

Pilotprojecten innovatieve bussen

Monitoring hybride Van Hool A300H bussen in Zuid-Holland

Rapport

Delft, september 2014

Opgesteld door:

L.C. (Eelco) Eelco den Boer (CE Delft)

A.H. (Anouk) van Grinsven (CE Delft)

A. (Age) van der Mei (Duinn)



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

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

A. (Age) van der Mei (Duinn)

Pilotprojecten innovatieve bussen

Monitoring hybride Van Hool A300H bussen in Zuid-Holland

Delft, CE Delft, september 2014

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

VT: Pilotproject

Publicatienummer: 14.4827.04c

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 Van Hool A300H bussen in Zuid-Holland	9
2.1	Introductie	9
2.2	Busgegevens	10
2.3	Inzet in de dienstregeling	11
2.4	Brandstofverbruik	14
2.5	Gebruikerservaringen	16
2.6	Onderhoud	17
3	Conclusie en toekomstverwachting	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 de pilot met de hybride bussen in Zuid-Holland.

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 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 Van Hool A300H bussen in Zuid-Holland

2.1 Introductie

In het project 'Hybrides voor Zuid-Holland' hebben de Provincie Zuid-Holland, leverancier Van Hool en Connexxion samengewerkt om vier hybride Van Hool A300H bussen in de dienstregeling van Connexxion te testen. In een later stadium zijn, los van deze proef, nog eens twintig hybride bussen van hetzelfde type aangeschaft. Deze rapportage richt zich primair op de monitoringsgegevens van de eerste vier hybride bussen, maar in een enkel geval zijn ook monitoringgegevens van de tweede serie van 20 bussen erin betrokken. Waar dat zo is, is dat expliciet vermeld.

De monitoringsperiode van het project liep van 15 november 2009 tot 16 november 2011. De informatie in deze rapportage is gebaseerd op de volgende bronnen:

- monitoringsdata, zoals verstrekt door Connexxion;
- 'Hybrides voor Zuid-Holland, Activiteitenverslag en toelichting op het project', zoals opgesteld door Connexxion.

Beschrijving van de techniek

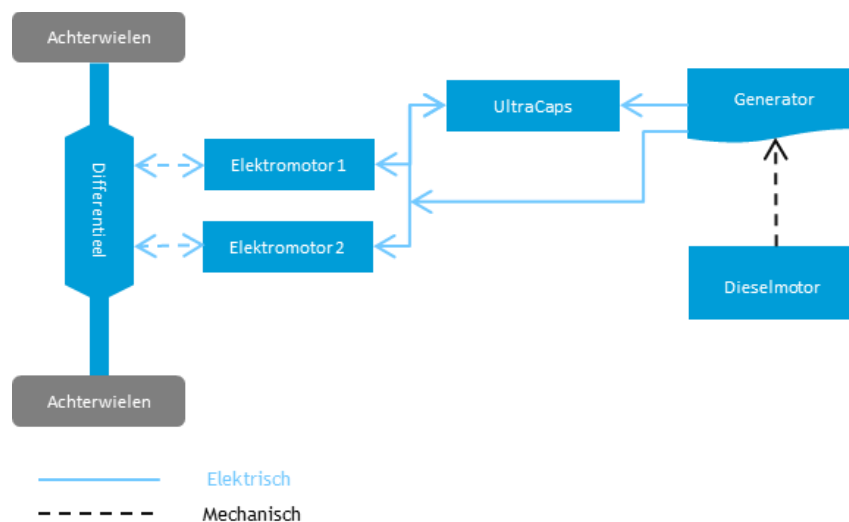
De hybride bus van het type Van Hool A300H heeft een seriehybride aandrijflijn en is daarbij uitgerust met twee elektromotoren die, parallel, het differentieel aandrijven. Ultracaps¹ en een generatorset voorzien de motoren van stroom, waarbij het energiemanagementsysteem de meest energiezuinige strategie bepaalt. Bij het afremmen van de bus wordt de remenergie omgezet in elektrische energie en opgeslagen in de ultracaps.

In Figuur 1 is een schematische weergave van de aandrijving van de hybride bus voor dit project weergegeven.

¹ Ultracaps oftewel ultracapacitors kunnen tijdelijk elektrische energie opslaan en bieden een alternatief voor het gebruik van batterijen.



Figuur 1 Schematische weergave aandrijving hybride bussen (serieel hybride met ultracaps)



2.2 Busgegevens

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

Tabel 2 Busgegevens van de dieselhybride Van Hool-bussen

Categorie		Waarde	Eenheid
Voertuig	Aantal bussen	4	
	Leeggewicht	12.650	kg
	Lengte	12	m
	Aantal zitplaatsen	34	
	Leverancier	Van Hool	
	Lage vloer	Ja	
Aandrijving	Aandrijving	Serieel-hybride	
	Regeneratief remmen	Ja	
Dieselmotor	Maximaal vermogen	191	kW
	Maximaal koppel	1.050	Nm
	Motorinhoud (slagvolume)	6,9	l
	Euronorm	EEV	
Generator	Maximaal vermogen	180	kW
Brandstoftank	Inhoud	200	l
Uitlaatgas-behandeling	Roetfilter	Ja	
	Oxidatiekatalysator	Ja	
	SCR denox	Nee	
	Uitlaatgasrecirculatie (EGR)	Ja	
Elektromotor	Aantal	2	
	Vermogen voor tractie (piek)	2x150	kW
	Vermogen voor tractie (continu)	2x85	kW
	Maximaal koppel	2x530	Nm

Categorie		Waarde	Eenheid
Ultracaps	Type	Maxwell	
	Energie-inhoud	0,5	kWh
	Maximaal vermogen	1.400	kW
	Gewicht	Onbekend	kg
Klimaatcontrole	Airco type	Hispacold 9A	
	Vermogen airconditioning	16	kW
	Verwarming type	Zie aircotype	
	Vermogen verwarming	26	kW

2.3 Inzet in de dienstregeling

Inzet in het concessiegebied

Niet alleen de bus-specifieke eigenschappen, maar ook het concessiegebied waar de bussen worden ingezet is van invloed op het brandstofverbruik. De vier hybride bussen werden ingezet in de concessie Duin- en Bollenstreek/Leiden Rijnstreek/Midden-Holland.

De bussen zijn vanaf op 15 november 2009 ingezet op de stadslijnen van Leiden, Alphen aan den Rijn en Gouda. Vanaf dat moment startte ook de monitoring. Vanaf april 2010 reden ook de eerste exemplaren uit de tweede serie hybrides in de dienstregeling. In april 2010 is besloten de vier eerste bussen alleen nog in te zetten op de streeklijnen/stadsdienst Alphen aan den Rijn.

Op 15 oktober 2010 is besloten dezelfde vier bussen tijdelijk niet meer in te zetten omdat chauffeurs problemen ondervonden bij het remmen op nat wegdek. Deze remproblemen zijn onderzocht en verholpen, waarna de bussen op 20 november 2010 weer konden worden ingezet. In de gehele maand april 2011 werd geen van de bussen ingezet vanwege onderhoud.

In alle overige maanden zijn de bussen wel ingezet, hoewel het aantal dagen per maand varieert. Zowel de verschuivingen binnen het concessiegebied als uitval door storingen zijn van invloed op de inzet geweest. Daarnaast zijn de chauffeurs bij Connexxion vrij om zelf een bus te kiezen. Deze keuzevrijheid heeft er voor gezorgd dat de bussen vanwege persoonlijke voorkeur niet altijd hebben gereden en achterbleven in de stalling.

Inzet gedurende de monitoringsperiode

In Tabel 3 is het aantal dagen per jaar weergegeven dat de bussen in de dienstregeling zijn ingezet. Wanneer de monitoringsperiode niet het hele jaar besloeg is hiervoor gecorrigeerd, om de inzet over verschillende jaren toch te kunnen vergelijken (zie jaarbasis, tussen haakjes). De inzet van de bussen 4883 en 4886 piekte in 2010 en nam af in 2011, terwijl de inzet van bussen 4884 en 4885 gedurende de hele monitoringsperiode steeg.

De gemiddelde inzet per maand over de gehele monitoringsperiode varieert van 13 tot 16 dagen per maand. De bussen 4883 en 4886 zijn op meer dagen ingezet en hebben hierdoor ook een hogere gemiddelde inzet dan de bussen 4884 en 4885. In vergelijking met conventionele bussen is het gemiddeld aantal dagen per maand relatief laag. De dagen waarop de bussen wel rijden, rijden deze wel vrijwel hele dagen in de dienstregeling: het gemiddelde aantal uur per dag komt namelijk uit op 14-17 uur per dag. Als de bus niet rijdt, rijdt



deze niet vanwege onderhoud of is deze achtergebleven in de garage vanwege de keuze van de chauffeurs.

Tabel 3 Inzet in de dienstregeling (in aantal dagen)

	4883	4884	4885	4886
2009	33 (122)	17 (55)	32 (115)	33 (114)
2010	214	170	147	240
2011	181 (196)	167 (183)	174 (190)	183 (199)
Totaal aantal dagen ingezet tijdens monitoringsperiode	428	354	353	456
Gemiddeld aantal dagen per maand	15	13	13	16
Gemiddeld aantal uur per maand	238	188	221	233
Gemiddeld aantal uur per dag indien ingezet	16	14	17	15

Noot: () = Aantal dagen op jaarbasis voor jaren waarbij de monitoring niet het gehele kalenderjaar bedroeg.

Gedurende de monitoringsperiode zijn de verschillende bussen ook gebruikt tijdens evenementen. Hoewel het wenselijk is om voor deze dagen te corrigeren, was het in dit geval niet mogelijk, omdat niet per bus bekend is welke evenementen bezocht zijn. In Tabel 4 is een opsomming gegeven van de bezochte activiteiten. In totaal gaat het om ongeveer 20 dagen.

Tabel 4 Overzicht bezochte evenementen en activiteiten

Dag	Activiteit
16 september 2009	De Groene Karavaan
17 september 2009	Start stadslijn 14
19 september 2009	De duurzame mobiliteitsmarkt
22 september 2009	Trein van de toekomst
22/23 september 2009	Ecomobiel beurs/Op weg naar duurzame mobiliteit
23-25 april 2010	Duurzaamheidsbeurs GOOD!
19, 21 en 26 april 2010	Oefening brandweer
21 mei 2010	Prijsvraag basisscholen
28 oktober 2010	
3-5 september 2010	Wereldhavendagen

Daarnaast hebben de opleidingsmomenten om chauffeurs en monteurs bekend te maken met de technologie ook invloed gehad op de inzetbaarheid.

Bezetting

Aan de hand van tellingen is de gemiddelde bezetting per rit in kaart gebracht. In de eerste drie kwartalen varieerde de bezetting sterk: gemiddeld zaten er tussen acht en zestien reizigers per rit in de bus. Een lichte daling gedurende de monitoringsperiode is zichtbaar. Een verklaring hiervoor kan de veranderende inzet van de bussen zijn. Vanaf het derde kwartaal 2010 zijn de bussen vooral op de rustigere streeklijnen ingezet en daalde de gemiddelde

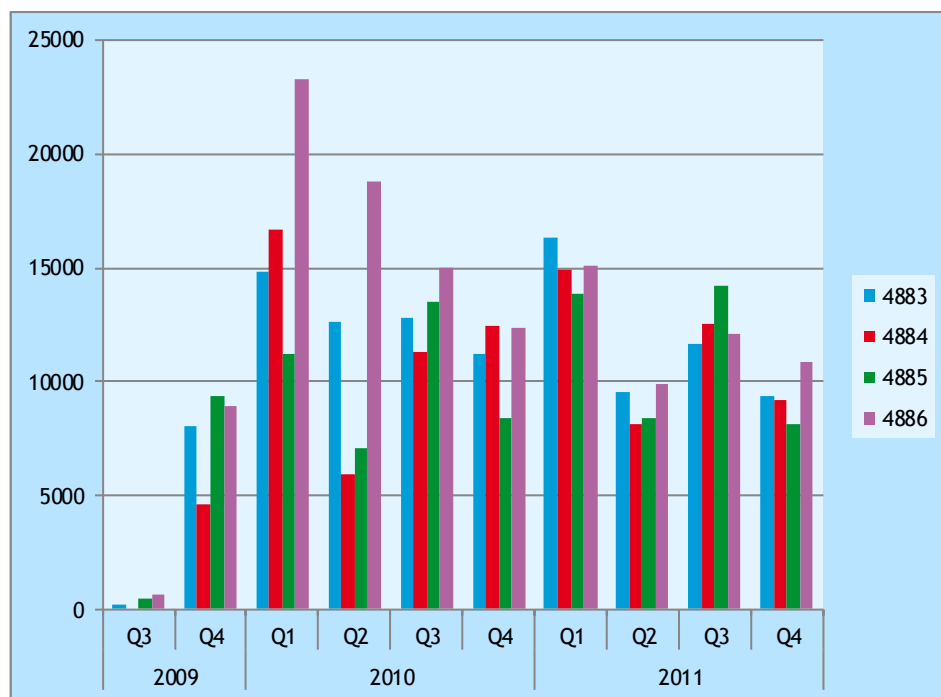


bezetting naar zes à zeven reizigers in de laatste drie kwartalen van de monitoringsperiode.

Kilometrage

In Figuur 2 is de afgelegde afstand per kwartaal weergegeven. Er is een grote variatie in de kilometrage per kwartaal zichtbaar.

Figuur 2 Afgelegde afstand per bus per kwartaal (km)



In Tabel 5 is het jaarkilometrage van de bussen weergegeven. In 2009 en 2011 reden de bussen niet het gehele jaar in de dienstregeling. In 2010 valt op dat met name de 4883 en 4886 aanzienlijk meer hebben gereden dan de andere twee hybride bussen. In 2011 zijn de verschillen weer beperkter: alle bussen hebben dan ongeveer 46.000 km gereden. Bij de bussen 4884 en 4885 neemt het gemiddeld jaarkilometrage gedurende de monitoringsperiode toe. Het jaarkilometrage van 4883 en 4886 is in 2011 gezakt ten opzichte van 2010. Deels wordt dit verklaard door een verschil in het aantal gemonitorde maanden per jaar.

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

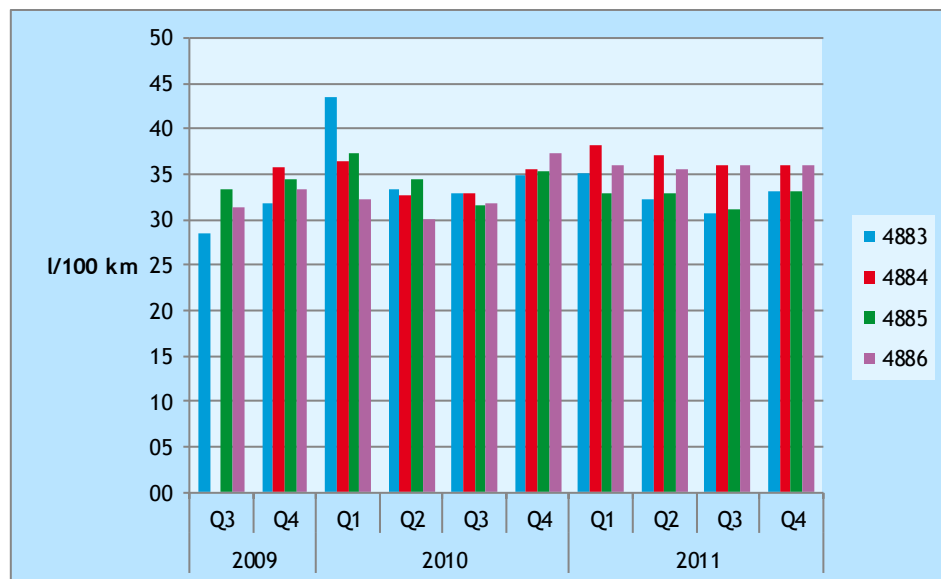
	4883	4884	4885	4886	Totaal kilometrage
2009 (1,5 mnd.)	8.2	4.6	9.8	9.5	32.1
2010	51.5	46.4	40.3	69.4	207.6
2011 (10,5 mnd.)	46.8	44.8	44.7	48.0	184.4
Totaal	106.5	95.8	94.8	126.9	424.1



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 3 toont het gemiddelde brandstofverbruik per bus, per kwartaal.

Figuur 3 Brandstofverbruik gedurende de monitoringsperiode (in liter per 100 kilometer)



Het brandstofverbruik varieert over het algemeen tussen de 30 en 35 liter per 100 kilometer, zoals ook te zien is in Tabel 6. Het gemiddelde verbruik lag op 34,5 liter per 100 km.

Gedurende de monitoringsperiode is er geen sprake geweest van een dalende trend in het brandstofverbruik. De variatie is te verklaren door weeromstandigheden en de verschillen in rijstijl tussen de chauffeurs.

Tabel 6 Brandstofverbruik over de monitoringsperiode - eerste serie hybride bussen

	4883	4884	4885	4886	Totaal eerste serie
Getankte brandstof (liter)	36.855	34.401	31.762	43.016	146.296
Totaal aantal kilometer	106.518	95.827	94.812	126.890	424.047
Gemiddeld verbruik (l/100 km)	34,6	35,9	33,5	33,9	34,5

De in de monitoring opgenomen hybride bussen van de *tweede serie* verbruikten met 34,2 liter per 100 km iets minder. De gemiddelden van de tweede serie zijn weergegeven in Tabel 7.

Tabel 7 Gemiddeld brandstofverbruik per bus over de periode september 2010-november 2012

Bus	Liters per 100 km
Tweede serie	
4833	33,7
4834	33,7
4849	36,8
4850	32,9
4851	33,9
gemiddeld	34,2

Vergelijk hybride bussen met referentiebus

Om te bepalen in hoeverre een hybride bus zuiniger is dan een conventionele bus is een referentietest uitgevoerd bij de werkplaatslocatie Leidschendam. In augustus 2010 is een MAN A78 bus als referentiebus ingezet in de dienstregeling. De referentiebus toont veel gelijkheid met hybride bus (beide MAN EEV-motor met eenzelfde vermogen). Het gewicht van de MAN A78 bus (3830) was met 11.450 kg 1.200 kg lichter dan de hybride Van Hool-bus (met een leeggewicht van 12.650 kg). Het verschil in gewicht is bij benadering representatief voor het gewicht van de hybride technologiecomponenten.

Bij de test zijn drie hybride bussen van de tweede serie vergeleken met de referentiebus. De reden waarom de hybride bussen van de eerste serie niet zijn gebruikt is de locatie van de referentietest: Connexxion heeft de referentietest bij de werkplaatslocatie Leidschendam laten plaatsvinden vanwege het beperkte aantal chauffeurs dat met de hybride bussen kan rijden en de aanwezige kennis over MAN-bussen bij de werkplaats in Leidschendam.

Tabel 8 laat het gemiddelde brandstofverbruik van de hybride bussen zien ten opzichte van de referentiebus. In vergelijking met het gemiddeld brandstofverbruik in Tabel 6 en Tabel 7 is het brandstofverbruik van de hybride bussen in Tabel 8 relatief laag. Een goede verklaring hiervoor kan niet gevonden worden. Opgemerkt dient te worden dat het om een testperiode van één maand gaat met een beperkt aantal kilometers (10.149 km). Daarnaast heeft de inzetlocatie ook invloed op het brandstofverbruik. De reductie dient dan ook als een indicatieve waarde te worden beschouwd.

Tabel 8 Gemiddeld brandstofverbruik per bus over augustus 2010 - tweede serie hybride bussen te Leidschendam

Bus	Liters per 100 km	Reductie ten opzichte van referentiebus
Referentiebus (3830)	39,9	-
4843	29,5	26,1%
4844	28,4	28,8%
4846	27,5	31,1%



2.5 Gebruikerservaringen

2.5.1 Reizigers

De inzet van de hybride bussen heeft tot diverse klachten geleid. De klachten gerelateerd aan de hybride technologie hadden betrekking op het binnengeluid en het schommelen van de bus. Hoewel de bus stil optrekt, produceert de bus bij het rijden een constant geluid. Dit geluid is te vergelijken met het geluid van het optrekken van een conventionele bus (ongeveer 83dB(A)). Reizigers zijn hier niet aan gewend en dit probleem is daarom vooral een kwestie van het bijstellen van het verwachtingspatroon van reizigers. Naar aanleiding van klachten is het toerental aangepast en zijn de afdichtingen nagekeken. Het schommelen van de bus wordt veroorzaakt doordat de ultracaps op het dak zijn geplaatst. Bij de inzet van de hybride bussen zijn hobbelige lijnen later vermeden.

Een aantal klachten stond los van de hybride technologie. Zo ontbreken in de vier pilotbussen zitplaatsen zonder op- en afstap (podest). Connexion heeft onderzocht of er lage zitplaatsen op de rolstoelplaats geplaatst konden worden, maar de verplichte rolstoelplaats kon niet op een andere plek in de bus gecreëerd worden. De tweede serie kent wel een aantal zitplaatsen zonder podest. Vanwege de klachten over de hoge zitplaatsen is besloten de vier bussen vanaf mei 2010 alleen nog maar in te zetten op de stadsdienst in Alphen aan den Rijn, omdat dit de minst drukke stadsdienst is. Door de bussen op één plek in te zetten raken de reizigers op die route bovendien gewend aan die bussen.

Andere klachten hadden betrekking op het uitstappen. In Gouda bleken veel perrons korter dan de bus, waardoor reizigers problemen hadden bij het uitstappen via de achterste deur. Dit probleem treedt niet op bij inzet op streeklijnen.

2.5.2 Chauffeurs

In oktober 2010 ondervonden de chauffeurs problemen bij het remmen op nat wegdek. De chauffeurs hadden het gevoel dat de bus doorschoot wanneer er stevig werd geremd (met stuurhendel² + rempedaal). Na een technische controle bleek dit gevoel van doorschieten veroorzaakt te worden door het ingrijpen van het ABS-systeem van de achteras. Doordat de elektromotoren worden uitgeschakeld wanneer het ABS-systeem ingrijpt, ontstaat er een fluctuatie in de remvertraging vanwege het ontkoppelen van de elektromotor. Dit probleem valt niet te voorkomen met technische aanpassingen. Door middel van het aanpassen van het remgedrag van chauffeurs is dit probleem uiteindelijk verholpen.

Omdat er veel klachten binnenkwamen van chauffeurs over het zwaarder sturen van de bussen, heeft Connexion in april 2011 bij één bus het stuurhuis om laten bouwen. In de periode oktober 2011 tot en met juni 2012 zijn ook de overige bussen aangepast.

² De stuurhendel wordt gebruikt voor de terugwinning van remenergie.



2.5.3 Monteurs

De storingsmeldingen op het display in de bus, die problemen aanduiden, zijn voor monteurs lastig te analyseren: hoewel er een displaymelding wordt weergegeven, is het onduidelijk of de melding aan de hybride technologie gerelateerd is. Hierdoor weet men vaak niet waar te zoeken naar het probleem.

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

Gedurende de gehele monitoringsperiode viel het onderhoud onder de twee jaar service, die bij de aanschaf van de hybride bussen was inbegrepen. Hierdoor hebben Siemens en Van Hool een groot gedeelte van het onderhoud uitgevoerd. Tegen het einde van de monitoringsperiode liep dit contract af en werd Connexxion zelf verantwoordelijk voor het onderhoud. Wel kan Connexxion nog ondersteuning van Siemens vragen bij het op afstand uitlezen van de software. Tijdens opleidingsmomenten gedurende de monitoringsperiode zijn chauffeurs en monteurs bekend gemaakt met de technologie en het onderhoud van de hybride bussen.

Modificaties

Naast het reguliere onderhoud vond tijdens het pilotproject onderzoek plaats om de technologie te optimaliseren. Zo zijn de bussen energetisch geoptimaliseerd door een wijziging in het softwarepakket. Het nivelleren van de ultracaps werd ook verbeterd, waardoor de capaciteit vergroot is en foutmeldingen worden voorkomen die optreden wanneer de spanningsverschillen tussen de pakketten te groot zijn. Daarnaast zijn de stuurhuizen aangepast naar aanleiding van klachten van chauffeurs over het zwaarder sturen van de bussen.

Reparaties/storingen gerelateerd aan de hybride technologie

Een aantal ultracaps is vanwege slechte aansluitingen en defecte cellen of vanwege onderzoekredenen vervangen. De problemen met de ultracaps zijn in de loop van de tijd sterk afgenomen en de laatste keer dat er problemen waren, was augustus/september 2012.

Remproblemen op nat wegdek bleken ook gerelateerd aan de hybride technologie. Door chauffeurs ervaren fluctuatie in de remvertraging bleek het gevolg van het uitschakelen van de elektromotoren bij het ingrijpen van het ABS-systeem. Hoewel dit probleem niet met technische aanpassingen te verhelpen viel, heeft het gedurende de monitoringsperiode wel een rol gespeeld in onderhoud, omdat er onderzoek nodig was om de oorzaak te achterhalen.

Doordat de temperatuur van de uitlaatgassen te laag blijft, raken de roetfilters langzaam verstopt. Dit zorgt voor een verhoogde tegendruk en hoewel



het geen gevolgen heeft voor de emissies, zorgt het er wel voor dat de roetfilters uitgebrand moeten worden. Dit probleem doet zich voor bij alle hybride bussen en zorgt voor extra onderhoudskosten ten opzichte van reguliere bussen.

Tijdens het pilotproject is gebleken dat de bussen die buiten gestald worden relatief meer problemen hadden met onderdelen van de hybride technologie, als gevolg van intrekend vocht.

Op basis van bovenstaande onderhoudsaspecten wordt geschat dat de kosten voor onderhoud en niet-beschikbaarheid tijdens de monitoringsperiode aanvankelijk ongeveer een kwart hoger zijn geweest, met name door het hoge aantal storingen. Later is dit sterk gedaald. Hierbij zijn de werkzaamheden van Siemens en Van Hool niet meegenomen.



3 Conclusie en toekomstverwachting

Binnen de twee jaar durende monitoringsperiode is het hybride-concept van Van Hool verder ontwikkeld binnen de dienstregeling en is er kennis vergaard en ervaring opgedaan door zowel Connexxion als Van Hool en Siemens.

Brandstofverbruik en technische verbeteringen

Het brandstofverbruik van de bussen is redelijk constant geweest over de monitoringsperiode, wat erop duidt dat er geen grote optimalisaties zijn doorgevoerd. Het besparingspercentage zoals gemeten tijdens de referentietest is moeilijk te duiden. De test laat een besparing zien van ruwweg 28%. Echter, het brandstofverbruik is daarbij slechts gemeten over één maand bij bussen uit de tweede serie, en het verbruik van de hybride bussen in die test bleek een stuk lager dan het verbruik van de vier bussen waarvan wel data over langere periode beschikbaar is. De referentietest is bovendien uitgevoerd op andere lijnen. Het reductiepercentage dient dan ook als een indicatieve waarde te worden beschouwd.

De technische inzetbaarheid van de bussen was aanvankelijk ongeveer 50%, terwijl dit eind 2012 was opgelopen tot ongeveer 95%, ten opzichte van 99% voor reguliere bussen, wat de noodzaak voor technische reserve naar aanvaardbare waarden heeft gebracht.

Tijdens de proef is een aantal keer de software vervangen om het energie-management te optimaliseren. Daarnaast waren er aanvankelijk problemen met een aantal ultracaps vanwege slechte aansluitingen en defecte cellen. Vanwege problemen en onderzoekstechnische redenen is een aantal ultracaps vervangen. De problemen met de ultracaps zijn in de loop van de tijd sterk afgenomen, maar de chef werkplaats verwacht dat de ultracaps een storingsgevoelig onderdeel zullen blijven. Verder zijn aan de hybride bussen meer onderhoudswerkzaamheden uitgevoerd dan aan conventionele bussen, met name vanwege storingsmeldingen. In de loop van de proefperiode is dit sterk verminderd.

Vervolgstappen na de pilotperiode

Van Hool is sinds de inzet van de hybride bussen in Zuid-Holland doorgaan met het ontwikkelen van de hybride technologie. In eerste instantie zijn de ultracaps verder ontwikkeld, waarbij met name de levensduur van onderdelen sterk is verbeterd. Van Hool streeft naar een verdere brandstofbesparing van 5 à 10%.

Van Hool richt zich momenteel vooral op de inzet van tractiebatterijen, omdat deze meer potentieel hebben voor verdere optimalisatie dan de ultracaps. De focus ligt hierbij op het optimaliseren van de wisselwerking tussen de tractiebatterij en de generatorset.

Hybride Van Hool A300H bussen worden momenteel onder andere ingezet in diverse Belgische en Franse steden. Momenteel rijden dubbelgelede bussen uitgerust met tractiebatterijen in de dienstregeling van Barcelona.



Hoewel tractiebatterijen energetisch een betere keuze zijn, zal bij elke toepassing moeten worden nagegaan of de voordelen opwegen tegen de nadelen. Omdat de tractiebatterijen zwaarder zijn dan de ultracaps kan het zijn dat er zitplaatsen moeten worden opgeofferd.



Bijlage A Overzicht projecten

Project partners	Regio Twente, gemeente Enschede, Connexxion, 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, 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