2 MVA	60.000
Netaansluiting	2 MVA	40.000
Laagspanningsverdeling OC		20.000
Laagspanningsverdeling plug-in		25.000
Snel-lader	450 kW	160.000
Langzaam-lader DC (plug-in)	30 kW	40.000
Langzaam-lader AC (plug-in)	30 kW	5.000
Fundering lader(s)		PM
Mast (enkelzijdig) incl. fundatiebuis		5.000
Mast (dubbelzijdig) incl. fundatiebuis		6.000
Laadkap + bekabeling		4.000
Hekwerk rond trafo (stelpost)		5.000
Straatwerk (stelpost)		10.000
63A aansluiting voor mobiele plug-in lader (nood laden)		7.500

EFFECTEN VAN LAADINFRASTRUCTUUR VOOR STROOMNETBEHEERDERS

De laders maken veelal gebruik van 400 V AC voedingspanning. Bij grotere vermogens moet een specifiek transformatorstation worden gebouwd voor een 10 kV-400V omzetting. Recent zijn er ook directe 10kV aansluitingen ontwikkeld, maar deze wijze van aansluiten is nog niet de standaard bij stroomnetbeheerders (vanwege het hogere risico voor de stabiliteit van het 10kV distributienet). Hoewel dit voor bepaalde locaties een zinvolle optie zou zijn, kan dit niet altijd op korte termijn worden gerealiseerd.

Het 'clusteren' van elektrische laadapparatuur brengt een uitdaging mee voor stroomnetbeheerders. In extreme gevallen kan een netaansluiting tot 10 MVA (10.000 kW) ontstaan, wat niet zomaar op het bestaande 10kV net kan worden aangesloten. In deze gevallen is een aansluiting van 50 tot 150 kV noodzakelijk. Het clusteren kan in sommige gevallen leiden tot het overbelasten van de publieke stroominfrastructuur.

In de praktijk is ongeveer één snel-lader per vijf bussen nodig. In de TCO-berekeningen van 2016 is gerekend met twee laadpunten per lijn op de eindpunten, wat meestal leidde tot een hoger aantal snel-laders per bus. Tabel 4 geeft

weer hoeveel snel-laders er beschikbaar zijn per lijn en hoeveel bussen gebruik maken van een snel-lader. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de praktijksituatie en de TCO-berekening die in 2016 is gemaakt.

Tabel 4 - Aantal snel-laders in praktijk vs. TCO-berekeningen 2016

	Toepassing	Aantal OC-bussen	Aantal lijnen	Aantal snel-laders	Snel-laders per lijn	Bussen per snel-lader
Praktijk	Eindhoven	43	8	7	0,9	6,1
	AML	100	15	23	1,5	4,3
	Waterland (project 2018)	10	1	3	3	3,3
	GVB (2020)	31	3	Max. 10	3,3	Min. 3,1
Aannamen TCO 2016	AML					
	- Ontsluitende lijnen	60	23	46	2	1,3
	Waterland					
	- Purmerend-Volendam	115	32	64	2	1,8
	- Ontsluitende lijnen	29	7	14	2	2,1
	Zaanstreek					
	- Stad	14	7	14	2	1
	- Corridor	50	5	10	2	5

VOORBEELD

Met een lader van 450 kW kan theoretisch 7 kWh per minuut worden geladen, wat bij tien minuten laden en een energieverbruik van een bus van 2 kWh/km en aanvulling van autonomie oplevert van 35 km. Dit is exclusief de tijd voor aan- en ontkoppelen van de pantograaf, het opbouwen van de communicatie tussen voertuig en lader, het controleren van de contacten en het bepalen van de laadtoestand van de batterij.

Laadcapaciteit en tussentijds laden

De laadinfrastructuur die kan worden ingezet, verschilt in capaciteit. De keuze voor de capaciteit van de lader (zowel plug-in, OC of IMC) wordt met name bepaald door de exploitatie: er dient gekeken te worden naar de wagenomloop die nodig is om het onderliggend exploitatiemodel uit te voeren. Hierbij wordt er veelal van uitgegaan dat OC-bussen volledig opgeladen vertrekken en gedurende de exploitatie gedeeltelijk bijladen. OC-bussen worden vaak overdag gedurende 5-10 minuten tijdens de dienstregeling bijgeladen, wat het bereik, afhankelijk van de parameters, met 15-30 km vergroot.

In bijlage A staan resultaten van modellering van de relatie tussen laadtijd en herwonnen bereik voor een aantal OC-bussen op grond van data uit het ZeEUS ebus rapport. De praktijkervaring wijst uit dat de keuze voor OC-laden leidt tot 15% extra inzet van bussen ten opzichte van exploitatie van een dieselvloot.

Standaardisatie en interoperabiliteit van laadinfrastructuur

Standaardisatie van laadinfrastructuur is een belangrijk aspect voor duurzaam OV. Dit maakt het mogelijk dat vervoerders en vervoerautoriteiten bussen kunnen kiezen van concurrerende aanbieders zonder afhankelijk te zijn van de technologie van een eerdere leverancier. Bussen kunnen daardoor beter uitgewisseld worden tussen lijnen en

concessiegebieden, wat bijdraagt aan de interoperabiliteit.

In de EU zijn diverse werkgroepen (o.a. ASSURED en User Group) bezig met standaardisatie van laadsystemen, laadspanningen en laadprotocollen voor allerlei vormen van elektrisch vervoer. Bussen vormen binnen deze werkgroepen een aparte doelgroep, vanwege de hoge vermogens die worden gevraagd voor het laden. De meest actuele normering voor de standaardisatie van voertuig-laadinfrastructuur-interface is als volgt:

- Indien gebruik wordt gemaakt van een connector interface (stekker) of een pantograaf (op het dak of vanaf de wal-infrastructuur) van het voertuig, dient de data interface te zijn ingericht volgens ISO 15118-2 Ed 1.
- De fysieke verbinding dient te worden gerealiseerd voor stekkerverbinding en een pantograaf op het dak volgens ISO 15118-3 en voor een pantograaf van de wal-infrastructuur of bij gebruik van inductief laden volgens ISO 15118-8.
- Voor elektrische veiligheid en EMC (Elektromagnetische Compatibiliteit) dient in alle gevallen van laadapparatuur te worden voldaan aan de normeringen IEC 61851-1, IEC 61851-21-2 en IEC 61851-23. Aanvullend geldt voor stekker-verbindingen dat deze dienen te voldoen aan ISO 17409 Ed1 en voor de andere vormen van elektrisch laden IEC 61851-23-1 en ISO 17409 Ed2.

STANDAARDISATIE VAN ELEKTRISCH LADEN BIJ AUTO'S

De markt voor elektrische auto's en kleinere busjes hanteert één standaard op de CCS combo 2/3 stekker. Via één stekker kan zowel DC-stroom, AC-stroom als ook het communicatiesignaal tussen voertuig en lader wordt overgebracht.

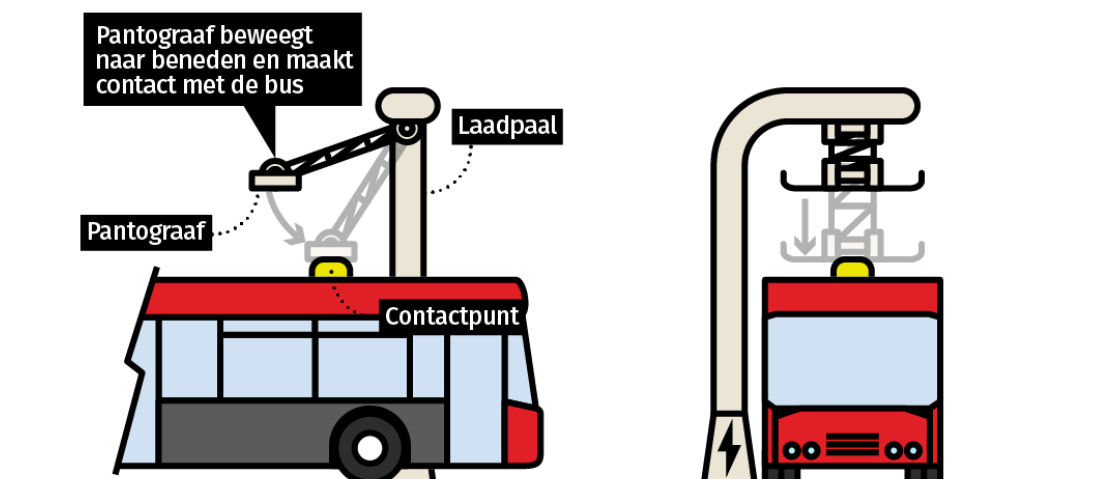
- Voor **laden aan het huisnet** geldt een maximale stroom van 16A / 230V (= 3kW), met specifieke snellere laders kan dit oplopen tot 3x400V / 32A met een laadvermogen van circa 30kW.
- Voor **laden bij publieke laadpalen** (soms nog voorzien van meerdere verschillende stopcontacten) geldt dat deze vrijwel alle elektrische personenauto's vanaf 2017 kunnen laden.

Voor grotere voertuigen zoals vrachtwagens en bussen geldt een beperktere vorm van interoperabiliteit, waarbij in alle gevallen gebruik wordt gemaakt van een specifieke lader (meestal DC) die via een speciale of twee parallel werkende CCS Combo 3 stekkers wordt geladen tot een waarde van maximaal 80 kW. Indien verschillende voertuigen gebruik maken van eenzelfde protocol als de lader, kunnen deze van de lader gebruik maken. Deze vorm van laden wordt veelal ook als terugvaloptie bij OC-laden (laden via pantograaf) toegepast.

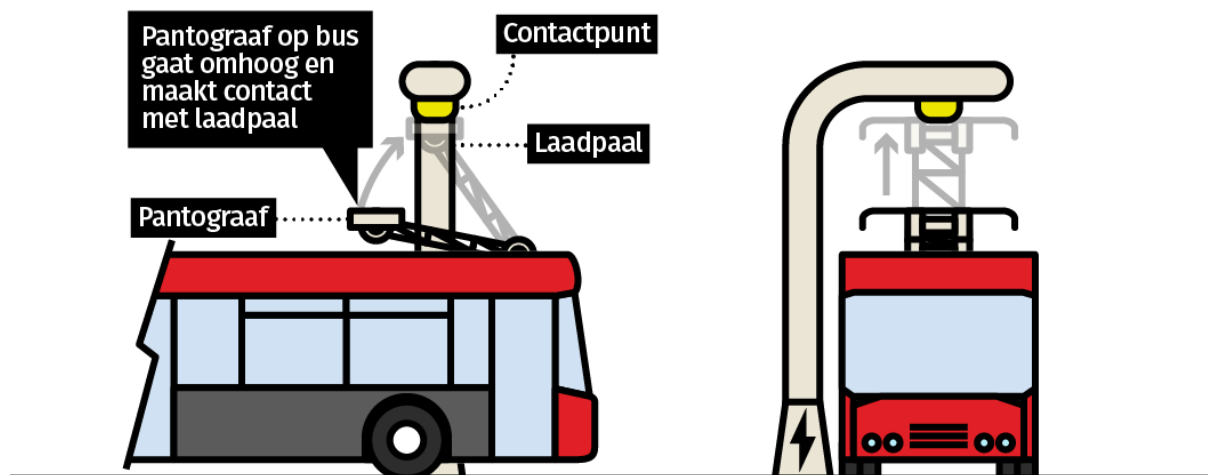
Door beperkte standaardisatie binnen de verschillende vormen van elektrisch busvervoer, is tot nu weinig interoperabiliteit te zien. Voor de standaardisatie van het OC-laden voor elektrische bussen zijn de volgende punten van belang: 1) de positie van de pantograaf (op het dak van het voertuig of aan de laadpaal), 2) de vorm / uitvoering van de contactkap en de laadkop, en 3) het gebruikte protocol. Met name de fysieke verschillen tussen de laadkoppen beperken de

interoperabiliteit. Hieronder zijn schematisch de beide uitvoeringen van pantograafsystemen weergegeven (figuur 3). Eén pantograaf die op het voertuig gemonteerd is en naar boven beweegt en de andere uitvoering heeft een pantograaf die aan de laadmast vast zit en juist naar beneden beweegt (Zie bijlage E voor specificaties van de pantograaf vanuit de laadmast). Voor de lader zelf maakt het niet uit voor welke vorm van verbinding tussen voertuig en lader wordt gekozen.

OPTIE 1 - PANTOGRAAF OP LAADPAAL



OPTIE 2 - PANTOGRAAF OP BUS



Figuur 3 – Schematische weergave van pantograafsystemen: optie 1 – pantograaf op laadpaal, optie 2 – pantograaf op bus

Interoperabiliteit kan in de praktijk gerealiseerd worden, wanneer de concessie-verlener een bepaalde standaard oplegt bij het aanbesteden van de concessies. Het opleggen van standaarden brengt het risico van 'technologie lock-in'³ met zich mee. Interoperabiliteit wordt hiermee gestimuleerd en desinvesteringen in laadinfrastructuur

kunnen worden geminimaliseerd. Overigens is bij de overgang van de ene naar de andere pantograafstandaard slechts deels sprake van desinvestering. De lader, mast, bekabeling en de ondergrondse delen blijven bruikbaar, alleen het laadprotocol, contactkap, laadkop en eventueel pantograaf moeten worden vervangen of toegevoegd.

PROVIDERS VAN LAADINFRASTRUCTUUR

Het aantal fabrikanten van laadapparatuur in Europa is redelijk beperkt; fabrikanten van het eerste uur (ABB, Siemens) hebben wereldwijd een aantal laadsystemen in bedrijf, voor Nederland en Duitsland lijkt de fabrikant Heliox de standaard te stellen.

³ Lock-in is een vorm van economische afhankelijkheid waarbij de markt een technologische standaard kiest, en de markt vanwege netwerkeffecten bij die standaard blijft,

ook al zijn marktdeelnemers misschien beter af met een alternatief (bron: ipcc 2007).

2.4 WATERSTOFBUSSEN

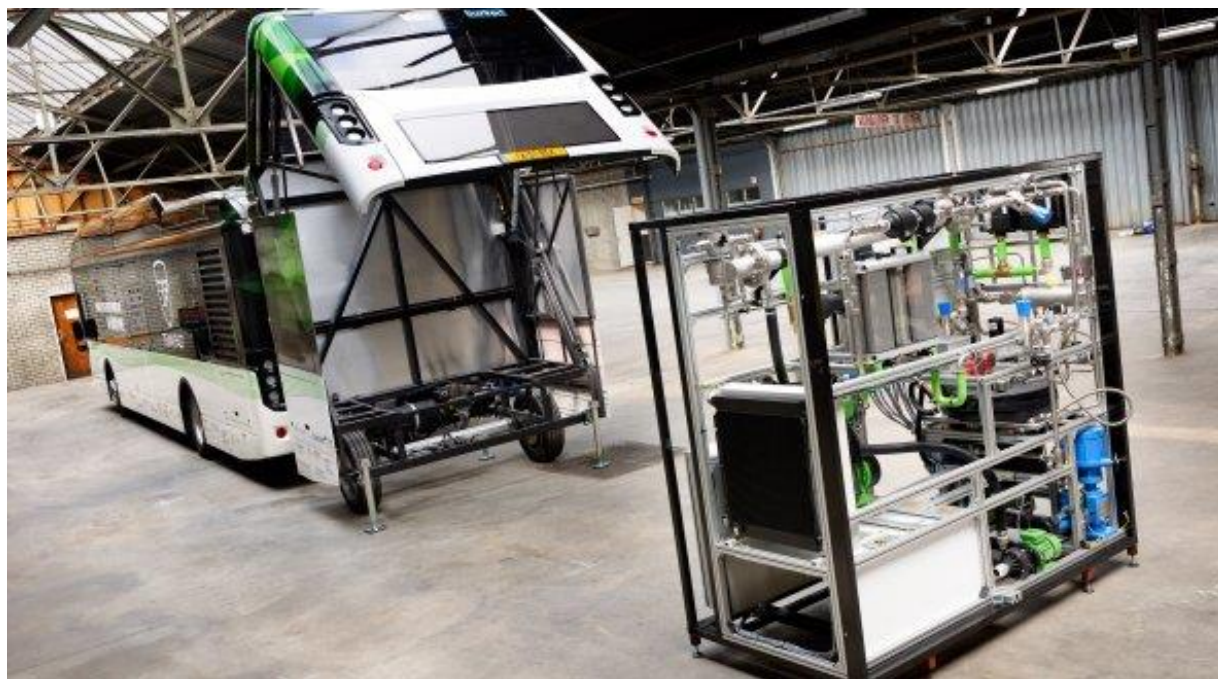
Ontwikkeling waterstofbussen en kosten

Waterstofbussen worden sinds de vroege jaren negentig ontwikkeld, busleverancier Van Hool is koploper met deze techniek in Europa. De eerdere voortrekker van waterstofbussen was Daimler/Evobus. In het project CUTE (2007-2009) zijn 29 waterstofbussen van Evobus ingezet in tien steden, waaronder drie in Amsterdam. In 2018 begint Daimler met de productie van elektrische bussen op het Citaro-platform, in de varianten plug-in (E-cell) en waterstof (F-cell). Het verbruik van waterstof in de “vierde generatie brandstofcelbussen” zou 8 kilogram per 100 km bedragen voor een gelede bus.

Een 12-meter waterstofcelbus kost nu nog €850.000,-. Het Europese samenwerkingsverband Fuel Cell & Hydrogen Joint Undertaking wil door middel van schaalvergroting en innovatie uitkomen op een prijs van €450.000,- per bus. Een interessant alternatief wordt geboden door VDL: een

Van Hool ontwikkelt 12m voertuigen met waterstofcellen van Ballard Power Systems, elektrische aandrijving van Siemens, dubbele achterassen met een bereik van 350km.

elektrische 12m bus met een range extender module voor €650.000,-. De range extender module bestaat uit een inbouwkast met brandstofcellen, waterstoftanks en alle randapparatuur en wordt ingezet als aanhanger (2,1m inclusief dissel) achter de elektrische bus (figuur 4). Het grootste vermogen dat past is momenteel 103 kW. Vanwege dit lage vermogen is altijd een batterijpakket aanwezig in het voertuig om als stroombronstabilisator te dienen en als aanvullende energiebron op de range extender (Bijlage A).



Figuur 4 - VDL elektrische bus met range extender (variant voor mierenzuur) Bron: TUE.

ALTERNATIEF OP WATERSTOF - MIERENZUUR

Mierenzuur is een alternatief op gecomprimeerd waterstof als energiedrager voor brandstofcelbussen en wordt ontwikkeld door Team FAST van TU Eindhoven. Mierenzuur kan met een katalysator worden omgezet naar waterstof. Deze methode zou meer opleveren dan waterstofproductie met elektrolyse en compressie van waterstof.

Een tank mierenzuur is zwaarder dan een tank waterstof. Wanneer mierenzuur wordt gebruikt bij de range extender module, neemt het totale gewicht daardoor toe. Daarentegen bespaart mierenzuur wel ruimte t.o.v. waterstof en wordt het gaandeweg verbruikt.

Mierenzuur komt ook veel voor bij dieren, zoals mieren en andere insecten, die dit gebruiken als middel ter zelfverdediging, wat de term mierenzuur verklaart. Het maken van mierenzuur is een chemisch proces.

Door een combinatie van elektrische bussen en range extender aanhangers, kan een gehele busvloot in theorie emissievrij rijden. De aanhangers kunnen worden uitgewisseld tussen de bussen, wat zorgt voor meer flexibiliteit en kosteneffectiviteit in de exploitatie t.o.v. een busvloot bestaande uit elektrische en waterstofvoertuigen.

Kosten waterstof en tankstations

Naast de prijs van de waterstofbus zijn ook de kosten van het waterstof zelf en de tankstations hoog. De huidige waterstof-tankstations hebben een capaciteit voor slechts enkele bussen. Het is een logistieke en financiële uitdaging om een grote busvloot van waterstof te voorzien. Indien de prijs van waterstof zou dalen van de huidige €10/kg naar ten hoogste €5/kg, zou waterstof een serieuze optie kunnen zijn.

Naast de logistieke en financiële uitdaging, hebben waterstofbussen als nadeel een laag energetisch rendement te hebben. Als waterstof duurzaam wordt geproduceerd via de weg van elektrolyse met hernieuwbaar opgewekte elektriciteit, bedraagt het energetisch rendement éénderde van dat van batterijbussen (figuur 5). Vanuit dit perspectief

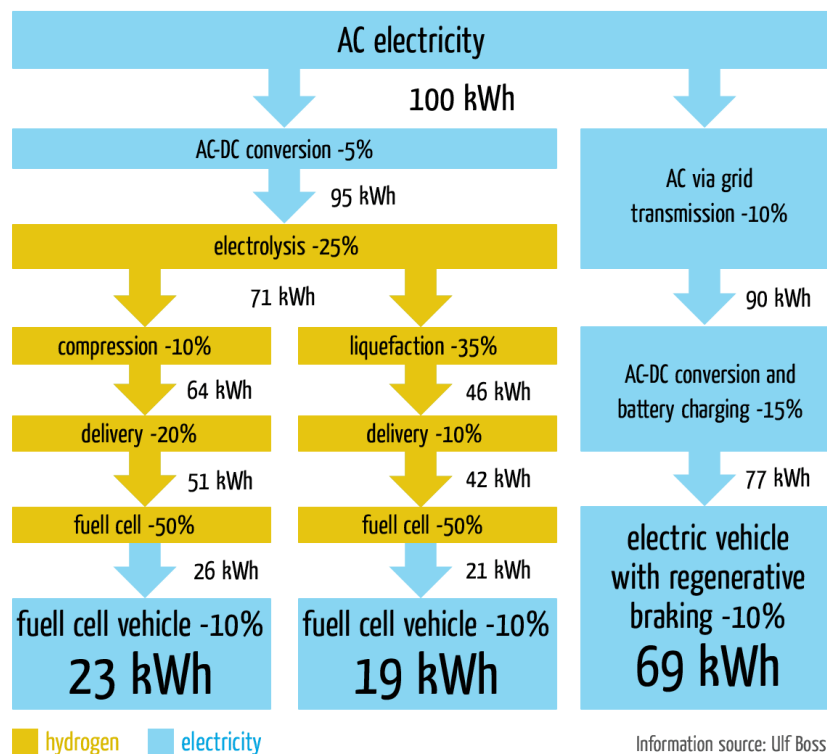
lijkt de inzet van waterstof als voertuig-brandstof slechts verantwoord als de waterstof vrijkomt als restproduct (zoals bij de chloorproductie van AkzoNobel in Delfzijl).

Ondanks de genoemde nadelen ziet de industrie wel een toekomst voor waterstofvoertuigen, met name voor lange afstand en hoge gewichten. Volgens onderzoeken in het kader van o.a. de Hydrogen Council zal richting 2050 35% van de bussen en 25% van de trucks met waterstof uitgerust moeten worden⁴. Figuur 6 schetst de verwachte segmentatie van de markt voor elektrische en waterstofvoertuigen.

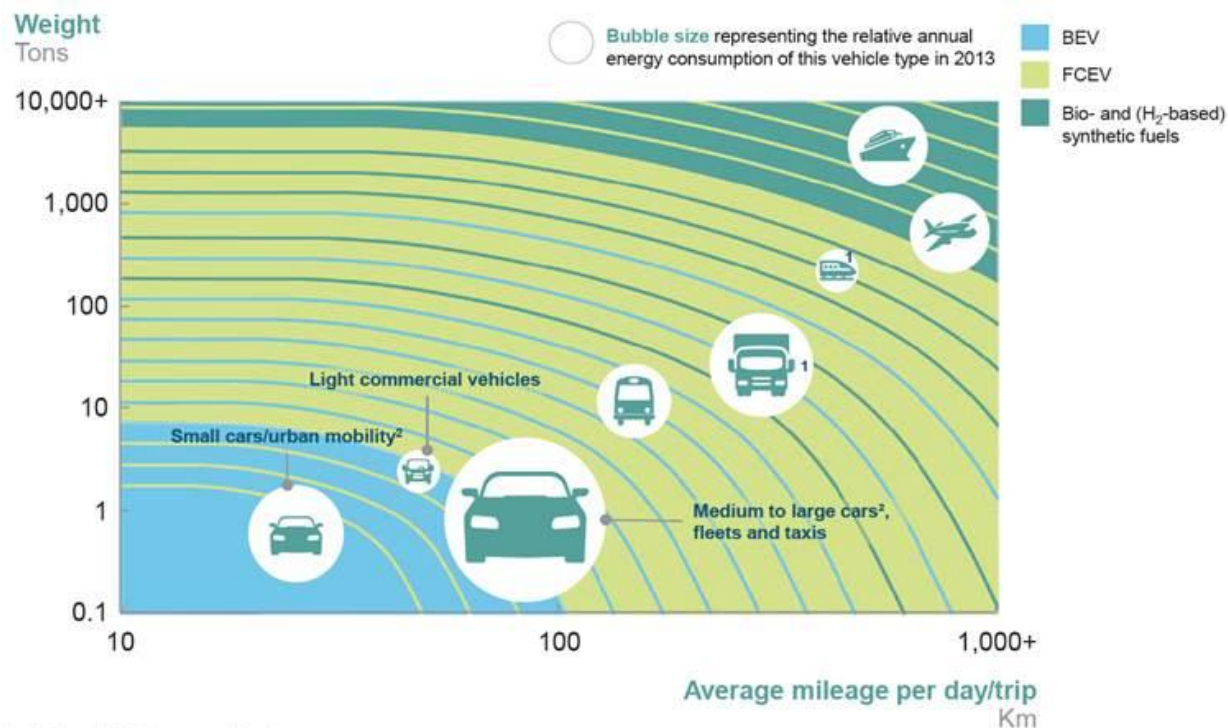
Het grootste waterstof-tankstation ter wereld kan een vloot van 20 bussen bedienen.

⁴ Hydrogen Council, Hydrogen scaling up. A sustainable pathway for the global energy transition, November 2017, <http://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2017/11/Hydrogen-scaling-up-Hydrogen-Council.pdf>

Energy efficiency of hydrogen and electric cars



Figuur 5 - Vergelijking van energetisch rendement van waterstof vs. elektriciteit voor voertuigen. Bron: www.olino.org



Figuur 6 - Verwachte segmentering van de markt voor voertuigen: blauw = elektrisch, lichtgroen = waterstof. Bron: Hydrogen Council.

3 ONTWIKKELINGEN IN DE VERVOERREGIO

3.1 AMSTELLAND-MEERLANDEN

De concessie Amstelland-Meerlanden (AML) is in 2016 aanbesteed en gegund aan de vervoerder Connexxion. In het Programma van Eisen van de aanbesteding heeft de Vervoerregio de aanbeveling uit de studie *Duurzaam OV in de Stadsregio Amsterdam* om bewezen zero emissietechnieken op te nemen uitgewerkt.

Uitgangspunten bij aanbesteding - Schipholnet elektrisch

In samenwerking met Schiphol is een business case opgesteld voor de inzet van zero emissie bussen op de buslijnen rondom Schiphol. Hiervoor is een nieuw vervoersmodel als uitgangspunt genomen, waarin de bussen uiteenlopende dagelijkse afstanden afleggen. Uit dit model bleek dat:

- de inzet van OC-bussen een gunstiger TCO oplevert dan plug-in bussen en lagere meerkosten heeft ten opzichte van dieselbussen;
- de inzet van batterijrolleybussen niet mogelijk is omdat voorgenomen langdurige bouwwerkzaamheden nabij de luchthaven de aanleg van bovenleidingen verhinderde;
- de inzet van waterstofbussen wordt belemmerd door veiligheidsregelgeving op en rondom Schiphol en bovendien duurder is.

De Vervoerregio heeft de inzet van zero-emissiebussen op het Schipholnet als eis opgenomen in het PvE van de aanbesteding.

Uitgangspunten bij aanbesteding - Elektrificatie Zuidtangent

De start van de nieuwe concessie AML kwam te vroeg om de Zuidtangent te elektrificeren. Nieuwe duurzame technologieën kennen nog te veel onzekerheden om deze grootschalig in te zetten op een drukke lijn als de Zuidtangent. (Inter)nationale ervaringen met zowel

batterijrolleybussen als OC-bussen ontbreken. Daarnaast zijn de benodigde voorbereidingen i.v.m. de aanleg van bovenleidingen of laadinfrastructuur (vergunningen, bezwaar-procedures) tijdsintensief.

Er is nader onderzoek nodig naar de implicaties van elektrificatie van de Zuidtangent. Op grond van een extra onderzoek kan gedurende de looptijd van de concessie AML een business case worden uitgewerkt voor elektrificatie van de Zuidtangent gedurende de concessie. In de aanbesteding van de concessie AML is de inschrijvers gevraagd een transitieplan naar zero-emissie busvervoer op te stellen voor o.a. de Zuidtangent.

Resultaat aanbesteding - Connexxion vervoerder in AML

Connexxion voert de concessie aanvankelijk uit met honderd OC-bussen, die gaan rijden op Schipholnet en R-net. De voertuigen worden in twee deelseries geleverd:

- 51 gelede VDL Citea SLFA-e 181 in Bus Rapid Transit) uitvoering voor Schipholnet en;
- 49 gelede VDL Citea SLFA-e 180 in R-net kleuren en met een klassieke bus uitstraling.

Eind 2021 stromen volgens planning nog eens circa 150 gelede elektrische bussen in (R-net) voor o.a. de Zuidtangent.

Tabel 5 geeft weer waar de voertuigen worden geladen en met welke techniek. In bijlage C zijn afbeeldingen van de laadinfrastructuur te vinden.

Naast grote bussen heeft Connexxion voor het kleinschalige vervoer het concept AML Flex aangeboden, waarin een aantal VDL Midcity LE electric (op basis van een Mercedes Benz Sprinter voertuig) en (later) Nissan e-NV 200

Evalia elektrische minivans worden ingezet. Ook wordt een dertigtal Nissan Leaf personenauto's gebruikt (eerst met 23 kWh batterijpakket en na één jaar omgewisseld naar een versie met 40 kWh batterijpakket).

De start van de exploitatie van de elektrische bussen op 11 december 2017 is verschoven naar 2 april 2018 vanwege vertraging. Dat kwam o.a. door saneringswerkzaamheden (vergunningen) van de grond onder de funderingen van de laadinfrastructuur, maar ook bleek dat het realiseren van een werkend zero emissie systeem meer tijd nodig had dan voorzien.

Voor de stroomlevering heeft Connexxion een contract voor 100% groene stroom afgesloten voor de concessie AML. De garanties van oorsprong (certificaten) zijn volledig afkomstig van hernieuwbare energieopwekking uit Nederland. Dit betreft tenminste 60% windenergie, tot 30% biomassa en 10% zonne-energie. Een overeenkomst met een lokale partner (binnen de Vervoerregio) voor 100% hernieuwbare elektriciteit was vanwege de hoge stroomvraag niet mogelijk.

Tabel 5 – Overzicht laadinfrastructuur in Amstelland-Meerlanden

Locatie	Wanneer	Laadvoorzieningen
Stalling Cateringweg Schiphol	2018	Combinatie van snel- en langzaam-laders met een totale netaansluiting van 5MVA • 7 snel-laders van 450 kW • 42 langzaam-laders van 30 kW (21 laders met 2 uitgangen)
Schiphol Knooppunt Noord	2018	4 OC snel-laders (450 kW, 2 MVA)
Schiphol Zuid P30	2018	4 OC snel-laders (450 kW, 2 MVA)
Amstelveen (tijdelijk*)	2018	8 OC snel-laders (450 kW)
Stalling Haarlem	2020	Combinatie van snel- en langzaam-laders • 8 snel-laders • 32 langzaam-laders
Rozenburg (Schiphol Logistics Park)	2020	Combinatie van snel- en langzaam-laders • 8 snel-laders • 21 langzaam-laders

*De nieuwe locatie in Amstelveen wordt in de 2^e helft van 2018 opgeleverd, met 8 snel-laders en 42 langzaam-laders.

3.2 AMSTERDAM

GVB en de gemeente Amsterdam hebben in april 2015 het convenant Duurzaam OV gesloten waarin onder andere de ambitie uitgesproken is om in 2025, voor zover techniek en operatie dit toelaten, emissievrij openbaar busvervoer aan te bieden. GVB, gemeente Amsterdam en Vervoerregio werken samen aan het project Elektrische Bussen 1 (EB1). De haalbaarheid van verschillende zero emissie technieken is onder andere getoetst op de kosten (met een eigen vertrouwelijke TCO-

berekening op lijnenniveau), de gevolgen voor de exploitatie en de bewezen betrouwbaarheid. In het EB1 project zijn met name twee systemen onderzocht die fysiek inpasbaar en technisch-economisch haalbaar lijken: in-motion charging (IMC, oftewel batterijtrolleybus) en opportunity charging (OC, stilstaand snel-laden). De inzet van plug-in bussen werd vanwege de af te leggen gafstanden afgewezen.

In februari 2018 is GVB gestart met een Europese aanbesteding voor 31 elektrische bussen (22 geleed en 9 standaard, met optie tot 69 extra bussen) met bijbehorende laadapparatuur voor langzaam- en snel-laden. Hierbij is gekozen voor opportunity charging, omdat deze techniek op deze termijn haalbaar, betaalbaar en inpasbaar is binnen de concessie. De nieuwe bussen worden vanaf 2020 waarschijnlijk ingezet op lijnen 15, 22 en 36 (eindpunt Sloterdijk) ter vervanging van 28 dieselbussen. Station Sloterdijk wordt een zogenaamde 'laadhub' waarbij de batterijpakketten van de bussen door middel van maximaal 10 OC snel-laders bijgeladen worden. Bus Garage West fungeert als nachtstalling waarbij de batterijpakketten door middel van maximaal 31 langzaam-laders geladen worden. De lijnen zijn gekozen op basis van de luchtkwaliteitsknelpunten in de stad en de mogelijkheid voor één laadhub.

Bij een volgende aanbesteding voor elektrische bussen in Amsterdam zal GVB opnieuw afwegen wat de meest wenselijke en haalbare zero emissie techniek is voor de stad. OC is dus niet per definitie de nieuwe standaard voor Amsterdam.

Wat betreft de energielevering, gebruikt GVB voor de trams en metro's sinds 2016 elektriciteit met garanties van oorsprong met Milieukeur. Ook wordt onderzocht hoe het elektriciteitsgebruik nog verder kan verduurzamen bij het afsluiten van een nieuw energiecontract. Daarnaast levert de plaatsing van zonnepanelen op de daken van 13 metrostations een bijdrage. De opgewekte stroom wordt onder andere gebruikt voor roltrappen en verlichting op de metrostations.

3.3 WATERLAND

In de concessie Waterland zet EBS vanaf juli 2018 tien (waarvan twee reserve) nieuwe OC-bussen in op lijn 316 (van Amsterdam naar Edam/Volendam). De laadinfrastructuur komt op het busstation Edam (drie snel-laders van 450 kW) en op de stalling in Purmerend (twaalf langzaam-laders van 30 kW). VDL levert de elektrische bussen en zijn net als de voertuigen van Connexxion voor AML van het type Citea SLFA-e 181. De laadapparatuur is ook

overeenkomstig het door Heliox geleverde voor de AML-concessie.

Eén van de voorwaarden voor de financiële bijdrage van VRA aan het project lijn 316 zero emissie is dat EBS voor dit project een contract sluit met een energieleverancier voor hernieuwbare energie afkomstig van windparken in Noord-Holland.

3.4 ZAANSTREEK

In de concessie Zaanstreek gaat Connexxion vanaf december 2018 rijden met vijf plug-in elektrische midibussen op de lijnen 67 en 69. Deze worden met langzaam-laders opgeladen in de stalling. Het gaat om VDL Citea LLE 99 midibussen met een motorvermogen van 150 kW en een batterijpakket van 180 kWh.

De Vervoerregio heeft de looptijd van de concessie Zaanstreek verlengd, zodat deze tegelijk met de concessie Waterland kan worden aanbesteed als een nieuwe samengevoegde concessie. Door de samenvoeging van de concessies kan o.a. meer synergie worden bereikt in de verdere uitbreiding van zero emissie busvervoer.

4 ONTWIKKELINGEN IN NEDERLAND EN EUROPA

4.1 DUURZAAM OV IN NEDERLAND

Zero emissie bussen

Decentrale opdrachtgevers openbaar vervoer hebben besloten dat vanaf 2025 alle nieuwe OV-bussen uitstootvrij worden (Bestuursakkoord Zero Emissie Regionaal Openbaar

Vervoer Per Bus 2016). In verschillende steden en regio's worden elektrische vloten ingezet of zijn er plannen voor. Tabel 6 geeft hier een overzicht van.

Tabel 6 – Overzicht van zero emissie bussen in Nederland. Bron: CROW 2018, aangevuld door auteurs.

Trolley = trolleybus, Plug-in = plug-in bus, OC = opportunity charging bus, IMC = in-motion charging bus, H2 = waterstofbus, H2RE = elektrische bus met waterstof range extender, Nnb = nog niet bekend

Wanneer	Aantal	Type	Techniek	Waar	Vervoerder
Verscheidend	39	Hess trolley	Trolley 18m	Arnhem	Breng
2013, april	6	BYD	Plug-in 12m	Schiermonnikoog	Arriva
2013, december	3	Optare Solo EX	Plug-in 10m	Utrecht	Qbuzz
2014, voorjaar	4	Volvo	Plug-in 12 m	Den Bosch	Arriva
2016, juli	1	Hymove / Solbus	H2 12m	Apeldoorn	Syntus
2016, december	4	VDL Citea SLFAe	OC 18m	Maastricht	Arriva
	12	VDL Citea LLE	OC 9,9m	Venlo	Arriva
	35	BYD	Plug-in 12m	Schiphol (Airside)	SNBV
	43	VDL Citea SLFAe	OC 18m	Eindhoven e.o.	Hermes
2017, januari	11	VDL Citea SLFe	OC 12m	Vlieland, Terschelling, Ameland	Arriva
2017, februari	2	Ebusco HV LE	Plug-in 12m	Groningen	Qbuzz
2017, maart	3	VDL Citea SLFe	OC 18m	Terschelling, Ameland	Arriva
2017, mei	2	VDL / APTS Phileas	H2 18m	Eindhoven	Hermes
2017, juli	3	Iveco Rosero first	Plug-in midi	Dordrecht	Arriva
	2	VDL Citea LLE	OC 9,9m	Gorinchem	Arriva
2017, augustus	10	Ebusco	Plug-in 12m	Utrecht	Qbuzz
	2	Van Hool	H2 12m	Rotterdam	RET
2017, december	8	BYD K9	Plug-in 12m	Haarlem IJmond	Connexxion
	10	VDL Citea SLFAe	OC 18m	Groningen	Qbuzz
	2	Van Hool	H2 12m	Groningen	Qbuzz
	2	BYD	Plug-in 12m	Amersfoort	Syntus
2018, februari	7	BYD	Plug-in 12m	Almere	Keolis NL
2018, april	9	VDL Citea SLFe	OC 12m	Den Bosch	Arriva
2018, april	100	VDL Citea SLFAe	OC 18m	Amstelland Meerlanden	Connexxion
2018, voorjaar	8	BYD	Plug-in 12m	Haarlem IJmond	Connexxion
2018, juni	4	Nnb	H2 12m	HWGO	Connexxion
2018, juli	21	BYD	Plug-in 8,75m	Noord-Holland Noord	Connexxion
	62	VDL Midcity Electric	Plug-in midi	Noord-Holland Noord	Connexxion
	10	VDL SLFA-e 180	OC 18m	Waterland	EBS
2018	2	Hess trolley	IMC 18m	Arnhem	Breng
2018	5	VDL Citea LLE 99	Plug-in midi	Zaanstreek	Connexxion
2018, december	37	Ebusco 2.1 LF-HV-300	Plug-in 12m	Dordrecht	Qbuzz
	3	Iveco Resero First	Plug-in midi	Dordrecht	Qbuzz
2018?	5	VDL Citea SLF-120 ^e	OC 12m	Den Haag	HTM
Totaal t/m 2018	477				
Verwacht na 2018					
2020	31	Aanbesteding	OC 12m	Amsterdam	GVB
2020	55	Aanbesteding	Nnb	Rotterdam	RET
2020	50	Aanbesteding	H2(RE) 12m	Groningen (20), Zuid-Holland (20), Noord-Brabant (10)	Nnb
2021	150	VDL Citea SLFA-e 210 (ontwikkeling)	OC 21m	AML R-net	Connexxion
Tot 2021	~60	Nnb	Nnb	Haarlem-IJmond	Connexxion
2021	17	Aanbesteding	Nnb	Den Haag	HTM

2021	(~220)	Aanbesteding	Nnb	Waterland / Zaanstreek	Nnb
2022	50	Aanbesteding	Nnb	Rotterdam	RET
2024	45	Aanbesteding	Nnb	Den Haag	HTM
2025	53	Aanbesteding	Nnb	Den Haag	HTM
2025	50	Aanbesteding	Nnb	Rotterdam	RET
2030	110	Aanbesteding	Nnb	Rotterdam	RET
Totaal	> 681				

Eind 2018 zijn in Nederland 477 zero emissie bussen in gebruik, waarvan:

- het merendeel van de zero emissie bussen (209) gebruik maakt van tussentijds snel-laden in combinatie met 's nachts langzaam-laden;
- een relatief groot deel van de bussen (201) alleen 's nachts oplaadt;
- een kleiner deel maakt gebruik van trolleybussen (39, Arnhem) en is voornemens om met batterijtrolleybussen te experimenteren;
- en elf bussen tanken waterstof.

Volgens bekende plannen van vervoerders worden de komende jaren tenminste nog eens 681 zero emissie bussen met verschillende techniekeuzes aangeschaft. Dit aantal neemt naar verwachting de komende jaren gestaag toe doordat vervoerautoriteiten steeds vaker zero emissie doelstellingen opnemen in de Programma's van Eisen bij de aanbesteding van nieuwe concessiegebieden.

Wanneer gekeken wordt naar overige duurzame technieken, is er een stagnatie te zien in de toepassing van hybride- en gasbussen. Er rijden in Nederland 65 dieselhybride bussen en 621 gasbussen (bron: CROW 2018). In 2017 heeft EBS de

aanbesteding van de concessie Voorne-Putten en Rozenburg gewonnen met een bieding met 49 groengasbussen. De trend is echter volledige overgang naar zero emissie, en het instromende zero emissie materieel zal in de komende jaren naast standaard dieselbussen ook hybride en gasbussen vervangen.

Ervaringen in Eindhoven

In Eindhoven maakt Hermes (dochter-onderneming Connexxion) sinds december 2016 op acht verschillende routes gebruik van een vloot van 43 gelede OC elektrische bussen van VDL Bus & Coach. De 18-meter bussen zijn uitgerust met een stroomafnemer die contact maakt met het snel-laadpunt. De batterijen worden overdag binnen een half uur (10-20 minuten) bijgeladen in het busdepot op ca. 1 km afstand van het busstation. De bussen die moeten laden worden omgewisseld met een volledig opgeladen bus, waardoor er 33 bussen in exploitatie zijn en tenminste zeven bussen op het depot worden geladen (de rest is onderhoudsreserve). Alle bussen worden ook 's nachts opgeladen (5-7 uur). Andere vervoerders die het gebruik van elektrische bussen verruimen zijn o.a. Arriva, Qbuzz en Syntus/Keolis. RET heeft onlangs een Europese subsidie verworven voor

EINDHOVEN IN CIJFERS

- In april 2018 is 4 miljoen kilometer gereden met OC-bussen;
- De OC-busvloot legt op weekdays meer dan 9.000 kilometer af;
- De OC-bussen rijden meer dan 340 kilometer per dag;
- De OC-bussen vervoeren 125 reizigers in een frequentie van 2 minuten;
- De vloot wordt uitgebreid tot 100 OC-bussen in 2020 (vervanging Euro VI-dieselbussen)
- De concessie is winstgevender dan de prognose bij bieding¹.

de introductie van 105 elektrische bussen, die in verschillende staffels worden aangeschaft. HTM kiest ervoor om met één lijn en één OC laadpunt te beginnen om ervaring op te doen met elektrische voertuigen. De proefperiode bedraagt één jaar, waarna het aantal voertuigen bij succes zal worden uitgebreid van 5 naar 8. De verdere uitrol van zero emissie voertuigen is gepland in de nieuwe concessie (december 2019 tot december 2034) die door de Metropoolregio Rotterdam Den Haag (MRDH) onderhands aan HTM is gegund. In Den Haag verloopt de transitie in drie stappen: 17 bussen in 2021, 45 bussen in 2024 en 53 bussen in 2025.

Ervaring met waterstofbussen

Het ministerie van I&W heeft in 2014 subsidie verstrekt aan vijf regio's voor tien waterstofbussen. Na een aanlooperperiode om de publiek-private afstemming tussen OV-opdrachtgever, vervoerder, busfabrikant, tankstation exploitant en waterstofleverancier te regelen, worden de eerste van deze bussen nu ingezet.

- In Eindhoven/Helmond rijdt Hermes met twee Phileas waterstofbussen van VDL-APTS die gerefabriceerd zijn (o.a. met nieuwe brandstofcellen) nadat ze eerst bij

GVB in Amsterdam reden. De bussen tanken bij een bestaande installatie in Helmond, dat echter wegens onderhoudsproblemen een groot deel van 2017 buiten gebruik was.

- In Groningen heeft Qbuzz in opdracht van OV-bureau Groningen Drenthe twee Van Hool bussen aangeschaft in het EU-project High VLO City (zie figuur 7). De bussen worden vanaf december 2017 voor vijf jaar ingezet en tanken bij een openbaar toegankelijk tankstation van Pitpoint in Delfzijl dat waterstof afneemt van AkzoNobel's chloorelektrolyse.
- In Rotterdam rijdt RET met twee Van Hool waterstofbussen. In Zuid-Holland heeft Connexxion bij VDL vier elektrische bussen met waterstof range extender besteld voor de concessie Hoekse Waard Goeree Overflakkee. Deze zes bussen vallen tevens onder het EU-project 3EMotion. Zero emissie bussen (gaan) tanken bij het tankstation in Rhoon, waarvan de capaciteit moet worden uitgebreid om acceptabele tanktijden te krijgen.
- Tussen Arnhem en Apeldoorn rijdt Keolis met één bus van de Arnhemse firma Hymove. De bus tankt in Arnhem. Er komen mogelijk één of meer bussen bij.



Figuur 7 – Van Hool waterstofbus in Groningen. Bron: Qbuzz

Er komen in de komende jaren vijftig waterstofbussen bij in het Europese project JIVE 2. Dit project omvat 152 bussen waarvan vijftig voor Nederland, die worden verdeeld over Groningen (twintig), Zuid-Holland (twintig) en Noord-Brabant (tien). Het ministerie van I&W onderzoekt samen met de betrokken provincies de mogelijkheden voor de gezamenlijke inkoop van de bussen en benodigde waterstof met de laagst mogelijke TCO mogelijk te maken.

De grootschalige inzet van waterstofbussen lijkt op korte termijn niet opportuun vanwege de hoge kosten voor de infrastructuur voor waterstofbussen en de nog onvoldoende bewezen beschikbaarheid van de complexe voertuigen. Inzet van waterstofbussen wordt in de praktijk enkel kleinschalig overwogen en enkel dan nog wanneer er aanzienlijke subsidiebedragen in het vooruitzicht worden gesteld.

BESTUURSAKKOORD ZERO EMISSIE REGIONAAL OV BUS

Het Bestuursakkoord Zero Emissie stimuleert samenwerking tussen betrokken partijen bij de ontwikkeling, implementatie en transitie naar zero emissie busvervoer. Op basis van samenwerking worden afspraken gemaakt over een gezamenlijke transitie-agenda, waarbij aandacht is voor kennisdeling, financiering en zero emissie busvloten. De Vervoerregio geeft hier invulling aan door een actieve rol te spelen in de bestuurlijke stuurgroep en de werkgroep ZEB die zijn gevormd naar aanleiding van het bestuursakkoord. Hierbij worden vijf programmalijnen uit het bestuursakkoord gevolgd: Kennisdeling, Systeemontwikkeling & Samenwerking met de markt, Financieel instrumentarium, Duurzame Energie en Monitoring & Evaluatie. De werkgroep heeft onder meer een marktdialoog georganiseerd met 28 partijen verspreid over verschillende onderdelen van de keten voor zero emissie busvervoer.¹

CO₂-emissie per reizigerskilometer

In 2016 heeft CROW-KpVV samen met de Vervoerregio, OV-bureau Groningen Drenthe en provincie Groningen in een pilotproject laten onderzoeken of het mogelijk is een betrouwbare monitor te maken voor de CO₂-uitstoot en het energiegebruik van het regionale openbaar vervoer in relatie tot reizigerskilometers. Tabel 7 geeft de resultaten

van de pilot. Uitgangspunt hierbij was dat de betrouwbaarheid van de resultaten binnen een bandbreedte van 10% moet liggen. Voor zes van de zeven onderzoeksgebieden is de 10%-betrouwbaarheid gehaald. Voor één gebied lukte dat niet, omdat de voertuigen daar ook voor veel andere doeleinden worden ingezet.

Tabel 7 - CO₂-monitor openbaar vervoer pilotproject 2015. Bron: CROW.

2015	CO ₂ per reiziger [gram CO ₂ -eq well-to-wheel per reizigerskm met bandbreedte]	Energieverbruik per reiziger [megajoule per reizigerskm.]
Concessie Groningen Drenthe	133 ± 7,7	1,50 ± 0,09
HOV-concessie GD	72 ± 10,5	0,81 ± 0,09
Concessie Amsterdam, bus	131 ± 6	1,48 ± 0,08
Concessie Amsterdam, tram	0	0,54 ± 0,03
Concessie Amsterdam, metro	0	0,67 ± 0,05
Waterland	109 ± 10,8	1,22 ± 0,12
Regionale treindiensten Groningen	94 ± 6,7	1,17 ± 0,08

De monitor biedt de mogelijkheid om prestaties per concessie te vergelijken, met name in de tijd. De onderzoeksgebieden verschillen echter qua geografie, bevolkingsdichtheid, infrastructuur en ov-aanbod en zijn daardoor niet zomaar onderling vergelijkbaar. CROW wil de monitor stapsgewijs uitbouwen, waarbij ook wordt gekeken naar andere aandrijvingen en brandstoffen, en met meer OV-autoriteiten en vervoerbedrijven.

De eenheid CO₂ per reizigerskilometer is een lastige in aanbestedingen omdat het aantal reizigerskilometers van veel factoren afhankelijk is. In de aanbesteding voor AML is gekozen voor de uitvraag van een iets andere kpi, namelijk een zo laag mogelijke waarde voor CO₂ per plaatskilometer om ervoor te zorgen dat het juiste formaat bus wordt ingezet en niet te kleine bussen met een hogere frequentie of te grote bussen met een lagere frequentie.

4.2 DUURZAAM OV IN EUROPA

Münster

Münster maakt sinds 2014 gebruik van een vijftal plug-in elektrische bussen van VDL. Deze bussen zijn voorzien van een naafmotor en hebben een beperkte batterijcapaciteit. De ervaringen met de vijf elektrische bussen zijn redelijk met een inzetbaarheid in exploitatie van 75%, maar de operationele kosten liggen nog beduidend hoger dan van vergelijkbare dieselbussen.

Politieke discussie over de instelling van klimaatzones in de grote Duitse steden heeft het proces naar zero emissie onomkeerbaar heeft gemaakt in Duitsland. Er zijn daarom nog vijf zero emissie bussen bij VDL besteld, nu met een klassieke centraal geplaatste tractiemotor en voorzien van een (OC type) pantograaf. Reden voor de pantograaf is de onbetrouwbaarheid van plug-in qua gebruikersgedrag. De stalling zal dit jaar worden aangepast aan het gebruik van laden via pantograaf.

Voorkeur voor pantograaf vanwege onbetrouwbaarheid Plug-in

Tevens loopt een proef met een van Syntus geleende waterstofbus. Ook hiervoor moet de stalling worden aangepast (automatisch te openen daklichten en sensoren). Münster

heeft een commercieel waterstoftankstation in de buurt van een onderaannemer.

België

Het Waalse vervoersbedrijf TEC Group heeft negentig OC-dieselhybride bussen (OC-hybrides) van Volvo besteld, evenals twaalf 150 kW snel-laadstations van ABB voor de steden Charleroi en Namen (bovenop elf bussen en drie oplaadpunten die al in gebruik zijn). Levering en installatie van deze uitbreiding is begonnen in het najaar van 2017. Volgens ervaringen in Zweden en elders rijden de OC-hybrides gemiddeld 70% van de tijd op elektriciteit, afhankelijk van lijnlengte en beschikbare laadinfra. De order vanuit België is voor Volvo de grootste tot nu toe van OC-hybrides.

Parijs

Het Parijse OV-bedrijf RATP wil in 2025 een vloot van 4.500 emissiearme bussen hebben, waarvan 80% elektrische bussen en 20% biogas bussen. Tussen 2015 en 2017 zijn testprogramma's uitgevoerd voor elektrische bussen onder praktijkomstandigheden met passagiers ter voorbereiding op de aanbesteding in 2017 voor grootschalige aankoop van zero emissie bussen (instroom 2019). RATP testte bussen van de Europese bedrijven Bolloré Bluebus, Heuliez Bus (beide Frankrijk), (F), Irizar (Spanje) en Solaris (Polen) en de Chinese ondernemingen Yutong en Ebusco.

Londen

Transport for London (TfL) exploiteert 51 plug-in bussen van BYD, enige tijd de grootste elektrische busvloot in Europa, en heeft aangekondigd om in 2018 uit te breiden tot 120 bussen. TfL rijdt ook met 2.000 Alexander Dennis hybride bussen (20% van de gehele vloot) en wil vanaf 2018 stoppen met het kopen van standaard diesel dubbeldekkers. Ruim 3.100 dubbeldekkers worden in 2019 door hybride voertuigen vervangen.

Vanaf 2018 geen nieuwe dubbeldekkers op diesel meer in Londen.

Finland

Helsinki test OC elektrische bussen gebouwd door de Finse firma Linkker, waarvan twaalf zijn besteld. Laadstations worden gebouwd op het stationsplein, langs een buslijn en op de eindpunten van een andere buslijn. Het doel van Helsinki Regional Transport Authority (HSL) is dat eenderde van haar vloot in de stadsregio Helsinki elektrisch is in 2025. Naast elektrisch wordt ook biogas toegepast: de gasbussen van de stadsregio Helsinki rijden sinds 2017 op 100% hernieuwbaar gas, dat plaatselijk is gemaakt van biologisch afbreekbaar afval.

Spanje

Meerdere Spaanse steden hebben proefprojecten met elektrische bussen. Transports Metropolitan de Barcelona (TMB), EMT Madrid en vervoerbedrijven in Donostia, Bilbao, en Valladolid hebben bussen van Solaris, Irizar, BYD en Vectia ingezet. Het gaat om zowel plug-in en OC elektrische bussen als OC-hybride bussen. EMT Madrid gebruikt in de nauwe binnenstad ook elektrische minibussen van Tecnobus (Italië). Vorig jaar kreeg Irizar vervolgoorders voor vijftien 12m plug-in bussen

in Madrid en vier 18m OC-bussen voor Barcelona.

Naast elektrisch wordt in Spanje ook het gebruik van andere alternatieve technieken uitgebreid. TMB had eind 2015 159 hybride bussen van verschillende leveranciers, waaronder retrofits van hun eigen diesel en CNG-bussen. In 2016 zijn 78 nieuwe bussen toegevoegd, waarvan 50 hybriden en 18 CNG-bussen. TMB heeft ook drie 24m dubbelgelede hybride bussen van Scania Van Hool in gebruik. TMB verwachtte de CNG-vloot tot 500 eenheden te vergroten in 2017. Het Consorcio Regional de Transportes de Madrid stimuleert het gebruik van energie-efficiënte en schone bussen door haar concessiehouders, die 107 hybrides en 156 CNG-bussen in gebruik hebben genomen.

Praag

Vervoerder DPP, busfabrikant SOR en leverancier van elektrische apparatuur Cegelec werken samen in een proefproject van de SOR EBN elf OC elektrische bus. De lengte van het gekozen buslijnen varieert van 22 tot 35 km en het dagelijks behaalde bereik bedraagt 265 tot 340 km. Dit zijn de langste lijnen en de grootste (behaalde) dagafstanden in het UITP ZeEUS ebus rapport⁵. De bus wordt gedurende 10-30 minuten geladen met een stroomafnemer op de terminal, waarbij gebruik wordt gemaakt van het voedingsnetwerk van de tram, evenals van 's nachts opladen.

Voedingsnetwerk tram wordt ingezet om bussen te laden.

Het proefproject werd na positieve resultaten tijdens het eerste jaar van gebruik (65.000 km in passagiersdienst) verlengd met een jaar.

⁵ Meer ervaringen van Europese steden met elektrisch busvervoer zijn te vinden in het ZeEUS eBus verslag: UITP, *ZeEUS eBus Report #2. An overview of electric buses in Europe*, 2017, <http://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-2.pdf>

Europese subsidieprojecten voor waterstofbussen

De Nederlandse projecten met waterstofbussen zijn meestal onderdeel van Europese subsidieprojecten, zoals HighVLOCity, 3EMotion en JIVE 2. Van Hool is de voornaamste leverancier in deze projecten. HighVLOCity brengt veertien Van Hool waterstofbussen op de weg. De steden Antwerpen en Aberdeen hebben in dit project elk vijf bussen getest; Antwerpen kende problemen terwijl Aberdeen uit tevredenheid de vloot heeft uitgebreid. Qbuzz kon twee bussen overnemen van San Remo, waar men de bussen bij gebrek aan een tankstation niet kon inzetten.

3EMotion, onder leiding van Van Hool, brengt 21 waterstofbussen op de weg in zes Europese steden, en JIVE 2 omvat naast vijftig bussen voor Nederland nog 102 bussen voor andere landen. Het zusterproject JIVE 1 (2017-2023), zonder Nederlandse deelname, brengt 139 bussen op de weg in vijf landen. Het project krijgt hiervoor €32 miljoen Europese subsidie. Van Hool won de aanbesteding om volgend jaar veertig van deze bussen te leveren in Duitsland (dertig voor Keulen en tien voor Wuppertal), de grootste Europese order van waterstofbussen tot dusver.

Steeds meer waterstofbussen op de weg.

Van Hool gaat ook acht Exqui.City trambussen op waterstof bouwen voor Pau in Frankrijk. Het betreft 18,62 meter gelede bussen met een capaciteit van 125 passagiers en een actieradius van ruim 300 km. De order wordt in

de tweede helft van 2019 opgeleverd. Naar verwachting zijn er rond 2022 zo'n 300 waterstofbussen in gebruik in 22 Europese steden.

In-motion charging in Europa

Het vervoerbedrijf van trolley stad Cagliari heeft zes 12-meter batterijrolleybussen beproefd op een lijn met twee stukken zonder bovenleiding. De bussen rijden 45% van het traject op batterijen. Het gaat om 2 bussen van Solaris en vier van Kiepe Van Hool. De maximale afstand op volle batterijen van deze bussen is respectievelijk 21 km en 11 km. De bussen laden rijdend onder de bovenleiding op en stilstaand op de remise via de pantograaf.

Batterijrolleybussen rijden deels zonder bovenleiding.

In het Duitse Esslingen rijdt men met 18-meter gelede batterijrolleybussen van Solaris. De bussen worden ingezet in heuvelachtige omgeving op lijnen waarvan sommige minder dan 50% bovenleiding hebben. Onder ongunstige omstandigheden hebben de bussen een bereik van tien kilometer in batterijmodus. Een bus die naar Arnhem werd uitgeleend voor een proefrit legde echter 24 kilometer los van de voeding af van Arnhem tot Wageningse Berg.

Solaris heeft de afgelopen jaren ruim tachtig IMC-bussen geleverd in o.a. Gdynia, Plzen en Rome, en heeft orders voor nog eens honderd. In alle gevallen worden de bussen ingezet in steden met een bestaand trolley netwerk.

5 TCO-BEREKENINGEN VOOR WATERLAND, ZAANSTREEK EN AMSTELLAND-MEERLANDEN

5.1 UITGANGSPUNTEN

Voor de concessies Waterland, Zaanstreek en Amstelland-Meerlanden zijn hernieuwde Total Cost of Ownership (TCO) berekeningen gemaakt en is gekeken naar de milieueffecten van vlootvervangingsscenario's. Hiervoor is net als in 2016 het rekenmodel 'De Groene Cockpit' gebruikt, in een vernieuwde versie. Een toelichting op het rekenmodel, de uitgangspunten en geactualiseerde modelparameters staat in bijlage B.

Naast de update van het model, zijn ook de modelparameters geactualiseerd ten opzichte van 2016. Hiervoor is gebruik gemaakt van nieuwe prijsopgaven van de industrie en recente praktijkervaringen met inzet van zero emissie en andere (duurzame) bussen. De update leidt tot enkele verschillen in de TCO-berekeningen:

- Er zijn twee technieken toegevoegd (OC-dieselhybride en waterstof range extender bus).
- Plug-in bussen zijn duurder geworden doordat grotere batterijpakketten worden toegepast, en voor IMC zijn betere kosteninschattingen beschikbaar.
- Energie-infrastructuur blijkt in praktijk duurder in onderhoud dan eerder aangenomen; dit geldt voor snel-laders en voor gas- en waterstoftankstations. Voor deze laatste blijken bovendien de energiekosten voor compressie een substantiële kostenpost die in 2016 niet werd meegerekend.
- De investeringskosten van snel-laadinfra blijken in de praktijk lager dan eerder aangenomen. In 2016 werd gerekend met twee snel-laders per lijn op de eindpunten. Nu is de vuistregel dat er per vijf bussen één snel-lader nodig is (10 voor OC-hybrides). De benodigde lengte

bovenleiding op de trajecten voor IMC-bussen is uniform op 50% gesteld.

- De inschatting van de extra personeelskosten bij inzet van zero emissie bussen kan vanuit de praktijk beter worden gemaakt. Er is gerekend met de vuistregel dat er 1 fte extra personeel nodig is voor het aansluiten van elektrische bussen en/of waterstof tanken per 50 bussen.
- Sommige technieken zijn nu wel inzetbaar in bepaalde deelnetwerken waar dat in 2016 nog niet mogelijk was. Dit betreft met name OC op de Zuidtangent. In 2016 leken de batterijen te zwaar te worden en het onderweg bijladen te tijdrovend voor de lange hoogfrequente omlopen maar met de huidige batterij- en laadtechniek zou het wel mogelijk moeten zijn.
- Net als in 2016 is de gekozen afschrijftermijn van conventionele bussen tien jaar en van zero emissie bussen vijftien jaar. De afschrijftermijn van bovengrondse infrastructuur is verlaagd van dertig naar vijftien jaar, gelijk aan de zero emissie bussen. Dit is gedaan omdat de zero emissie technieken snel veranderen en een gekozen optie mogelijk na vijftien jaar wordt ingehaald door een alternatief. Zou er zijn uitgegaan van dertig jaar afschrijving, dan moet mogelijk na vijftien jaar een financiële voorziening worden getroffen waar budgettair geen rekening mee is gehouden. Rekent men met vijftien jaar dan is de infrastructuur op dat moment afgeschreven en goedkoop ter beschikking als de toepassing van betreffende techniek wordt voortgezet. De ondergrondse infrastructuur heeft een afschrijftermijn van veertig jaar. Deze infrastructuur blijft vanwege de

energietransitie toepasbaar voor andere doeleinden.

- De waarden van TCO-parameters zijn voor de conventionele technieken gehard door vele jaren van praktijktoepassing, terwijl de waarden voor de zero emissie technieken meer onzekerheden kennen. Het is belangrijk om dit in gedachten te houden bij interpreteren van de rekenuitkomsten.
- Ook van belang is dat de hier getoonde TCO exclusief de reguliere personeelskosten en overhead is. Deze kosten maken grofweg 60% van de daadwerkelijke kosten uit.

Voor de TCO-berekeningen zijn de lijn-indelingen van de studie van 2016 voor de drie concessies gehandhaafd. In 2018 wordt deze exercitie voor Waterland en Zaanstreek overgedaan voor een aangepast lijnenplan als vingeroefening voor de toekomstige concessie-aanbesteding. Tegelijkertijd worden dan berekeningen gedaan voor de concessie Amsterdam.

Om het aantal berekeningen te beperken, is ervoor gekozen om alleen met de reguliere brandstof diesel te rekenen en niet met biodiesel-blends, en alleen met standaard groengasbussen te rekenen en niet met hybride groengasbussen. Ook is niet gezocht naar de ideale mix van diverse voertuiglengten naast de keuze voor de energiedrager. Tenslotte is afgezien van het doorrekenen van mixscenario's, zoals de combinatie plug-in met groengas (wel gedaan in 2016). Bij plug-in bussen is onderscheid gemaakt naar actieradius 250 en 350 km/dag. De variant 'plug-in 350' is nog niet verkrijgbaar, maar is opgenomen als toekomstperspectief, als de batterijontwikkeling gestaag doorzet.

Naast TCO zijn ook milieueffecten van vlootvervangingscenario's bepaald. Bij het

bepalen van emissies van gereguleerde componenten NOx en fijnstof is uitgegaan van de grenswaarden van Euroklassen. Bij het bepalen van CO₂-uitstoot is het brandstofverbruik per km omgerekend naar uitstoot per km; de uitstoot van elektrische en waterstofbussen is daarbij op nul gezet. In de praktijk is deze uitstoot afhankelijk van de wijze van opwekken van de energie/brandstof; bij inzet van hernieuwbare energie komt het in de buurt van nul. Voor dieselhybride is gerekend met een brandstofbesparing (en daarmee emissiereductie) van 20%. Voor plug-in hybride is het verbruik van diesel en elektriciteit sterk afhankelijk van door vervoerder in de praktijk gekozen inzet en laadsceario; in bijlage A is het verbruik geschat op basis van testcyclus- en praktijkgegevens.

Bij elektrische bussen wordt gerekend met het totale energieverbruik; de energie voor verwarming en koeling en het verbruik voor de aandrijving. De verbruikswaarden volgens de SORT-testcyclus, waar sommige bouwers van elektrische voertuigen mee adverteren, zijn in de praktijk niet bruikbaar, waardoor de voertuigen in voorkomende gevallen blijven stilstaan voordat ze hun geplande oplaadpunt hebben bereikt (situatie Utrecht in 2017). Wanneer een bus wordt verwarmd door middel van een aanvullende brandstofverwarming zal het energieverbruik onder extreme weersomstandigheden minder sterk toenemen omdat de verwarming in meerdere mate zal bijspringen. In de praktijk kan de samenwerking tussen elektrische verwarming en brandstofverwarming dermate worden geoptimaliseerd dat het gebruik van de brandstofverwarming wordt geminimaliseerd. In een situatie van absoluut zero emissie rijden kan in de straten met meeste luchtverontreiniging ervoor worden gekozen om hier de verwarming (automatisch) uit te zetten.

5.2 WATERLAND

5.2.1 Vervangingsscenario's

De concessie Waterland is verdeeld in drie deelnetwerken: 1) de lijnen van Purmerend en Volendam naar Amsterdam-Noord/CS, 2) de Bizzliners en de lijn naar Hoorn en 3) de ontsluitende lijnen. Deze lijnen worden nu bediend met 176 EEV-dieselmotoren (standaard, 18m-geleed en touringcars). De busvloot omvat ook zeven Mercedes-Benz Sprinters en drie Volkswagen buurtbussen; deze zijn buiten beschouwing gelaten.

Tabel 8 geeft de samenstelling van de busvloot verdeeld over deze drie deelnetwerken, in de huidige situatie (diesel EEV) en in de vervangingsscenario's weer. Het benodigde aantal bussen is bepaald door rekening te houden met actieradius en de daaruit volgende behoefte aan extra bussen die worden ingezet terwijl andere bussen laden, en behoefte aan extra technische reserve voor bussen met lagere beschikbaarheid.

Tabel 1 – Vlootomvang vervangingsscenario's Waterland

Concessie Waterland		Diesel	Gas	H2	H2RE	IMC	OC	Plug-in 250	Plug-in 350	OC-hybrid
Purmerend/Volendam → Amsterdam 100.000 km/bus/jaar (diesel)	12m	75	77	79	113	0	87	n.v.t.	n.v.t.	75
	15m	0	0	0	0	0	0			0
	18m	24	25	26	0	77	28			24
Bizzliner + Hoorn 121.000 km/bus/jaar (diesel)	12m	21	22	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	54
	15m	26	27							0
	18m	6	7							6
Ontsluitende lijnen 89.000 km/bus/jaar (diesel)	12m	23	24	25	26	n.v.t.	27	29	25	23
	15m	0	0	0	0		0	0	0	0
	18m	1	2	2	0		2	2	2	1
Totaal		176	184	132	139	77	144	169	132	182

In sommige deelnetwerken zijn opties 'niet van toepassing'. Dit kan verschillende redenen hebben. Bij een actieradius van 250 km/dag zijn ten opzichte van dieselmotoren 29 extra bussen nodig voor een volledige plug-in busvloot op het deelnetwerk Purmerend/Volendam naar Amsterdam. Dit aantal is dusdanig hoog dat is afgezien van doorrekenen van de TCO van deze optie. In het deelnetwerk Bizzliners + Hoorn worden touringcars ingezet die gebruik maken van snelwegen. Daarom komen enkele bustechnieken hiervoor niet in aanmerking. Voor de ontsluitende lijnen zijn de trajecten te 'dun' om te investeren in bovenleiding en onderstations voor batterijtrambusjes.

De tabel geeft alleen de gemiddelde jaarkilometrages per dieselmotoren. Als het vervangingsscenario een toename van het aantal bussen behelst, dan daalt het gemiddelde jaarkilometrage van de bussen, zodat het totale jaarkilometrage van de vloot weer gelijk is.

Opmerkingen (deze gelden deels ook voor de andere concessies):

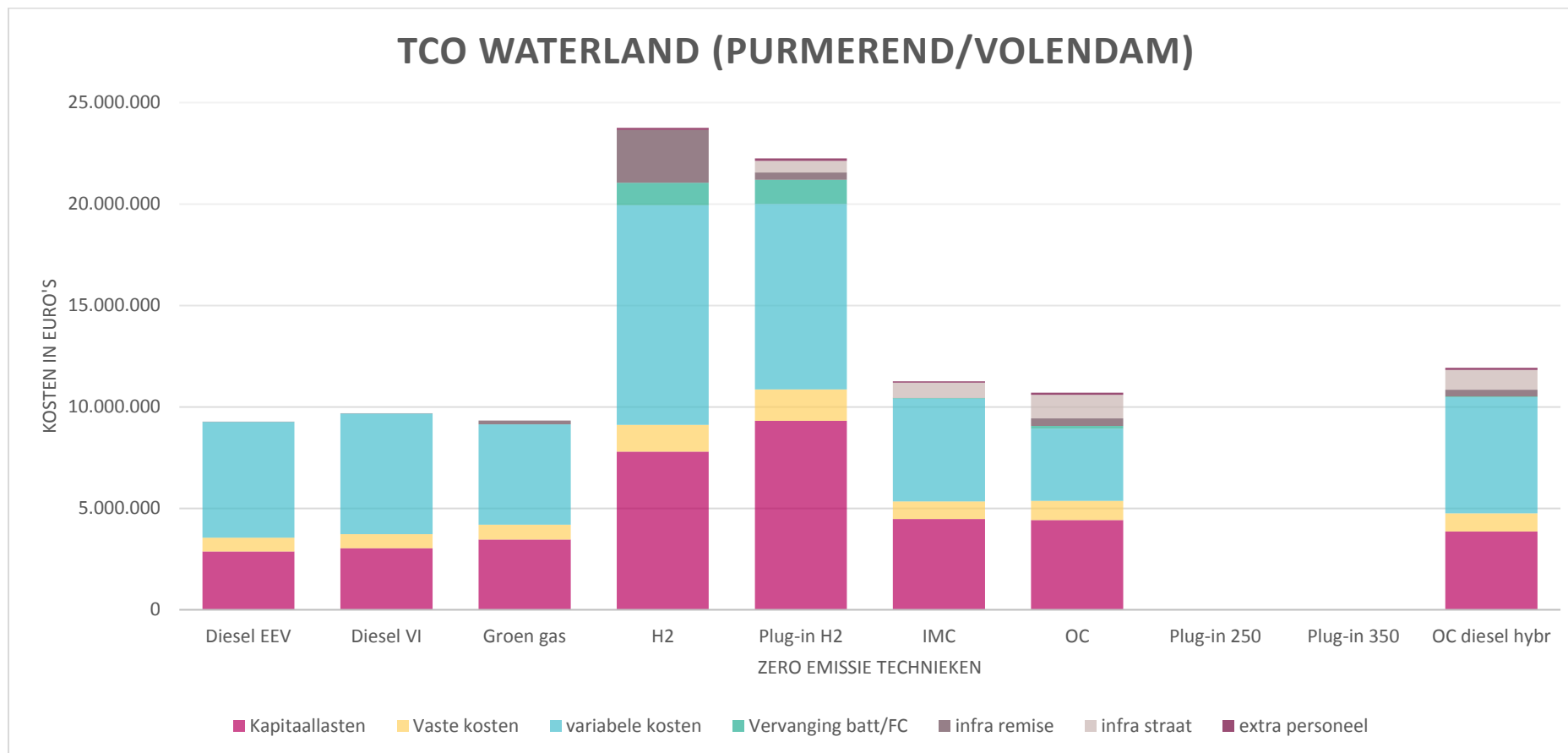
- Bij inzet van plug-in bussen met 250 km/dag maximale actieradius is meestal compensatie-inzet nodig bovenop een technische reserve. Tussen haakjes wordt getoond hoeveel bussen nodig zouden zijn wanneer in de (nabije) toekomst sprake is van 350 km/dag actieradius. De omrekening van jaargemiddelden naar

dagelijkse inzet is gedaan op basis van 330 dagen per jaar.

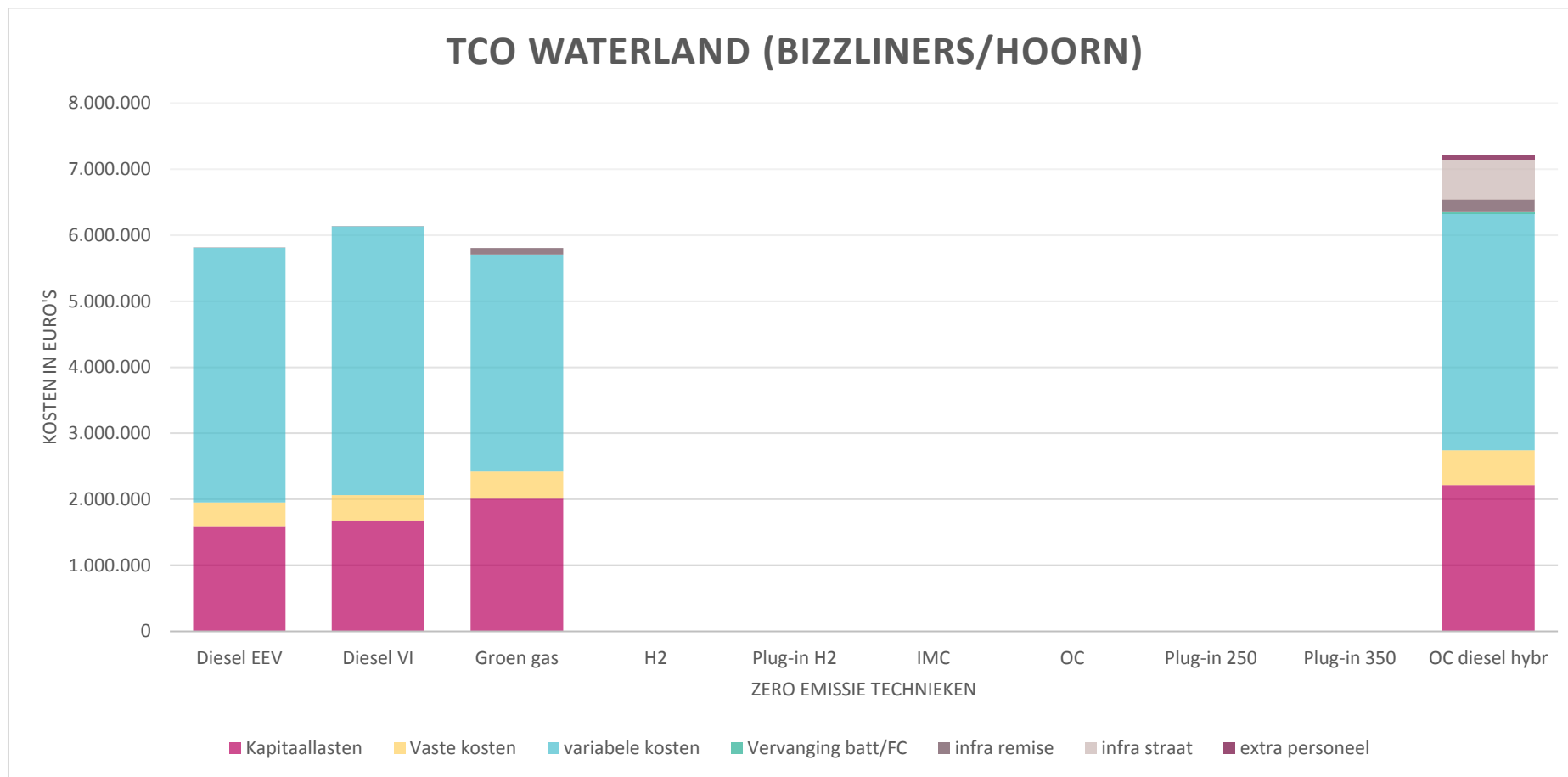
- Er is gerekend met één snel-lader voor vijf OC-bussen in de remise of op straat. Het gaat dan om 23 snel-laders voor Waterland Purmerend en Volendam, en zes voor Waterland ontsluitende lijnen.
- Er is van uitgegaan dat een 18m batterijrolleybus 1,5 12m bus vervangt. Er zijn ook 12m batterijrolleybussen verkrijgbaar maar dit zijn relatief dure bussen ten opzichte van de gelede versies.
- Voor in-motion charging is in Waterland 18 km trolleydraad nodig (in 2016 is gerekend met 27 km). Er is gerekend met oplopende onderhoudskosten voor trolleyinfrastructuur (eerste tien jaar €5.000/km/jaar, daarna tien jaar €10.000/km/jaar en vervolgens €20.000/km/jaar) omdat er vanuit kan worden gegaan dat door het in één keer aanleggen van nieuwe infrastructuur de periodieke vervanging van de rijdraad vooralsnog niet aan de orde is en pas na jaren opportuun zal worden, afhankelijk van de intensiteit van het gebruik.
- Elektrische bussen met waterstof range extender zijn alleen nog in 12m versie verkrijgbaar, daarom is ervan uitgegaan dat een 18m dieselbus wordt vervangen door 1,5 12m H2RE bus en een 15m dieselbus door 1,25 12m H2RE bus. OC-dieselhybride bussen zijn niet in 15m versie verkrijgbaar, 15m dieselbussen worden vervangen door 1,25 12m OC-hybride bus.
- Er zijn geen touringcarversies van waterstof en H2RE-bussen, en deze worden ook niet snel verwacht. De touringcar heeft behalve een hoger gewicht ook een hoger verbruik als gevolg van hoger frontaal oppervlak en hogere snelheid (100 km/u toelating), waardoor deze inzet voorlopig buiten het bereik van alternatieven ligt. In de studie van 2015 werd nog wel met touringcars op waterstof gerekend.

5.2.2 Resultaten

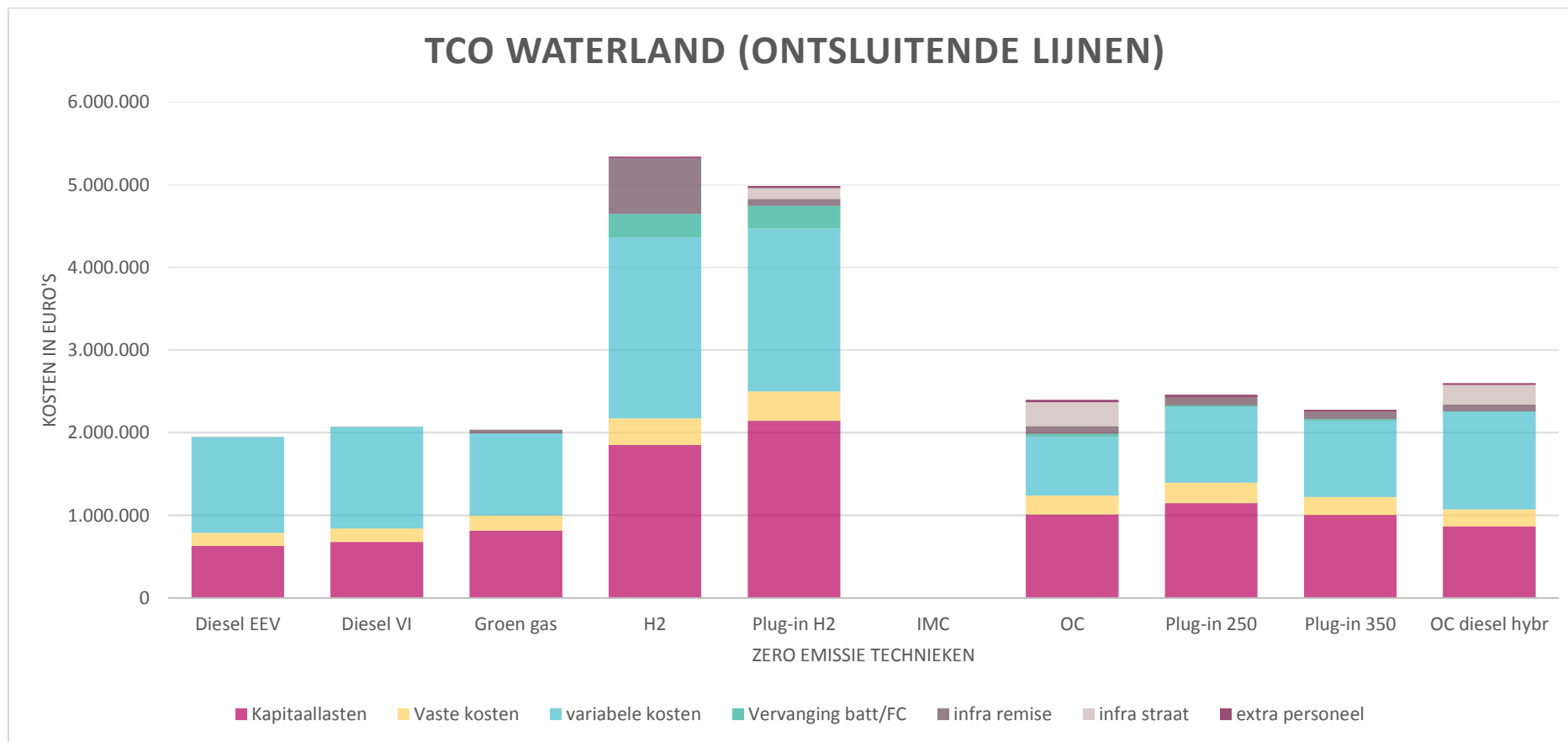
De onderstaande grafieken (figuur 8, 9 en 10) tonen de resultaten van de nieuwe berekeningen voor concessie Waterland, volgens de bovenstaande aannamen over samenstelling en omvang van vervangingsvloeden en benodigde energie-infrastructuur. De kosten worden opgegeven per jaar. Deze zijn opgebouwd uit: kapitaallasten, vaste kosten, variabele kosten, vervangingskosten batterijpakketten/brandstofcel, extra personeelskosten, kosten infrastructuur in remise (hieronder vallen ook tankstations in de buurt van remises) en kosten infrastructuur op straat (in €₂₀₁₈/jaar).



Figuur 1 - TCO-berekening Waterland –Purmerend en Volendam



Figuur 2 – TCO-berekening Waterland-Bizzliner+Hoorn



Figuur 3 – TCO-berekening ontsluitende lijnen Waterland

5.3 ZAANSTREEK

5.3.1 Vervangingsscenario's

De concessie Zaanstreek is verdeeld in twee deelnetwerken: de Zaancorridor (lijnen naar Amsterdam-Noord/CS en naar Sloterdijk), en de stadsdienst Zaanstad. Deze lijnen worden nu bediend met 59 EEV-dieselbussen (waarvan 5x 10m, 44x 12m, 10x 14m) en vier buurtbussen. Voor de berekeningen zijn alle bussen in het model opgenomen als 12m bussen. In de stadsdienst zijn negentien dieselbussen beschikbaar maar er rijden er de facto dertien. Eigenlijk hoeven er daarom maar dertien vervangen te worden. Hoewel de huidige bussen in Zaanstreek rijden op B20 (diesel met 20% biodiesel) is er gerekend met standaard diesel.

Tabel 9 geeft de samenstelling van de busvloot verdeeld over deze twee deelnetwerken, in de huidige situatie (diesel EEV) en in de vervangingsscenario's (dezelfde als voor Waterland). Ook hier zijn enkele opties 'niet van toepassing' om dezelfde redenen als voor Waterland.

Opmerkingen:

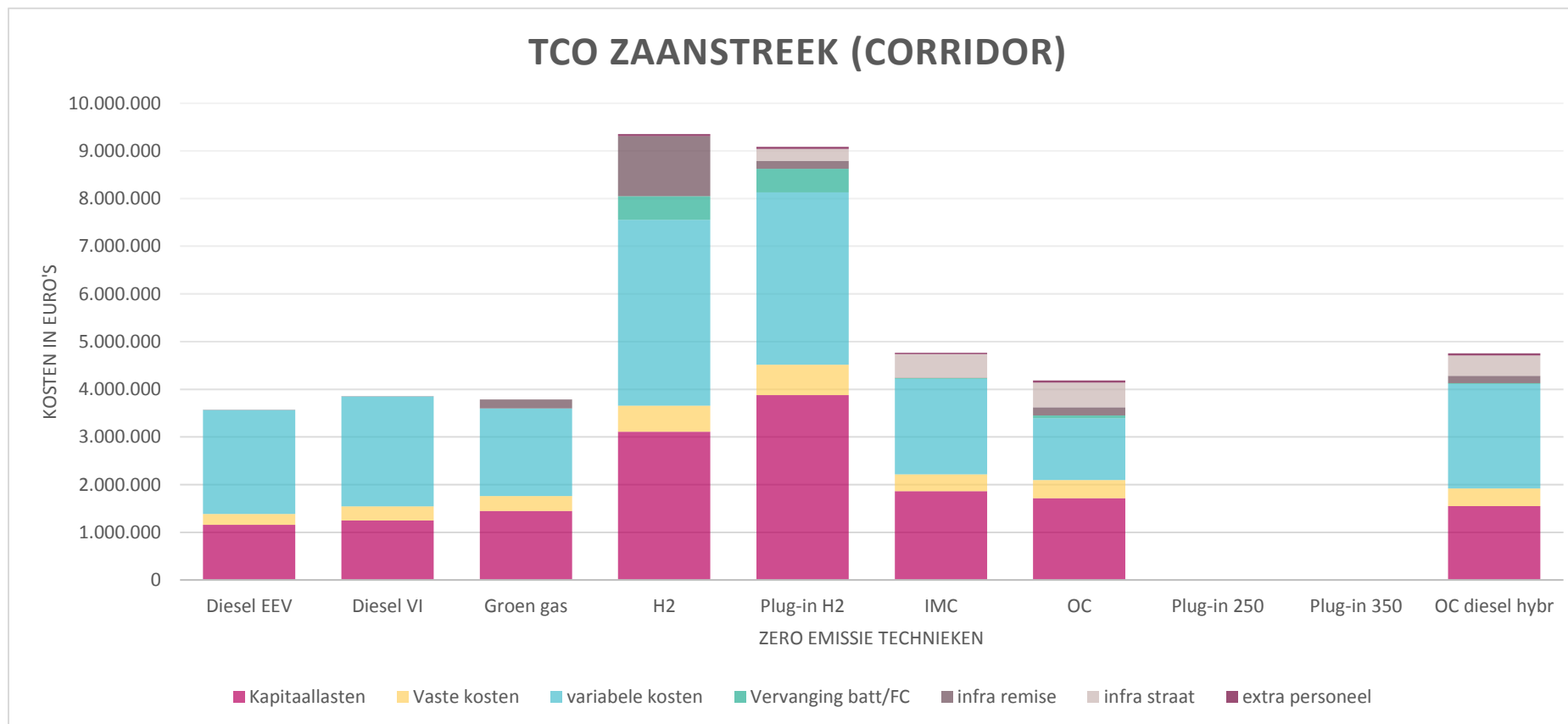
- Vijf OC-bussen per snel-lader betekent in dit concessiegebied drie snel-laders voor Zaanstreek-stad en tien snel-laders voor Zaanstreek-corridor.
- 12 km trolleydraad van Zaanstad CS naar Amsterdam Buikslotermeerplein, en een 100 kW laadpunt bij station Sloterdijk voor het bijladen van de trolleybatterij. De kosten van dit laadpunt zijn pro memorie; wellicht is een slimme combinatie mogelijk met de laadhub die GVB hier wil realiseren.
- Opmerkingen gemaakt bij de vloottabel Waterland zijn ook hier van toepassing

5.3.2 Resultaten

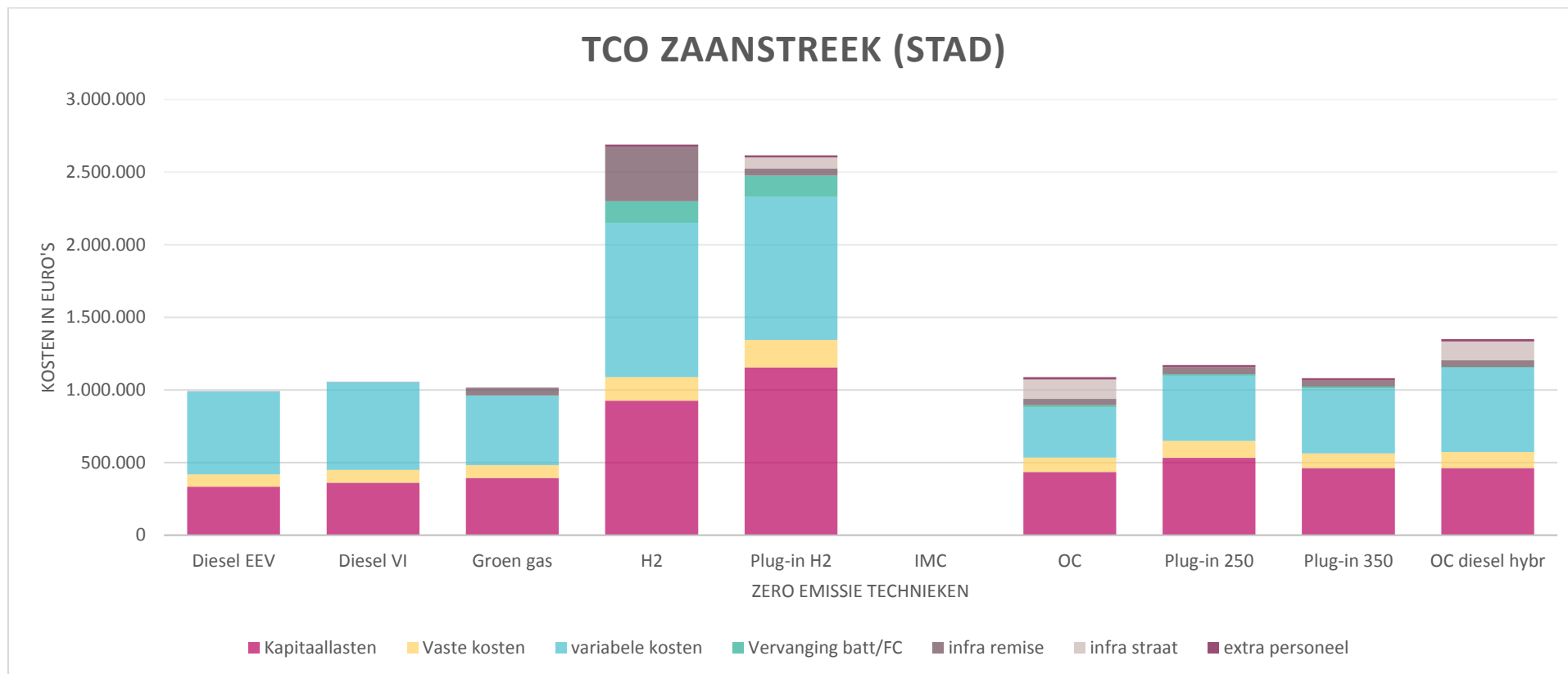
De onderstaande grafieken (figuur 11 en 12) tonen de resultaten van de berekeningen voor concessie Zaanstreek, volgens de bovenstaande aannamen over samenstelling en omvang van vervangingsvlooten en benodigde energie-infrastructuur. De kosten worden opgegeven per jaar.

Tabel 2 – Vlootomvang vervangingsscenario's Zaanstreek

Concessie Zaanstreek		Diesel	Gas	H2	H2RE	IMC	OC	Plug-in 250	Plug-in 350	OC-hybrid
Zaanstreek corridor 91.000 km/bus/jaar (diesel)	12m	33	34	47	47	0	38			33
	15m	10	11	0	0	0	12	n.v.t.	n.v.t.	10
	18m	0	0	0	0	32	0			0
Zaanstreek stad 82.000 km/bus/jaar (diesel)	12m	13	13	14	14		14	15	13	13
	15m	0	0	0	0	n.v.t.	0	0	0	0
	18m	0	0	0	0		0	0	0	0
Totaal		56	57	61	61	32	64	15	13	56



Figuur 4 – TCO-berekening Zaanstreek corridor



Figuur 5 - TCO-berekening Zaanstreek stadsdienst

5.4 AMSTELLAND-MEERLANDEN

5.4.1 Vervangingsscenario's

In 2016 is een TCO-berekening gemaakt van vervangingsscenario's voor concessie AML. Sindsdien is de concessie opnieuw aanbesteed en de uitvoering is in december 2017 gestart. De hernieuwde TCO-berekening is enkel uitgevoerd om het effect van nieuwe waarden voor de TCO-parameters op de uitkomst van 2016 te toetsen. Er is vastgehouden aan de kenmerken van het vervoersmodel dat destijds gold.

De concessie AML was destijds verdeeld in drie deelnetwerken: 1) de Zuidtangent (lijnen 330R, 310R, 340R) plus lijn 197, 2) rest R-Net (lijnen 346R en 356R) en de 170-bundel, en 3) ontsluitende lijnen (waaronder Sternet). Deze lijnen werden bediend met 245 EEV-dieselbussen (standaard, 15m en 18m geleed). Tabel 10 geeft de samenstelling van de busvloot verdeeld over deze drie deelnetwerken, in de referentiesituatie (diesel EEV) en in de vervangingsscenario's (dezelfde als voor Waterland en Zaanstreek). Ook hier zijn enkele opties 'niet van toepassing'. Op overig R-net zijn de mogelijkheden voor elektrische bussen beperkt omdat hier veel snelwegkilometers worden gemaakt.

In 2016 was de techniek van OC nog niet zo ver dat het een optie was voor Zuidtangent, maar dat is veranderd. Daarom is deze optie nu wel doorgerekend.

Opmerkingen:

- Vijf OC-bussen per snel-lader betekent twaalf snel-laders voor de Zuidtangent, dertig snel-laders voor Overig R-Net en tien snel-laders voor de ontsluitende lijnen.
- Er is uitgegaan van trolleydraad over 50% van het traject (28 km van de 56 km trajectlengte).
- De optie waterstof range extender is niet geschikt voor de Zuidtangent en Overig R-net omdat er geen 18m versies verkrijgbaar zijn, laat staan 21m zoals beoogd op de Zuidtangent.
- Plug-in bussen zijn niet van toepassing voor Zuidtangent en Overig R-net omdat er teveel extra bussen nodig zouden zijn.
- Opmerkingen gemaakt bij de vloottabel Waterland zijn ook hier van toepassing.

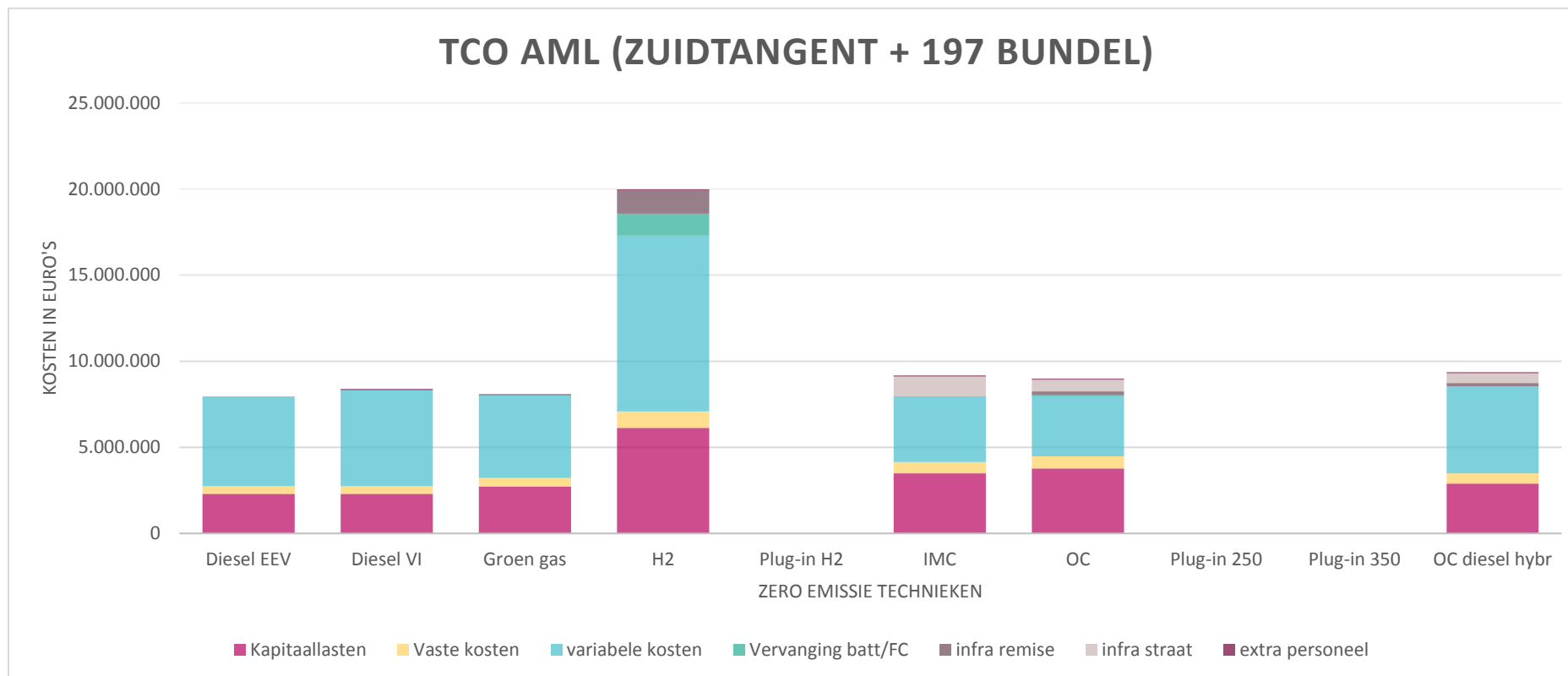
Tabel 3 - Vlootomvang vervangingsscenario's Amstelland-Meerlanden

Concessie Amstelland-Meerlanden		Diesel	Gas	H2	H2RE	IMC	OC	Plug-in 250	Plug-in 350	OC-hybrid
Zuidtangent + 197-bundel 127.000 km/bus/jaar (diesel)	12m	0	0	0	n.v.t.	0	0	n.v.t.	n.v.t.	0
	15m	0	0	0		0	0			0
	18m	58	60	62		60	70			58
Overig R-Net 85.000 km/bus/jaar (diesel)	12m	112	115	141	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	112
	15m	16	17	0						16
	18m	4	5	4						4
Ontsluitende lijnen 88.000 km/bus/jaar (diesel)	12m	49	50	55	53	n.v.t.	57	60	52	49
	15m	2	3	0	0		3	3	3	2
	18m	0	0	0	0		0	0	0	0
Totaal		241	250	256	53	60	278	63	55	176

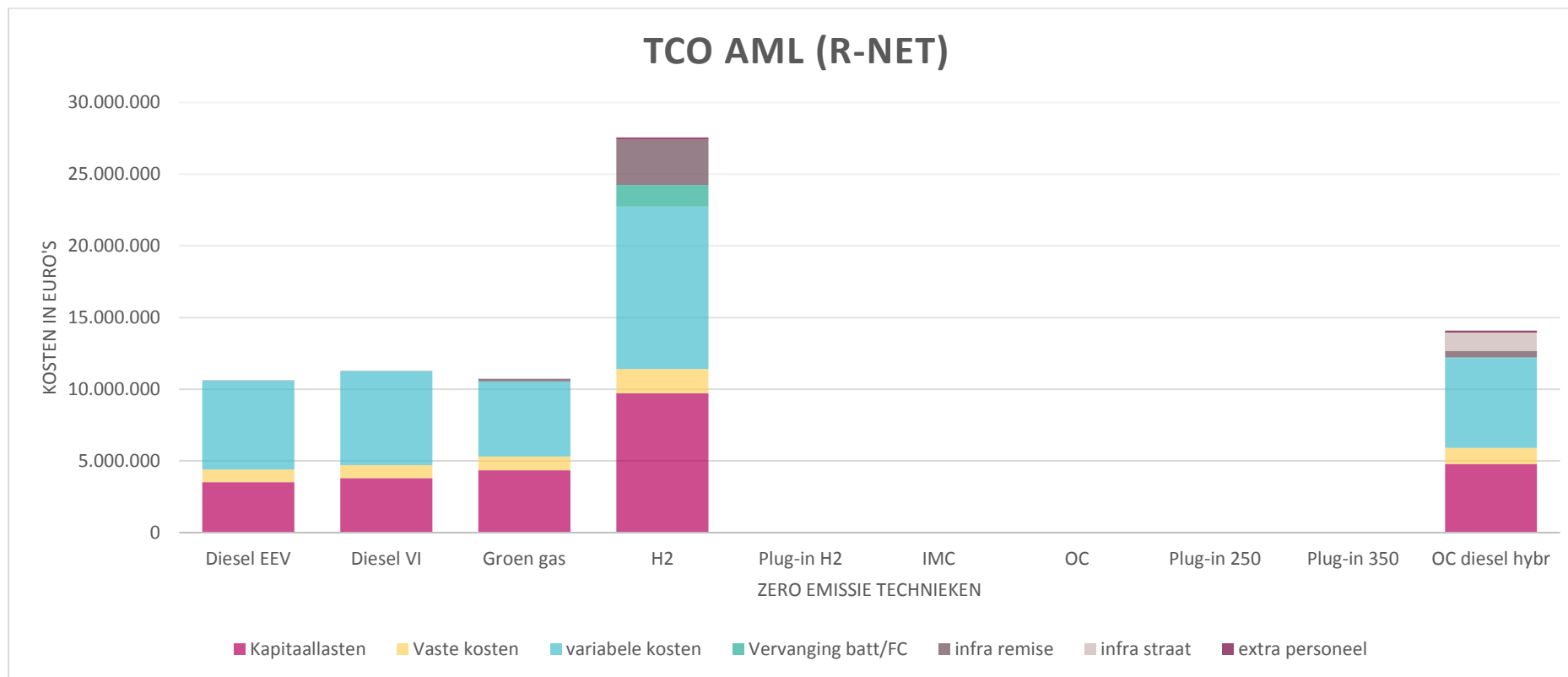
5.4.2 Resultaten

De onderstaande grafieken (figuur 13, 14 en 15) tonen de resultaten van de berekeningen voor concessie AML, volgens de bovenstaande aannamen over samenstelling en omvang van

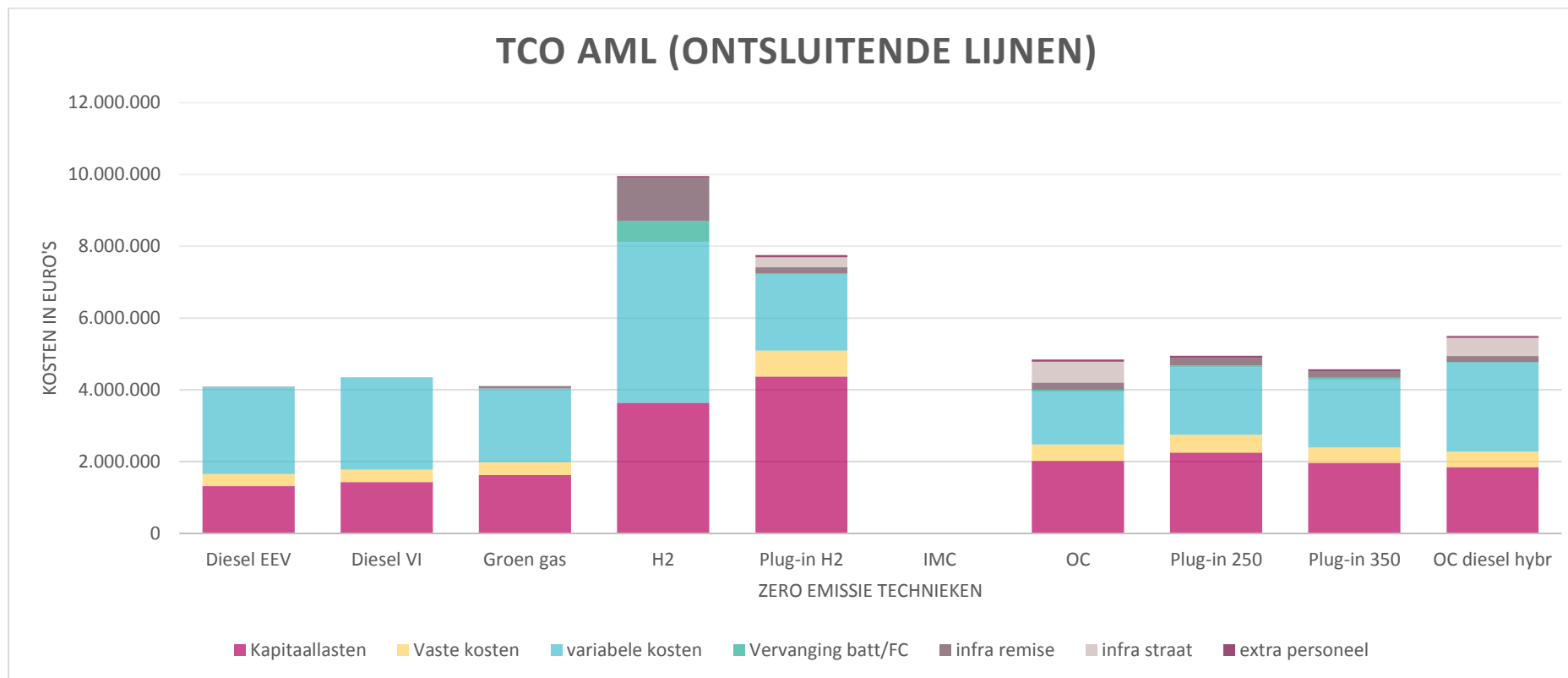
vervangings-vloten en benodigde energie-infrastructuur. De kosten worden opgegeven per jaar.



Figuur 6 - TCO-berekening Zuidtangent + 197-bundel Amstelland-Meerlanden



Figuur 7 - TCO-berekening overig R-Net Amstelland-Meerlanden



Figuur 8 - TCO-berekening ontsluitende lijnen Amstelland-Meerlanden

5.5 CONCLUSIES UIT TCO-BEREKENINGEN

Het beeld is voor de diverse deelnetwerken sterk vergelijkbaar. Daardoor kunnen we algemene conclusies trekken over de TCO-uitkomsten.

- De verhoudingen tussen de techniekopties zijn ongeveer hetzelfde als in 2016.
- De TCO van elektrisch komt dicht bij die van diesel en gas. Deze conclusie geldt bij een afschrijvingstermijn van tien jaar voor diesel en gas en vijftien jaar voor elektrische technieken. De TCO van gas is gelijk aan die van diesel EEV en iets lager dan van diesel Euro VI.
- Welke elektrische variant de gunstigste is, verschilt per deelnetwerk. De meerkosten van deze gunstigste optie ten opzichte van diesel en gas bedragen 10-20% (in de TCO zonder reguliere personeelskosten en overhead. Worden die meegerekend dan is het absolute verschil gelijk maar het verschilpercentage logischerwijs kleiner.)
- De aanschafkosten van elektrische bussen zijn per stuk aanmerkelijk hoger dan van diesel- en gasbussen. Het verschil in aanschafkosten tussen vloten is nog groter door de benodigde meer-inzet van bussen als gevolg van laadtijden en lagere technische beschikbaarheid van elektrische bussen. Ook moeten de batterijen een of twee keer vervangen worden tijdens een concessie, en zijn er met name voor OC en IMC flinke kosten voor laadinfra. Afhankelijk van de techniek is ook sprake van extra formatie. De hogere kosten worden niet geheel goedgemaakt door lagere operationele kosten.
- Ondanks wijzigingen in de kostenopbouw komen IMC en OC vergelijkbaar met 2016 uit de vergelijking. Er is nu gerekend met een kortere afschrijftermijn voor de laadinfra (vijftien in plaats van dertig jaar). Voor beide is de investering in laadinfra lager (minder km bovenleiding, minder snel-laders nodig dan volgens de aannames in 2016), maar voor OC vallen de onderhoudskosten van de laders hoger uit

dan eerder verwacht. Ook zijn er meer OC-bussen nodig. Die zijn wel goedkoper in aanschaf dan IMC-bussen.

- De inschatting was in 2016 dat OC-bussen nog niet toepasbaar zouden zijn op hoge-capaciteitstrajecten als Overig R-net en Zuidtangent. De doorontwikkeling van de techniek maakt dat nu wel mogelijk.
- Plug-in is het gunstigst in deelnetwerken met lage kilometrages en korte lijnen, zoals in Zaanstreek-stad en op de ontsluitende lijnen. De plug-in 350 komt overal goed uit de vergelijkingen; hierbij moeten we wel bedenken dat het een toekomstperspectief is. Een bereik van 350 km is in de praktijk nog niet haalbaar. Aantrekkelijk is dat voor plug-in bussen geen infra op straat voor nodig is (snel-laders of bovenleidingen), alleen langzaam-laders in de remises. Dit bespaart niet alleen kosten maar ook complexe implementatieprocessen in de openbare ruimte. Als de batterijtechniek zich blijft verbeteren in het tempo van de afgelopen tien jaar is het denkbaar dat plug-in techniek OC en IMC inhaalt en overbodig maakt. Het kan ook zijn dat de busfabrikanten de toenemende energiedichtheid van batterijen benutten om de passagiers-capaciteit te verhogen in plaats van de actieradius.
- OC-hybride blijkt (meestal) niet goedkoper dan elektrische varianten, en het is geen volledig zero emissie alternatief. Het enige voordeel dat deze optie lijkt te bieden is dat OC-hybrides kunnen worden ingezet op buslijnen die gebruik maken van snelwegen, maar dan dient er wel een krachtiger dieselmotor te worden toegepast. De topsnelheid van elektrische bussen is hiervoor niet toereikend. OC-hybride is een gedeeltelijk zero emissie oplossing voor de Bizzliners (als de techniek wordt toegepast in touringcars), terwijl in de studie van 2016 alleen groengas als alternatief voor diesel naar voren kwam.
- Waterstof is veel duurder dan elektrisch. Dit geldt zowel voor de bussen als voor de

brandstof. De TCO van de waterstof range extender variant is wel lager maar nog steeds hoog, wat verklaarbaar is omdat

deze (aangenomen vanwege de logische inzet op bepaalde lijnen) op tweederde van de afstand waterstof gebruikt.

5.6 MILIEUEFFECTEN VAN VERVANGINGSSCENARIO'S

Voor elk deelnetwerk in de drie concessiegebieden zijn zero emissietechnieken inzetbaar met een beperkt hogere TCO dan Euro VI diesel (referentie omdat Euro VI diesel de norm is voor nieuwe bussen volgens Europese regels). Deze extra kosten kunnen we vergelijken met de vermeden schaduwkosten (maatschappelijke kosten van vervuiling door busvervoer) om vast te stellen of de transitie

naar zero emissie vanuit milieu-economisch oogpunt verantwoord is. De milieuwinst (de vermeden schaduwkosten) kan worden berekend op basis van de uitstoot van de referentie-busvloot. Deze uitstoot wordt immers vermeden door de inzet van zero emissie bussen. We vergelijken deze met de TCO-meerkosten van de gunstigste zero emissie optie per deelnetwerk (tabel 11).

Tabel 4 – Overzicht milieuwinst per vervangingsscenario (* Plug-in 350 uitgezonderd omdat deze nog niet verkrijgbaar is.)

Deelnetwerk	Uitstoot referentie (Euro VI diesel) – kg/jr			Schaduwkosten Euro VI diesel scenario (€)	Meerkosten TCO gunstigste zero emissie optie (€)*	Verschil (vermeden schaduwkosten - delta TCO) (€)
	CO ₂	NO _x	PM			
AML-ontsluitend	5.331.372	3.401	36	423.491	469.810	
AML-Overig R-net	13.628.832	8.482	90	1.075.173	1.352.136	
AML-Zuidtangent	11.137.392	5.569	59	830.687	746.119	
Waterland-Bizzliner+H.	8.525.563	4.848	51	656.473	1.347.224	
Waterland-ontsluitend	2.541.840	1.615	17	201.679	322.532	
Waterland-Purm./Vol.	12.448.800	7.484	79	972.814	1.033.479	
Zaanstreek-corridor	4.815.720	2.958	31	378.539	380.965	
Zaanstreek-stad	1.253.616	806	9	99.800	129.165	
Totaal	59.683.136	234.421	1.124	4.638.657	5.781.430	-1.142.773

De gunstige zero emissie vervangingsscenario's kunnen samen een milieuwinst van €4,6 miljoen per jaar opleveren. Dit is echter minder dan de jaarlijkse meerkosten van deze scenario's.

Het verschil kan worden verklaard door:

- Groengasbussen in 2016 deel uitmaakten van de duurzame voorkeursscenario's. Groengas komt ook nu als relatief

goedkope optie uit de TCO-berekeningen en scoort goed op well-to-wheel CO₂-uitstoot, maar het is aan de uitlaatpijp geen zero emissie techniek.

- De schaduwpreizen waren in 2016 hoger dan nu. De huidige geaccepteerde waarden volgens het Handboek Milieuprijzen 2017 zijn voor CO₂ en roet lager dan waar in 2016 mee gerekend is, voor NO_x daarentegen hoger.

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 CONCLUSIES

De studie uit 2016 concludeerde dat het technisch en operationeel mogelijk is om direct te beginnen met verduurzamen van het OV in de Vervoerregio Amsterdam door gebruik te maken van bewezen zero emissie technieken zoals batterijrolleybussen (met gedeeltelijke bovenleiding) en plug-in bussen. Deze conclusie blijft overeind, maar moet worden aangevuld met OC-bussen. Hoewel er in 2016 nog nauwelijks praktijkervaringen waren met OC, heeft deze techniek zich de afgelopen jaren het meest ontwikkeld en gemanifesteerd. Dit geldt met name grootschalig in concessie AML (100 bussen nu, circa 150 erbij in 2021). Waterland volgt op kleinere schaal (tien bussen in 2018) en GVB besteedt een eerste lichting aan (31 met optie op nog eens 69). In Zaanstreek worden vijf plug-in bussen ingevoerd.

De techniek van OC-bussen heeft zich het meest ontwikkeld en gemanifesteerd.

Geconcludeerd kan worden dat (OC) elektrisch voldoende kwaliteit en betrouwbaarheid heeft

om als regulier OV te kunnen worden ingezet zonder dat de reiziger nadelige effecten van deze vorm van OV hoeft te ervaren. De vervoerders zijn in staat om de dienstregeling zo te ontwerpen dat niet alleen optimalisatie voor materiaal en personeel wordt bereikt, maar ook voor het laadproces. Verbeterde planning van laadmomenten en laadlocaties leidt ertoe dat lagere aantallen extra voertuigen nodig zijn.

Elektrische bussen bieden voldoende kwaliteit en betrouwbaarheid om als regulier OV te worden ingezet.

Net als in 2016 blijft er sprake van meerkosten voor zero emissie technieken ten opzichte van diesel- en gasbussen. Deze bedragen voor elektrische busvarianten in de orde van 10-20%⁶. Welke elektrische variant qua TCO het gunstigst is, hangt af van de kenmerken van het deelnetwerk. De meerkosten van waterstofbussen, ook in de range extender variant, zijn fors hoger. Elders in het land neemt de inzet van waterstofbussen, met steun van verleende Europese subsidies, toe tot ongeveer zestig bussen vanaf 2020.

⁶ In de TCO zonder reguliere personeelskosten en overhead. Worden die meegerekend dan is het absolute verschil gelijk maar het verschilpercentage kleiner

6.2 AANBEVELINGEN

Zero emissie doelstellingen in concessie aanbestedingen

Neem zero emissie doelstellingen op in het PvE voor de aanbesteding Waterland-Zaanstreek, op een vergelijkbare manier als voor Amstelland-Meerlanden. Een herhaalde TCO-berekening op basis van een nieuw vervoerplan geeft beter inzicht in de mogelijkheden en kosten van inzet van zero emissie varianten in de concessie.

Stimuleer zero emissie initiatieven

Zet initiatieven voor zero-emissie voort en geef aandacht aan het gedeeld gebruik van laadinfrastructuur in aangrenzende concessies. Zolang er geen volledige standaardisatie van elektrische laadsystemen is, bepaalt de concessieverlener (mede) welke technieken gebruikt mogen worden om meervoudig gebruik van laadvoorzieningen over de huidige concessiegrenzen heen mogelijk te maken.

Standaardisatie

Volg de ontwikkeling van de standaardisatie en normering in de wereld van elektrisch (openbaar) vervoer en sluit hierop aan.

Opwekking van hernieuwbare energie voor ZE bussen

Onderzoek het potentieel, de kosten en de economische effecten van de opwekking van hernieuwbare energie voor bussen in de Vervoerregio Amsterdam. Leg daarbij de focus op elektriciteit en waterstof.

Lessons learned

Gebruik de opgedane kennis over duurzaam openbaar vervoer om de initiatieven van bestaande of nieuwe toetreders tot het elektrisch (openbaar) vervoer te steunen met *lessons learned* uit de praktijk.

