Brussels Studies

La revue scientifique pour les recherches sur Bruxelles
/ Het wetenschappelijk tijdschrift voor onderzoek over
Brussel / The Journal of Research on Brussels
Collection générale | 2021

Welke modellen voor de uitrol van publieke laadinfrastructuur voor elektrische voertuigen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest?

Quels modèles pour le déploiement d'une infrastructure de recharge publique pour véhicules électriques en Région de Bruxelles-Capitale ?

Possible models for the roll-out of a public charging infrastructure for electric vehicles in the Brussels-Capital Region

Quentin De Clerck et Lieselot Vanhaverbeke

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/brussels/5789>

DOI : 10.4000/brussels.5789

ISSN : 2031-0293

Traduction(s) :

Quels modèles pour le déploiement d'une infrastructure de recharge publique pour véhicules électriques en Région de Bruxelles-Capitale ? - URL : <https://journals.openedition.org/brussels/5807> [fr]

Possible models for the roll-out of a public charging infrastructure for electric vehicles in the Brussels-Capital Region - URL : <https://journals.openedition.org/brussels/5809> [en]

Éditeur

Université Saint-Louis Bruxelles

Référence électronique

Quentin De Clerck en Lieselot Vanhaverbeke, «Welke modellen voor de uitrol van publieke laadinfrastructuur voor elektrische voertuigen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest? », *Brussels Studies* [Online], Algemene collectie, nr 162, Online op 07 novembre 2021, geraadpleegd op 02 mai 2022. URL: <http://journals.openedition.org/brussels/5789> ; DOI: <https://doi.org/10.4000/brussels.5789>

Ce document a été généré automatiquement le 2 mai 2022.

Licence CC BY

Welke modellen voor de uitrol van publieke laadinfrastructuur voor elektrische voertuigen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest?

Quels modèles pour le déploiement d'une infrastructure de recharge publique pour véhicules électriques en Région de Bruxelles-Capitale ?

Possible models for the roll-out of a public charging infrastructure for electric vehicles in the Brussels-Capital Region

Quentin De Clerck et Lieselot Vanhaverbeke

NOTE DE L'ÉDITEUR

Om de figuren in een betere resolutie te bekijken, raadpleegt u het artikel online en klikt u op "Original" onder elke figuur.

Lijst met afkortingen

- 1 BAU: Business as usual
- 2 BEV: Batterij elektrisch voertuig
- 3 CBC: Choice-based conjoint
- 4 CO₂: Koolstofdioxide
- 5 DMCLP: Dynamic Maximal Covering Location Problem
- 6 EU: Europese Unie
- 7 EV: Elektrisch voertuig

- 8 E2SFCA: Enhanced two-step floating catchment area method
- 9 MCLP: Maximal Covering Location Problem
- 10 NO_x: Stikstofoxiden
- 11 PHEV: Plug-in hybride elektrisch voertuig
- 12 PM: Fijnstof
- 13 POI: Point of interest

Introductie

- 14 Het personenvervoer draagt voor een groot deel bij aan de klimaatverandering door het gebruik van fossiele brandstofmotoren. In Europa zijn personenwagens verantwoordelijk voor 12 % van de totale CO₂ uitstoot [Europese Commissie, 2018], maar naast CO₂ worden er ook nog andere broeikasgassen uitgestoten die in dichtbevolkte steden nog meer schade kunnen aanrichten. Deze meer lokale emissies zijn bijvoorbeeld stikstofoxiden (NO_x) of nog fijn stof (PM) [Van Mierlo *et al.*, 2017]. Naast schadelijk voor het milieu zijn deze emissies ook schadelijk voor de gezondheid van de burger. In het Brussels Hoofdstedelijk Gewest worden deze emissie voornamelijk uitgestoten door het wegtransport. In 2012 was het wegtransport verantwoordelijk voor 67 % van de NO_x emissies, 47 % van de PM2.5 emissies en 27 % van de CO₂ emissies [Willocx, 2015]. Een overschakeling van motoren gebruikmakend van fossiele brandstoffen naar alternatieve voertuigtechnologieën die minder emissies uitstoten zou deze waarden kunnen reduceren. Eén van de alternatieven voor de conventionele brandstofvoertuigen zijn de elektrische voertuigen (EV's). Aangezien deze voertuigen geen lokale emissies uitstoten, zouden deze een oplossing kunnen bieden om de luchtkwaliteit van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest te verbeteren. De lage emissiezone die in het gewest op 1 januari 2018 geïntroduceerd werd, toont de wil van het gewest aan om dit probleem aan te pakken. Deze zone zou de Brusselaars moeten aansporen om het wagenpark te vergroenen door alternatieve voertuigtechnologieën aan te schaffen. Echter, momenteel blijft de adoptie van elektrische voertuigen nog beperkt. Eén van de mogelijke oorzaken kan de beschikbaarheid van de laadinfrastructuur zijn. In eerste instantie gebeurt de uitrol van laadpalen langzaam, aangezien laadpaalbeheerders zonder gebruikers het risico lopen op een verlieslatende business case en de consumenten geen EV willen aanschaffen zonder zeker te zijn een laadpaal te vinden voor het herladen van hun voertuig. Dit laatste is nog toepasselijker voor het Brussels Hoofdstedelijk Gewest waar 22 % van de gezinnen over een private parkeerplaats beschikken om thuis te kunnen herladen [Ermans, 2019]. Een groot netwerk van laadpalen zou in deze situatie de omschakeling naar elektromobiliteit moeten stimuleren [Mersky *et al.*, 2016]. Het ontbreken van een uitgebreid laadinfrastructuur in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest is dus een belemmerend factor voor de adoptie van EV's. In dit opzicht heeft het Brussels Hoofdstedelijk Gewest in juni 2020 een visie omtrent laadinfrastructuur gepubliceerd die 11 040 laadpalen voorziet tegen 2035 [Leefmilieu Brussel, 2020]. In deze visie wordt ook de ambitie van het gewest benadrukt om de planning van de uitrol te organiseren aan de hand van cartografieën. Ondertussen is het gewest sinds 2018 een basisnetwerk publieke laadinfrastructuur aan het uitrollen, waarvan 162 laadpalen geïnstalleerd zijn en 25 in afwachting van goedkeuring door de regering [Charge.brussels, 2021]. Deze visie en de

nood aan laadinfrastructuur in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest vormen het startpunt van deze paper.

- 15 De uitrol van de laadinfrastructuur past ook binnen de context van de recente mobiliteitsstrategie ontwikkeld door het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, Good Move, die o.a. als doel heeft om de luchtkwaliteit te verbeteren door aanpassingen in de Brusselse mobiliteit [Brussels Hoofdstedelijk Gewest, 2019]. Al gaat dit plan breder in op de verschillende facetten van de mobiliteit, zoals verbeteringen van het openbaar vervoer, het stimuleren van de deeleconomie, enz., is de wagen het meest populaire vervoersmiddel in het gewest en moet dit aspect van de mobiliteit ook verbeterd worden (46 % van de verplaatsingen gebeuren met de wagen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest [Derauw *et al.*, 2019]). Om dit te bereiken, ambieert het gewest een reductie van het aantal wagens en een vergroening van het Brusselse wagenpark. Aangezien EV's beter zijn voor de luchtkwaliteit in een stedelijke context [Hooftman *et al.*, 2018], is een shift in voertuigtechnologieën van fossiele brandstoffen naar elektriciteit een stap in de richting naar een betere luchtkwaliteit in het gewest.
- 16 In deze paper stellen we twee complementaire analyses voor om locaties te identificeren voor het installeren van publieke laadinfrastructuur voor personenwagens in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Beide analyses schetsen een evolutie van de laadinfrastructuur in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest tussen 2015 en 2020. Deze analyses werden uitgevoerd in opdracht van instanties van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest tussen 2014 en 2016 in het kader van twee beleidsvoorbereidende studies.
- 17 De eerste analyse beschrijft de toegankelijkheid van de laadinfrastructuur in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest en stelt een methode voor om de publieke laadinfrastructuur uit te breiden voor het gelegenheidsladen, i.e. herladen van het voertuig dat geparkeerd staat terwijl de gebruiker in de buurt een activiteit (zoals shoppen, toeristische attractie, horeca-bezoek,...) uitvoert. Deze analyse spitst zich dus toe op zowel de inwoners als bezoekers en kan ook gebruikt worden voor het plannen van laadinfrastructuur voor elektrische deelwagens. De tweede analyse heeft als focus het residentieel laden, bijvoorbeeld voor EV's die 's nachts langs de openbare weg geparkeerd zijn. Voor dit type laden wordt een locatiemodel gebruikt dat optimale locaties voorstelt op basis van socio-demografische kenmerken van de inwoners. Aangezien socio-demografische kenmerken van de inwoners als basis gebruikt worden, spitst deze analyse zich vooral toe op het gebruik van de laadpalen voor private voertuigen van Brusselaars. Beide analyses kunnen afzonderlijk uitgevoerd worden voor hun specifieke doeleinde, maar de resultaten kunnen als complementair beschouwd worden. Aangezien deze paper de focus legt op normaal laden (maximum 22 kW), vallen elektrische taxi's buiten de scope. Elektrische taxi's gebruiken doorgaans snellaadpalen om langer en sneller operationeel te blijven en hebben minder baat bij normale laadinfrastructuur. Ook wordt de kwantificatie van de impact van het toenemende aantal EV's op het elektriciteitsnet niet bestudeerd in deze studie. Echter wordt er wel rekening gehouden met de ligging van laagspanningscabines om de kosten met betrekking tot de installatie van de laadpalen te beperken.
- 18 In volgende sectie wordt eerst de Brusselse situatie qua aantal elektrische voertuigen geschetst en worden deze cijfers vergeleken met voorspellingen die in 2015 gedaan werden voor het aantal EV's in 2020. Sectie 2 beschrijft de twee methodes die gebruikt worden in deze paper om de locaties van de infrastructuur voor publiek

gelegenheidsladen en residentieel laden te bepalen. De resultaten van beide methodes worden in sectie 3 besproken. Tot slot, concludeert deze paper met enkele aanbevelingen.

1. Elektrische voertuigen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest

- 19 Begin 2015 waren er in België 7 402 851 voertuigen geregistreerd, waarvan 637 809 in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest [FEBIAC, 2017]. Het aantal nieuw geregistreerde voertuigen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest was 78 470 in 2014 en 82 889 in 2015. Van deze nieuwe registraties waren er in 2014 434 en in 2015 542 elektrische voertuigen (zowel batterij-elektrische voertuigen (BEV) als plug-in hybride elektrische voertuigen (PHEV)) [Denys *et al.*, 2020]. Cijfers van 2016 tot 2019 tonen dat het aantal aangekochte EV's blijft toenemen. In 2016, 2017, 2018 en 2019 werden er respectievelijk 1 016, 1 666, 1 823 en 2 357 nieuwe EV's ingeschreven in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest [Denys *et al.*, 2020].
- 20 Vertrekkende van de resultaten van een eerder uitgevoerde *choice-based conjoint* (CBC) studie voor Vlaanderen [Lebeau *et al.*, 2012] werd het marktaandeel van BEVs en PHEVs voorspeld voor de nieuw geregistreerde voertuigen tussen 2016 en 2020 op basis van consumentenpreferenties omtrent voertuigattributen (zoals aankoop prijs, laadsnelheid of rijbereik) en de verwachte evoluties van de attributen. Wanneer we de reële verkopen van 2014 en 2015 in rekening nemen, bekomen we het cumulatieve aantal BEVs en PHEVs voor de komende vijf jaar in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (met als assumptie dat een gelijkaardige trend in het gewest aanwezig is als in Vlaanderen). Deze prognose werd 2016 uitgevoerd en omvat 3 scenario's: business as usual (BAU), subsidiebeleid, en subsidie-en-infrastructuur-beleid. In het scenario BAU worden de verkopen voorspeld in de veronderstelling dat er geen beleidsmaatregelen worden genomen om de EV uptake te stimuleren. Dit resulteert in een totaalaantal van 14 000 voertuigen in 2020. In het scenario subsidiebeleid wordt aangenomen dat er een financiële stimulans wordt gegeven (een ecobonus) om de marktontwikkeling te stimuleren. In 2016 zou de bonus € 6 000 bedragen en dit vermindert over de tijd, namelijk € 3 000 in 2017, € 2 000 in 2018 en € 1 500 in 2019. Het effect van deze stimulansmaatregel, in vergelijking met het BAU-scenario, is een snellere uptake van EV's en dus een hoger gecumuleerd aantal EV's in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, namelijk meer dan 16 000. Het scenario subsidie-en-infrastructuur-beleid bouwt verder op het scenario subsidiebeleid met de bijkomende veronderstelling dat er wordt ingezet op laadinfrastructuur, waarbij het aantal laadpalen elk jaar met 100 stijgt. De combinatie van deze maatregelen werd ook geanalyseerd met de resultaten van de CBC-studie, en dit zou in eerste instantie leiden tot dezelfde effecten als in het subsidiescenario, maar op langere termijn vanaf 2019 stijgt het totaal aantal EV's tot meer dan 18 000. Dit vertraagd effect kan verklaard worden door het tijdsprogressief aantal laadpalen in combinatie met de tijds degressieve financiële stimulans. De resultaten van deze scenario-gebaseerde vraagvoorspelling worden afgebeeld in Figuur 1.

Figuur 1. Voorspelling aantal EV's in Brussels Hoofdstedelijk Gewest 2016-2020

Bronnen: MOBI voor de projecties en visualisatie en [Denys *et al.*, 2020] voor de historische data

- 21 Indien we de voorspelde getallen vergelijken met het BAU-scenario, dan merken we op dat de voorspelling positiever uitkomt dan de werkelijke cijfers. De historische cijfers geven ook een stijging aan in het aantal ingeschreven voertuigen, maar het aantal jaarlijkse ingeschreven voertuigen was gemiddeld 500 eenheden lager dan voorspeld. Rekening houdend met mensen die hun EV omruilden voor een nieuw EV of een ander type voertuig of transportmiddel, is het totaal aantal EV's ingeschreven in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest aan het einde van 2019 gelijk aan 6 672 EV's [Denys *et al.*, 2020]. Het werkelijk totaal aantal EV's van 2019 ligt tussen de voorspellingen voor 2017 en 2018 van het BAU-scenario en is 35 % kleiner dan voorspeld. Deze vergelijking met de werkelijke aantallen toont de moeilijkheid aan om accurate voorspellingen uit te voeren voor een markt die zich in de beginfase vindt van zijn ontwikkeling. Meerdere factoren spelen hierin een rol. De grotere onzekerheid rond de evolutie van de voertuigattributen is een grote uitdaging in dit opzicht. Veranderingen in de voertuigattributen, zoals bijvoorbeeld aankoop prijs, gebruikskosten, rijbereik, densiteit van de laadinfrastructuur, of nog laadsnelheid kunnen allemaal een impact hebben op de uiteindelijke voorspelling en moeten nauwkeurig geschat worden voor de komende jaren. Deze oefening is niet eenvoudig en vereist een goede kennis over de technologie en de trends binnen het veld. Een ander mogelijk factor die invloed heeft kunnen beoefenen op de voorspelling, is dat de preferenties die gemeten werden voor Vlamingen niet volledig overdraagbaar zouden zijn naar de Brusselaars. Dit verschil in preferentie kan waargenomen worden in de evolutie van het marktaandeel van EV's tussen 2014-2019 voor Vlaanderen en Brussel (zie Tabel 1) [Denys *et al.*, 2020]. Er kan dus geconcludeerd worden dat men voorzichtig moet omgaan met het gebruik van CBC-data voor het maken van voorspellingen, zowel op vlak van de technologische evolutie als de meest correcte preferentie toe te passen.

Tabel 1. Evolutie van de marktaandelen van elektrische voertuigen in Vlaanderen en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest [Denys *et al.*, 2020]

	2014	2015	2016	2017	2018	2019

Brussels Hoofdstedelijk Gewest	0,55 %	0,66 %	1,31 %	2,18 %	2,42 %	3,01 %
Vlaanderen	0,50 %	1,01 %	2,38 %	3,55 %	3,09 %	3,99 %

- 22 Als men de ruimtelijke spreiding van de adoptie vergelijkt met de voorspellingen per gemeenten voor 2020, weergegeven in Figuur 2, merkt men dat de tendensen globaal correct zijn¹. De gemeenten Brussel, Elsene, St-Lambrechts-Woluwe, St-Pieters-Woluwe en Ukkel vertonen de hoogste adoptiegraad zoals voorspeld. Andersom, zijn er gemeenten die een lagere adoptiegraad vertonen dan voorspeld, zoals Evere, Oudergem, St-Jans-Molenbeek en Watermaal-Bosvoorde. Vooral laatstgenoemde gemeente kent een tragere adoptie dan voorspeld, aangezien deze gemeente als een mogelijke koploper beschouwd werd. Sint-Joost-ten-Node daarentegen vertoont een veel sterkere adoptie dan voorspeld. De adoptie in deze gemeente is vooral te danken aan het stijgend aantal elektrische bedrijfswagens. Behalve voor de gemeenten Watermaal-Bosvoorde en Sint-Joost-ten-Node volgt de ruimtelijke spreiding van de adoptie het voorspelde patroon, maar zoals hierboven vermeld, in mindere mate dan voorspeld qua aantallen. De ruimtelijke spreiding van de vraag in het locatiemodel kan nog altijd als behoorlijk adequaat beschouwd worden op die uitzonderingen na. Dit leidt ons tot drie conclusies betreffend het gebruik van EV-projecties om de vraag te voorspellen: de vraag wordt overschat wegens het onvoorspelbare karakter van de EV-markt (die zich in een introductiefase bevindt), de voertuigpreferenties moet beter afgestemd worden op de specifieke Brusselse context en de ruimtelijke spreiding van de vraag werd redelijk goed voorspeld. Aangezien de ruimtelijke spreiding van de voorspelling belangrijker is dan het nauwkeurig voorspellen van het aantal voertuigen, is het gebruik van deze methode geen probleem zolang rekening gehouden wordt dat de aantallen een overschatting zijn.

Figuur 2. Aantal elektrische voertuigen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest eind 2018 en midden 2019 vergeleken met de voorspelling die gemaakt werd in 2015 voor 2020

Bron: FOD Mobiliteit voor de historische data en MOBI voor de projectie en visualisatie

2. Methodologie

- 23 In deze secties wordt de methodologie voor publiek gelegenheidsladen, publiek residentieel laden en het locatiemodel beschreven.

2.1. Publiek gelegenheidsladen

- 24 Voor het identificeren van de toegankelijkheid van de laadlocaties voor publiek gelegenheidsladen wordt er gebruik gemaakt van de “enhanced two-step floating catchment area method” (E2SFCA) [Luo en Qi, 2009; Marion *et al.*, 2015]. In de wetenschappelijke literatuur wordt de term toegankelijkheid gedefinieerd als “het relatief gemak door welk een faciliteit of activiteit bereikt kan worden vanuit een gegeven locatie” [Luo en Wang, 2003]. In andere woorden, wordt met toegankelijkheid de verhouding uitgedrukt tussen het aanbod en de vraag voor het gebruik van een bepaalde type faciliteit.
- 25 In deze analyse zal de toegankelijkheid de ratio meten tussen het aantal laadpunten (het aanbod) en het aantal adrespunten (de vraag). Deze methode houdt rekening met de afstand tussen de vraag en het aanbod, door de hoeveelheid vraag te meten binnen een afgebakend gebied rond de laadpaal. De omvang van het gebied wordt bepaald door een drempelwaarde die gelijk is aan een wandelafstand van 9 minuten vanaf de laadpaal. De vraag is dus gelijk aan het aantal adrespunten die zich in het gebied van een laadpaal bevinden. Een adrespunt is een verwijzing naar één of meerdere huisnummers binnen een gebouw. Het adrespunt kan voor meerdere doeleinden gebruikt worden, bijv. residenties, winkels, bureaus, scholen, recreatie, enz. Voor ieder

adrespunt wordt er een score berekend die aanduidt in welke mate deze bediend wordt. Aangezien een adrespunt verschillende functies kan hebben, wordt de toegankelijkheid van adrespunten niet enkel berekend voor Brusselse inwoners, maar ook voor bezoekers of pendelaars die een activiteit (winkelen, familie of vrienden bezoeken, werk,...) plannen aan een adrespunt. De motieven of profielen van de potentiële gebruikers worden dus niet in overweging genomen, maar wel hun hoeveelheid door middel van het aantal adrespunten. Dit benadrukt de toepasbaarheid van deze methode voor publiek gelegenheidsladen en de verschillende segmenten van het doelpubliek.

- 26 De eerste stap voor het berekenen van de scores wordt gedaan door eerst een toegankelijkheidsscore te berekenen voor ieder laadpaal op basis van de hoeveelheid adrespunten die zich in het gebied bevinden. Voor ieder adrespunt wordt er een score berekend door de toegankelijkheidsscores van de laadpunten in hun bereik te sommeren (meestal 2 laadpunten per laadpaal). Deze score wordt nog aangepast door de wandelafstand van het adrespunt naar de laadpaal en de hoeveelheid andere adressen in het bereik van de laadpunten. Dit wil zeggen dat hoe verder een adres gelegen is van een laadpaal of hoe meer andere adressen er in het gebied zijn van de laadpaal, hoe minder toegankelijk deze laadpaal zal zijn voor dit adres. Het resultaat van deze methode is een score per adrespunt die zich in het bereik bevindt van één of meerdere laadpalen. Deze score duidt dus aan hoe bereikbaar de laadinfrastructuur is voor de adrespunten in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.
- 27 Drie datasets zijn noodzakelijk voor het uitvoeren van de E2SFCA methode, namelijk, een dataset van laadpalen, een netwerk van de straten en de adressen van de gebouwen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. In dit onderzoek werd de administratieve databank van UrbIS [CIBG, 2021] gebruikt voor de straat en adresgegevens. Aangezien er in 2015 geen officieel overzicht bestond van de laadinfrastructuur in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest, werd een lijst opgesteld van de bestaande laadinfrastructuur door raadpleging van 5 verschillende laadinfrastructuur databanken (ASBE, Chargemap, Oplaadpunten.nl, Oplaadpunten.org en Openchargemap). Deze initiële lijst werd aangevuld met data verkregen van sommige laadpaaloperatoren. Deze initiële lijst werd uiteindelijk gevalideerd door een veldonderzoek uit te voeren naar alle opgelijste laadpalen. In totaal werden er 144 laadpunten voor 220 004 adrespunten geïdentificeerd in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest.

2.2. Publiek residentieel laden: opsplitsen van de EV vraag per gebouwblokken

- 28 De eerder uitgevoerde CBC-analyse [Lebeau *et al.*, 2012], die in sectie 1 besproken wordt, werd gebruikt om de prognose te maken voor EV adoptie in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Gegeven het inherente ruimtelijke karakter van de locatieanalyse, dient de voorspelde EV-vraag fijnmaziger te worden toegekend aan ruimtelijke entiteiten. Idealiter zijn alle data beschikbaar op hetzelfde ruimtelijke niveau, echter is dit in de praktijk niet het geval en daarom wordt een stapsgewijze aanpak toegepast. Hierdoor wordt het aantal geregistreerde EV's uniform verdeeld van hoofdstedelijk gewest niveau naar gebouwblokken die de kleinste ruimtelijke entiteit vormen van onze analyse. We berekenen een *EV suitability score* voor elk district om de ruimtelijke socio-demografische verschillen in rekening te nemen. Het vervolg van deze berekening is gebaseerd op de resultaten van het BAU-scenario.

- 29 In de eerste toekenningsfase wordt het totaal aantal voorspelde EV's proportioneel verdeeld over de 19 gemeenten volgens het aantal nieuw ingeschreven elektrische voertuigen door particulieren in elke gemeente in het jaar 2015. Gezien één van de doelstellingen van deze studie is om de publieke laadinfrastructuur ten behoeve van inwoners optimaal te lokaliseren, worden enkel de elektrische voertuigen die verkocht werden aan particulieren in rekening genomen (zie in appendix voor meer details).
- 30 De verdeling van dit aantal is voorgesteld op de kaart in Figuur 3. Merk op dat in 2 gemeenten, Sint-Agatha-Berchem en Sint-Gillis, geen particuliere EV's werden geregistreerd; in Ukkel werd het hoogste aantal geregistreerd. Om alsnog de uptake van EV's in de eerstgenoemde gemeenten te simuleren werd een kleine correctiefactor toegepast zodat er een geldige prognose voor de toekomst wordt bekomen.

Figuur 3. Totaal aantal EV's in het bezit van particulieren per gemeente in 2015

Bron: FOD Mobiliteit voor de historische data en MOBI voor de visualisatie

- 31 In de volgende fase wordt de vraag naar EV's (zowel PHEVs als BEVs) verdeeld over de verschillende wijken in een gemeente. Deze stap is cruciaal om de ruimtelijke variatie m.b.t. socio-demografische kenmerken van de inwoners in rekening te nemen. De Brusselse Wijkmonitoring databank werd gebruikt als bron voor deze informatie.
- 32 Noteer dat het Brussels Hoofdstedelijk Gewest verdeeld is in 118 residentiële wijken (waarin 99,7 % van de bevolking leeft), 6 industriezones en stations, 18 groene zones en 3 begraafplaatsen. In onze analyse sluiten we de 3 begraafplaatsen uit en er is geen informatie over gebouwblokken in de wijken Vijverpark en Astridpark (in Anderlecht), Schaerbeek station en Jubelpark (in Brussel).
- 33 Noteer ook dat de grenzen van de Monitor-wijken niet noodzakelijk samenvallen met de grenzen van de gemeenten, daarom wordt de vraag van een wijk proportioneel

berekend op basis van de oppervlakte die deze heeft binnen twee (of sporadisch drie of vier) gemeenten.

- 34 Om de socio-demografische profielen van de inwoners in rekening te brengen, worden de variabelen inkomen, woonoppervlakte per inwoner en huishoudgrootte gebruikt om de vraag op gemeenteniveau op te splitsen naar wijkniveau. Er werd een indicator, *EV suitability score*, berekend voor elke wijk. Deze score is multiplicatief proportioneel aan het gemiddelde inkomen en de woonoppervlakte per inwoner in een wijk en omgekeerd proportioneel met de gemiddelde huishoudgrootte. In de wetenschappelijke literatuur Plötz *et al.* [2014]; Axsen *et al.* [2016]; Hardman *et al.* [2016] worden een hoog inkomen en huishoudens bestaande uit meerdere personen vaak als kenmerkend genoemd voor huishoudens die een EV bezitten. Inkomen wordt ook als planningscriteria benoemd voor de uitrol die gepland worden in de visie van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest [Leefmilieu Brussel, 2020]. De woonoppervlakte per inwoner wordt niet expliciet in de literatuur opgenoemd. In het onderzoek van Plötz *et al.* [2014] wordt er wel bepaald dat kleinere of middelgrote steden aangezien worden als perfect voor de adoptie van EV's dan grootsteden. De redenen zijn dat het voertuigbezit daar hoger is en dat er daar ook meer huishoudens zijn die over een private parkeerplaats bezitten. Deze kenmerken zijn terug te vinden in de gemeenten met een groter woonoppervlakte per inwoner zoals Ukkel, Oudergem, Sint-Lambrechts-Woluwe, Sint-Pieters-Woluwe en Watermaal-Bosvoorde [BISA, 2018]. De gemiddelde voorspelde vraag per wijk varieert van 14,68 EV's in 2016 tot 69,45 in 2020; de mediaan van 9,18 tot 43,43 (zie Figuur 4).
- 35 In de laatste stap naar het creëren van vraagpunten voor het locatiemodel wordt de vraag per wijk uniform gealloceerd aan het aantal gebouwblokken in een wijk. Een gebouwenblok is afgebakend door straten of door gemeentegrenzen. In de analyse worden 4 992 gebouwenblokken in rekening genomen. De gemiddelde voorspelde vraag per blok varieert van 0,6 EV's in 2016 tot 2,81 EV's in 2020; de mediaan van 0,26 tot 1,23. We beelden de gebouwblokken niet afzonderlijk af, maar deze kunnen worden geïdentificeerd aan de hand van de centroides op Figuur 5, met schakeringen van geel (lage voorspelde vraag) naar bruin (hoge voorspelde vraag). Zoals vermeld in Sectie 1, is de vraag per blok op een gelijkaardige manier verspreid dan de werkelijke adoptie van EV's in het gewest voor midden 2019 (op de uitzonderingen na van Sint-Joost-ten-Node en Watermaal-Bosvoorde). Dit valideert voor de andere gemeenten de ruimtelijke spreiding van de vraag en de locaties die in het dynamisch locatiemodel geleidelijk geïdentificeerd worden.

Figuur 4. Prognose EV uptake per wijk

Bron: MOBI

Figuur 5. Prognose EV uptake per gebouwenblok

Bron: MOBI

2.3. Locatiemodellen voor publiek residentieel laden

- 36 Het doel van deze analyse is om vanuit het perspectief van de publieke overheid een maximale service te bieden aan de inwoners van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest door het (laten) plaatsen van een gegeven aantal laadpalen. Om dit wiskundig te modelleren wordt het Maximal Covering Location Problem (MCLP) toegepast [Church en ReVelle, 1974].
- 37 We beschouwen $d_i > 0$ als zijnde de hierboven voorspelde vraag naar publieke laadinfrastructuur in gebouwenblok $i \in I$. Publieke laadpalen worden geopend aan kandidaat locaties $j \in J$. Een gegeven budget B is beschikbaar voor het openen van nieuwe laadpalen die de EV-eigenaars zullen bedienen. De verzameling N_i geeft aan welke kandidaat locaties zich binnen afstand d van blok i bevinden.

$$N_i = \{j \in J : d_i \geq d\} \quad \forall i \in I \quad (1)$$

- 38 Het MCLP-model wordt hieronder volledig geformuleerd:

$$\max \sum_{i \in I} d_i x_i \quad (2)$$

$$s.t. \sum_{j \in N_i} y_j \geq x_i \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} y_j \leq B \quad (4)$$

$$x_i \in 0, 1 \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$y_j \in 0, 1 \quad \forall j \in J \quad (6)$$

- 39 waar x_i aangeeft of een gebouwenblok bediend wordt door één of meerdere publieke laadpalen en y_j geeft aan welke kandidaat locaties gekozen werden. De doelfunctie is het maximaliseren van de bedieningsgraad voor alle gebouwenblokken gegeven de beperking voor overdekking van de verzamelingen (3) en de beperking van het budget (4).
- 40 Het MCLP-model laat toe om de hierboven voorspelde vraag op gebouwenblokniveau te gebruiken. In het eerste scenario zijn de kandidaat locaties voor een laadpaal de 1 292 bestaande cabines van de netbeheerder die reeds zijn uitgerust met 400V aansluiting en een laagspanningsbord en waarvoor geen substantiële kosten moeten worden gemaakt voor de stroomvoorziening van een laadpaal. In het tweede scenario zijn de kandidaat locaties voor een laadpaal ook de bestaande cabines van de netbeheerder, echter in dit scenario dienen er investeringen te worden gedaan om de cabine conform te maken. Dit zijn 2345 cabines. In beide scenario's wordt er dus rekening gehouden met het elektriciteitsnet, wat ook in de visie van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest als planningscriteria genoemd wordt [Leefmilieu Brussel, 2020]. Er wordt een radius d bepaald die weergeeft hoe ver een inwoner moet stappen naar het laadpaal (via het wegnennetwerk); het uitgangspunt is dat de inwoners van een blok in de radius van 350 m in laadbehoefte zijn voorzien. Het model maximaliseert de

service van laadpalen door het gegeven aantal laadpalen bij de grootst verwachte vraag te plaatsen.

- 41 Het uitgangspunt is de uitrol tegen 2020 van 500 laadpalen, elk voorzien van 2 laadpunten, i.e. 1 000 laadpunten. Dit komt overeen met de vuistregel van 1 laadpunt per 10 EV's wanneer de prognose van 14 000 voertuigen wordt gehanteerd en er verondersteld wordt dat ook semipublieke infrastructuur de vraag kan bedienen. Om de uitrol over meerdere jaren te simuleren, wordt het Dynamic Maximal Covering Problem (DMCLP) toegepast [Gunawardane, 1982]. Gezien de oplossing op lange termijn optimaal moet zijn, wordt de oplossing van het MCLP in het jaar 2020 als uitgangspunt gebruikt. Vervolgens wordt voor elk jaar $t \in T$ (2016-2019) een overzicht gegeven van de laadpalen die geopend worden.

$$\min \sum_{i \in I, t \in T} d_{it} x_{it} \quad (7)$$

$$s.t. \sum_{j \in N_i} y_{jt} + x_{it} \geq 1 \quad \forall i \in I, t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{j \in J} y_{jt} \leq B_t \quad \forall t \in T \quad (9)$$

$$y_{jt} \geq y_{j,t-1} \quad \forall j \in J, t \in T \quad (10)$$

$$x_{it} \in 0, 1 \quad \forall i \in I, t \in T \quad (11)$$

$$y_{jt} \in 0, 1 \quad \forall j \in J, t \in T \quad (12)$$

3. Resultaat

- 42 In deze sectie worden de resultaten van de toepassingen van de modellen voor het publiek gelegenheidsladen (sectie 3.1) en residentieel laden (sectie 3.2) apart besproken.

3.1. Publiek gelegenheidsladen

- 43 In Figuur 6 wordt het resultaat afgebeeld van de E2FSCA methode voor de publieke laadinfrastructuur in 2015. De vierkanten op de kaart van het gewest stellen de laadpunten voor. De gele, oranje en rode zones stellen de adrespunten voor die zich op een wandelafstand bevinden van 9 min van een laadpaal. De toegankelijkheid van de laadinfrastructuur is te merken aan de score die adrespunten krijgen op basis van de vraag (aantal andere adressen in het gebied) en het aantal laadpalen die toegankelijk zijn voor de adrespunten. Deze toegankelijkheidsscore kan dus geïnterpreteerd worden als het aantal laadpunten die toegankelijk zijn per adrespunt, rekening houdend met de afstanden tussen de adrespunten en de laadpunten. Een score 1 is gelijk aan een adrespunt die een laadpunt voor zijn deur zou beschikken zonder enige concurrentie van andere adrespunten. Met andere woorden hoe donkerder de rode kleur van de adrespunten, hoe toegankelijker de laadinfrastructuur in hun nabijheid. Volgende factoren (alleen of gecombineerd) bevorderen de toegankelijkheid van laadinfrastructuur voor een adrespunt, namelijk, een korte afstand tot

laadinfrastructuur vanuit het adrespunt, meer aanbod aan laadinfrastructuur vanuit het adrespunt of een kleiner aantal andere adrespunten in het gebied rond het laadpunt. In totaal werden er 36 % van de adressen bediend door de infrastructuur in 2015, dus iets meer dan één derde van de Brusselse adressen.

Figuur 6. Toegankelijkheid van het laadinfrastructuur in 2015

Bron: MOBI

- 44 De grootste toegankelijkheidsscores worden bekomen in buurten die goed bediend worden door de laadinfrastructuur. In het westen van het Brussels Gewest is de laadinfrastructuur zeer toegankelijk volgens de metriek. Dit is te verklaren door een lage competitiegraad, aangezien er zeer weinig gebouwen zijn voor het aantal laadpunten. Een voorbeeld van een laadpaal dat zich in deze buurt bevindt is de laadpaal aan de IKEA. Deze laadpaal is dan ook typisch een laadpaal die gebruikt zal worden voor gelegenheidsladen. Het is een laadpaal die zich in een omgeving bevindt met weinig andere gebouwen en in een commerciële zone. In tegenstelling tot de laadpalen in het centrum van het hoofdstedelijk gewest die ook aan een economische kern zitten en een redelijke toegankelijkheidsgraad ondervinden wegens de grote hoeveelheid aan laadpalen in dezelfde buurt. Lagere toegankelijkheidsscores zijn te vinden bij laadpalen waar er in hun nabijheid weinig laadinfrastructuur en veel gebouwen te vinden zijn. Zo'n gevallen leiden tot een hogere competitiegraad voor het gebruiken van de laadpunten in die buurten.
- 45 Om gelegenheidsladen te stimuleren, zouden we nieuwe publieke laadinfrastructuur kunnen plaatsen bij de belangrijke polen (POI) voor het openbaar vervoer volgens het Iris-2 plan [Brussels Hoofdstedelijk Gewest, 2011] en publieke parkings in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Deze belangrijke polen zijn specifieke locaties in het Brussels gewest waar het openbaar vervoer en multimodaliteit verbeterd moet worden. In het "Ontwerp van Gewestelijk Plan voor Duurzaam Ontwikkeling" worden een groot aantal van deze polen in detail besproken [Brussels Hoofdstedelijk Gewest, 2013]. Deze locaties

omvatten economische kernen (handelskernen, activiteitspolen zoals kantoren of industrie,...), universiteiten, ziekenhuizen, belangrijke treinstations, enz.... Deze POI-gebaseerde strategie duidt locaties aan die potentiële bestemmingen zijn voor EV-gebruikers (naast hun werk en hun woonplaats) [Wagner *et al.*, 2013]. Deze locaties geven dan de mogelijkheid aan de EV-gebruikers om te laden tijdens hun activiteiten aan deze POIs. Het plaatsen van laadpalen aan POIs zou de dekking van de laadinfrastructuur veranderen zoals te zien is op Figuur 7. Er worden 4 laadpunten per locatie toegekend, dit komt overeen met twee laadpalen van telkens twee laadpunten. In totaal zijn er 620 laadpunten die ongeveer 65 % van de adrespunten in het gewest bedienen, bijna twee-derden van de Brusselse adressen. Merk ook op dat de scores in deze figuur hoger zijn dan in Figuur 6. Dit betekent dat de toegankelijkheid van de infrastructuur in het algemeen verbeterd is.

Figuur 7. Toegankelijkheid van het laadinfrastructuur na een POI-aanpak

Bron: MOBI

3.2. Publiek residentieel laden

- 46 In het eerste scenario wordt verondersteld dat de te installeren laadpalen in de onmiddellijke nabijheid van een laagspanningscabine dienen te worden geplaatst.
- 47 Het resultaat van de optimalisatie is afgebeeld in Figuur 8: de blauwe punten geven de optimale locaties voor laadpalen aan in 2020.

Figuur 8. Optimale locaties voor laadpalen in 2020 op basis van laagspanningscabines

Bron: MOBI

- 48 Op basis van deze configuratie van het netwerk van publieke laadpalen hebben ongeveer 11 800 van de geschatte 14 000 EV-eigenaars in 2020 toegang tot een laadstation binnen 350 m wandelafstand. Dit dient uiteraard meteen genuanceerd te worden gezien er gelijktijdig slechts twee wagens per laadstation kunnen aansluiten en de servicegraad zal in praktijk dus veel lager zijn dan bovenstaande cijfers doen vermoeden.
- 49 De uitrol van de infrastructuur (als resultaat van het dynamische model) doorheen de jaren 2016 - 2019 wordt afgebeeld in Figuur 9. Het is duidelijk dat er in eerste instantie een doorgedreven uitrol komt nabij de plaatsen waar de geschatte EV adoptie hoog is (zuidoostelijke gemeenten) en dat er vervolgens een meer evenwichtige spreiding van de laadinfrastructuur over het Gewest volgt. In andere woorden, wordt de laadinfrastructuur in eerste instantie geplaatst bij voornamelijk in wijken met bemiddelde inwoners. Al beschikken deze wijken vaker over huizen met een private parkeerplaats waar gezinnen hun voertuig kunnen opladen, zijn er ook andere gezinnen die de financiële middelen bezitten om een EV te kopen maar over geen private parkeerplaats beschikken. Wanneer een publiek laadpunt beschikbaar wordt in een buurt, maken huishoudens zonder private parkeerplaats mogelijk gemakkelijker de overstap naar elektrisch rijden. Het is belangrijk op te merken dat zelfs al wordt er in eerste instantie laadinfrastructuur voorzien in meer bemiddelde wijken, de voordelen van een toenemend aantal EV's in het gewest er voor iedereen zijn dankzij een betere luchtkwaliteit en een vermindering van de geluidshinder. Deze uitrolstrategie heeft tevens als gunstig effect dat de businesscase voor de laadpaalleveranciers interessanter is in de opstartjaren dan wanneer men een geografisch gelijkmatige uitrol zou nastreven zonder de voorspelde adoptie in rekening te nemen. Een gunstige

businesscase is belangrijk om ervoor te zorgen dat die investeringen gebeuren omdat de visie van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest ervan uitgaat dat de laadpaalleveranciers zelf die investering zullen moeten aangaan zonder subsidies. Eventueel kan een “paal volgt wagen”-strategie de nood aan laadinfrastructuur in wijken aanvullen waar een gebrek aan dekking zou ontstaan en de vraag naar infrastructuur vanuit de inwoners zou komen. Deze strategie wordt momenteel door PitPoint en het Brussels Hoofdstedelijk Gewest gehanteerd en wordt beschreven in de gewestelijke visie [Leefmilieu Brussel, 2020]. In een latere fase zorgt het DMCLP-model ervoor dat de laadinfrastructuur verder uitgerold wordt in de wijken met financieel minder bemiddelde inwoners. Ten slotte zorgt de POI-aanpak die voorgesteld wordt voor gelegenheidsladen voor complementariteit aan deze methode. Deze aanpak houdt geen rekening met het inkomen van de gezinnen in de nabijheid van de POI en zou gelijktijdig geïmplementeerd kunnen worden om sociaal ongelijkheid tegen te gaan.

Figuur 9. Optimale locaties voor de uitrol laadpalen in 2016-2019 op basis van laagspanningscabines

Bron: MOBI

- 50 Gezien het aantal laadpalen bepalend is voor de kwaliteit van de oplossing, i.e. de servicegraad, werd ook een gevoeligheidsanalyse op deze parameter uitgevoerd. Indien men het aantal laadpalen dat wordt uitgerold per jaar zou beperken tot 50 (met als resultaat 250 nieuwe laadpalen in 2020), blijkt de servicegraad logischerwijze beduidend lager dan met het referentiescenario van 100 laadpalen per jaar. In Figuur 10 wordt weergegeven hoe de servicegraad evolueert over de jaren aan de hand van het DMCLP met als parameters 50, 75, 100 en 125 nieuwe laadpalen, waarbij de laatste groep balken het totaal aantal voorspelde EV's per jaar voorstelt, dat als input van het model gebruikt werd (en dus 100 % servicegraad zou voorstellen).

Figuur 10. Gevoeligheidsanalyse t.a.v. parameter laadpalen

Bron: MOBI

- 51 In Figuur 11 wordt weergegeven hoe de inplanting van de 500 laadpalen eruitziet wanneer alle cabines als kandidaat locaties worden beschouwd. Gezien de meer gelijkmatige spreiding over het grondgebied van de cabines die nog niet conform zijn, is ook de spreiding van de laadpalen minder geconcentreerd, hoewel het algemene patroon gelijkend is aan de optimale configuratie van Figuur 8.

Figuur 11. Optimale locaties voor laadpalen in 2020 op basis van alle cabines

Bron: MOBI

- 52 Gezien er meer mogelijkheden zijn wat betreft kandidaat locaties van de laadpalen, is de servicegraad met deze inplanting ook wat hoger dan in scenario 1. 13 281 van de 14 028 geschatte eigenaars van een EV in 2020 heeft toegang tot een laadstation binnen een wandelafstand van 350 m. Opnieuw dient hier de nuance te worden gemaakt dat dit enkel de toegankelijkheid garandeert, en niet de beschikbaarheid, gezien de ratio laadpunten/EV's minder dan 1 op 14 is.

Conclusie

- 53 Deze paper stelt twee analyses voor die locaties identificeren voor de uitrol van publieke laadinfrastructuur voor personenwagens. De eerste analyse doelt op het implementeren van een laadinfrastructuurnetwerk voor publiek gelegenheidsladen op basis van belangrijke mobiliteitspolen en publieke parkings. De tweede analyse lokaliseert laadpalen aan de hand van socio-demografische informatie van de bewoners, zodat de servicegraad gemaximaliseerd wordt. Snellaadinfrastructuur valt buiten de scope van deze paper.
- 54 Wagner *et al.* [2013] kaart aan dat POIs een goede locatie zijn om laadpalen te plaatsen voor gelegenheidsladen. Door laadinfrastructuur te plaatsen bij belangrijke mobiliteitspolen en publieke parkings wordt de toegankelijkheid verbeterd met één derde van de bedekking van het aantal Brusselse adressen ten opzichte van de situatie in 2015. De toegankelijkheid van de infrastructuur wordt ook verbeterd zoals men kan zien aan de hogere toegankelijkheidsscores. Dit bevestigt dat een goed startpunt om laadinfrastructuur verder uit te rollen de locaties zijn van belangrijke POIs in het

Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Aangezien de vraag rond een mogelijke locatie gemeten wordt op basis van het aantal adrespunten op een wandelafstand van 9 minuten, en niet op basis van gebruiksmotieven of -profielen, geldt de analyse zowel voor Brusselse inwoners, als voor bezoekers of pendelaars.

- 55 De tweede analyse gaat na waar nieuwe laadlocaties geïmplementeerd kunnen worden voor residentieel laden. Het locatiemodel gebruikt als input de vraag die voorspeld werd tot op het ruimtelijke niveau van gebouwenblokken. De vraag is gelijk aan het aantal elektrische voertuigen per blok die van 2015 tot 2020 voorspeld werden. Als controle voor het gebruik van de data in de analyse werd de voorspelling van de vraag getoetst met de laatste aantallen elektrische voertuigen in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Het resultaat van deze vergelijking geeft aan dat de voorspellingen te optimistisch waren. Daarentegen, komt de ruimtelijke spreiding van de vraag wel grotendeels overeen met de ruimtelijke spreiding van de voorspelling. Aan de hand van ruimtelijke optimalisatiemodellen MCLP en DMCLP werd de servicegraad van nieuw te lokaliseren laadpalen gemaximaliseerd, gebruikmakend van het bestaande 400V-netwerk. Twee scenario's werden uitgewerkt: enerzijds aan de hand van de bestaande laagspanningscabines en anderzijds aan de hand van de cabines die nog niet volledig conform zijn. Beide benaderingen geven inzicht in de voorgestelde inplanting van de nieuwe laadpalen, waarbij de grotere beschikbaarheid van niet-conforme cabines t.o.v. laagspanningscabines resulteert in een grotere servicegraad voor de EV-eigenaars in 2020, hoewel het conformeren van deze cabines om een aansluiting naar een laadstation te voorzien een extra kost met zich meebrengt.
- 56 Samenvattend, legt de combinatie van beide methodes de nadruk op wijken waar verwacht wordt dat de EV-adoptie van residenten hoger zal zijn, maar dekt ook de meeste gebieden van het gewest door een complementaire POI-aanpak. Deze complementariteit zorgt ervoor dat de infrastructuur op pertinente locaties voorzien wordt voor zowel bezoekers, pendelaars als inwoners.
- 57 Een aantal aanbevelingen kunnen geformuleerd worden in verband met de data en assumpties die in de methodes gehanteerd werden. Ten eerste, in 2015 bestond er nog geen officieel overzicht van alle bestaande laadinfrastructuur in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Ondertussen is de situatie deels veranderd, aangezien het gewest sinds 2018 een concessie toegekend heeft aan PitPoint (Total) voor het uitbouwen van het netwerk laadinfrastructuur. Een overzicht van de publieke laadinfrastructuur is nu beschikbaar op de website van charge.brussels [Charge.brussels, 2021]. Dit is echter ook niet het volledig overzicht van de laadinfrastructuur in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest. Deze dataset bevat alle publieke laadpalen die PitPoint aangelegd heeft, maar niet de semi-publieke laadpalen (laadpalen die zich niet op het openbare weg bevinden maar toch beschikbaar zijn voor gebruikers) die wij opgelijst hebben in 2015. Een dataset die beide types laadpalen bevat zou een completer beeld geven van de huidige stand van zaken in het gewest. Ten tweede, omtrent het voorspellen van aantallen EV's kan men concluderen dat er voorzichtig omgegaan moet worden met de resulterende aantallen. De aantallen kunnen gemakkelijk overschat worden, zeker indien de markt nog in prille ontwikkeling is zoals de EV-markt in 2015.
- 58 Een mogelijke piste voor verder onderzoek is het integreren van de resultaten van de toegankelijkheidsanalyse in het locatiemodel. In andere woorden, zou de toegankelijkheidsscore die resulteert uit de analyse toegevoegd kunnen worden aan het

model om niet alleen met de afstand tussen de punten rekening te houden maar ook met het aantal omliggende adressen die de vraag voorstellen. Een andere piste zou kunnen zijn om de POI als vaste laadpalen te beschouwen in het locatiemodel. Dit zou een extra scenario kunnen vormen voor het geval dat het Brussels Hoofdstedelijk Gewest een complementaire POI gerichte uitrol zou willen uitvoeren. Aangezien de planningscriteria die benoemd worden voor de cartografie van de gewestelijke visie gelijkaardig zijn aan de parameters in voorgestelde locatiemodel, kan een gelijkaardig model in de toekomst gebruikt worden voor het uitrollen van de 11 040 laadpalen uit de gewestelijke visie. Echter voor de hoeveelheid laadpalen die het gewest wenst installeren tegen 2035, zal dit enkel kunnen mits sommige aanpassingen in de parameters zoals bijv. andere kandidaat locaties vinden (bijv. straten of parkeerplaatsen), een kleinere radius voor de dekking van de vraag en een vraag die verspreid wordt op een fijnmaziger niveau. Een laatste onderzoekspiste is om te werken met CBC-data die specifiek op Brusselse inwoners afgestemd is. Deze data, gekoppeld aan de recentste EV-cijfers, zou ervoor zorgen dat de voorkeuren en adoptie van EV's door de Brusselaars beter te voorspellen zijn. Hierbij kan ook rekening gehouden worden met de aangekondigde transitie naar zero-emissie mobiliteit, zowel op EU-niveau [Europese Commissie, 2021] als op Brussels niveau [Leefmilieu Brussel, 2021], met als doelstelling tegen 2035 een emissievrije vloot te bereiken voor personenwagens.

Dit onderzoek werd deels gefinancierd in het kader van projecten voor Leefmilieu Brussel, Brussel Mobiliteit en BRUGEL.

BIBLIOGRAPHIE

AXSEN, J., GOLDBERG, S. en BAILEY, J., 2016. How might potential future plugin electric vehicle buyers differ from current “pioneer” owners? In: Transportation Research Part D: Transport and Environment. 06/07/2016, Vol. 47, pp. 357–370.

BISA, 2018. Brussels Instituut voor Statistiek en Analyse. In: bisa.brussels. [Online] 2018. [Geraadpleegd op 22/11/2018]. Beschikbaar op het adres: http://bisa.brussels/?set_language=nl.

BRUSSELS HOOFDSTEDELIJK GEWEST, 2011. Iris 2 mobiliteitsplan. Brussel.

BRUSSELS HOOFDSTEDELIJK GEWEST, 2013. Ontwerp van gewestelijk plan voor duurzaam ontwikkeling. Brussel.

BRUSSELS HOOFDSTEDELIJK GEWEST, 2019. Ontwerp van Gewestelijk Mobiliteitsplan: Strategisch en operationeel plan. Brussel.

CHARGE.BRUSSELS, 2021. Netwerkstatus. In: charge.brussels. [Online] 2021. [Geraadpleegd op 26/03/2021]. Beschikbaar op het adres: <https://www.charge.brussels/netwerkstatus/>.

CHURCH, R. en REVELLE, C., 1974. The maximal covering location problem. Papers of the Regional Science Association. In: Papers of the Regional Science Association. 12/1974, vol. 32, nr. 1, pp. 101–118.

- CIBG, 2021. UrbIS data. In: cibg.brussels. [Online] 2021. [Geraadpleegd op 26/03/2021]. Beschikbaar op het adres: <http://cibg.brussels/nl/onze-oplossingen/urbis-solutions/urbis-data>.
- DENYS, T., BECKX, C., en VANHUTSEL, M., 2020. Analysis of the Belgian Car New Registrations (2008-2019). In: ecoscore.be. [Online] 2020. [Geraadpleegd op 28/12/2020]. Beschikbaar op het adres: <https://ecoscore.be/en/fiches/new>
- DERAUW, S., GELAES, S., PAUWELS, C., 2019. Enquête Monitor over de mobiliteit van de Belgen.
- ERMANS, T., 2019. Brusselse huishoudens en de auto. Brussel: Perspective Brussels.
- EUROPESE COMMISSIE, 2021. CO₂ emission performance standards for cars and vans. In: European Commission. [Online] 2021. [Geraadpleegd op 02/11/2021]. Beschikbaar op het adres: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission_en
- EUROPESE COMMISSIE, 2021. CO₂ emission performance standards for cars and vans. In: European Commission. [Online] 2019. [Geraadpleegd op 03/09/2021]. Beschikbaar op het adres: https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/delivering/vehicles_en
- FEBIAC, 2017. Datadigest 2017. In: FEBIAC. [Online] 2017. [Geraadpleegd op 26/02/2018]. Beschikbaar op het adres: <http://www.febiac.be/public/statistics.aspx?FID=23&lang=NL>.
- GUNAWARDANE, G., 1982. Dynamic versions of set covering type public facility location problems. In: European Journal of Operational Research. 06/1982, vol. 10, nr. 2, pp. 190-195.
- HARDMAN, S., SHIU, E. en STEINBERGER-WILCKENS, R., 2016. Comparing high-end and low-end early adopters of battery electric vehicles. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice. 12/04/2016, vol. 88, pp. 40-57.
- HOOFTMAN, N., MESSAGIE, M., JOINT, F., SEGARD, J. B., en COOSEMANS, T., 2018. In-life range modularity for electric vehicles: The environmental impact of a range-extender trailer system. In: Applied Sciences, vol. 8, nr. 7 pp. 1016.
- LEBEAU, K., VAN MIERLO, J., LEBEAU, P., MAIRESSE, O. en MACHARIS, C., 2012. The market potential for plug-in hybrid and battery electric vehicles in Flanders : A choice-based conjoint analysis. In: Transportation Research Part D: Transport and Environment. 06/09/2012, vol. 17, nr. 8, pp. 592-597.
- LEEFMILIEU BRUSSEL, 2020. Visie op de uitrol van een oplaadinfrastructuur voor elektrische voertuigen. Brussel.
- LEEFMILIEU BRUSSEL, 2021. Strategie 'Low Emission Mobility'. In: Leefmilieu Brussel. [Online] 2021. [Geraadpleegd op 3/09/2021]. Beschikbaar op het adres: <https://leefmilieu.brussels/themas/mobiliteit/strategie-low-emission-mobility>
- LUO, W. en WANG, F., 2003. Measures of spatial accessibility to health care in a GIS environment: synthesis and a case study in the Chicago region. In: Environment and Planning B: Planning and Design. 1/12/2003, vol. 30, nr. 6, pp. 865-884.
- LUO, W. en QI, Y., 2009. An enhanced two-step floating catchment area (E2SFCA) method for measuring spatial accessibility to primary care physicians. In: Health & place. 01/12/2009, vol. 15, nr. 4, pp. 1100-1107.
- MARION, G., VANHAVERBEKE, L., MESSAGIE, M., MACHARIS, C. en VAN MIERLO, J., 2015. Spatial accessibility study of slow charging infrastructure for electric vehicles: case study in a belgian mid-sized city. In: XIII NECTAR International Conference. NECTAR International Conference. Ann Arbor, MI. 14-15/06/2015.

MERSKY, A. C., SPREI, F., SAMARAS, C. en QIAN, Z. S., 2016. Effectiveness of incentives on electric vehicle adoption in Norway. In: Transportation Research Part D: Transport and Environment. 31/03/2016, vol. 46, pp. 56–68.

PLÖTZ, P., SCHNEIDER, U., GLOBISCH, J. en DÜTSCHKE, E., 2014. Who will buy electric vehicles? identifying early adopters in germany. In: Transportation Research Part A: Policy and Practice. 30/07/2014, vol. 67, pp. 96–109.

VAN MIERLO, J., MESSAGIE, M. and RANGARAJU, S., 2017. Comparative environmental assessment of alternative fueled vehicles using a life cycle assessment. In: Transportation research procedia. 08/06/2017, Vol. 25, pp. 3435–3445.

WAGNER, S., GÖTZINGER, M. en NEUMANN, D., 2013. Optimal location of charging stations in smart cities: A points of interest based approach. In: Thirty Fourth International Conference on Information Systems. International Conference on Information Systems. Milan. 15-18/12/2013.

WILLOCX, B., 2015. Improvement of airquality through mobility management in Brussels. Brussel: Leefmilieu Brussel.

ANNEXES

Tabel 2. Aantal geregistreerde EV's per gemeente in 2015 en 2018

Gemeente	NIS	2015			2018			prognose 2020
		Bedrijf	Privé	Totaal	Bedrijf	Privé	Totaal	
Anderlecht	21001	30	5	35	137	16	153	958
Oudergem	21002	13	3	16	49	13	62	575
St-Agatha-Berchem	21003	7	0	7	30	10	40	19
Brussel	21004	119	6	125	1978	42	2020	1150
Etterbeek	21005	10	2	12	77	13	90	383
Evere	21006	132	4	136	62	7	69	767
Vorst	21007	10	1	11	72	16	88	192
Ganshoren	21008	6	1	7	24	7	31	192
Elsene	21009	132	4	136	273	19	292	767
Jette	21010	30	1	31	58	4	62	192
Koekelberg	21011	2	1	3	16	2	18	192
St-Jans-Molenbeek	21012	17	4	21	61	5	66	767
St-Gillis	21013	12	0	12	52	9	61	19
Sint-Joost-ten-Node	21014	33	1	34	395	1	396	192
Schaarbeek	21015	69	2	71	154	12	166	383
Ukkel	21016	71	20	91	311	78	389	3833
Watermaal-Bosvoorde	21017	16	7	23	72	14	86	1342
St-Lambrechts-Woluwe	21018	70	4	74	232	22	254	767
St-Pieters-Woluwe	21019	27	7	34	161	47	208	1342
Brussel Hoofdstedelijk Gewest	04000	806	73	879	4214	337	4551	14032

NOTES

1. Deze gedetailleerde cijfers werden persoonlijk bezorgd door de heer Kwanten van FOD Mobiliteit. De cijfers voor midden 2019 is een onderschatting van de aantallen EV's per gemeente in 2019.

RÉSUMÉS

De impact van vervoer op de klimaatverandering wordt steeds aanzienlijker waardoor het overschakelen naar duurzame voertuigen een belangrijke stap is om emissies te reduceren. Een groot netwerk van laadpalen zou de adoptie van elektrische voertuigen (EV's) kunnen stimuleren. Dit netwerk blijft echter nog beperkt in Brussel. In deze paper stellen we twee complementaire methodes voor die de uitrol van laadinfrastructuur kunnen ondersteunen. De analyse voor publiek gelegenheidsladen is een point of interest (POI) gebaseerde aanpak die aantoonst dat de toegankelijkheid van de laadinfrastructuur verbeterd wordt als er laadpalen komen bij belangrijke Brusselse mobiliteitspolen. Locaties voor publiek residentieel laden worden geïdentificeerd a.d.h.v. locatiemodellen die rekening houden met voorspellingen van de vraag naar EV's. De resulterende uitrol wordt eerst doorgedreven waar de geschatte EV adoptie hoog is en spreidt zich vervolgens evenwichtig uit over het volledige Gewest. De combinatie van beide methodes biedt een oplossing voor zowel inwoners (locatiemodellen), als voor bezoekers of pendelaars (POI-aanpak).

L'impact du transport sur le changement climatique ne cesse de s'intensifier, faisant des véhicules durables une étape importante pour réduire les émissions. Dans ce contexte, un grand réseau de bornes de recharge permettrait de stimuler l'adoption de la voiture électrique, mais ce réseau demeure trop limité à Bruxelles. Dans cet article, nous présentons deux méthodes complémentaires susceptibles de soutenir le déploiement d'une infrastructure de recharge. L'analyse pour la recharge opportuniste publique consiste en une approche basée sur un point d'intérêt (*point of interest*, POI) qui démontre que l'accessibilité de l'infrastructure de recharge tend à s'améliorer avec l'installation de bornes à proximité d'importants pôles de mobilité bruxellois. Pour la recharge résidentielle publique, des emplacements sont identifiés sur la base de modèles de localisation tenant compte des prévisions de la demande en véhicules électriques (VE). Le déploiement qui en résulte s'impose en premier lieu dans les quartiers où l'adoption escomptée de VE est forte, et s'étend ensuite de manière équilibrée sur l'ensemble du territoire de la Région. La combinaison des deux méthodes offre une solution tant aux habitants (modèles de localisation) qu'aux visiteurs et aux navetteurs (approche POI).

The impact of transport on climate change is becoming increasingly significant, making switching to sustainable vehicles an important step in emission reduction. The use of electric vehicles could be stimulated by a large network of charging stations. However, in Brussels, this network is still limited. In this paper, we propose two complementary methods that can support the deployment of a charging infrastructure. The analysis for public occasional charging is a point of interest (POI) based approach as it demonstrates that the accessibility of the charging infrastructure is improved if charging stations are installed at important Brussels mobility poles. Locations for public residential charging are identified by means of location models that take into account demand forecasts for EVs. The resulting roll-out is first pushed through where the estimated EV adoption is high and then spreads evenly across the entire Region. The combination of both methods offers a solution for residents (location models), as well as for visitors or commuters (POI approach).

INDEX

Mots-clés : mobilité, infrastructures urbaines

Keywords : mobility, urban infrastructures

Thèmes : 7. aménagement du territoire – logement – mobilité

Trefwoorden mobiliteit, stedelijke infrastructuur

AUTEURS

QUENTIN DE CLERCK

Quentin De Clerck studeerde in 2014 af als Master of Science in Applied Sciences and Engineering: Computer Science aan de Vrije Universiteit Brussel. Sinds 2014 is hij onderzoeker onder leiding van Lieslot Vanhaverbeke, voor het onderzoekscentrum MOBI. Zijn expertisegebieden zijn elektrische voertuigen, locatieanalyse voor laadinfrastructuur en Total Cost of Ownership.
quentin.de.clerck[at]vub.be

LIESELOT VANHAVERBEKE

Prof. Dr. Lieslot Vanhaverbeke is Docent aan de Vrije Universiteit Brussel op het departement Business Technology and Operations (BUTO) en aan het onderzoekscentrum Mobility, Logistics and Automotive Technology (MOBI). Ze doceert Operations Research en Research Methods. Haar onderzoek naar locatieanalyse, consumentenmobiliteit en economische aspecten van elektrische voertuigen is gepubliceerd in academische ISI-tijdschriften. Ze is lid van de Belgian Operational Research Society (ORBEL) en het Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS).
lieslot.vanhaverbeke[at]vub.be