

Voorspellen van benodigde infrastructuur van publieke laadpalen voor elektrische auto's

Kees van Montfort

Hogeschool van Amsterdam en Nyenrode Business Universiteit¹

Jelmer Visser

Over Morgen en Hogeschool van Amsterdam

Gijs van der Poel

Over Morgen

Robert van den Hoed

Hogeschool van Amsterdam

Dit artikel presenteert een model dat voorspelt hoe groot de behoefte aan publieke laadpalen voor elektrische auto's in een bepaald gebied zal zijn. Gemeenten kunnen dit voorspelmodel gebruiken bij het vaststellen van locaties van nieuwe publieke laadpalen. Het voorspelmodel bevat de volgende gebruikers- en omgevingsfactoren: het gemiddeld bruto maandinkomen per postcodevielf-gebied, het totale aantal auto's per postcodevielf-gebied, de aanwezigheid van Points of Interest, en de bevolkings- en adrestdichtheid per km². Op basis van statistische analyse van laadpaalgebruik in de stad Den Haag van januari 2014 tot april 2015 komt naar voren, dat postcodevielf-gebieden met een relatief hoog gemiddeld bruto maandinkomen, met een relatief groot aantal auto's en de aanwezigheid van points-of-interest een relatief grote behoefte hebben aan publieke laadpalen voor elektrische auto's. Het voorspelmodel kan als hulpmiddel voor gemeentes en bedrijven dienen voor het bepalen van geschikte locaties voor nieuwe laadpalen.

Trefwoorden: elektrische auto's, infrastructuur , publieke oplaadpalen

¹ k.van.montfort@nyenrode.nl

1. Inleiding

Gemeenten bepalen het beleid met betrekking tot laadpaalvoorzieningen in de openbare ruimte. Hiertoe hebben in Nederland de 4 grote gemeenten de afgelopen jaren meer dan 5600 openbare laadpunten geplaatst (Spoelstra en Helmus, 2015). De gemeenten hebben de intentie de laadpaalvoorzieningen op zo (kosten)efficiënt mogelijke wijze te plaatsen, wat inhoudt dat er laadpunten aanwezig zijn waar het laden van elektrische voertuigen zo min mogelijk overlast (in de openbare ruimte) met zich mee brengt (Wagner e.a., 2014) en waar er een zo groot mogelijke behoefte aan laadpalen is (en als zodanig dus veel gebruik wordt gemaakt van de laadpalen). Door beperkt beschikbare informatie over laadgedrag hebben gemeenten geen inzicht in de vraag naar de laadinfrastructuur en worden gemeenten belemmerd bij het maken van beleid. Enerzijds kan hierdoor sprake zijn van overplaatsing: te veel laadpunten voor een bepaald gebied, waardoor deze laadpalen inefficiënt worden benut en vanwege deze onderbezetting van de parkeerplekken voor deze laadpalen tot kritiek van de bewoners leidt. Anderzijds kan er onderplaatsing plaatsvinden: te weinig laadpunten, waardoor het onaantrekkelijk wordt voor potentiële elektrische autorijders vanwege een gebrek aan beschikbare laadpunten.

Er zijn verschillende soorten oplaadpalen. Zo zijn er de private en semi-private oplaadpalen, die worden aangesloten achter de hoofdaansluiting van de terreineigenaar. Tevens zijn er de publieke laadpalen, die in de openbare ruimte staan. Voor de publieke laadpalen moet een aparte aansluiting worden aangelegd. Dit artikel beperkt zich tot het voorspellen van het aantal benodigde publieke laadpalen. De rol van de energieleveranciers en hun verdienmodel vallen buiten de scope van het onderzoek.

In dit artikel is een voorspelmodel voor de behoefte aan publieke laadpalen ontwikkeld, gebaseerd op gebruikers- en omgevingsfactoren. Het ontwikkelde voorspelmodel geeft inzicht in de omgevings- en gebruikersfactoren die de behoefte aan publieke laadpalen voor elektrische auto's in een buurt bepalen. Tevens kunnen de voorspelmodellen de gemeenten helpen bij het vaststellen van de locaties van de nieuwe publieke laadpalen. Dit is van groot belang, omdat vanwege het toenemende gebruik van elektrische voertuigen de komende jaren het aantal publieke laadpalen in Den Haag zal toenemen van 474 (31 december 2015) tot 1500 (31 december 2020).

Dit artikel beschrijft achtereenvolgens het gebruik van een publieke laadpaal, de toegepaste onderzoeksmethodologie en de gebruikte gegevensbronnen. Daarna worden de resultaten van het voorspelmodel gepresenteerd. Er wordt afgesloten met een discussie over de bevindingen van dit onderzoek.

2. Het gebruik van een publieke laadpaal

Het gebruik van een publieke laadpaal wordt in hoge mate bepaald door de aanwezigheid van elektrische voertuigen in de nabijheid van die elektrische laadpaal. Bij de afweging om wel of niet een elektrisch voertuig aan te schaffen, en daarmee het creëren van behoefte aan publieke elektrische laadcapaciteit, speelt de 'total cost of ownership' een belangrijke rol. Met de 'total cost of ownership' worden alle kosten bedoeld, die betrekking hebben op de aanschaf en het rijden in elektrische voertuigen: aanschafprijs, laadkosten, verzekeringen, onderhoud en reparaties van elektrische voertuigen (zie Dimitropoulos e.a., 2013, 2015; Geilenkirchen e.a., 2014; Delang en Cheng, 2012; Hidrue e.a., 2011; Lin e.a., 2010; Jong e.a., 2009; Potoglou en Susilo, 2008; Ahn e. a., 2008; Wu e. a., 1999; en Chin, 1997).

Naast financiële afwegingen is ook het gebruikersgemak van elektrische auto's van belang bij de

afweging om een elektrisch voertuig aan te schaffen. Hierbij kan worden gedacht aan de beschikbaarheid van publieke elektrische laadpalen in de buurt van het woonhuis, het werk of een andere vervoersbestemming. Gemeenten zullen bij het plaatsen van nieuwe openbare laadpalen voor elektrische auto's daarom rekening moeten houden met de bewoners en de gebruikers van de gebouwen in de nabijheid van de nieuwe publieke laadpaal. In een woonwijk zal vooral aan het eind van de werkdag een grote behoefte aan publieke elektrische laadpalen kunnen ontstaan. Om diezelfde reden zal naar verwachting in een buurt met veel kantoren vooral aan het begin van de werkdag veel interesse zijn in publieke oplaadcapaciteit voor elektrische voertuigen.

Een voorspelmodel om de benodigde infrastructuur van publieke elektrische laadpalen te bepalen zou de financiële mogelijkheden en het gebruikersgemak van potentiële EV-gebruikers moeten verdisconteren.

3. Methodologie

Om te bevestigen welke omgevingsfactoren een rol spelen in de vraag naar laadpaalinfrastructuur wordt er gebruik gemaakt van multiple regressie-analyse. Multiple regressie-analyse is een methode om te toetsen of er een verband is tussen afhankelijke en onafhankelijke variabelen en om hypothesen te toetsen.

Bij de analyses zijn gegevens met betrekking tot postcodevijf-gebieden gebruikt: alleen de eerste vier cijfers en de eerste letter van de postcode worden gebruikt voor het identificeren van een gebied. Een postcodevijf-gebied is groter dan een straat en kleiner dan een buurt. Er is gekozen voor deze omvang, omdat een postcodevijf-gebied qua samenstelling van haar bewoners homogener is dan een buurt en qua omvang groter is dan een straat.

In de gemeente Den Haag kunnen particulieren een verzoek indienen voor het plaatsen van een nieuwe publieke laadpaal op een specifieke locatie. Vervolgens bepaalt de gemeente of dit verzoek wordt gehonoreerd. Met andere woorden: een grote meerderheid van alle publieke oplaadpalen voor elektrische auto's in Den Haag is geplaatst op initiatief van particulieren. In ons voorspelmodel is het aantal unieke elektrische auto's dat per dag gebruik maakt van de publieke laadpalen in een specifiek postcodevijf-gebied, en waarvan de laadpashouders in de nabijheid van deze laadpalen wonen, gekozen als afhankelijke variabele (zie onder andere Franke en Krems, 2013, en Khoo e.a., 2014, voor een overzicht van geschikte indicatoren voor het gebruik van elektrische laadpalen).

De omgevingsfactoren die worden meegenomen als onafhankelijke variabelen in het voorspelmodel zijn: het gemiddelde huishoudeninkomen per postcodevijf-gebied; het huidige aantal auto's per postcodevijf-gebied; en de Points of Interest (POI's).

Elektrische auto's zijn in de regel duur. Het gemiddelde huishoudeninkomen bepaalt of een huishouden de financiële middelen heeft voor aanschaf van een elektrische auto. Elektrische auto's kunnen echter op eigen terrein worden geladen wanneer de woning een private parkeerplek heeft. Voor deze elektrische auto's hoeft geen publieke laadvoorziening gerealiseerd te worden.

Naast het gemiddelde huishoudeninkomen zouden wij eveneens de WOZ-waarde, de beschikbaarheid van eigen terrein, de soort bebouwing en de werkgelegenheidscijfers als onafhankelijke variabelen kunnen meenemen in ons model. Deze variabelen zijn echter zeer sterk gecorreleerd met het gemiddelde huishoudeninkomen, zodat het toevoegen van deze variabelen aan het multiple regressie-model zou leiden tot multicollineariteit.

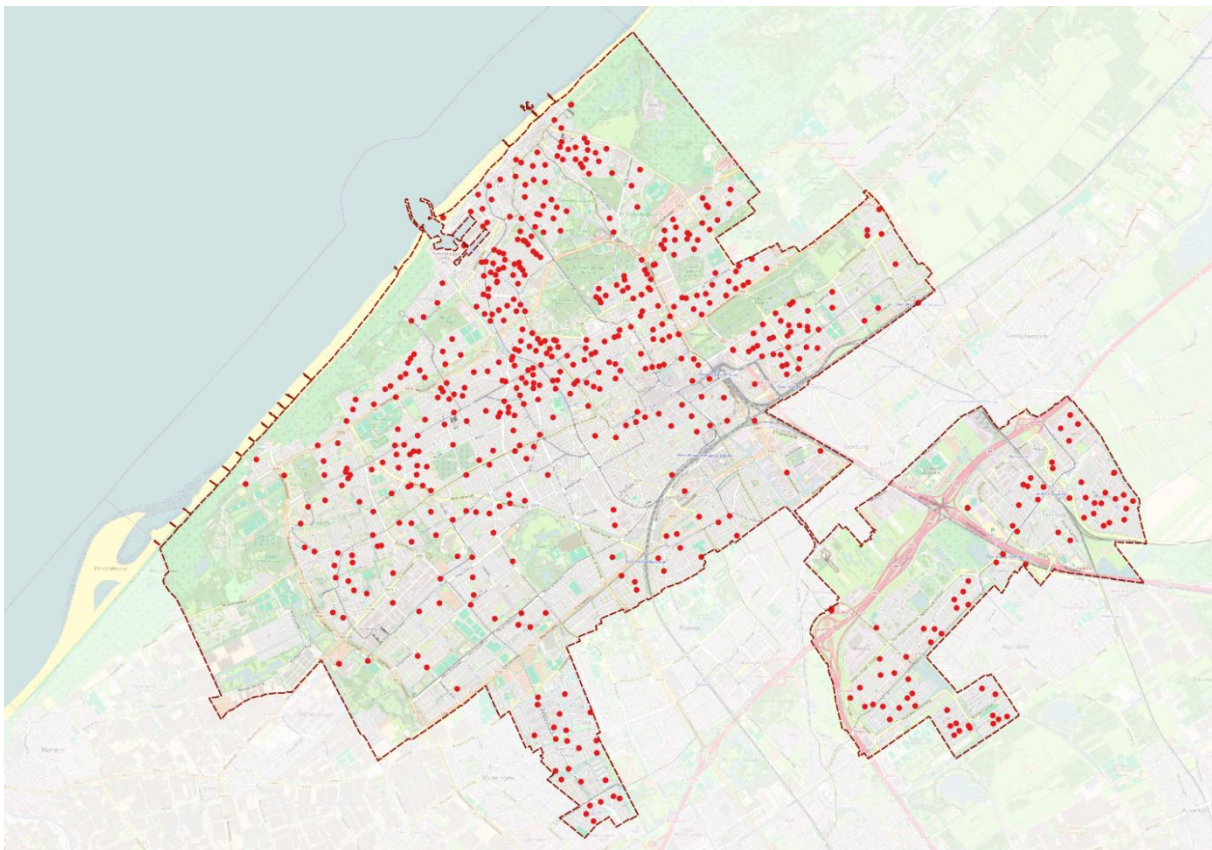
Het aantal auto's per postcodevijf-gebied geeft aan waar de auto's zich bevinden. Er wordt aangenomen dat een elektrische auto wordt aangeschaft aangezien er behoefte is aan een auto. Als

een persoon in de huidige situatie geen gebruik maakt van de auto als vervoersmiddel zal deze persoon ook geen elektrische auto aanschaffen. Het huidige aantal auto's kan een indicatie zijn voor het toekomstige aantal elektrische auto's.

De vraag is of het gemiddelde huishoudinkomen en het aantal auto's sterk aan elkaar zijn gecorreleerd. Dit blijkt niet het geval, omdat het aantal auto's voornamelijk gecorreleerd is aan het aantal adressen en in mindere mate aan het gemiddelde huishoudinkomen.

Om te bepalen waar de laadvoorzieningen voor bezoekersstromen van Points of Interest (POI's) moeten komen, worden enkele Points of Interest categorieën geselecteerd. POI's zijn in dit geval locaties die recreanten interessant vinden om te bezoeken met een voertuig. Voor het bepalen van de invloed die deze voorzieningen hebben op het laadgedrag van bezoekers is gekeken naar het verband tussen de laadgegevens per laadpaal en de aanwezigheid van POI's. Hierbij is niet gekeken naar mensen die bijvoorbeeld bij hun familieleden op bezoek gaan.

Uiteraard kan ook met het totale aantal elektrische voertuigen in een postcodevielf-gebied een prima inschatting worden gemaakt van het benodigde aantal publieke laadpalen. Voertuigregistratie vindt echter plaats op het adres van de eigenaar van de auto. In het geval van elektrische auto's is dit in veel gevallen een leasemaatschappij. Het gebruik van de voertuigregistratie zou daardoor tot een vertekend beeld leiden.



Figuur 1: Kaartje met locaties van publieke laadpalen in Den Haag (1 januari 2016).

4. Gegevensbronnen

De gegevens die in dit onderzoek zijn gebruikt voor het doorrekenen van de voorspelmodellen hebben betrekking op de gemeente Den Haag en komen uit de volgende bronnen:

1. Huidige laadpalenlocaties – Oplaadpalen.nl;
Oplaadpalen.nl heeft een database met locatiegegevens van alle publieke oplaadpalen in Nederland. De laadpaallocaties worden gebruikt voor het identificeren van de omgevingsfactoren per laadpaal (zie Figuur 1: een kaartje van Den Haag met de locaties van de publieke laadpalen).
2. Laadpaalgegevens – Database Den Haag;
De beschikbare laadpaal-database van de gemeente Den Haag met daarin laadgegevens van alle publieke laadpalen in Den Haag wordt gebruikt om te bevestigen wanneer en in welk tijdsbestek een laadpaal gebruikt wordt. Door het gebruik van de laadpaal te koppelen aan de omgevingsfactoren kan er worden getoetst of er een verband is tussen omgevingsfactoren en de behoefte aan laden.
3. Demografische gegevens – CBS;
De demografische gegevens van het Centraal Bureau voor de Statistiek, zoals huishoudinkomen en autobezet, worden in de voorspelmodellen gebruikt om te bepalen wat het verwachte aantal laadsessies van elektrische voertuigen per gebied zal zijn.
4. Points of interest – Google Places.
De Google Places API wordt gebruikt voor het identificeren van de Points of Interest (POI's) voor de recreatieve vervoersstroom (Google, 2015).

5. Resultaten van voorspelmodel voor het aantal ladende elektrische auto's

De database met laadgegevens van de gemeente Den Haag bevat informatie over 112.125 laadsessies in de openbare ruimte van Den Haag die in de periode van juni 2013 tot eind maart 2015 zijn bijgehouden. Uit de praktijk blijkt dat bezitters van elektrische voertuigen meerdere laadpassen kunnen bezitten. Het gemiddeld aantal laadpassen per bezitter van een elektrisch voertuig is echter onbekend, daarom wordt uitgegaan van één laadpas per bezitter van een elektrisch voertuig. Het zou ook kunnen dat een eigenaar van een laadpas een lease auto heeft als vervoersmiddel. In dit onderzoek wordt een lease auto toegewezen aan de laadpas van de werknemer.

In het voorspelmodel richten wij ons in eerste instantie alleen op bewonersstromen en niet op incidentele of regelmatige bezoekersstromen. Om woonverkeer van incidentele bezoekersstromen te scheiden is er een selectie gemaakt van laadpassen die meer dan vijf keer in de maand aan dezelfde laadpaal hebben geladen. Tevens zijn uitsluitend laadsessies meegenomen die tussen 16:00 uur ('s middags) en 4:00 uur ('s nachts) zijn gestart (ContinuVrijeTijdsonderzoek, SCP, 2006). Volgens bovenstaande selectie zijn er 796 verschillende laadpassen die in de periode van 1 januari 2014 tot 31 maart 2015 gebruik hebben gemaakt van publieke laadpalen in de gemeente Den Haag.

In een postcodevijf-gebied kunnen één of meerdere laadpalen zijn geplaatst. Om te weten welke bewoners met hun laadpassen bij deze palen laden, definiëren wij voor elke laadpaal een verzorgingsgebied. De verzorgingsgebieden van de laadpalen in Den Haag construeren wij met behulp van GIS (Geografisch Informatiesysteem). GIS is een informatiesysteem waar kaartlagen en geografische locaties kunnen worden gecombineerd. Bij woonverkeer betreft de maximaal acceptabele loopafstand van parkeerplaats tot de woonvoorziening 250 meter (Litman, 2006). Voor het bepalen van het verzorgingsgebied met GIS gebruiken wij cirkels met een radius van 200 meter

met de laadpaal als middelpunt. Aangezien deze radius geen werkelijke loopafstand is, nemen wij aan dat 200 meter radius overeenkomt met 250 meter werkelijke loopafstand. De laadpasnummers die frequent gebruik maken van de betreffende laadpaal worden vervolgens verdeeld over de postcodevijf-gebieden, die overlap hebben met het verzorgingsgebied van de laadpaal.

In de demografische gegevens database van het Centraal Bureau voor de Statistiek (2013) staan de inkomensgegevens van de inwoners van Den Haag en het aantal auto's op postcodevijf-niveau vermeld. Het gemiddelde inkomen in Den Haag ligt iets lager dan het landelijk gemiddelde. De verschillen binnen de stad zijn echter groot. Om te bepalen welke invloed het gemiddelde huishoudeninkomen en het aantal auto's heeft op het aantal elektrische auto's per postcodevijf-gebied dat laadt is een regressie-analyse uitgevoerd. Karakteristieken van de gebruikte dataset met de gegevens per postcodevijf-gebied voor de regressie-analyse zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1. Gegevens met betrekking tot frequentie gebruik laadpassen, maandinkomen en aantal auto's per postcodevijf-gebied

Postcodevijf-gegevens	Gemiddelde	Standaarddeviatie
Aantal unieke elektrische voertuigen dat laadt per dag	0.89	1,25
Gemiddeld bruto maandinkomen per huishouden	€2535,36	€978,71
Aantal auto's	193	110

Met het eerste multiple regressie-model kan per postcodevijf-gebied een voorspelling worden gedaan van het aantal elektrische auto's per dag dat gebruik maakt van laadpalen in de openbare ruimte, gebruikmakend van het gemiddelde bruto maandinkomen per huishouden en het totale aantal auto's. Hierbij beperken wij ons tot de categorie 'wonen' en worden de categorieën 'bezoekers' en 'werken' buiten beschouwing gelaten. Uit de regressie-analyse komt naar voren dat het aantal elektrische auto's per postcodevijf-gebied voor 37.1 procent (R-Square) verklaard kan worden door het gemiddeld bruto maandinkomen per huishouden en het totale aantal auto's in het postcodevijf-gebied. De significantie waarden van het bruto maandinkomen (< 0.001) en het aantal auto's (0.003) betekenen dat voor beide variabelen met grote zekerheid een positief verband kan worden vastgesteld met het aantal elektrische auto's dat in de openbare ruimte laadt (zie Tabel 2).

Tabel 2: Regressie-analyse voor de voorspelling van het aantal elektrische auto's dat laadt op een dag (per postcodevijf-gebied)

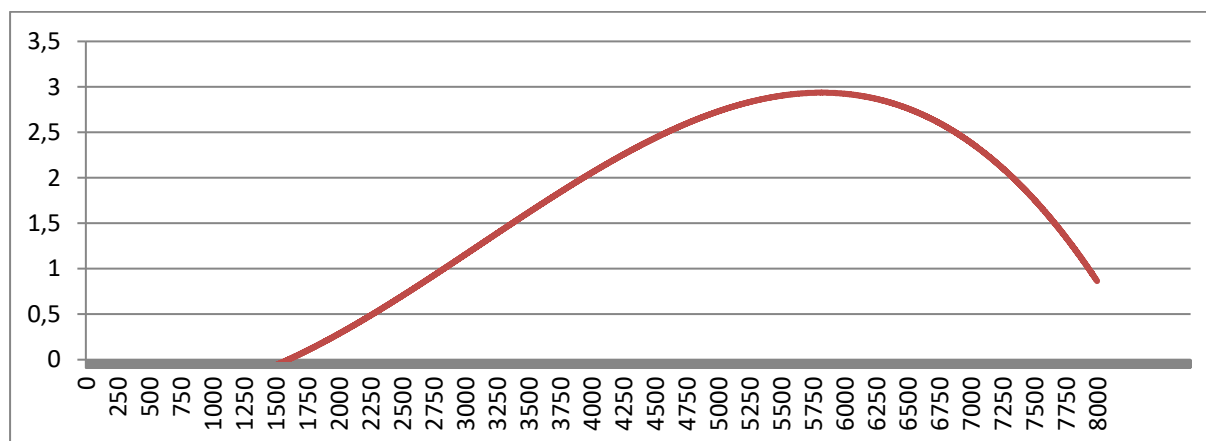
	Standard			
	Coefficients	Error	t Stat	P-value
Constante	-1,1786	0,107672	-10,9462	<0,0001
Inkomen	0,000741	3,78E-05	19,61813	<0,0001
Aantal Auto's	0,000981	0,000335	2,930005	0,0035

Om het effect van de variabele "inkomen" nader te onderzoeken en om na te gaan of er een niet-lineair verband met laadpaalgebruik is, is een nieuwe regressie-analyse uitgevoerd. Voor deze regressie is inkomen in drie verschillende vormen meegenomen, namelijk Inkomen, Inkomen Kwadraat en Inkomen tot de Derdemacht (zie Tabel 3). Uit de regressie-analyse komt naar voren dat het aantal unieke elektrische auto's per postcodevijf-gebied, dat laadt op een dag, voor 39.2 procent (R-Square) verklaard kan worden door het inkomen, het inkomen in het kwadraat, het inkomen tot de derdemacht en het totale aantal auto's van het postcodevijf-gebied. De significantie waarden van Inkomen (0.54), Inkomen Kwadraat (0.005), Inkomen tot de Derdemacht (0.0005) en het Aantal Auto's (0.0008) betekenen dat voor Inkomen Kwadraat, Inkomen tot de Derdemacht en het Aantal Auto's met grote zekerheid kan worden vastgesteld dat er een positief verband bestaat met het aantal elektrische auto's van bewoners dat in de openbare ruimte van een buurt laadt.

Tabel 3: Regressie-analyse per PC5 gebied voor de invloed van het inkomen, inkomen kwadraat, inkomen tot de derdemacht en het aantal auto's op het aantal elektrische auto's dat gebruik maakt van laadpalen in de openbare ruimte op een dag.

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
Constante	-0,35835	0,523584	-0,68442	0,49392
Inkomen	-0,0003	0,000503	-0,60647	0,544383
(Inkomen) ²	3,95E-07	1,42E-07	2,786139	0,005467
(Inkomen) ³	-4,23E-11	1,22E-11	-3,46348	0,000563
Aantal auto's	0,00084	0,000347	2,42359	0,015601

In Figuur 2 is het bruto maandinkomen afgezet tegen het door het model voorspelde aantal elektrische auto's, dat in de openbare ruimte van een postcodevijf-gebied laadt. Bij een gemiddeld bruto maandinkomen van ongeveer €6.000 laden er ongeveer drie unieke elektrische voertuigen per postcodevijf-gebied. Figuur 2 geeft bovendien weer dat er bij de allerhoogste inkomens een afnemend verband bestaat tussen de toename in inkomen en het aantal elektrische auto's dat in de openbare ruimte oplaadt. In de praktijk betekent dit dat vanaf ongeveer €6.000 bruto per maand er een afnemende behoefte is aan publieke laadpalen. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt doordat de huizen op grote percelen staan, waarbij de eigenaren laadvoorzieningen op het eigen terrein kunnen realiseren.



Figuur 2: Invloed van bruto maandinkomen per huishouden (= horizontale as) op het aantal elektrische auto's dat in de openbare ruimte laadt per dag (= verticale as).

6. Resultaten voorspelmodel voor bezoekersstromen van POI's

Om te bepalen waar de laadvoorzieningen voor bezoekersstromen van Points-of-Interest (POI's) moeten komen, worden de voorzieningen die bezoekersstromen trekken benoemd. Voor het bepalen van de invloed die voorzieningen hebben op het laadgedrag van bezoekers is gekeken naar het verband tussen het aantal laadsessies van bezoekers per laadpaal en het aantal en type voorzieningen in de buurt van de laadpaal.

Het ContinuVrijeTijdsonderzoek van het Sociaal Cultureel Planbureau beschrijft de vervoersstromen van personen naar voorzieningen in de vrije tijd (SCP, 2006). Het Sociaal Cultureel Planbureau definieert vrije tijd als "alle tijd die overblijft na aftrek van verplichte activiteiten zoals werk, studie, huishoudelijke taken en persoonlijke tijd, waaronder slapen, eten en persoonlijke hygiëne" (SCP, 2006, p. 13).

Het ContinuVrijeTijdsonderzoek onderscheid categorieën voor activiteiten die mensen in de vrije tijd doen. De categorieën voor locatiegebonden activiteiten zijn onder andere Buitenrecreatie, Sport, Bezoek sportwedstrijd, Attractie, Evenement, Recreatief winkelen, Cultuur, Horeca, etc. (SCP, 2006). Deze verdeling in activiteiten komt voort uit dagactiviteiten die ten minste één uur en maximaal één dag zijn bezocht. Bezoek aan familie, vrienden en bezoek aan voorzieningen tijdens vakanties worden buiten beschouwing gelaten.

Volgens het ContinuVrijeTijdsonderzoek van het Sociaal Cultureel Planbureau (SCP, 2006) vinden bezoekersstromen plaats op doordeweekse dagen tussen 18:00 uur en 21:00 uur in de avond en in het weekend. In dit tijdschema is er overlap van bezoekersstromen en woonverkeer. Om bezoekersstromen van woonverkeer te scheiden worden alleen laadsessies meegenomen waarvan de laadpas tien keer of minder op dezelfde laadpaal heeft geladen en waarbij de laadsessie minder dan vier uur heeft geduurd. Volgens bovenstaande selectie hebben in de periode van 1 januari 2014 tot 31 maart 2015 5.250 laadsessies in Den Haag plaatsgevonden.

Voor het bepalen van de voorzieningen, die bezoekersstromen trekken in het verzorgingsgebied van de laadpaal, wordt gebruik gemaakt van het GIS. Door de geografische locaties van de laadpalen in Den Haag en een verzorgingsgebied van 500 meter te combineren met de geografische locaties van de voorzieningen in Den Haag (Google Developers, 2015) wordt bepaald welke en hoeveel voorzieningen in het verzorgingsgebied per paal liggen. In totaal zijn 5.442 geografische locaties verzameld van de 18 categorieën van voorzieningen. Tabel 4 vermeldt voor elke POI categorie het aantal locaties. Op één locatie kunnen meerdere POI's zijn.

Vervolgens wordt door middel van een regressie-analyse vastgelegd wat de invloed van het type en het aantal voorzieningen op het aantal laadsessies van bezoekers van een laadpaal is. De afhankelijke variabele is het 'aantal laadsessies van bezoekers' en de onafhankelijke variabelen zijn de 'voorzieningen die bezoekers trekken' (18 categorieën). De regressie-analyse bevat 312 geobserveerde data-regels.

Voor de 18 geobserveerde onafhankelijke variabelen komt naar voren dat zes onafhankelijke variabelen lagere significantie waarden hebben dan 0.05. De vijf onafhankelijke variabelen die een positief verband hebben met het aantal laadsessies zijn Shopping mall, Museum, Bar, Casino en Restaurant (zie Tabel 4). Meubelwinkel heeft een negatief verband met elektrisch laden. Uit de regressie-analyse komt tevens naar voren dat het aantal laadsessies per laadpaal voor 35.1 procent (R-Square) kan worden verklaard door de 18 voorzieningen.

Tabel 4: Regressie-analyse voor verband tussen 'aantal laadsessies van bezoekers' en 'voorzieningen die bezoekers trekken'. (de vet afgedrukte cijfers geven een statistisch significant verband op 5%-niveau aan) (tussen haakjes staat het aantal locaties voor elke voorziening)

Voorzieningen	Coëfficiënt	Std. Error	Significantie
<i>intercept</i>	3,755	2,453	0,127
Park (196)	1,832	1,775	0,303
Gym (248)	1,873	1,32	0,157
Stadion (55)	0,694	3,426	0,840
Amusement park (24)	-6,179	4,408	0,162
Aquarium (8)	1,939	4,87	0,691
Spa (63)	-0,577	0,961	0,549
Beursgebouw (4)	7,149	7,496	0,341
Shopping Mall (62)	6,211	2,766	0,025
Meubelwinkel (396)	-2,178	0,979	0,027
Winkelcentrum (25)	-4,939	3,755	0,189
Theater / Bioscoop (93)	-6,697	3,713	0,072
Place of worship (143)	-2,578	6,322	0,684
Art Gallery (226)	-0,203	0,641	0,752
Museum (194)	3,761	0,857	0,000
Bar (212)	2,193	0,913	0,017
Casino (21)	5,166	2,254	0,023
Nachtclub (52)	3,254	3,399	0,339
Restaurant (878)	4,436	1,188	0,000

Bovenstaande multiple regressie-model is eveneens geschat zonder de niet-significante parameters. Zowel de R2-waarde als de waarden van de significante parameters veranderden nauwelijks.

7. Discussie

Met het voorspelmodel kunnen gemeenten inschatten waar relatief veel en waar relatief weinig behoefte aan publieke laadpalen is. Gemeenten die gebruik maken van deze informatie als onderbouwing voor het plaatsen van de laadpalen zullen tot een meer efficiënt gebruik van die laadinfrastructuur komen. Als gevolg daarvan wordt voorkomen dat een onderbezetting aan laadpalen ontstaat (met frustraties voor EV rijders als gevolg) dan wel een overbezetting (minder kostenefficiënt en ontevredenheid onder bewoners die parkeerdruk zien toenemen). Het gebruik van het voorspelmodel kan bijdragen aan het overhalen van autobezitters om een elektrische auto aan te schaffen (en weerstanden wegnemen om juist geen elektrische auto aan te schaffen). Als de elektriciteit voor de laadpalen wordt opgewekt door duurzame energiebronnen (bijvoorbeeld windturbines of zonnepanelen), zullen kilometers met vervuilende emissies worden vervangen door elektrische nul-emissie kilometers. De toename van elektrisch gereden kilometers van personenauto's resulteert hierdoor in een reductie van de maatschappelijke mobiliteitskosten (broeikasgassen, luchtvervuiling en geluid).

Het voorspelmodel laat zien, dat postcodevijf-gebieden met een hoog gemiddeld maandinkomen (per huishouden) en een groot aantal auto's leiden tot meer gebruik van laadpalen. Derhalve zal in deze postcodevijf-gebieden een relatief grote behoefte aan nieuwe publieke laadpalen zijn. Hetzelfde geldt voor de aanwezigheid van Points-of-Interest, met name shopping malls,

meubelwinkels, musea, casino's en restauranten. Bij deze POI's zou het aantal publieke laadpalen kunnen worden verhoogd. Het voorspelmodel kan echter nog worden verfijnd op diverse punten: de bevolkingsdichtheid per km²; de woningdichtheid per km²; onderscheid weekend en midweek; onderscheid binnen kantoortijden en buiten kantoortijden; rekening houden met de aanwezigheid van andere laadpalen in de buurt; het aantal aanwezige EV's; etc. Met deze extra onafhankelijke variabelen kan het gebruik van afzonderlijke publieke laadpalen mogelijk preciezer kunnen worden voorspeld.

Dankwoord

De auteurs willen de twee anonieme reviewers van het Tijdschrift Vervoerswetenschap bedanken voor hun constructieve commentaar.

Referentie

Ahn, J., Jeong, G. en Kim, Y. (2008). A forecast of household ownership and use of alternative fuel vehicles: a multiple discrete continuous choice approach. *Energy Economics*, vol 30(5), 2091-2104.

Centraal Bureau voor de Statistiek. (2013). <http://www.zorgatlas.nl/beinvloedende-factoren/fysieke-omgeving/omgevingsadressendichtheid-per-gemeente/>.

Chin, A. (1997). Automobile ownership and government policy: the economics of Singapore's vehicle quota scheme. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol 31 (2), 129-140.

Delang, C en Cheng, W-T (2012). Consumer's attitudes towards electric cars: a case study of Hong Kong. *Transportation Research Part D*, vol. 17, 492-494.

Dimitropoulos, A., Rietveld, P., en Van Ommeren, J. (2013). Consumer valuation of changes in driving range: a meta-analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 55, 27-45.

Dimitropoulos, A., Rietveld, P., en Van Ommeren, J. (2015). Consumentenwaardering van veranderingen in actieradius: een meta-analyse. *Tijdschrift Vervoerswetenschap*, jaargang 51, nr. 2, 3-24.

Franke, T., en Krems, J. (2013). Understanding charging behaviour of electric vehicle users. *Transportation Research part F*, vol. 21 75-89.

Geilenkirchen, G., Renes, G., en Van Meerkerk, J. (2014). Vergroening van de aanschafbelasting voor personenauto's. *Planbureau voor de Leefomgeving*, publicatienummer 970.

Google Developers. (2015). <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/places>.

Hidrue, M., Parsons, G., Kempton, W., en Gardner, M. (2011). Willingness to pay for electric vehicles and their attributes. *Resource and Energy Economics*, 33(3), 686-705.

Jong, G.C. de, Kouwenhoven, M., Geurs, K., Bucci, P., en Tuinenga, J.G. (2009). The impact of fixed and variabele costs on household car ownership. *Journal of Choice Modelling*, 2(2): 173-199.

Khoo, Y., Wang, C., Paevere, P., en Higgins, A. (2014). Statistical Modeling of Electric Vehicle electricity consumption in the Victorian EV Trial, Australia. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 263-277.

Lin, D-R., Wang, Ch-I, Guan, D. (2010). Efficient vehicle ownership identification scheme based on triple-trapdoor chameleon hash function. *Journal of Network and Computer Applications*, 34 (1), 12-19.

Ministerie Infrastructuur en Milieu. (2015). <http://klimaatmonitor.databank.nl/>.

Oplaadpalen.nl. (2015). <http://www.oplaadpalen.nl/>.

Potoglou, D. en Susilo, Y. (2008). Comparison of vehicle-ownership models. *Transportation Research Record*, vol. 20 (76), 97-105.

Wagner, S., Brandt, T. en Neumann, D. (2014). Smart city planning – developing an urban charging infrastructure for electric vehicles. *22nd European Conference on Information Systems*, Tel Aviv, Israel, June 9-11.

SCP. (2006). *Op weg in de vrije tijd*. Den Haag: Sociaal Cultureel Planbureau.

Spoelstra, J.C. en Helmus, J. (2015). Public charging structure use in the Netherlands: a rollout strategy assessment. *Proceedings of the EECV 2015 Conference, Brussels, Belgium, December 2-4.*

Wu, G., Jamamoto, T. en Kitamura, R. (1999). Vehicle ownership model that incorporates the causal structure underlying attitudes toward vehicle ownership, *Transportation Research Record*, vol. 16 (76), 61-67.