

Alternatieve aandrijvingen voor bussen

1. Samenvatting

In deze nota wordt weergegeven hoe op korte termijn meer bussen met alternatieve aandrijvingen ingezet kunnen worden in de dagelijkse exploitatie van het openbaar vervoer in Vlaanderen. Hierbij worden op basis van de reeds uitgevoerde testprojecten met elektrische bussen en bussen op waterstof, een marktverkenning en de actueel beschikbare technologieën, de pijlers geschetst dewelke bepalend zullen zijn om de toekomstige busaankopen te kunnen samenstellen en zo bij te dragen tot de verdere en substantiële vergroening van het openbaar vervoer.

2. Situering

- Algemeen – beleid Vlaamse regering

Op 25 maart 2016 keurde de Vlaamse Regering haar toekomstvisie voor 2050 goed met als ambitie het creëren van welvaart en welzijn op een slimme, innovatieve en duurzame manier in een sociaal, open, veerkrachtig en internationaal Vlaanderen. Vanuit het mobiliteitsbeleid dragen we bij aan het realiseren van deze ambitie door werk te maken van een vlotter, veiliger en milieuvriendelijker vervoerssysteem. Hiervoor zijn trendbreuken nodig zowel op vlak van de vervoerswijzekeuze (modal shift) en de mentaliteit van gebruikers en logistieke dienstverleners (mental shift) maar ook in de logistieke systemen (inclusief de diverse voertuigenparken).

Om de toekomstvisie 2050 waar te maken, worden 7 transitieprioriteiten naar voren geschoven waaronder “werken aan een vlot en veilig mobiliteitssysteem” en “zorgen voor een energietransitie”. Het is binnen deze tweede prioriteit dat het noodzakelijk is te komen tot een koolstofarm, duurzaam, betrouwbaar en betaalbaar energiesysteem met maximale energie-efficiëntie. Om de bereikbaarheid van Vlaanderen te verhogen, binnen de ecologische grenzen van de planeet, is een koolstofarm en milieuvriendelijk transportsysteem te ontwikkelen dat op korte termijn bijdraagt tot een verbeterde luchtkwaliteit (voornamelijk in binnensteden) en op langere termijn (2030) tot het behalen van de ambities die door Europa op de klimaatstop in Parijs werden aangegaan. Voor de transportsector impliceren deze engagementen een reductie van de CO₂-emissies van transport met +/- 30% (ten opzichte van 2005). Hiervoor is een beheersing van de groei van het gemotoriseerd individueel wegverkeer nodig, wat maar mogelijk is wanneer werk wordt gemaakt van een verminderde autoafhankelijkheid van de samenleving. Daarnaast is ook een vergaande vergroening van de voertuigenparken nodig.

De eerste stappen om te komen tot een milieuvriendelijker transportsysteem zijn gezet in het actieplan ‘clean power for transport’ dat de Vlaamse Regering op 18 december 2015 goedkeurde. Dit actieplan geeft gevolg aan een Europese richtlijn ‘betreffende de uitrol van infrastructuur voor alternatieve brandstoffen’ van 22 oktober 2014 die de lidstaten oplegt om nationale beleidskaders te maken voor de marktontwikkeling van milieuvriendelijke energie/brandstoffen voor voertuigen en de uitrol van de bijhorende infrastructuur. De vergroening van de transportsector in Vlaanderen vormt bovendien een opportuniteit voor de integratie van hernieuwbare energiebronnen in de transportsector. In 2020 moet 10% van de energieconsumptie van de transportsector uit

hernieuwbare energiebronnen worden betrokken, terwijl 13% van het totale energiegebruik van hernieuwbare energiebronnen afkomstig moet zijn.

- De Lijn – vertaling naar busvloot en investeringsprincipes

De mogelijkheden voor de Vlaamse Vervoermaatschappij De Lijn om mee werk te maken van een duurzaam mobiliteitssysteem zijn dan ook niet gering. Naast het verhogen van de attractiviteit van haar vervoersaanbod, zodat meer mensen de bus of tram nemen (modal shift), impliceert dit ook dat de nodige aandacht besteed wordt aan het vergroenen van de eigen bussenvloot.

De Vlaamse overheid wenst toekomstgericht in te zetten op alternatieve aandrijvingen met als doel op middellange termijn geen fossiele brandstoffen meer te benutten voor de bussen. Daartoe voerde De Lijn reeds enkele demonstratie- en proefprojecten uit met elektrische en waterstofbussen. Het doel hiervan is om de introductie van bussen met alternatieve aandrijvingen (zonder fossiele brandstoffen) mogelijk te maken op een wijze die financieel, technologisch en operationeel verantwoord is.

In combinatie met de voorbereiding van een grootschalige commerciële inzet van bussen met alternatieve aandrijvingen, o.a. door opstartprojecten met elektrische bussen, blijven investeringen in nieuwe bussen noodzakelijk om de gemiddelde leeftijd van het rollend materieel onder controle te houden (bijlagen 1 en 2). De gemiddelde leeftijd van de bussenvloot van De Lijn liep immers van 2006 tot 2013 op van 6,5 jaar tot 10 jaar. Dit maakt dat een voldoende hoog vervangingsritme (zeker de eerste jaren) onontbeerlijk is om een inkrimpand aanbod te vermijden wegens een gebrek aan bussen.

Hierbij is het belangrijk te vermelden dat ook de vernieuwing van het buspark met bussen met de recente aandrijftechnologie met EURO VI-motoren eveneens een belangrijke bijdrage biedt t.a.v. het milieu en een aanzienlijke vermindering van schadelijke uitstoot realiseert (fijnstof, NOx, ...).

Heden hebben alle nieuwe bussen immers een EURO VI motor, waardoor de uitstoot van schadelijke uitlaatgassen en fijn stof drastisch wordt verminderd ten opzichte van de bussen met EURO II en EURO III motoren dewelke zij vervangen. Reductie van NOx met factor > 10 & fijnstofreductie met factor > 10. Daarnaast heeft De Lijn in het verleden een grootschalige retrofitactie uitgevoerd om bussen met roetfilters te voorzien. Deze actie heeft ertoe geleid dat een factor 4 minder roetuitstoot wordt gerealiseerd.

Bovendien verhoogt een moderne busvloot de aantrekkelijkheid van ons openbaar vervoer. Een voldoende grote capaciteit en aantrekkelijk OV-aanbod zijn noodzakelijk om tegemoet te komen aan de vooropgestelde modal shift.

Zoals beslist door de Vlaamse Regering op 17 juli 2015, bij de bestelling van de vorige 238 bussen, ligt nu een nota voor (zie bijlage 3) die een overzicht geeft van de bestaande technologieën op het vlak van de elektrische bussen en brandstofcelbussen, de vereiste investeringen calculeert en hun haalbaarheid aan de noden van De Lijn aftoetst. Tenslotte worden voorstellen gedaan over de te volgen richting in de nabije toekomst rekening houdend met bovenstaande insteken.

- Omschakelplan naar bussen met alternatieve aandrijvingen (2017-'18)

In dit kader wenst De Lijn duidelijk in te zetten op alternatieve aandrijvingen met het doel op (middel)lange termijn geen fossiele brandstoffen meer te benutten voor de bussen. Het actieplan 'Clean Power for Transport' vormt hierbij een leidraad om de evolutie te realiseren door middel van

de introductie en uitbouw van een openbaar vervoer met alternatieve aandrijvingen, op basis van elektriciteit en waterstof.

De komende investeringsplannen van De Lijn zullen de transitie naar alternatieve aandrijvingen en hernieuwbare energiebronnen verder uitbouwen en concretiseren. De Lijn zal de hybridisering van het wagenpark versneld verderzetten in combinatie met het noodzakelijke vervangingsritme van oude bussen, ten einde de gemiddelde leeftijd van het buspark onder controle te houden en het OV-aanbod te kunnen waarborgen.

Er wordt dus gestreefd naar evenwichtige toekomstgerichte investeringen, rekening houdend met het milieu, het pad naar de omschakeling naar alternatieve aandrijvingen en de beschikbare middelen.

- Uitgangspunten voor de investeringen in bussen komende jaren

De investering in nieuw rollend materieel is cruciaal voor de dienstverlening van De Lijn wat zich ook reflecteert in de gerealiseerde en geplande aankopen in trams en bussen.

Er zal in functie van de exploitatie-inzet en de TCO-inschatting worden gestreefd naar een evenwichtige samenstelling van de aankoop van nieuwe bussen, gebaseerd op drie pijlers. Extra middelen uit het klimaatfonds zullen het mogelijk maken reeds in 2017 en 2018 meer hybride bussen aan te kopen dan initieel voorzien was, naast zuiver elektrische bussen in opstartprojecten. Op deze wijze zal de volgende busaankoop voor de twee komende jaren rusten op drie technologieën (pijlers) met daarbij voldoende oog voor het onder controle houden van de gemiddelde leeftijd van het buspark (zie tabel in bijlage 1), en op deze wijze ook positief bijdragen op vlak van de beperking van schadelijke uitstoot. Gelijktijdig kan de grootschalige commerciële inzet van bussen met alternatieve aandrijvingen worden ingeleid.

Busbestelling 2017-'18:

1. De hybride bussen zijn geschikt voor stadslijnen en voor streekbussen die 50% of meer in de stad rijden. De investering in hybride bussen is hier verantwoordbaar vanuit de combinatie van brandstofbesparing en de gerealiseerde milieu-effecten. Voor streekbussen die ca. 50% in stedelijke gebieden rijden, bedraagt de jaarlijkse CO₂-reductie 102 gram per extra geïnvesteerde Euro.

Hiermee kan De Lijn mede tegemoet komen aan de bekommernis van lokale besturen omtrent de leefbaarheid van de steden (LEZ), zonder het busaanbod te hoeven inkrimpen of bussen te weren uit de steden. Een mogelijkheid om nieuwe hybride bussen ook een grotere afstand zuiver elektrisch te laten rijden zal worden geïnitieerd bij de aanbesteding (zie ook pt. 3. hierna).

2. Voor zuivere streekexploitatie staat de meerkost voor de inzet van hybride bussen nog niet in proportie met de gerealiseerde milieu-effecten. Hier zullen nieuwe bussen dieselbussen zijn met Euro VI-motoren, dewelke evenwel oudere minder milieuvriendelijke bussen moeten vervangen.

3. Om de energietransitie verder vorm te geven zal bij deze omschakeling van aandrijftechnologieën voor bussen worden voortgebouwd op de conclusies uit de presentatie "Alternatieve brandstoffen en aandrijflijnen" van 6 juni 2014. Deze presentatie stelt de inzet van elektrische bussen op korte en brandstofcelbussen (waterstof) op middellange termijn als doel. De diesel hybride bussen vormen een belangrijke tussenstap en voorloper hiervan. Ze laten toe om de aandrijftechnologie verder te beproeven en De Lijn ermee vertrouwd te maken.

Gezien elektrische bussen technologisch voldoende op punt staan om op beperkte schaal te worden ingezet voor reizigersexploitatie, wordt als derde pijler in de komende investeringen voor bussen gekozen voor enkele opstartprojecten met elektrische batterijbussen, dewelke vooral interessant zijn voor inzet in stadscentra.

De Lijn opteert voor bussen met een kleiner batterijpakket en een reizigerscapaciteit vergelijkbaar met dieselbussen, waarbij zowel 's nachts wordt traaggeladen en tussen en/of tijdens de ritten wordt bijgeladen (snelladen). Deze oplossing geniet de voorkeur van de meeste Europese constructeurs. De Lijn verkiest voor het bijladen een dalende pantograaf op de vaste kant (halte-infrastructuur). De infrastructuur zal hierbij een extra investeringskost vormen.

Een aandachtspunt is dat in opleiding en exploitatie hiermee voldoende mee rekening dient te worden gehouden en eventueel voldoende backup/reserve wordt voorzien zowel wat betreft de bussen als de infrastructuur. Er is eveneens een impact op de doorlooptijd voor aanbesteding en in dienst name.

In de toekomstige bestekken voor de hybride bussen zal worden onderzocht op welke wijze de hybride bussen kunnen voorbereid worden (met optie tot latere ombouw, rekening houdend met de beschikbaarheid van bijkomende oplaadpunten) om deze als batterij-elektrische bus met beperkte actieradius te kunnen inzetten in de stadskernen en waarbij deze vervolgens buiten de stadskern als hybride bus kunnen rijden. Op deze wijze kunnen toevoerlijnen vanuit de streek emissievrij de stad in- en uitrijden. Hierdoor kunnen beide voordelen met elkaar gecombineerd worden (actieradius, minder verbruik, zero emissie in bepaalde zones).

Conclusie:

Op korte termijn zijn deze drie technologieën bepalend voor de volgende busaankoop, dewelke naast de verdere energietransitie, ook voor continuïteit in de vervanging dient te zorgen.

De investering in nieuwe bussen voor 2017-'18 dient bijgevolg een combinatie te zijn van klassieke en hybride bussen. De Lijn focust voor volgende bestellingen op hybride bussen en zal mede door de bijkomende middelen uit het klimaatfonds het aantal hybride bussen aanzienlijk kunnen vermeerderen.

Tevens zal op enkele locaties in stedelijke omgeving een opstartproject gerealiseerd worden met batterij-elektrische bussen voor dagelijkse exploitatie. Ook hier zal een deel van de middelen uit het klimaatfonds een extra impuls geven.

De inzet van hybride trambussen wordt mee opgenomen in dit transitieschema. Voor trambussen is een 100% elektrische variant te overwegen op welgekozen trajecten.

4. Gezien de privé ondernemingen een belangrijk aandeel van de openbaar vervoer diensten uitvoeren in opdracht van De Lijn zijn zij eveneens betrokken bij de uitrol van klimaatactieplannen van de Vlaamse overheid.

De Lijn ziet het als haar opdracht om binnen de aanbestedingen aan pachters dezelfde doelstellingen na te streven zoals gelden voor de lijnen in eigen regie.

- Busbestelling 2019 & (middel)lange termijn

1. Vanaf de bestelling van bussen in 2019 wordt er van uitgegaan dat deze uitsluitend uit bussen met hoofdzakelijk alternatieve aandrijving zal bestaan, met een nader te bepalen aandeel aan hybride bussen (met de mogelijkheid om een groter deeltraject elektrisch te rijden) en batterij-elektrische bussen.

De uiteindelijke doelstelling is om de stedelijke omgevingen tegen 2025 enkel nog met groene bussen (mix van hybride en batterij-elektrische bussen) te exploiteren waarbij in de stadskernen louter elektrisch gereden wordt.

2. Waterstofbussen zijn eerder geschikt voor streeklijnen. Ze hebben uiteraard een hogere flexibiliteit door de hogere actieradius maar de infrastructuur moet ook worden voorzien. De evoluties rond waterstofbussen worden verder opgevolgd via het lopende project High VLO City en waar mogelijk uitgebreid.

3. Het inzetten van bussen met groene aandrijving wordt minstens vanaf 2019 een doorslaggevend criterium binnen de aanbestedingen van lijnen aan pachters.

3. Beslissing

De raad van bestuur

- neemt kennis van de toegelichte analyse en principes met betrekking tot de alternatieve aandrijvingen voor bussen,
- en gaat er mee akkoord dat, in functie van het behalen van de geformuleerde doelstellingen, met deze principes bij de samenstelling van de volgende bestellingen van bussen zal worden rekening gehouden, teneinde de omschakeling naar milieuvriendelijke technologieën en een verdere vergroening van de busvloot te realiseren, met behoud van het noodzakelijke vervangingsritme van oudere bussen,
- binnen de budgettaire investeringsmiddelen die ter beschikking worden gesteld door de Vlaamse Regering.

Roger Kesteloot
directeur-generaal

Bijlagen:

- Bijlage 1&2 Bus- en trambestellingen (historisch) overzicht.docx
- Bijlage 3 Analyse alternatieve technologieën (uitvoering regeringsbeslissing 17 juli 2015)
- Bijlage 4 Alternatieve brandstoffen en aandrijflijnen RDV 16062014.pptx

Bijlage 1 – Aantal bestelde en geleverde bussen per jaartal

	<u>aantal bestelde bussen</u>	<u>aantal geleverde bussen</u>	<u>gemiddelde leeftijd bussen</u>
1999	198		
2000	122	198	
2001	149	80	6,4
2002	164	104	6,7
2003	314	87	6
2004	147	260	6,6
2005	99	218	6,8
2006	225	152	6,5
2007	0	175	6,4
2008	69	213	6,2
2009	19	19	7,2
2010	195	120	7,7
2011	0	75	8,3
2012	0	0	9,1
2013	281	0	10
2014	120	263	9,7
2015	107	69	9,5
2016	131	176	9
2017 (geraamd)	120	131	9
2018 (geraamd)	100	120	9
2019 (geraamd)	120	100	9
2020 (geraamd)	100	120	9
2021		100	9

Bijlage 2 – Aantal bestelde en geleverde trams per jaartal

	<u>aantal bestelde</u> <u>trams</u>	<u>aantal geleverde</u> <u>trams</u>	<u>Legende</u>
1996			Hermelijn 1
1997	9		Hermelijn 2
1998	18		Albatros
1999	9	5	
2000	9	22	
2001	9	17	
2002	10	1	
2003	19		
2004	10	23	
2005	9	20	
2006	10	14	
2007		10	
2008			
2009	13		<u>gemiddelde</u> <u>leeftijd trams</u>
2010			29
2011			30
2012	48	13	30
2013			31
2014		2	32
2015	40	27	30
2016	Te bepalen*	28	28
2017	Te bepalen*	29	27
2018	Te bepalen*	2	

*Gunning met vaste schijf en voorwaardelijke schijven voorzien in najaar 2016

Situering

1.1 Historiek alternatieve aandrijvingen

In de periode 2007 – 2009 heeft De Lijn proefgereden met een brandstofcelbus op waterstof gebouwd door de firma Van Hool en vormde zo een basis voor volgende ontwikkelingen.

Vanaf 2012 neemt De Lijn deel aan een Europees demonstratie project High VLO City met 5 waterstofbussen die worden ingezet in het noorden van Antwerpen, het tanken gebeurde tot op heden bij de firma Solvay.

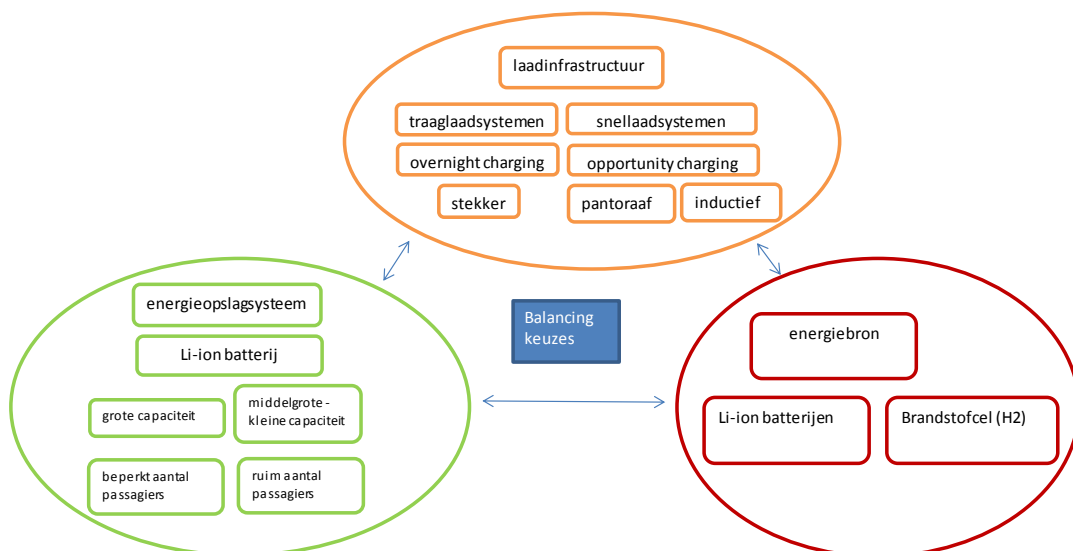
Gedurende de periode 2009 -2011 heeft De Lijn reeds 79 diesel hybride bussen in dienst genomen. Deze bussen zijn nu reeds meer dan 5 jaar in dienst met een gemiddelde brandstofbesparing van circa 20% ten opzichte van een klassieke dieselbus.

Vanaf midden 2012 heeft De Lijn samen met een aantal Vlaamse partners deelgenomen aan de Vlaamse proeftuinen waarvoor zij 3 batterij elektrische bussen in de stad Brugge heeft in dienst genomen sinds oktober 2015.

De Lijn heeft in 2014 een bijkomende bestelling gedaan van 138 bijkomende dieselhybride bussen, waarvan een groot aantal reeds in dienst genomen is. Daardoor zal het totaal aantal dieselhybride bussen dit jaar op $79+138 = 217$ bussen komen, wat ongeveer 10% van de busvloot van De Lijn vertegenwoordigt. Met dit percentage groene bussen zit Vlaanderen in de kopgroep van Europa.

1.2 Elektrische aandrijflijnen & infrastructuur

Om de omschakeling naar elektrische aandrijving voor bussen te realiseren en om te schakelen op alternatieve brandstoffen (energiebronnen) dient rekening te worden gehouden met onderstaande 3 pijlers. Binnen het systeem met elektrische voertuigen dienen deze zowel in de bus, als met de infrastructuur op elkaar te worden afgestemd, rekening houdend met de technologische en organisatie-driehoek hierna.

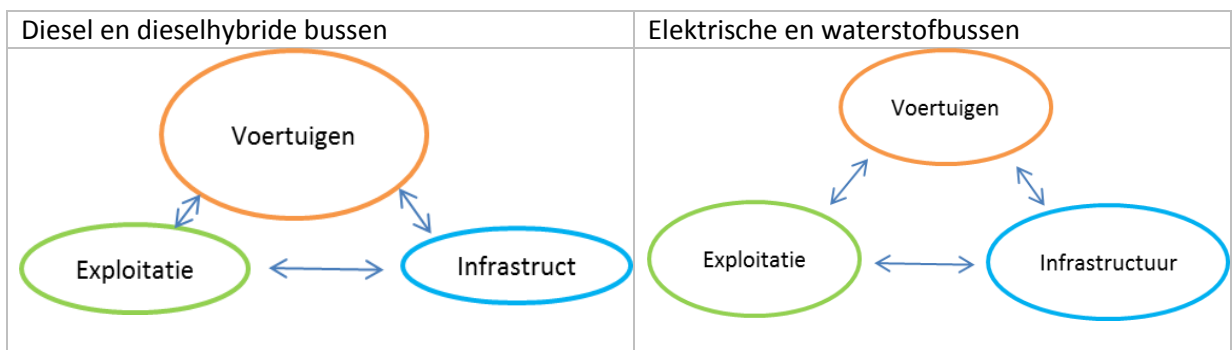


Het laadsysteem en de bus dienen bij voorkeur universeel te zijn, zodat zowel langs de zijde van de laadinfrastructuur als van de voertuigzijde voldoende aanbieders kunnen spelen in de markt, ook als er latere uitbreidingen dienen te worden voorzien (meer bussen, lijnen, laadpalen).

Opmerkingen:

Dieselbussen en dieselhybride bussen zijn flexibel qua inzet en kunnen gebruik maken van de bestaande diesel infrastructuur. Daarentegen is voor de elektrische en waterstofbussen de infrastructuur nog volledig uit te bouwen en is een grote aanpassing aan de exploitatie noodzakelijk.

Daarnaast heeft een openbaarvervoeraanbod op basis van volledig elektrisch aangedreven bussen (E-bussen) eveneens drie pijlers waarop gesteund wordt en waarbij qua invulling ten opzichte van de huidige dieselaandrijving een verschuiving aan belang binnen deze pijlers dient te worden in rekening gebracht. Exploitatie en infrastructuur krijgen een relatief zwaarder gewicht in het openbaarvervoerconcept.



1.3 Eigen ervaringen alternatieve aandrijvingen

1.3.1 Elektrische bussen Brugge

De Vlaamse Overheid subsidieert het Proeftuin-project met betrekking tot elektrische voertuigen. De inzet door De Lijn van drie elektrische citybussen van de firma Van Hool maakt hiervan deel uit. Deze bussen worden snel inductief opgeladen tussen de ritten. Naast Van Hool en De Lijn zijn ook de firma's Bombardier en Emrol partner binnen dit deelproject.



Sinds november 2015 zijn deze drie elektrische bussen in dienst. De infrastructuurvoorzieningen en werken waren complexer en hebben langer geduurd dan origineel voorzien. Er zijn nog een aantal technische problemen die dienen te worden opgelost, maar de bussen rijden met een vaste dienst. De eerste ervaringen zijn positief maar toch kunnen reeds enkele randbemerkingen gemaakt worden:

- het opstarten van dit project heeft veel extra resources geleverd van De Lijn en andere partners. Ook de negotiatie met de stakeholders, de in dienst name, de exploitatie en technische ondersteuning (inclusief onderhoud en opleiding) vormen een aanzienlijke bijkomende inspanning en meerkost ten opzichte van klassieke dieselmotoren;
- het inductief laadsysteem zit nog in volle ontwikkelingsfase en moet zijn betrouwbaarheid nog bewijzen.



1.3.2 Waterstofbussen regio Antwerpen

De Lijn neemt samen met twee andere vervoerbedrijven deel aan een Europees project met betrekking tot de inzet in reële exploitatie van waterstofbussen. De inzet door De Lijn van vijf waterstofbussen van de firma Van Hool maakt hiervan deel uit. Het tanken ging door bij Solvay, een andere partner in dit project.



In december 2014 zijn de bussen in dienst gegaan. Door een aantal technische problemen met te grote impact op de dienstverlening, heeft De Lijn deze bussen vanaf eind februari 2015 uit dienst gehaald. Na een grondige analyse en het aanbrengen van verbeteringen door middel van een overeengekomen en aangepaste indienststellingsprocedure, werden de bussen vanaf september 2015 gradueel terug in dienst gesteld. Vandaag zijn alle bussen operationeel, ondanks een aantal minder grote technische problemen die eigen zijn aan demonstratieprojecten.



Uit beide projecten werd geleerd dat de afstemming en interfaces tussen de verschillende deelsystemen in de bus (energieproductie en -opslag, aandrijving, elektronische sturing, ...), alsook de interactie met de vaste installatie en de eigen interne organisatie extra aandacht vereisen tijdens de ontwerpfase en de in dienst stelling.

1.4 Overzicht van de bestaande technologieën

1.4.1 Energieopslag voor elektrische bussen

1.4.1.1 Ultracapacitoren of supecondensatoren

Ultracapacitoren kunnen zeer snel vrij hoge stromen opnemen en afgeven, en zijn dus ideaal voor bussen in stadsverkeer. Zij hebben echter één groot nadeel, daar zij slechts over een beperkte energie-inhoud beschikken, waardoor ze vrij snel leeg zijn en slechts een beperkte autonomie hebben. Dit is dan ook één van de redenen waarom ze in Europa steeds minder worden aangewend.

1.4.1.2 Batterijen

Grootte van het batterijpakket

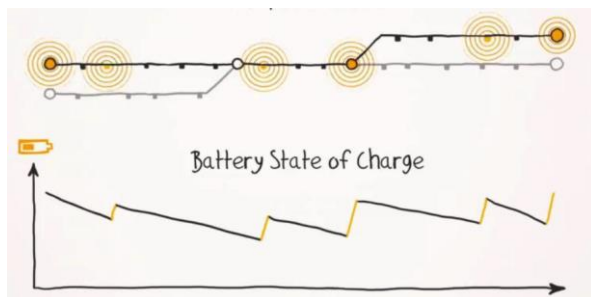
Elektrische batterij bussen kunnen in twee grote categorieën worden onderverdeeld:

- Een **eerste variant** maakt gebruik van een groot en zwaar batterijpakket met als bedoeling een volledige dag of dienst zonder bijlading te rijden. Het is echter onzeker of de huidige actieradiussen met dit type batterijen voldoende zullen zijn voor een volledige dag exploitatie, zeker wanneer de reizigersruimte 's winters dient te worden verwarmd (of 's zomers geklimatiseerd). Nadeel van deze variant is bovendien dat het grote batterijpakket veel plaats inneemt en gewicht meebrengt, wat uiteraard de reizigerscapaciteit beperkt. De batterij wordt dan 's nachts (night charging) door middel van de stekker terug traag opgeladen.
- Een **tweede variant** is gegroeid uit het besef dat de beperkte passagierscapaciteit een te groot nadeel is en daarom wordt gekozen voor een beperkter en lichter batterijpakket met dien verstande dat dit tijdens/tussen de ritten snel kan worden bijgeladen. Deze bussen zijn qua gebruik en inzet minder flexibel door de noodzaak van de laadinfrastructuur op strategische plaatsen en vergen daarom een grondige analyse.

Gezien de beoogde inzet van elektrische bussen in stadscentra en nabije omgeving (zie verder in deze nota), is behoud van de reizigerscapaciteit een belangrijke vereiste voor De Lijn. Om deze reden heeft De Lijn een voorkeur voor bussen met een beperkter en dus lichter batterijpakket.

De levensduur van Li-ion batterijen wordt sterk bepaald door hun laadcyclus gedurende het gebruik op de bussen: hoe frequenter de batterijen bijgeladen worden moeten worden, hoe hoger de veiligheidsmarge aan capaciteit dient te zijn die in de batterij voorzien wordt, teneinde de vooropgestelde levensduur van ca. tien jaar te garanderen. Zo is voor één maal per dag laden een veiligheidsmarge van 35% voldoende, waardoor een batterij van 10 kWh 6,5 kWh beschikbaar heeft. Bijladen tijdens de dienst zal een hogere veiligheidsmarge vereisen, maar anderzijds zal door frequent bijladen het ontladingsniveau niet te dikwijls te laag komen.

Deze veiligheidsmarge is een dimensioneringsparameter zowel bij grote batterijen als bij de kleinere, waarbij de dieptegraad van de ontlading van de batterij dus een aandachtspunt vormt. De bijladingen dienen afgestemd te worden op de in normale omstandigheden toegelaten ontladingsdiepte.



Frequente bijlading gedurende de dag (snelladen)

Types Li-ion batterijen

Voor de toepassing in batterij elektrische bussen (en ook voor brandstofcelbussen) wordt vandaag gebruik gemaakt van de zogenaamde Li-ion technologie. Er zijn twee belangrijke types Li-ion batterijen:

- De lithiumijzerfosfaat (LiFePO₄) technologie, is de goedkopere variant en wordt vooral toegepast voor bussen die slechts één maal per dag (eg. night charging) worden opgeladen. Ze zijn meer geschikt om traag opgeladen te worden daar ze een beperkte stroom aan een gelimiteerde snelheid kunnen opnemen en afgeven. Daarom worden deze batterijen toegepast in de eerste variant, met name bussen met grote batterijpakketten en met beperkte reizigerscapaciteit.
- De lithiumtitaanat (Li₄Ti₅O₁₂) kortweg LTO wordt vooral aangewend in bussen die snel moeten worden opgeladen. Deze batterijen zijn echter duurder.

Voor elk type batterij dient een geschikt laadsysteem te worden voorzien, dat zowel qua connectie voor de energieoverdracht, als qua laadstroom en –spanning, vermogen en laadcurve dient aangepast te zijn.

1.4.2 Laadsystemen

1.4.2.1 Traaglaadsystemen (night charging)

Traaglaadsystemen worden gebruikt voor het 's nachts opladen van de batterijen, wat voor grotere batterijen enkele uren (bvb. 8 tot 12 uur) in beslag kan nemen. Voor de drie elektrische bussen te Brugge wordt traagladen gebruikt om het batterijpakket 's nachts volledig op te laden* en om het bus interieur in de winter op temperatuur te brengen.

** snelladen van Li-ion batterijen gaat max. tot 90-95% van de maximale capaciteit.*



1.4.2.2 Snellaadsystemen

Snellaadsystemen worden gebruikt om de bussen tijdens hun dienst snel bij te laden. Hiervoor is dikwijls een extra energievoorziening noodzakelijk gezien de hoge vermogens. Zo is voor de drie elektrische bussen te Brugge 650 kVA extra vermogen voorzien voor het snelladen.

- Conductieve snellaadsystemen

Pantograafsystemen

Aan eindhaltes en eventueel tussen haltes wordt lokaal een laadsysteem voorzien die de bus op korte tijd kan bijladen. Pantograafsystemen zijn geschikt voor hoge vermogens tot boven de 500 kW. Pantografen worden heden courant gebruikt en de technologie staat op punt.

Bij pantograafsystemen kan een onderscheid gemaakt worden tussen dalende pantografen gemonteerd op de vaste kant en stijgende pantografen gemonteerd op de bus. Dalende pantografen op de vaste kant bieden als voordelen dat het bijkomend gewicht zich niet op het voertuig bevindt, dat er minder pantografen vereist zijn en dat ze betrouwbaarder zijn. Om deze reden worden dalende pantografen op de vaste kant heden het meest gebruikt, en alle busconstructeurs hebben de mogelijkheid om een compatibele bus aan te bieden (standaardisatie).



Siemens pantograafstelsysteem (vaste kant) met Volvo Bus



Schunk pantograafstelsysteem (busmontage) met Solaris bus

Automatisch contact systemen

Naast pantograafsystemen bestaan ook contact systemen, waarbij het laden verloopt via een uitschuifbare pen.



Multicontact



WATT systeem en PVI elektrische bus

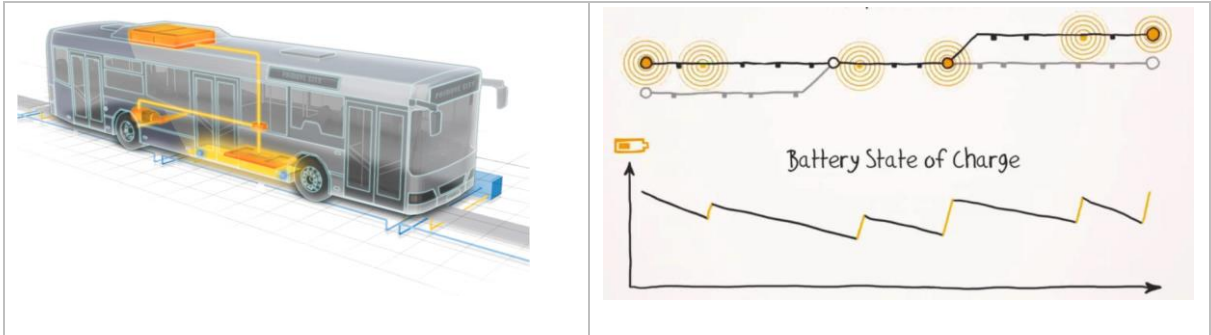
De juiste positionering van de bus voor het laden is een mogelijk bijkomend aandachtspunt.

- Inductieve snellaadsystemen (contactloos)

Draadloos opladen is een proces waarbij elektrische energie via een magnetisch veld wordt getransporteerd tussen twee objecten, waardoor geen bekabeling benodigd is voor de energieoverdracht. Voor bussen zorgt inductief laden ervoor dat bij haltes het batterijpakket snel terug bijgeladen en/of volgeladen wordt.

Door de contactloze energie overdracht moet men wel rekening houden met een 5% energieverlies. De vermogens zijn vandaag beperkt tot 180 kW.

Zoals blijkt uit het Proeftuin-project te Brugge, zit het inductief laadsysteem nog in volle ontwikkelingsfase en moet het zijn betrouwbaarheid nog verder bewijzen.



Afbeelding primove systeem Bombardier te Brugge.

1.4.3 Conclusie snellaadsystemen

Gezien het conductief laadsysteem met pantograaf technisch het meest op punt staat en ook hogere vermogensoverdrachten aankan, gaat de voorkeur van De Lijn uit naar een pantograafstelsel. Gezien de voordelen van een dalende pantograaf op de vaste kant (laadpaal), gaat de voorkeur daarnaar uit.

Daarom zal De Lijn opteren voor dit type systeem bij de opstart van enkele opstartprojecten met elektrische bussen. Uit het voorziene bedrag voor het klimaatfonds zal hiervoor een bedrag worden uitgetrokken, waarmee de investering voor de elektrische stadsbussen en bijhorende snellaadsystemen kunnen worden gefinancierd.

1.4.4 Waterstoftankstation

Waterstof wordt met een druk van maximaal 350 bar op de bus opgeslagen. De benodigde vultijd om waterstof op een efficiënte manier te tanken bedraagt vandaag ca. 10 minuten. Om dit te bewerkstelligen voor een beperkt aantal bussen is een aanzienlijke investering noodzakelijk en dit maakt uiteraard de kg prijs voor waterstof vrij duur.



Vandaag werkt De Lijn samen met buitenlandse vervoerbedrijven mee aan een engineeringstudie (inclusief TCO berekening) om grondig te onderzoeken wat de impact betekent op technisch, milieu- en exploitatievlak om een waterstoftankinstallatie voor minstens 75 waterstofbussen te ontwikkelen, te bouwen en te exploiteren.

1.5 Vergelijking van de voertuigtypes

1.5.1 Elektrische bussen

Deze bussen gebruiken uitsluitend een batterijpakket voor de elektrische aandrijving. Het type van batterijpakket en de grootte ervan kunnen sterk verschillen en worden bepaald in functie van het gebruik en de inzet van deze bussen.



Gezien de beperkte autonomie van de voertuigen, omwille van de keuze voor een kleiner batterijpakket ten voordele van de reizigerscapaciteit, mogen de lijnen niet te lang zijn. De lijnen bevatten best geen steile of lange hellingen, gezien de huidige generatie elektrische bussen daarvoor niet geconcipeerd zijn en dit een groter batterijpakket (met dus een lagere reizigerscapaciteit) zou vereisen. Hierbij zijn de exploitatieomstandigheden van groot belang, zoals de doorstroming, gezien de impact op het energieverbruik van o.m. de hulpverbruikers.

Tevens dient te worden rekening gehouden met vele verschillende betrokken partijen zoals reeds blijkt uit het proefproject te Brugge.

Er is te rekenen met een langere doorlooptijd alvorens bestelde voertuigen in reizigersdienst kunnen worden ingezet, waarbij ook de 3 pijlers een rol spelen. Er zal dienen te worden geanticipeerd op potentiële kinderziekten gedurende de eerste jaren in reizigersdienst (omwille van technologische en operationele veranderingen in het OV-concept), waardoor de inzetbaarheid

mogelijk beperkter zal zijn en de vereiste reserve dus hoger dient te liggen (hybride bussen zullen ingezet worden ingeval reservevoertuigen noodzakelijk zijn). De betrouwbaarheid in functie van de dagdagelijkse exploitatie dient echter ook in deze tussentijd gegarandeerd.

Elektrische batterijbussen zijn vooral interessant voor inzet in stadscentra. Stadslijnen zijn korter dan streeklijnen, wat noodzakelijk is gezien de beperkte autonomie van de elektrische bussen en de noodzakelijke tussenladingen. In het stadscentrum zal éénzelfde snellaadsysteem en de bijhorende energievoorziening bruikbaar zijn voor meerdere lijnen. Bij elektrische bussen is remenergierecuperatie zeer belangrijk, waardoor het veelvuldige stoppen en optrekken aan haltes en kruispunten in het stadscentrum een voordeel biedt. Bovendien heeft in deze omgeving het geluidsarm rijden zonder uitstoot van schadelijke stoffen het grootste maatschappelijke voordeel.

Gezien de strenge eisen die heden nog gelden voor de lijnen voor elektrische bussen (geen steile of lange hellingen, goede doorstroming, mogelijkheid tot voorzien van laadinfrastructuur) komen niet alle stadslijnen reeds in aanmerking voor exploitatie met elektrische bussen.

De elektrische batterijbus kan vanuit technologisch oogpunt vandaag reeds op kleine schaal worden ingezet voor reizigersexploitatie. Er moet wel rekening worden gehouden met een mogelijk lager niveau van beschikbaarheid van zowel de bussen als de laadinfrastructuur, in vergelijking met het niveau dat we vandaag kennen voor dieselbussen, waarvoor er voldoende reserve moet worden ingebouwd.

Door de hoge investeringskost zowel voor de voertuigen als voor de infrastructuur, de strenge eisen aan de lijnvoering en de exploitatie en de vereiste bijkomende inspanning voor negotiatie met de stakeholders (netbeheerder, lokale besturen, ...), de in dienst name, exploitatie en technische ondersteuning, is de opstart voor een elektrisch in eerste fase een uitrol in enkele stadscentra aangewezen. Hierbij wordt in eerste instantie dan ook gedacht aan enkele specifieke opstartprojecten, waarbij aan de noodzakelijke eigenschappen voor deze lijndiensten is voldaan, om met enkele elektrisch bussen per lijn een kiem te kunnen vormen naar een verdere uitbouw van elektrisch OV in stedelijke omgeving op relatief korte termijn.

De hybride stadsbus en de hybride citybus blijven intussen de bustypes die De Lijn aanschaft voor inzet in de overige stadscentra. In een meer uitgebreide studie rond een concrete exploitatie met elektrische bussen (ingediend EU-project SHIFT) worden de verschillende aspecten verder onderzocht met als doel een ruimer pilootproject te kunnen uitvoeren.

Zoals eerder aangehaald wenst De Lijn gelijktijdig met deze conceptstudie bijkomende ervaring op te doen met opstartprojecten.

Hybride en elektrische bus groeien naar elkaar toe:

Daarnaast zal verder onderzocht worden in welke mate op korte termijn (i.c. bij de volgende aanbesteding van hybride bussen) de mogelijkheid bestaat om de hybridisatiegraad te verhogen en te evolueren naar hybride bussen die een langere afstand zuiver elektrisch kunnen afleggen, eventueel aangevuld met een tussenlading aan de eindhalte. Op deze wijze kan in stedelijk gebied elektrisch worden gereden. Gezien hiervoor ook laadinfrastructuur noodzakelijk is, zal onderzocht worden of reeds van bij de levering er van uit kan gegaan worden dat deze voertuigen voor deze omschakeling voorbereid zijn om in een later stadium geschikt te maken voor tussenlading. Ook hier heeft het dalende pantograafstelsel voordelen, gezien een eerste analyse aangeeft dat de aanpassingen op de bus eerder beperkt zullen zijn.

1.5.2 Brandstofcelbussen op waterstof

Deze aandrijfvorm produceert elektrische stroom in een brandstofcel door middel van omgekeerde elektrolyse van waterstof en zuurstof. Het eindproduct is alleen onschuldige waterdamp. Daarnaast bestaan er ook bussen met een verbrandingsmotor op basis van waterstof, doch in deze technologie is er heden geen evolutie, waardoor dit voorlopig geen valabele piste meer is.

Deze bussen maken tevens gebruik van een batterijpakket en omwille van de combinatie van beide stroombronnen (brandstofcel en batterij) worden deze bussen ook hybride genoemd. Deze bussen hebben een autonomie vergelijkbaar met dieselbussen en zijn daarom flexibeler inzetbaar dan onder meer batterij elektrische bussen.

Deze voertuigen hebben heden een theoretische autonomie van 400 km. Doch, om vervuiling van de waterstoftank op de bus te voorkomen, dient er reeds na ca. 320 km te worden getankt (wat een ondergrens vormt voor streekexploitatie). Deze bussen hebben omwille van het hogere leeggewicht standaard drie assen en een langere lengte (13,5 m). Daardoor hebben ze een grotere uitzwaai en bestreken baan in bochten en zijn ze minder wendbaar in nauwe straten. Deze grotere lengte kan ook een impact hebben op de stalling voor deze bussen.

Gezien de beperkte wendbaarheid in nauwe straten, zijn deze bussen minder goed inzetbaar in stadscentra en beter geschikt voor streeklijnen, mede door de autonomie.

De inzet van brandstofcelbussen vereist aanzienlijke investeringen in infrastructuur op de stelplaatsen en onderhoudcentra van De Lijn (bvb. waterstoftankstation).

De brandstofcelbus is heden technologisch onvoldoende matuur voor een grootschaligere inzet. De introductie heeft bovendien een bredere impact dan bij elektrische bussen en heeft daardoor een langere leercurve.

De evoluties rond waterstofbussen worden verder opgevolgd via het lopende project High VLO City en waar mogelijk uitgebreid.

1.6 Hoogwaardige Openbaar Vervoerbus / Trambus

Voor bepaalde vervoerstromen en corridors, rekening houdend met het toekomstige kernnet en de basisbereikbaarheid is het HOV-vervoersconcept door middel van trambussen een interessante piste. Het HOV-concept steunt op een aangepaste weginfrastructuur (onder meer voor doorstroming en verkeerslichtenbeïnvloeding), waarop met grote regelmaat comfortabele (tram)bussen worden ingezet. Hierdoor worden positieve eigenschappen van trams gecombineerd met deze van busvervoer, wat ook geleid heeft tot de benaming trambus.



Metz (VanHool)



Keulen (VDL)

De weginfrastructuur dient zodanig te worden aangelegd dat een vlotte dienstverlening wordt gerealiseerd.

Trambussen worden in hoofdzaak gebouwd met een elektrische aandrijving zoals gebruikt voor diesel-hybride bussen, batterijbussen, waterstofbussen of als trolleybus, waarbij de eerder beschreven technologieën voor energieopslag en energielading als mogelijkheden worden aangegeven door de constructeurs.

Qua investeringen is een trambus goedkoper dan een nieuwe tramlijn, maar betekent toch een grotere investering in aankoopprijs dan gewone bussen (al dan niet met elektrische aandrijving). Aangezien trambussen kaderen binnen het HOV-concept en dus enkel zin hebben bij een vlotte doorstroming, zijn daarnaast ook investeringen in de infrastructuur vereist. Ook de grotere bestreken baan in bochten kan aanleiding geven tot infrastructurele aanpassingen.

2 Indicatieve TCO – kostprijs berekening

Op basis van een raming voor investeringskosten voor aankoop van de voertuigen, de energiebevoorradingsinstallatie en de Total Cost of Ownership (TCO) op basis van verbruik, emissies (LTC-calculator) en preventief onderhoud, werd een kost per aangeboden plaats over de levensduur geschat.

Voor de streekbussen werd dit gedaan voor een klassieke dieselbus, een dieselhybride bus en de fuel-cell bus op waterstof.

Voor de stadsbussen is een gelijkaardige oefening gemaakt voor de klassieke dieselbus, een dieselhybride bus en de batterij-elektrische bus.

Een raming van de kostprijs per aangeboden plaats per jaar (over 14 jaar), waarbij gerekend werd met een aantal conservatieve ramingen met betrekking tot dieselprijs (er werd rekening gehouden met een dieselprijs per liter van 1,20 €/l. Deze is uiteraard variabel), onderhoudslast en verbruik. Voor de batterij elektrische bus en de fuel cell bus werd de investering in infrastructuur verdeeld over 10 voertuigen (wat eerder een voorzichtige inschatting is):

(€ / plaats over de gebruiksduur bus)	Dieselbus	Diesel-hybride	Fuel Cell of Batterij
12m streekbus	661 €	696 €	1073 € (FC)
12m stadsbus	677 €	677 €	762 € (Batterij)
Gelede bus*	597 €	632 €	945 € (FC)

** Gelede bussen worden hoofdzakelijk gebruikt als aanvoermiddel naar de (voor)stadscentra.*

Rekening houdend met de bovenstaande geraamde kostprijs per jaar is de inzet van hybride bussen voor stedelijk vervoer een interessante oplossing zowel voor het milieu als vanuit economisch oogpunt. Voor het streekvervoer (zowel de 12m-bus als de gelede bus) is er nog steeds een (klein) verschil, maar mits een extra budgettaire inspanning en de verwachte technische evoluties is de hybride bus hier evenzeer mogelijk.

Voor wat de elektrische en fuelcell bussen betreft, dient, aan de hand van specifieke (reeds lopende en nieuw op te starten) projecten, de vinger aan de pols te worden gehouden gezien de aan de gang zijnde technologische evoluties en het verschil in TCO.

- Kenmerken beschouwde bussen en infrastructuur*

** Indicatieve waarden, afhankelijk van uitvoering en constructeur*

- Diesel hybride bus:

12 meter bus met capaciteit van 95 passagiers & gelede bus met een capaciteit van 127 passagiers.
Batterij: vanaf 5 kWh

Opmerking : indien we gaan rekening houden met de verwachte brandstofprijs (1,20 €/L) dan moeten we voor een break even een brandstofbesparing realiseren van > 25 % ten opzichte van dieselbussen.

Met de kennis waarover we vandaag beschikken is dit slechts haalbaar voor stadsbussen.

- Elektrische batterij bus:

Veronderstellingen: 12 meter bus met capaciteit 90 passagiers & gelede bus met capaciteit van 125 passagiers.

Batterij type "LTO" met een capaciteit tussen 60 - 80 kWh.

Buslijn 25 km, met laden aan de eindhaltes en één tussenlaadstation.

Tussenlaadstation 400 kW, gedurende 30 seconden.

Eindhalte 400 kW, gedurende 5 minuten

Nachtlaad 20 kWh, voor volledige oplading en voorconditionering van de bussen.

- Waterstof bus:

Veronderstellingen: 13,2 meter bus met capaciteit 105 passagiers en 125 passagiers voor de gelede bus.

LTO batterij 25-30 kWh

Brandstofcel max. 100 kW

Actieradius theoretisch 400 km, voldoende voor één dag (dit betekent in werkelijkheid ca. 320 km).

Opmerking : exclusief energieaansluitingen, infrastructuur werken en milieuvergunningen.

Daarenboven ligt de verbruikskost voor waterstofbussen heden beduidend hoger dan voor elektrische bussen, wegens de productiekost van waterstof.

3 Conceptstudie

Om bovenstaande inzet van elektrische bussen in enkele stadscentra optimaal te benutten wordt een analyse opgestart om een aantal geschikte stadslijnen voor elektrificatie te vinden. Deze

analyse dient niet enkel rekening te houden met de specificaties van de bus, maar dient ook de energiebehoefte en laadinfrastructuur te behelzen, met andere woorden een volledige conceptstudie. Deze conceptstudie zal als basis dienen voor het opstellen van een lastenboek, maar zal ook aanbevelingen bevatten met betrekking tot de ondersteuning voor de exploitatie en technische diensten die het geheel dienen te beheren tijdens de gebruiksfase.

Deze conceptstudie dient de volgende stappen te omvatten:

- Analyse van het energieverbruik
- Visualisatie van de ritten en exploitatieschema
- Bepalen van het type en aantal laadpunten (infrastructuur)
- Identificatie van mogelijke laadpunten
- Specificaties bepalen voor aandrijflijn en batterijen van de bussen en voor de laadinfrastructuur (inclusief energievoorziening)
- Calculatie van de TCO op basis van voorgaande.

Op deze onderbouwde basis kan De Lijn lastenboeken opmaken voor het volledige concept, dit is zowel voor de bussen als voor de laadinfrastructuur.

De Lijn heeft reeds een aantal mogelijke kandidaten gescreend rekening houdend met hun reeds opgebouwde expertise in deze nieuwe technologie (vb. Benteler, VUB en Leclanché).

Samen met de resultaten van de opstartprojecten zal hiermee een meer definitief concept van elektrisch openbaar vervoer worden uitgewerkt om deze evolutie concreet vorm te geven, in het kader van de bestellingen van elektrische bussen op grote schaal vanaf 2019.