



Pilotprojecten innovatieve bussen

Monitoring Mercedes Citaro G-hybride bussen in Rotterdam

Rapport
Delft, april 2014

Opgesteld door:
L.C. (Eelco) den Boer (CE Delft)
A.H. (Anouk) van Grinsven (CE Delft)
A. (Age) van der Mei (Duinn)



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

L.C. (Eelco) den Boer (CE Delft), A.H. (Anouk) van Grinsven (CE Delft),

A. (Age) van der Mei (Duinn)

Pilotprojecten innovatieve bussen

Mercedes Citaro G-hybride bussen in Rotterdam

Delft, CE Delft, april 2014

Openbaar vervoer / Autobussen / Innovatie / Elektrisch / Motorbrandstoffen / Toetsing

Publicatienummer: 14.4827.04a

Opdrachtgever: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Eelco den Boer.

© copyright, CE Delft, Delft



CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 35 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

1	Zeven projecten	5
1.1	Duurzame pilotprojecten in het busvervoer	5
1.2	Alfa- en bètaprojecten	5
1.3	Monitoringsmethodiek	6
2	Resultaten Mercedes Citaro G-hybride bussen in Rotterdam	7
2.1	Introductie	7
2.2	Busgegevens	8
2.3	Inzet in de dienstregeling	9
2.4	Brandstofverbruik	12
2.5	Gebruikerservaringen	15
2.6	Onderhoud	16
3	Conclusie en toekomst-verwachting	19
Bijlage A	Overzicht projecten	21





1 Zeven projecten

1.1 Duurzame pilotprojecten in het busvervoer

Het openbaar vervoer is bij uitstek geschikt om duurzame innovatieve brandstoffen en aandrijftechnologieën te beproeven, die nodig zijn voor een duurzame samenleving waarin de uitstoot van broeikasgassen sterk afgenomen is. Zeven pilotprojecten hebben subsidie ontvangen van het ministerie van Verkeer en Waterstaat, met als tegenprestatie de innovatieve aandrijftechnologieën en brandstoffen toe te passen in de dienstregeling van vervoerders. Geen van deze technologieën is eerder in Nederland in een dienstregeling toegepast.

De doelstelling van elk project was om gedurende minimaal twee jaar bussen in te zetten en de prestaties te monitoren. Van alle zeven pilotprojecten is een monitoringsrapportage opgesteld met als doel stakeholders in het openbaar vervoer te informeren over de mogelijkheden van de toegepaste technologieën. Deze partijen zijn onder andere concessieverleners, lokale overheden en vervoerders.

Dit rapport beschrijft de resultaten van het pilotproject met de Mercedes Citaro G-hybride bussen in Rotterdam.

1.2 Alfa- en bètaprojecten

Niet alle technologieën bevinden zich in een zelfde ontwikkelingsfase. Daarom is binnen de subsidieregeling onderscheid gemaakt in alfa- en bèta-projecten.

Een alfaproject wordt beschouwd als een eerste kleine veldtest. Op basis van de test zal een alfaproject opgeschaald kunnen worden naar een industrieel ontwerp. Bij alfaprojecten gaat het om nog niet-beproefde innovatieve technologieën, waarbij een geschat CO₂-reductiepotentieel van 50% gevraagd is, en een te verwachten jaarkilometrage van rond de 10.000 km.

Een bètaproject betreft het testen van een nulserie, als vervolg op een alfaproject. Het betreft een industrieel opschaalbaar ontwerp. De nulserie dient, na het pilotproject, te kunnen worden ingezet in een dienstregeling met vooraf vastgestelde operationele kenmerken. Omdat de technologieën veelal minder innovatief zijn dan bij de alfaprojecten wordt een geschat CO₂-emissiereductiepotentieel gevraagd van 25%. Van een bètaproject is vanwege de ontwikkelingsfase en hogere betrouwbaarheid een inzet gevraagd van rond de 30.000 km op jaarbasis.

In Tabel 1 zijn de innovatieve busprojecten opgenomen, inclusief de belangrijkste karakteristieken van de projecten.



Tabel 1 Overzicht projecten

Locatie project	Aantal bussen	Aandrijflijnconcept	Energie-drager	Elektro-motoren	Energie-opslag	Plug-in
Alfaprojecten						
Enschede	2	Seriehybride	Diesel	1 centraal geplaatste elektromotor	Ultracaps	Nee
Eindhoven	2	Conventioneel, met nagenoeg smoor-vrije gasmotor	LNG/LBG	-	-	Nee
Amsterdam	2	Brandstofcel-seriehybride	Waterstof	1 centraal geplaatste elektromotor	Accu en ultracaps	Nee
Rotterdam	2	Seriehybride	Diesel	2 naafmotoren (zonder eindreductie)	Accu	Ja
Bètaprojecten						
Apeldoorn	4	Seriehybride	Diesel	2 naafmotoren (zonder eindreductie)	Accu	Ja
Leiden, Gouda, Alphen a/d Rijn	4	Seriehybride	Diesel	2 centraal geplaatste elektromotoren	Ultracaps	Nee
Rotterdam	2	Seriehybride	Diesel	4 naafmotoren (met eindreductie)	Accu	Nee

1.3 Monitoringsmethodiek

De praktijkproeven met OV-bussen leveren nieuwe informatie over de prestatie van innovatieve bustechnologieën. Doel van de monitoring is om de technische prestatie van de bussen in kaart te brengen en deze prestatie ook in perspectief te plaatsen.

Busgegevens

Bij aanvang van de pilotprojecten is informatie verzameld over de technische eigenschappen van de bussen en waar van toepassing over de laadinfrastructuur. Daarnaast is in kaart gebracht hoe de bussen zijn ingezet, omdat dat een sterke relatie heeft met het energiegebruik.

Operationele monitoring

Tijdens de looptijd van de pilotprojecten zijn de operationele busgegevens bijgehouden en vastgelegd. Om de prestatie van de bussen te kunnen beoordelen zijn gegevens verzameld over:

- de dienstregeling waarop de bus is ingezet;
- de afgelegde afstand;
- het brandstofverbruik, en waar van toepassing het elektriciteitsverbruik;
- de gemiddelde bezettingsgraad;
- het energieverbruik door specifieke bussystemen (zoals de airconditioning en de standkachel).

Naast deze kwantitatieve informatie is ook de gebruikerstevredenheid in kaart gebracht door middel van een enquête onder chauffeurs, reizigers en monteurs. Daarnaast zijn gegevens vastgelegd over uitval en onderhoud van de bussen.



2 Resultaten Mercedes Citaro G-hybride bussen in Rotterdam

2.1 Introductie

Samen met andere vervoersbedrijven in grote steden, zoals Londen en Hamburg, nam de RET (Rotterdamse Elektrische Tram) N.V. deel aan een internationaal proefproject geïnitieerd en begeleid door EvoBus.¹ In dat kader werd vanaf eind 2009 een tiental dieselhybride 18 meter gelede bussen in deze steden ingezet. Door de subsidie van het ministerie van Verkeer en Waterstaat en de bijdragen van de Stadsregio Rotterdam en RCI (Rotterdam Climate Initiative) werd de RET in de gelegenheid gesteld daaraan met twee bussen deel te nemen.

De RET heeft de bussen vanaf eind 2009 in de dienstregeling ingezet, waarbij de monitoringsperiode van 1 april 2010 tot 31 december 2012 liep. Na deze periode zijn de bussen blijven rijden binnen de RET-dienstregeling. Deze rapportage is gebaseerd op de opgeleverde monitoringsgegevens over 2010, 2011 en 2012. Waar mogelijk is ook informatie over 2013 opgenomen.

De hybride bussen zijn de enige 18 meter gelede bussen in de vloot van de RET. De lengte zorgde ervoor dat de bussen niet op alle lijnen konden worden ingezet. Ook is de capaciteit van de bussen in principe te groot; binnen de dienstregeling van de RET is de capaciteit van 12 meter bussen voldoende.

Beschrijving van de techniek

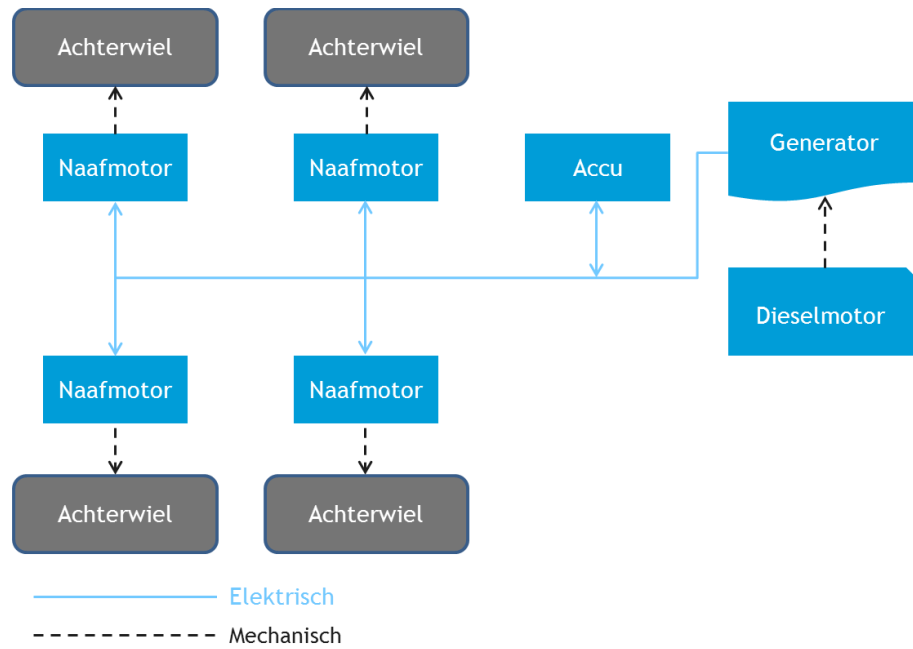
De hybride bus van het type Mercedes-Benz Citaro G-Hybride heeft een seriehybride aandrijflijn en is daarbij uitgerust met vier wielnaafmotoren. Deze elektromotoren drijven via een tandwielreductie de wielen van de twee achterste assen aan. Het accupakket en de generatorset voorzien de motoren van stroom, waarbij het energiemanagementsysteem de meest energiezuinige strategie bepaalt. Bij het afremmen van de bus wordt de remenergie omgezet in elektrische energie en opgeslagen in de accu.

In Figuur 1 is een schematische weergave van de aandrijflijn weergegeven.

¹ http://www.rotterdamclimateinitiative.nl/nieuws/nieuwsbrief/nieuwsbrief-archief?xzine_id=202&article_id=2711.



Figuur 1 Schematische weergave aandrijflijn hybride bussen



2.2 Busgegevens

In Tabel 2 zijn de belangrijkste kenmerken van de bussen weergegeven. Deze gegevens karakteriseren de bus, en geven inzicht in de mate van hybridisering.

Tabel 2 Busgegevens van de diesel-hybride Mercedes bussen

Categorie		Waarde	Eenheid
Voertuig	Aantal bussen	2 (401 en 402)	
	Leeggewicht	19.700	kg
	Lengte	18	m
	Aantal zitplaatsen/staanplaatsen	46	
	Leverancier	Mercedes/EvoBus	
	Lage vloer	Ja	
Aandrijving	Aandrijving	Seriële hybride, 6x4 d.m.v. vier elektromotoren	
	Regeneratief remmen	Ja	
Dieselmotor	Maximaal vermogen	160	kW
	Maximum koppel	810	Nm bij 1.600 rpm
	Motorinhoud (slagvolume)	4,8	l
	Euronorm	Euro-V	
Generator	Maximaal vermogen	160	kW
Brandstoftank	Inhoud	330	l
Uitlaatgas- Behandeling	Roetfilter	Nee	
	Oxidatiekatalysator	Nee	
	SCR denox	Ja	
	Uitlaatgasrecirculatie (EGR)	Nee	

Categorie		Waarde	Eenheid
Elektromotor	Aantal	4	
	Vermogen voor tractie (piek)	4 x 120	kW
	Vermogen voor tractie (continu)	4 x 60	kW
	Maximum koppel	4 x 10.500	Nm
Batterij	Type	Lithium-ion	
	Energie-inhoud	26,1	kWh
	Maximaal vermogen	258	kW
	Gewicht	540	kg
Klimaatcontrole	Airco type	Volledige koeling	
	Vermogen airconditioning	10	kW
	Type verwarming	Webasto	
	Vermogen verwarming	58	kW

2.3 Inzet in de dienstregeling

Inzet in het concessiegebied

Niet alleen de busspecifieke eigenschappen, maar ook het concessiegebied waar de bussen worden ingezet is van invloed op het brandstofverbruik. De twee hybride bussen werden ingezet in de concessie 'Bus Rotterdam'.

De bussen zijn in 2010 en 2011 ingezet op de stadslijnen 38 en 56. Lijn 38 rijdt in beide richtingen tussen station Schiedam Centrum en station Rotterdam Centraal. Lijn 56 rijdt tussen station Vlaardingen-West en begraafplaats Holy in de Vlaardingse wijk Holy. In 2012 zijn de bussen op meerdere lijnen ingezet (68, 69, 70, 71, 73) als gevolg van veranderingen in de concessie in het najaar van 2011. De verandering in de inzet had onder andere te maken met de beschikbaarheid van een servicepunt voor de bussen.

De eigenschappen van de buslijnen zijn weergegeven in Tabel 3. Ter illustratie van de ritkarakteristiek zijn het aantal stops per kilometer en de gemiddelde snelheid toegevoegd.

Tabel 3 Inzet in concessie RET-lijnen

Buslijn	Lengte buslijn (km)	Aantal haltes	Aantal verkeerslichten	Aantal* stops per km	Aandeel traject binnen bebouwde kom (%)	Aantal hellingen in traject	Nominale ritduur (gepland binnen dienstregeling) (hh:mm)	Gem. snelheid (km/h)
38	17,2	44	38	4,8	100	4	1:11	14,6
56	12,8	36	n.b.	2,8	100	n.b.	0:42	18,3
68	7,4	17	n.b.		100	n.b.	0:25	17,6
69	10,6	21	n.b.	2,0	100	n.b.	0:35	18,2
70	9,2	20	n.b.	2,2	100	n.b.	0:30	18,4
71	7,6	11	n.b.	1,4	100	n.b.	0:18	25,3
73	3,1	12	n.b.	3,9	100	n.b.	0:12	15,5

* Aantal stops is berekend over het aantal haltes en het aantal verkeerslichten. Wanneer het aantal verkeerslichten niet bekend is geeft dit cijfer slechts het aantal haltes per kilometer weer.



Bij aanvang van de monitoringsperiode zijn 50 chauffeurs opgeleid voor de hybride bussen. Sinds de veranderingen in de concessie van eind 2011 bestaat die groep nog uit ongeveer 20 chauffeurs. Door de kleinere groep rijden de chauffeurs frequenter op de hybride bussen.

Inzet gedurende de monitoringsperiode

Gemiddeld worden bussen bij de RET zes dagen per week in de gehele dienstregeling ingezet en leggen gemiddeld 210 km per dag af, ruim 1.200 km per week. Op jaarbasis rijdt een conventionele bus in de vloot van de RET ongeveer 57.000 km. In het weekend rijdt slechts 50% van de bussen. Elke bus kent één dag per week stilstand waarop er gelegenheid is de bus te onderhouden. Bij de RET krijgen chauffeurs bussen toegewezen. Dit betekent dat de inzet van een bus door de planning wordt bepaald. Conventionele bussen worden normaal gesproken op drie diensten ingezet, terwijl de hybride bussen vaak maar twee diensten rijden. Redenen hiervoor zijn de beschikbaarheid van opgeleide chauffeurs en terughoudendheid bij de planningsafdeling om de hybride bussen in te zetten.

De volgende figuren en tabellen geven een overzicht van de inzet van de twee hybride bussen. Zoals aangegeven zijn de hybride bussen vanaf eind 2009 ingezet en loopt vanaf april 2010 de monitoring.

Tabel 4 geeft een meer gedetailleerd overzicht van de inzet van de bussen in aantal dagen en gemiddelde inzet. Omdat de bussen in het eerste kwartaal van 2010 niet gereden hebben is ook een naar een jaar gecorrigeerd aantal dagen per jaar gegeven, om een vergelijking te kunnen maken. Het aantal onder 'jaarbasis' geeft dus weer hoeveel dagen per jaar de bussen gereden zouden hebben als ook in het eerste kwartaal met dezelfde inzet gereden was.

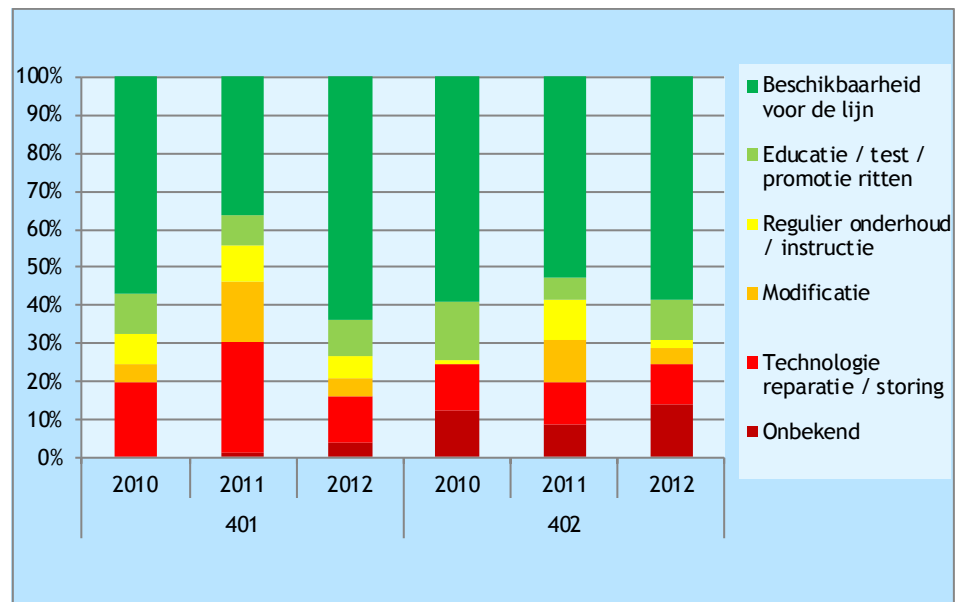
Tabel 4 Inzet in de dienstregeling in aantal dagen 2010-2012

	401		402	
		Jaarbasis		Jaarbasis
2010 (9 maanden)	164	225	168	230
2011	146		195	
2012	248		238	
Totaal aantal dagen ingezet tijdens monitoringsperiode	558		601	
Gemiddeld aantal dagen per maand	16,9		18,2	
Gemiddeld aantal uur per maand	164		186	
Gemiddeld aantal uur per dag indien ingezet	9,7		10,2	

Er zijn verschillende oorzaken waardoor de hybride bussen niet alle dagen zijn ingezet. Figuur 2 geeft een overzicht van de oorzaken en het aantal dagen waarop hierdoor niet in de dienstregeling gereden is. Voor meer details over onderhoudsgerelateerde oorzaken zie Paragraaf 2.6. In de categorie 'onbekend' vallen de dagen waarvan niet bekend is waarom er niet is gereden.



Figuur 2 Oorzaken dagen niet gereden in de dienstregeling



Figuur 2 laat zien dat de inzetbaarheid in 2010 al vrij hoog was, vervolgens in 2011 afnam en in 2012 weer terugkwam op het niveau van 2010.

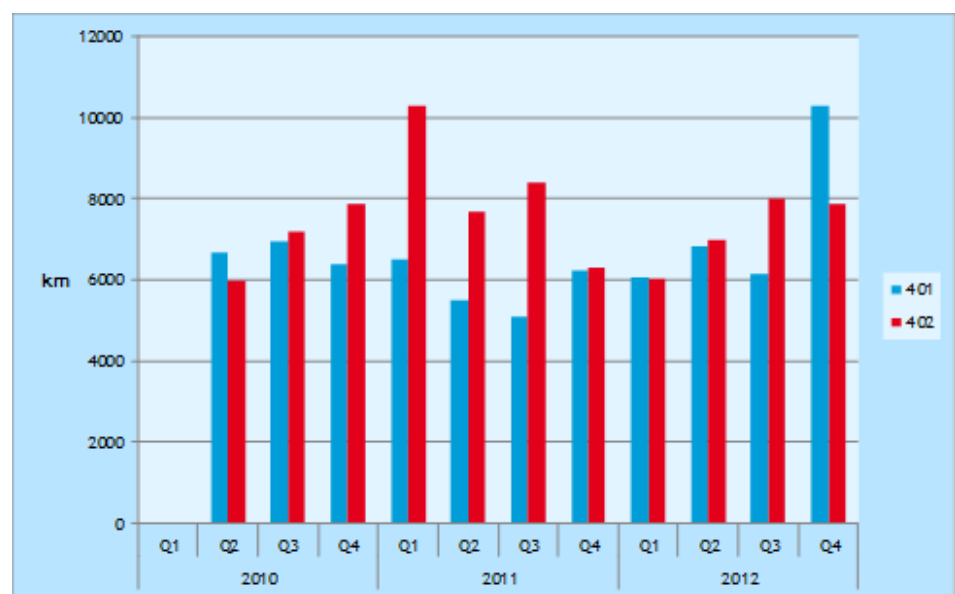
Bezetting

Aan de hand van tellingen is de gemiddelde bezetting in kaart gebracht. Over de gehele monitoringsperiode was de gemiddelde bezetting van bus 401 11 en van bus 402 12 personen, waarbij geen sprake is geweest van een structurele daling of stijging.

Kilometrage

De afgelegde afstand varieerde zoals is weergegeven in Figuur 3. Over het algemeen is er per maand tussen de 5.000 en 7.000 kilometer gereden, met enkele uitschieters naar boven en beneden.

Figuur 3 Afgelegde kilometers per bus per kwartaal



Noot: Een gemiddelde RET-bus rijdt gemiddeld 14.250 km per kwartaal. Op jaarbasis legden de bussen ongeveer 25.000 km af. Gedurende de monitoringsperiode heeft bus 401 in totaal 72.680 kilometer gereden en bus 402 82.563 kilometer, waarvan 3% respectievelijk 5% buiten de dienstregeling, voornamelijk vanwege test- en promotieritten.

Tabel 5 Overzicht afgelegde kilometers

	401	402	Totaal aantal kilometers
2010 (9 maanden)	20.008	21.030	41.038
2011	23.317	32.626	55.943
2012	29.355	28.907	58.262
Totaal	72.680	82.563	155.243
Waarvan in de dienstregeling	70.241 (97%)	78.160 (95%)	

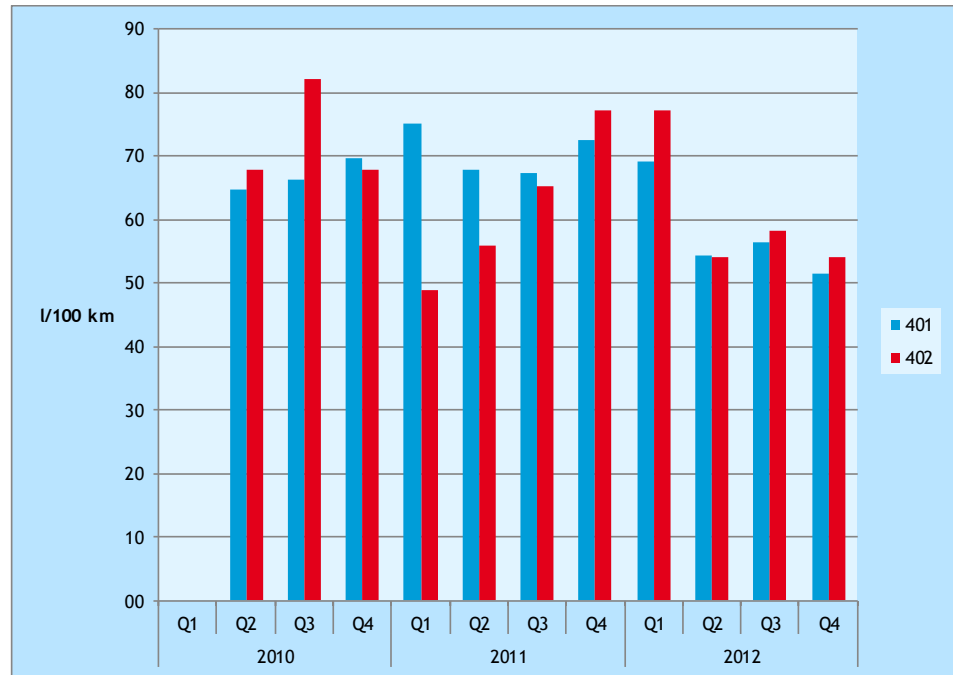
De RET heeft ook inzicht gegeven in de na de monitoringsperiode tot 11 september 2013 gereden afstanden. Bus 401 heeft met 25.810 kilometer in de eerste 8,5 maand van 2013 meer gereden dan in 2010 en 2011, en bij voortzetting van de huidige inzet zal dat ook duidelijk meer worden dan in 2012. Bus 402 heeft in dezelfde periode 18.695 kilometer gereden, en zal bij voortzetting van de huidige inzet niet op een hoger kilometrage uitkomen dan in 2011 en 2012. Bij bus 401 is er dus sprake van een structurele stijging van het jaarkilometrage. De ontwikkeling bij bus 402 loopt wat grilliger. Hier is geen aanwijsbare verklaring voor te geven, maar ook bij conventionele bussen komen dit soort verschillen voor.

2.4 Brandstofverbruik

Per tankbeurt zijn zowel het brandstofverbruik als de kilometerstanden geregistreerd. Het brandstofverbruik per bus is bepaald op basis van deze registratie. Figuur 4 toont het gemiddelde brandstofverbruik voor de twee bussen gedurende de monitoringsperiode tot eind 2012. De variatie gedurende de monitoringsperiode heeft deels te maken met rijstijl en weersomstandigheden. Figuur 4 laat ook duidelijk de effecten zien van een software-update van het energimanagement, waardoor het brandstofverbruik vanaf maart 2012 structureel en significant lager is dan in de voorgaande periode.



Figuur 4 Brandstofverbruik gedurende de monitoringsperiode in liter per 100 km



Het gemiddeld verbruik van bus 401 over de monitoringsperiode ligt op 60,0 liter per 100 km. Voor bus 402 is dit 57,7 liter per 100 km. Het verschil valt mede te verklaren doordat bus 402 vaak als eerste de geplande modificaties onderging. Het gemiddelde over beide bussen komt daarmee op 58,8 liter per 100 km (zie Tabel 6).

In Bijlage B is een figuur opgenomen met daarin ook randstofverbruiksgegevens opgenomen voor het eerste half jaar van 2013. Op basis van het verbruik van de bussen in 2013 is de verwachting dat dit gemiddelde over 2013 lager zal uitkomen, dan in de jaren daarvoor.

Tabel 6 Brandstofverbruik over de monitoringsperiode

	401	402	Totaal
Getankte brandstof aandrijving (liter)	37.469	42.205	79.674
Getankte brandstof standkachel (liter)	6.150	5.445	11.595
Totaal getankte brandstof (liter)	43.620	47.650	91.269
Totaal aantal kilometer	72.680	82.563	155.243
Gemiddeld verbruik (l/100 km)	60,0	57,7	58,8

In Tabel 7 is de ontwikkeling over de monitoringsperiode te zien: zo daalde het gemiddelde brandstofverbruik van bus 401 van 63,4 liter per 100 km in 2012 voor de software-update naar 56,8 liter per 100 km na de software-update. In het geval van bus 402 vond een zelfde daling plaats: waar het gemiddelde brandstofverbruik in 2010 uitkwam op 62,3 liter per 100 km was dit in 2012 gedaald naar 59,4 liter per 100 km.

Tabel 7 Brandstofverbruik over de jaren

	401	402	Totaal (gemiddelde over alle kilometers)
Geheel 2010	63,4	62,3	62,8
Geheel 2011	61,2	53,3	56,5
Geheel 2012	56,8	59,4	58,1
2012 (maart-december, na software-update)	53,8	54,7	54,2

Tweelingtesten

Tijdens de monitoringsperiode heeft de RET twee tweelingtesten uitgevoerd, in samenwerking met Mercedes. De eerste test vond plaats in september 2010, de tweede test in mei 2013. Omdat de huidige vloot van de RET alleen uit 12 meter bussen bestaat, is een 18 meter gelede conventionele Citaro G (EEV diesel) uit Hamburg als referentie gebruikt. Verschillen die kunnen ontstaan door het gebruik van randapparatuur zijn zo veel mogelijk beperkt door zoveel mogelijk apparatuur uit te schakelen. De twee bussen hebben meerdere malen in colonne op de buslijnen 38 en 56 gereden.

In Tabel 8 zijn de resultaten van de tweelingtesten weergegeven. Het gemiddelde verbruik van de referentiebus in de eerste tweelingtest was 54 liter per 100 km. De ten opzichte daarvan door de hybride gerealiseerde besparing varieerde sterk per rit van een toename van het brandstofverbruik van 0,39% tot een daling van 12,30%, met een gemiddelde van 5,7%. Bij de tweede tweelingtest realiseerde de hybride bus hogere besparingen. Gemiddeld kwam de brandstofbesparing uit op 23,6%, met een minimum van 17,1% en een maximum besparing van 28,7%.

Opvallend is het verschil in brandstofverbruik van de gebruikte referentiebus: tijdens de tweede tweelingtest reed de referentiebus 23% zuiniger dan tijdens de eerste tweelingtest. Hoewel de twee tweelingtesten in verschillende seizoenen plaatsvonden, is de invloed van het weer beperkt. Daarnaast was alle randapparatuur, zoals de airco en de standkachel, tijdens de testen uitgeschakeld. Deels zijn de verschillen verklaarbaar door het rijgedrag van de chauffeur en de verkeersdynamiek tijdens de verschillende tweelingtesten. Daarnaast is de gebruikte referentiebus niet dezelfde. Het gaat wel om een 18 meter gelede bus, maar de aandrijflijn verschilt tussen de bussen.



Tabel 8 Resultaten tweelingtesten

Datum	Lijn	Brandstofverbruik referentie Citaro G diesel (l/100km)	Brandstofverbruik Citaro G-hybride (l/100 km)	Gemeten besparing (%)
Eerste tweelingtest				
21-9-2010	38	55,75	55,96	-0,39%
21-9-2010	38	53,45	52,94	0,96%
22-9-2010	38	52,54	48,44	7,80%
22-9-2010	38	50,77	47,11	7,21%
22-9-2010	56	56,17	52,64	6,28%
23-9-2010	56	55,71	48,86	12,30%
Gemiddelde 1ste test		54,1	51,0	5,7%
Tweede tweelingtest				
6-5-2013	38	42,9	32,15	25,1%
7-5-2013	38	41,3	34,24	17,1%
7-5-2013	38	42,2	30,16	28,5%
7-5-2013	38	40,4	28,82	28,7%
Gemiddelde 2de test		41,6	31,80	23,6%

Ondanks dat de twee tweelingtesten onderling moeilijk te vergelijken zijn, valt het op dat de eerste tweelingtest tot een beperkte besparing komt, terwijl de tweede tweelingtest tot een veel groter besparingspotentieel komt en een lager absoluut brandstofverbruik. Deze grotere besparing is gerealiseerd in navolging op de gerichte interventies door Mercedes Benz om het besparingspotentieel te vergroten, zoals op grond van een theoretische beschouwing verwacht werd. De lager wordende brandstofverbruiken van de hybride bussen in de praktijk door de tijd heen, met maart 2012 als meest opvallende moment, bevestigen een toenemende energie-efficiëntie door de tijd heen. Het is daarom aannemelijk dat de Mercedes hybride bussen zo'n 20-25% minder brandstof gebruiken dan vergelijkbare conventionele bussen.

2.5 Gebruikerservaringen

2.5.1 Reizigers

Bij het vragen naar de gebruikerservaringen van reizigers door middel van enquêtes bleek dat veel reizigers niet of nauwelijks een idee hebben in wat voor bus ze worden vervoerd. Ook merken zij geen verschil in prestatie van de bus (rijgedrag, wegligging, acceleratie en trillingen). De conclusie is dan ook dat het niet opmerken van verschillen als positief gezien kan worden, omdat er geen merkbaar verschil blijkt te zijn in comfort voor de passagiers. Wanneer er gericht naar gevraagd wordt, vinden de meeste passagiers het positief dat de RET zich vanuit milieuoogpunt met proefprojecten als deze bezighoudt.



2.5.2 Chauffeurs

Over het algemeen hebben de chauffeurs de traploze aandrijving van de bus en trekkracht als comfortabel ervaren en vonden het daarom prettig om met de bussen te rijden. Wel hadden de chauffeurs in het begin moeite te achterhalen waardoor de storingsmeldingen precies veroorzaakt werden.

De chauffeur is de eerst verantwoordelijke, die samen met de centrale verkeersleiding bepaalt hoe de storing verholpen moet worden. Een deel van de storingen kan de chauffeur zelf oplossen, een ander deel moet door monteurs opgelost worden. Door de veiligheidsafstellingen van het storingsstelsel en door kinderziektes traden in het begin vaak storingen op.

Naast positieve punten werden er ook verbeterpunten door de chauffeurs genoemd: zij zouden graag terugkoppeling krijgen over hun verbruiksprestaties en daarnaast zouden ze graag frequenter met de bussen rijden om het gevoel met de bus te behouden.

2.5.3 Monteurs

Het onderhoud aan de hybride bussen vraagt om extra kennis en veiligheidsmaatregelen. Er is een kleine groep RET-monteurs betrokken geweest bij onderhoud aan en reparatie van de hybride bussen. Over het algemeen vinden de monteurs het interessant om aan deze voertuigen te werken. Door de regelmatige reparaties, modificaties en het wachten op onderdelen zijn de bussen wel een extra belasting voor de werkplaats. De RET heeft niet alle onderhouds- en modificatiewerkzaamheden zelf uitgevoerd. Personeel van EvoBus en Mercedes zijn zo nu dan aanwezig geweest voor meer complexe werkzaamheden, zoals modificaties, updates en storingen.

2.6 Onderhoud

De bussen hebben meerdere dagen stilgestaan vanwege onderhoud.

De noodzaak tot onderhoud wordt door verschillende aspecten veroorzaakt.

We onderscheiden hierbij:

- regulier onderhoud en instructie vergelijkbaar met conventionele bussen;
- modificaties waarbij doorontwikkeling van de technologie centraal staat, zowel software- en hardwarematige updates;
- onderhoud en storingen gerelateerd aan de hybride technologie.

Regulier onderhoud

Onder regulier onderhoud vallen de standaard ingeplande tweewekelijkse onderhoudsbeurten, APK en reparaties van de reguliere technologie.

Voorbeelden zijn het repareren van schade aan de bus door gebruik of vandalisme, kapotte rolstoelplanken of lijnfilms.

Modificaties

De hybride bussen hebben gedurende de monitoringsperiode een aantal modificaties ondergaan om de technologie te optimaliseren. Als gevolg van terugkerende lekkage van koelvloeistof zijn de achterassen vervangen, door een verbeterde versie met een schuine vertanding. Dit laatste had als doel om de bussen stiller te maken. Softwarematig zijn er diverse updates doorgevoerd om het energiemanagerment en het accumanagement verder te verbeteren. In oktober 2011 en maart 2012 zijn er diverse software updates doorgevoerd, om samenspel tussen wielmotoren, accu's, nevenaggregaten en het generatorpakket te optimaliseren. De interne zekering van het accupakket is daarbij verhoogd van 200 naar 300 ampère en de software voor het balanceren van de batterijen is vervangen.



Reparaties/storingen gerelateerd aan de hybride technologie

Reparaties aan de hybride technologie betreffen vooral storingen en kinderziektes. Onder andere is de ophanging van generatorset verbeterd, en zijn de koel- en verwarmingssystemen geïntegreerd. Elektrische storingen in de bekabeling (isolatieproblemen) en het accupakket (accumanagement) hebben de meeste storingen veroorzaakt.

De RET heeft in het najaar van 2012 vastgesteld dat het aantal storingen is afgenomen ten opzichte van eerdere jaren. Deze trend heeft zich in 2013 doorgezet, gezien de toename van de kilometrage.





3 Conclusie en toekomstverwachting

Gedurende de twee jaar durende monitoringsperiode is het hybride concept van Mercedes verder ontwikkeld binnen de RET-dienstregeling, en is er veel kennis vergaard en ervaring opgedaan door zowel de RET als Mercedes. De betrouwbaarheid van de bus is in die periode zichtbaar toegenomen, terwijl het brandstofverbruik zichtbaar is afgenomen.

Op basis van de ontwikkelingen tijdens de proefperiode en de resultaten van de twee tweelingtesten is het aannemelijk dat de hybride bus zo'n 20-25% zuiniger is dan de conventionele bus.

Verbetering inzetbaarheid

Tijdens de proefperiode hebben zich verschillende storingen en kinderziektes voorgedaan. In de laatste periode van 2012 was een positieve trend waarneembaar in de beschikbaarheid van de bussen, welke in de eerste helft van 2013 heeft doorgezet. De RET verwacht dat de bussen wat betreft inzet en onderhoud in 2014 niet onder zullen doen voor de conventionele bussen.

Vervolgstappen Mercedes

Navraag bij EvoBus leert dat Mercedes zich nog steeds richt op hybride technologie, maar niet langer op de dieselhybride variant, zoals ingezet bij de RET. Nieuwe orders worden niet meer aangenomen. De overgang naar Euro-VI emissie-eisen betekent dat Mercedes een nieuw ontwikkeltraject in zou moeten gaan om dezelfde hybride technologie in combinatie met Euro-VI mogelijk te maken. Het bedrijf heeft gekozen dit traject niet in te gaan en zich te focussen op reguliere Euro-VI, omdat hier de komende tien jaar nog veel vraag naar zal zijn. Voor de lange termijn richt Mercedes zich op elektrisch aangedreven vervoer, waarbij een modulaire opbouw er voor moet gaan zorgen dat het wisselen van energiedrager mogelijk is. Mercedes richt zich vanuit dat perspectief op verschillende accutechnologieën.

Tot de overgang naar elektrisch vervoer wordt de hybride technologie voornamelijk toegepast voor voeding van boordapparatuur (milde hybride) en niet langer voor de aandrijving.





Bijlage A Overzicht projecten



Project partners	Regio Twente, gemeente Enschede, Connexion, VDL	Samenwerkingsverband Regio Eindhoven, gemeente Eindhoven, Hermes, PDE Automotive, Rolande LNG, NONOX Gas Engines	Stadsregio Amsterdam, gemeente Amsterdam, GVB, VDL	Stadsregio Rotterdam, RET, RCI, stichting NEMS, VDL, e-Traction	Provincie Gelderland, Veolia, stichting The Whisper, e-Traction	Provincie Zuid-Holland, Connexion, Van Hool	Stadsregio Rotterdam, RET, Evobus, Mercedes-Benz
Locatie	Enschede	Eindhoven	Amsterdam	Rotterdam	Apeldoorn	Leiden, Gouda, Alphen a/d Rijn	Rotterdam
Type project	Alfa	Alfa	Alfa	Alfa	Bèta	Bèta	Bèta
Looptijd monitoring proefproject	Januari 2010-juni 2013	April 2013-medio 2014	Januari 2012-januari 2014	Januari 2011-december 2012	Januari 2010-februari 2012	November 2009-november 2011	April 2010-december 2012
Aantal bussen	2	2	2	2	4	4	2 (18 m)
Aandrijflijn	Seriehybride	Conventioneel, gasmotor met nagenoeg smoorvrije vermogensregeling	Brandstofcelseriehybride	Seriehybride	Seriehybride	Serie Hybride	Seriehybride
Energiedrager	Diesel	LNG/LBG	Waterstof	Diesel en elektriciteit	Diesel en elektriciteit	Diesel	Diesel
Elektromotoren	1x op differentieel	-	1x op differentieel	2 direct-drive naafmotoren (zonder naafreductie)	2 direct-drive naafmotoren (zonder naafreductie)	2x (parallel) op differentieel	4 naafmotoren (met naafreductie)
Energieopslag	Ultracaps	-	Accu en ultracaps	Accu	Accu	Ultracaps	Accu
Plug-in	Nee	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee	Nee

