

Pilotprojecten innovatieve bussen

Monitoring NONO_x LNG-bussen in Eindhoven

Rapport
Delft, mei 2015

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



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

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

A.J. (Age) van der Mei (Duinn) M.D. (Marcel) Brouwer (Duinn)

Pilotprojecten innovatieve bussen

Monitoring NONO_x LNG-bussen in Eindhoven

Delft, CE Delft, mei 2015

Openbaar vervoer / Autobussen / Brandstoffen / Innovatie / Technologie / Evaluatie

VT: Pilotproject

Publicatienummer: 15.4827.37

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

Committed to the Environment

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 NONO_x LNG-bussen in Eindhoven	9
2.1	Introductie	9
2.2	Busgegevens	10
2.3	Inzet in de dienstregeling	11
2.4	Brandstofverbruik	13
2.5	Gebruikerservaringen	15
2.6	Onderhoud	15
3	Conclusie en toekomstverwachting	17
Bijlage A	Overzicht projecten	19





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 de pilot met de LNG-bussen in Eindhoven.

1.2 Alfa- en bètaprojecten

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

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 eind-reductie)	Accu	Ja
Bètaprojecten						
Apeldoorn	4	Seriehybride	Diesel	2 naafmotoren (zonder eind-reductie)	Accu	Ja
Leiden, Gouda, Alphen a/d Rijn	4	Seriehybride	Diesel	2 centraal geplaatste elektromotoren	Ultracaps	Nee
Rotterdam	2	Seriehybride	Diesel	4 naafmotoren (met eind-reductie)	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 NONO_x LNG-bussen in Eindhoven

2.1 Introductie

Het pilot project 'LNG-bussen in Eindhoven' is opgezet door het Samenwerkingsverband Regio Eindhoven met NONO_x Gas Engines, Rolande LNG BV, Benteler Engineering Services, MAN Truck & Bus BV, en vervoerder Hermes.

Voor het project zijn twee dieselbussen van het merk MAN omgebouwd voor het rijden op vloeibaar aardgas (LNG). De ombouw betreft het verwijderen van de dieselmotor, het plaatsen van twee LNG-tanks en een gasmotor en het uitrusten van de motor met nagenoeg smoorvrije vermogensregeling zoals die is ontwikkeld door NONO_x. Rolande LNG verzorgde het tanken van de bussen en de vervoerder Hermes heeft met de bussen gereden in de dienstregeling. Het project is voor een deel gefinancierd door het Ministerie van I&M.

De officiële projectduur liep van september 2009 tot 12 oktober 2014 en werd gekenmerkt door aanloopproblemen, en later het tussentijds voor negen maanden stilleggen wegens financiële problemen. Uiteindelijk zijn in augustus 2014 twee omgebouwde bussen ingezet in de dienstregeling, die in de periode van 1 augustus 2014 tot en met 9 oktober 2014 hebben gereden in Eindhoven. De informatie in deze rapportage is gebaseerd op de volgende bronnen:

- monitoringsdata, zoals verstrekt door Benteler Engineering Services;
- 'Technisch verslag pilotproject openbaar vervoer Eindhoven' door Benteler Engineering Services.

Beschrijving van de techniek

Twee MAN's Lion City A37 lage vloerbussen, bus 1050 en bus 3151, zijn omgebouwd voor het pilotproject. De MAN-dieselmotor is bij beide bussen vervangen door een MAN-gasmotor. Vervolgens is de gasmotor door NONO_x uitgerust met het zogenaamde 'EOCV-systeem', waarbij EOCV staat voor Electromagnetic Operated Control Valve. Dit EOCV-systeem zorgt voor een nagenoeg smoorvrije vermogensregeling, in plaats van de conventionele smookklep.

Het energieverlies door traditionele smookkleppen in gasmotoren (smoorverliezen) kan zo worden vermeden en verbeterd zo de energie-efficiëntie. In het ideale geval zou de efficiëntie in de buurt komen van die van dieselmotoren.

In plaats van aardgas onder druk (CNG) wordt er gebruik gemaakt van vloeibaar aardgas (LNG). Aardgas wordt vloeibaar bij -162 graden Celsius. LNG heeft als voordeel boven CNG dat er meer aardgas kan worden opgeslagen per volume-eenheid. Dit geeft LNG-bussen een actieradius die bijna vergelijkbaar is met dieselbussen (twee tot drie keer de actieradius van CNG-bussen).



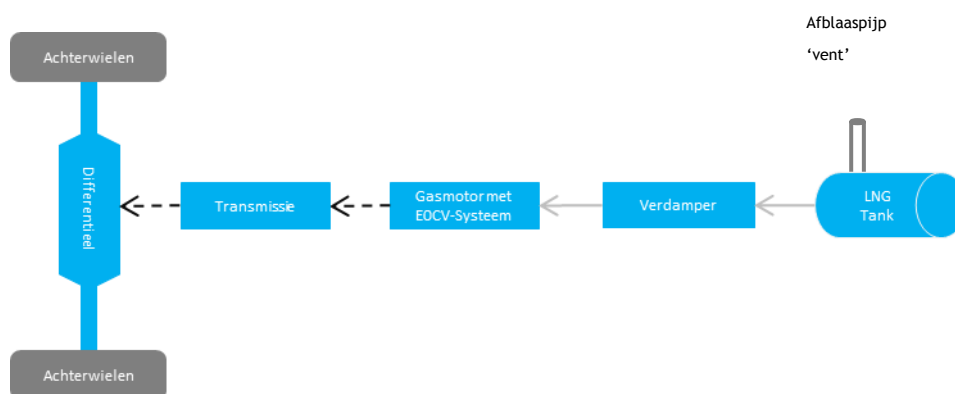
Ombouw van de bussen

De dieseltanks zijn vervangen door LNG-tanks, die in de passagierscabine (naast de midden-ingang) zijn geplaatst. Hiervoor zijn zes zitplaatsen opgeofferd. Als de druk in de LNG-tanks na verloop van tijd te hoog oploopt wordt het gas afgeblazen. Hiervoor zijn leidingen geplaatst die het verdampte gas via het dak afvoeren. De bussen hebben een conventionele aandrijflijn met een dieseltransmissie die is afgesteld op de gasmotor. Belangrijke notie daarbij is dat beide bussen niet voorzien zijn van hetzelfde type transmissie.

Op 1 juni 2011 was de inbouw van de LNG-installatie in de eerste bus gereed en is begonnen met het certificeringsproces. Er was geen LNG-regelgeving voorhanden en de RDW eiste daarom keuringen door Lloyd's (vloeibare zijde van het systeem) en Kiwa (gasvormige zijde van het systeem), voordat goedkeuring voor gebruik op de weg werd gegeven. Het certificeringsproces was gereed in mei 2012.

Figuur 1 toont een schematische weergave van de aandrijving van de bus.

Figuur 1 Schematische weergave aandrijflijn LNG-bussen met EOCV-systeem



2.2 Busgegevens

In Tabel 2 zijn de belangrijkste kenmerken van de bussen gegeven, waarbij opgemerkt dat de bussen verschillen wat betreft de gemonteerde transmissie.

Tabel 2 Busgegevens van de LNG-bussen

Categorie		Waarde	Eenheid
Voertuig	Aantal bussen	2	
	Leeggewicht	11.420	kg
	Lengte	12	m
	Aantal zitplaatsen	22	
	Leverancier	MAN	
	Lage vloer	Ja	
Aandrijving	Aandrijving	Conventioneel met nagenoeg smoorvrije gasmotor	
	Regeneratief remmen	Nee	

Categorie		Waarde	Eenheid
Gasmotor	Maximaal vermogen	206	kW
	Maximaal koppel	1.000	Nm
	Motorinhoud (slagvolume)	7,0	l
	Euronorm	EEV	
Transmissie	Merk en type in bus 1050	ZF 6 HP 504 Ecomat	
	Merk en type in bus 3151	ZF 6 AP 1200 EcoLife	
Brandstoftank	Inhoud	2 x 120	kg
Uitlaatgas-behandeling	Roetfilter	Nee	
	Driewegkatalysator	Ja	
	SCR denox	Nee	
	Uitlaatgasrecirculatie (EGR)	Nee	
Klimaatcontrole	Airco merk en type	Konvekta P700	
	Vermogen airconditioning	33	kW
	Verwarming type	Zie aircotype	
	Vermogen verwarming	38	kW

2.3 Inzet in de dienstregeling

Inzet in het concessiegebied

De inzet van de bussen in het concessiegebied heeft om meerdere redenen vele maanden vertraging opgelopen. In maart 2013 zijn de eerste testritten uitgevoerd. De testfase duurde tot januari 2014 en na het geschikt maken van de voertuigen voor de inzet door de vervoerder, zijn op 22 januari 2014 beide bussen overgedragen aan Hermes.

Door problemen met de afstelling van de versnellingsbak konden de bussen pas vanaf 19 mei 2014 definitief worden ingezet voor het vervoer van passagiers.

De bussen zijn uiteindelijk iets meer dan twee maanden ingezet en gemonitord, vanaf 5 augustus 2014. Tot 23 augustus 2014 is gereden in de zomerdienstregeling in Eindhoven op de lijnen: 2, 4, 5, 8, 9, 15, 17, 19 en 55. Vanaf 24 augustus 2014 is gereden in de winterdienstregeling op de lijnen 1, 3, 4, 5, 6, 10, 14, 17, 18, 19 en 55. De lengte van deze lijnen varieert van ongeveer 4 tot 20 kilometer. Er is in de dagregistraties niet bijgehouden op welke lijn een bus is ingezet.

Op 9 oktober 2014 zijn de bussen voor het laatst ingezet.

Inzet gedurende de monitoringsperiode

In Tabel 3 is het aantal dagen weergegeven dat de bussen in de dienstregeling zijn ingezet. Voor bus 1050 is vanaf 29 augustus geen data beschikbaar, door een probleem met het datalogstelsel.

Tabel 3 Inzet in de dienstregeling (in aantal dagen)

	1050	3151
Augustus 2014	16	16
September 2014	N.B.	25
Oktober 2014	N.v.t.	7
Totaal aantal dagen ingezet tijdens monitoringsperiode	N.B.	48



Vanaf 12 september 2014 tot het eind van het project op 12 oktober 2014 heeft bus 1050 op de Internationale Automobil-Ausstellung (IAA) in Hannover gestaan.

Bezetting

De projectpartijen hebben geen passagiersbezetting geregistreerd. Hermes heeft enkel het aantal check-ins met de OV-chipkaart per maand gegeven. Hieruit is echter geen gemiddelde bezetting af te leiden.

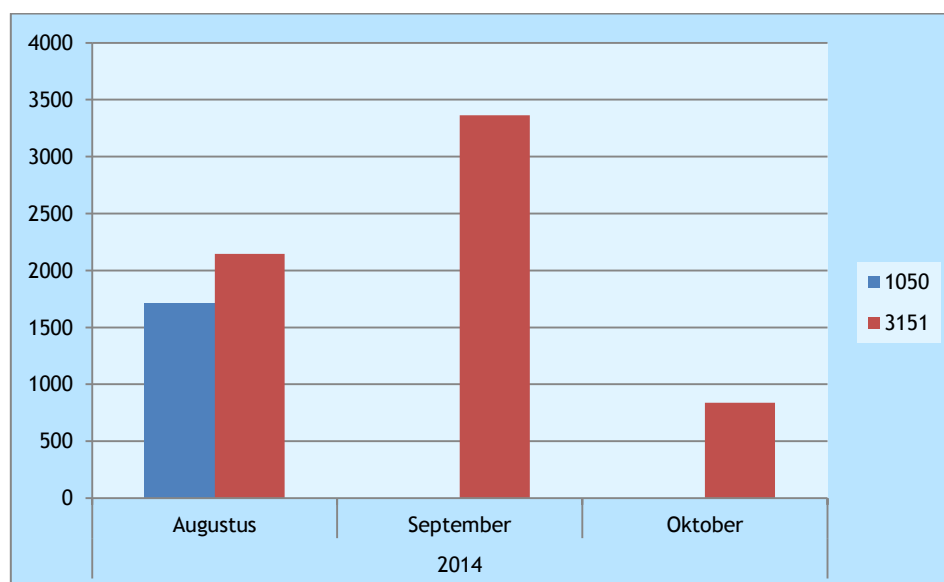
Tabel 4 Aantal OV-chipkaart check-ins per maand

	1050	3151
Augustus 2014	2.732	2.699
September 2014	1.600	5.443
Oktober 2014	N.B.	N.B.

Kilometrage

In Figuur 2 en Tabel 5 zijn de afgelegde afstanden per maand weergegeven zoals geregistreerd door de monitoringapparatuur in het voertuig.

Figuur 2 Afgelegde afstand per bus per maand (km)



Tabel 5 Overzicht afgelegde kilometers per bus (x 1.000 km)

		1050	3151	Totaal
2014	Augustus	1.708	2.146	3.854
	September	-	3.363	3.363
	Oktober	-	837	837
Totaal		1.708	6.346	8.054

2.4 Brandstofverbruik

Het brandstofverbruik is op twee manieren bijgehouden. Ten eerste is door Rolande bijgehouden hoeveel LNG is geleverd aan de voertuigen. Het LNG is geleverd met een LNG-tankwagen, waarbij de hoeveelheid geleverde LNG is gemeten door de tankwagen voor en na het tanken te wegen. Dit is een gebruikelijke methode voor levering van LNG. Deze methode heeft een afwijking van +/- 5 kilogram (i.e. de onnauwkeurigheid is maximaal 5 kg per tankbeurt). Rolande heeft per tankbeurt zowel het brandstofverbruik als de kilometerstanden van de bus geregistreerd.

Daarnaast is het brandstofverbruik op het voertuig zelf gemeten met een Intrepid NeoVI Fire datalogger gekoppeld aan de CAN-bus. De datalogger registreert het gasverbruik van de motor.

Tabel 6 toont het gemiddelde brandstofverbruik zoals gemeten op de bus in de periode 2 augustus 2014 tot en met 9 oktober 2014.

Tabel 6 Brandstofverbruik over de monitoringsperiode gemeten in de bus

	1050	3151	Totaal (gewogen gemiddelde)
Verbruikte brandstof (kilogram)	520	2.236	2.756
Totaal gereden kilometers	1.708	6.346	8.054
Gemiddeld verbruik (kg/100 km)	30,4	35,2	34,2

Tabel 7 toont de hoeveelheid LNG die door Rolande aan beide bussen is geleverd in de periode van 4 augustus 2014 tot en met 7 oktober 2014. De registratie van Rolande toont ook het kilometrage in de laatste week van augustus en de eerste week van september voor de 1050 (in die periode functioneerde de datalogger op het voertuig niet).

Tabel 7 Brandstofverbruik over de monitoringsperiode op basis van LNG-tankgegevens

	1050	3151	Totaal (gewogen gemiddelde)
Verbruikte brandstof (kilogram)	1.178	2.532	3.710
Totaal aantal kilometer	3.007	6.116	9.123
Gemiddeld verbruik (kg/100 km)	39,2	41,4	40,7

Tussen deze twee verbruikscijfers zitten grote verschillen. Navraag bij NONO_x levert op dat deze verschillen kunnen worden verklaard doordat:

- bij stilstand van de bus gas wordt afgeblazen wanneer het LNG in de tanks opwarmt;
- bij het tanken LNG verloren gaat wanneer de tanks warm zijn;
- voor kleine testritten kilometers zijn gemaakt, de bussen zijn gestart voor korte demonstraties en ritjes voor schoonmaak die niet zijn geregistreerd door de projectpartijen.



Het werkelijke brandstofverbruik van deze LNG-bussen wordt verwacht tussen de twee gerapporteerde verbruiken in te liggen. De hoofdreden hiervoor is dat de bussen bij volledige inzet minder stilstaan en er (veel) minder gas afgeblazen zal worden waardoor het verbruik lager ligt.

Echter, er zal altijd wat LNG afgeblazen worden bij het tanken, onderhoud of als de bussen voor een langere periode stil staan. Door de korte monitoringsperiode en het kleine aantal gereden kilometers kan er geen betrouwbare schatting worden gegeven van het aandeel LNG dat is verloren door afblazen.

De gerapporteerde cijfers leveren een zeer divers beeld op wat betreft het verbruik. Dit wordt veroorzaakt door de zeer korte monitoringsperiode, de onnauwkeurigheid in de getankte hoeveelheden LNG, de LNG-verliezen en ontbrekende data rondom bezettingsgraad en inzet van de bus.

Vergelijk LNG-bussen met referentiebus

Om te bepalen hoe het energieverbruik van een NONO_x LNG-bus zich verhoudt tot een conventionele dieselbus zijn de verbruikscijfers vergeleken met het verbruik van 27 dieselbussen. De vergelijking is gemaakt voor bussen in Eindhoven met een vergelijkbare inzet in augustus 2014.

De referentiebussen betreffen MAN's Lion City 12-meter dieselbussen uit 2008 met vergelijkbare inrichting en leeggewicht.

Tabel 8 laat het gemiddelde brandstofverbruik van de referentie dieselbussen zien. Ter vergelijking is het dieselverbruik omgerekend naar LNG-equivalenten op energiebasis. Eén liter diesel heeft een energie-inhoud van 36 MJ per liter. Eén kilogram LNG zoals geleverd door Rolande aan de bussen heeft een energie-inhoud van 49 MJ per kilogram.

Tabel 8 Gemiddeld brandstofverbruik van de referentiebussen in augustus 2014

Busnr.	Verbruik diesel l/100km	Verbruik in LNG-equivalent kg/100 km
3413	43,8	32,2
3447	41,6	30,6
3473	36,3	26,6
3466	34,3	25,2
3417	36,8	27,0
3431	37,7	27,7
3474	40,2	29,6
3435	34,6	25,4
3475	32,1	23,6
3436	37,3	27,4
3448	40,8	30,0
3405	41,8	30,7
3442	37,7	27,7
3451	42,2	31,0
3425	34,7	25,5
3462	37,7	27,7
3424	39,3	28,9
3410	33,4	24,5
3446	43,8	32,2



Busnr.	Verbruik diesel l/100km	Verbruik in LNG-equivalent kg/100 km
3409	38,2	28,1
3428	37,7	27,7
3407	37,0	27,2
3460	36,3	26,7
3420	38,4	28,2
3455	41,0	30,1
3418	34,9	25,7
3463	35,5	26,1
Gemiddeld	37,9	27,8

De LNG-bussen hebben volgens beide meetmethoden een hoger energie-verbruik dan de referentiedieselbussen. Dit is ook te verwachten, omdat de EOCV-kleppen weliswaar veel, maar niet alle smoorverliezen kunnen voorkomen.

Uit de vergelijking met de referentietest kan niet worden afgeleid dat de gasmotoren met deze smoorvrije vermogensregeling een vergelijkbare energie-efficiëntie behalen als dieselmotoren.

2.5 Gebruikerservaringen

2.5.1 Reizigers

Gedurende de projectperiode zijn geen gebruikservaringen van reizigers aangeleverd. In het eindrapport 'Technisch verslag pilotproject openbaar vervoer Eindhoven' is hierover meer informatie te vinden.

2.5.2 Chauffeurs

Gedurende de projectperiode zijn geen gebruikservaringen van chauffeurs aangeleverd. In het eindrapport 'Technisch verslag pilotproject openbaar vervoer Eindhoven' is hierover meer informatie te vinden.

2.5.3 Monteurs

Gedurende de projectperiode zijn geen gebruikservaringen van chauffeurs aangeleverd. In het eindrapport 'Technisch verslag pilotproject openbaar vervoer Eindhoven' is hierover meer informatie te vinden.

2.6 Onderhoud

De bussen hebben weinig technische problemen ondervonden bij de inzet in de dienstregeling.

Onderhoud aan de bus kan worden uitgesplitst in twee typen:

1. Regulier onderhoud en instructie vergelijkbaar met dieselbussen.
2. Onderhoud en storingen gerelateerd aan de LNG-technologie en ombouw.



Regulier onderhoud

Het onderhoud is bijgehouden vanaf het moment dat de bussen aan Hermes zijn overgedragen en geschikt zijn voor testen en inzet in de dienstregeling. In de periode mei 2014 tot oktober 2014 zijn voor beide bussen gezamenlijk 14 onderhoudsbeurten uitgevoerd. Dit is inclusief APK, het inbouwen van een nieuwe datalogger, vervangen van lampen en het repareren van de stop-seinzoemer.

Modificaties

Naast het reguliere onderhoud is er in aanloop naar de dienstregelinginzet een tweetal modificaties uitgevoerd gerelateerd aan de LNG-aandrijflijn.

De uitlaatgassen van een gasmotor hebben een hogere temperatuur dan die van een dieselmotor, wat de temperatuur in de motorruimte sterk verhoogt. Dit had meer effect dan verwacht, en daarom is het uitlaatsysteem beter geïsoleerd en is gezorgd voor extra ventilatie in de motorruimte.

De transmissie was bij aanvang nog afgesteld op de koppelcurve van een dieselmotor en bleek een voor chauffeurs niet acceptabel schakelgedrag op te leveren. Daarom moest de programmering van de transmissies door de leverancier worden aangepast. Dit was voor beide bussen evenveel werk, omdat de bussen niet dezelfde transmissie hebben.

Reparaties/storingen gerelateerd aan de LNG-technologie

Het aantal storingen met betrekking tot de aandrijving is beperkt geweest tot het vervangen van een printplaat van het motormanagementsysteem en het vervangen van een LNG-leiding.

In het begin constateerde Rolande een aantal keer onstabiele drukken in de LNG-tanks. Naar mate er meer gereden en daardoor minder afgeblazen werd bleef de tankdruk stabiel rond de 9 bar.

Verder hebben de bussen, tijdens de gerapporteerde twee maanden, storingsvrij gereden.



3 Conclusie en toekomstverwachting

Het project LNG-bussen in Eindhoven heeft vanaf de start in het voorjaar van 2009 veel vertragingen en tegenslagen opgelopen. De vertraging begon met een te late levering van de MAN-motoren, vervolgens heeft het project maanden stil gestaan door budgetproblemen en een dispuut met leverancier Bosch.

De uiteindelijke inzet van de bussen in de dienstregeling heeft daardoor maar twee maanden geduurd. De doelstelling van twee jaar praktijkinzet is daardoor bij lange na niet gehaald.

Brandstofverbruik en technische verbeteringen

Het brandstofverbruik van de bussen is redelijk constant geweest gedurende de korte monitoringsperiode, maar er zijn grote verschillen opgetreden tussen het gemeten verbruik in de bus en het verbruik zoals berekend op basis van tankgegevens. Dit komt deels doordat het gas uit de tankwagen met een foutmarge van ± 5 kg werd gemeten en deels doordat er gas afgeblazen wordt wanneer het LNG in de tank opwarmt of wanneer LNG wordt getankt in een relatief warme tank. De korte monitoringsduur en het daardoor beperkte aantal datapunten zorgt verder voor grote onzekerheid voor de representativiteit van de gerapporteerde verbruikscijfers.

Het brandstofverbruik van de bussen lag tussen de 30 en 40 kilogram LNG per 100 km. Ter vergelijking, 35 kilogram LNG is het energie-equivalent van 48 liter diesel. Het verbruik van de referentie dieselbussen in Eindhoven bedroeg gemiddeld 37,9 liter diesel.

Uit de korte meetcampagne en referentietest kan niet worden afgeleid dat gasmotoren met EOCV-systeem een vergelijkbare energie efficiëntie hebben als dieselmotoren, of daar in de buurt komen.

Bij een totale tankinhoud van 240 kilogram LNG ligt de actieradius boven de 600 kilometer. Dit maakt het mogelijk om op praktische wijze ingezet te worden op lijnen waar reguliere CNG-gasbussen onvoldoende actieradius hebben (bijvoorbeeld op streeklijnen).

Technisch zijn er weinig problemen geweest met het NONO_x EOCV-systeem of met het LNG-systeem, maar beide hebben zich niet over langere periode in de dienstregeling kunnen bewijzen.

Vervolgstappen na de pilotperiode

De vervoerder wil niet verder gaan met de NONO_x-technologie in de huidige bussen. Om concurrerend te worden met reguliere diesel- of CNG-bussen is doorontwikkeling vereist door een OEM, om de energie-efficiëntie te verbeteren. Die doorontwikkeling is ook wat NONO_x nastreeft, en de eerste contacten met Bosch met dat doel zijn daartoe eind 2014 gelegd. Dit is mede te danken aan de aanwezigheid en uitgebreide demonstratie (in het bijzonder aan MAN) op de IAA.





Bijlage A Overzicht projecten

Project partners	Regio Twente, gemeente Enschede, Connexxion, VDL	Samenwerkingsverband Regio Eindhoven, gemeente Eindhoven, Hermes, PDE Automotive, Rolande LNG, NONO _x 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, Connexxion, 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