

Worden door financiële prikkels meer elektrische auto's verkocht?

William Sierchula

Technische Universiteit Delft¹

Sjoerd Bakker

Technische Universiteit Delft²

Kees Maat

Technische Universiteit Delft³

Bert van Wee

Technische Universiteit Delft⁴

De elektrische auto vermindert in potentie de uitstoot van broeikasgassen. Echter, maatschappelijke en economische baten zijn niet opgenomen in de verkoopprijs. Overheidsbeleid kan corrigeren voor dit marktfalen. Dit paper onderzoekt de invloed van prijsbeleid (financiële stimulansen voor de consument) op de adoptie van elektrische auto's, gecorrigeerd voor factoren die volgens de literatuur mede van invloed zijn op die adoptie. De relatie tussen de verkoopprijs en het marktaandeel, gecorrigeerd voor overige relevante factoren, is onderzocht in 30 landen met behulp van data uit 2012. In het regressiemodel bleken financiële voordelen, kenmerken van de oplaadinfrastructuur en de aanwezigheid van een eigen industrie gericht op de productie van elektrische auto's, positief samen te hangen met het marktaandeel. De dichtheid van oplaadinfrastructuur blijkt de belangrijkste voorspeller te zijn. Verdere analyses suggereren wel dat noch financiële stimulansen noch de oplaadinfrastructuur adoptie van elektrische voertuigen kunnen garanderen.

Trefwoorden: eco-innovatie, elektrische auto's, overheidsbeleid, technologieadoptie

¹ Faculteit Techniek, Bestuur en Management, TUDelft: w.s.sierchula@tudelft.nl

² Faculteit Bouwkunde, TUDelft: S.Bakker-1@tudelft.nl

³ Faculteit Techniek, bestuur en Management en Faculteit Bouwkunde, TUDelft: C.Maat@tudelft.nl

⁴ Faculteit Techniek, Bestuur en Management, TUDelft: G.P.vanWee@tudelft.nl

1. Introductie⁵

Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2012) constateert dat wereldwijde klimaatverandering als gevolg van de toenemende uitstoot van broeikasgassen een serieuze bedreiging vormt voor mens en ecosysteem.⁶ Broeikasgassen zoals CO₂ en NO_x worden vooral veroorzaakt door verbranding van fossiele brandstoffen ten behoeve van elektriciteitsproductie en transport. In 2010 was de transportsector mondiaal verantwoordelijk voor de uitstoot van 6,7 Gton CO₂, wat gelijk staat aan 22% van de mondiale uitstoot (IEA, 2012a). De verwachting is dat het aandeel van transport in het mondiale brandstofverbruik in 2035 zal zijn toegenomen tot ongeveer 40% (IEA, 2012b). Het IPCC stelt dat de uitstoot van broeikasgassen moet verminderen, met name in de energie- en transportsector, om een temperatuurstijging van 2,4 tot 6,4 graden Celsius te voorkomen (IPCC, 2012).

Elektrische auto's kunnen bijdragen aan het beperken van de opwarming van de aarde. De populariteit van elektrische auto's is echter beperkt gebleken, met name in landen die geen strenge emissienormen kennen, waar de brandstofprijzen niet stijgen of financiële stimulansen voor aanschaf en gebruik ontbreken (Eppstein et al., 2011; Shafiei et al., 2012; IEA, 2013). Veelal wordt verondersteld dat consumentensubsidies noodzakelijk zijn willen elektrische auto's een substantieel marktaandeel kunnen veroveren (Hidrué et al., 2011; Eppstein et al., 2011).

Milieugevolgen zijn vaak niet in de prijzen van auto's (en brandstoffen) verwerkt, waardoor er sprake is van marktfalen (de markt leidt niet tot maximale welvaart). Beleidsmaatregelen zouden dit marktfalen volgens het neoklassiek denken kunnen corrigeren (Rennings, 2000). Maatregelen aan de vraagzijde, zoals consumentensubsidies, zijn bijzonder belangrijk tijdens de marktintroductiefase, aangezien de prijs dan nog hoger is dan van de conventionele auto en prijsdalingen vanwege massaproductie nog niet plaatsgevonden hebben (IEA, 2013). Echter, op basis van eerdere studies zijn er twijfels over de effectiviteit van zulke financiële stimulansen voor elektrische auto's.

Ten eerste geeft de literatuur uiteenlopende resultaten van het effect van consumentensubsidies voor de adoptie van hybride elektrische auto's. Sommige studies laten zien dat deze de verkoop van hybride elektrische auto's stimuleren (Beresteanu en Li, 2011; Gallagher en Muehlegger, 2011), maar Diamond (2009) laat zien dat juist hogere fossiele brandstofprijzen adoptie bevorderen. Zang et al. (2013) vonden slechts een zwakke relatie tussen aankoopsubsidies en aanschafbereidheid. Wellicht zijn ook andere factoren belangrijker drijfveren.

Ten tweede is het de vraag hoe bruikbaar eerder onderzoek naar hybride elektrische auto's is voor een inschatting van marktaandelen van elektrische auto's, omdat het in geval van elektrische auto's gaat om een radicale innovatie (Tushman en Anderson, 1986). Consumenten kunnen zich op de markt voor hybride elektrische auto's mogelijk anders gedragen dan op de markt voor elektrische auto's. Grote technologische innovaties leiden tot meer terughoudendheid bij de consument (Anderson en Tushman, 1990). Hoe sterker een innovatie verschilt van de huidige technologie, hoe minder consumenten bereid zijn ervoor te betalen. Elektrische auto's verschillen behoorlijk van auto's met een verbrandingsmotor (Sierzchula et al., 2012), dus de mate van terughoudendheid onder consumenten kan groter zijn dan bij hybride elektrische auto's en innovaties bij auto's met een verbrandingsmotor (Sovacool en Hirsh, 2009). De terughoudendheid van consumenten leidt tot een lagere bereidheid om elektrische auto's aan te schaffen. Die terughoudendheid beperkt het effect van financiële stimulansen op aanschafgedrag, maar het is niet duidelijk in welke mate. Verder speelt dat consumentensubsidies mogelijk slechts

⁵ Dit artikel is een naar het Nederland vertaalde en licht bewerkte versie van: Sierzchula, W., Bakker, S., Maat, K., Van Wee, B. (2014), The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption. *Energy Policy* 68 183-194.

⁶ Dit wordt gesteld door het IPCC met 'redelijke zekerheid' in een situatie waarbij de temperatuur mondiaal 2-3 °C boven die van het pre-industriële tijdperk uitkomt.

een klein effect op de verkoopgroei van elektrische auto's hebben wanneer potentiële kopers de nieuwe technologie nog te ver van hun bed vinden (Egbue en Long, 2012), of wanneer zij niet genoeg elektrische auto's op de weg zien: het zogenoemde drempel-effect (Eppstein et al., 2011).

Mede vanwege deze kanttekeningen bij eerder onderzoek, onderzoekt dit paper tot op welke hoogte financiële stimulansen en andere socio-economische factoren de adoptie van elektrische auto's verklaren.

De terughoudendheid van consumenten beïnvloedt overigens ook het bedrijfsleven. Van groot belang zijn de toekomstige winstgevendheid van een technologie, de betrokkenheid van de overheid en de acceptatie door de consument (Arrow, 1966; Nelson en Winter, 1977; Jaffe et al., 2005); dit onderwerp blijkt in dit paper buiten beschouwing.

2. Barrières die de diffusie van innovatie belemmeren

De literatuur noemt verschillende barrières die de verspreiding van nieuwe technologieën kunnen belemmeren.

2.1 Algemene barrières

Uit een studie naar de ontwikkeling van innovaties bleek dat bedrijven te weinig investeren in onderzoek en ontwikkeling van nieuwe technologieën (Arrow, 1962). Dat is vooral te wijten aan het feit dat bedrijven zeggen te weinig te profiteren van de investeringen in hun innovaties. Bedrijven kunnen bijvoorbeeld niet altijd voorkomen dat concurrenten profiteren van hun inspanningen op het gebied van R&D (Teece, 1986). Als gevolg van deze 'knowledge spillovers' zijn bedrijven minder geneigd te investeren in de ontwikkeling van innovaties die makkelijk gekopieerd kunnen worden (Teece, 1986).

Daarnaast speelt het probleem dat nieuwe technologieën vaak slecht te vergelijken zijn met de prijs en prestaties van huidige technologieën (Adner, 2002). De 'early adopters' van innovatieve producten zijn vaak bereid hier extra voor te betalen of genoeg te nemen met mindere prestaties, louter en alleen omdat ze de laatste technologie willen hebben (Rogers, 1995). De meeste potentiële kopers ('early/late majority') zijn echter risicomijdend en niet bereid een innovatief product te kopen dat beperkingen heeft ten opzichte van bestaande producten. Nieuwe technologieën hebben 'early adopters' nodig om levensvatbare producten te ontwikkelen (Geels, 2002). Daarna zorgen 'learning-by-doing' en schaalvergroting voor kostendaling en verbetering van prestaties van nieuwe producten (Foster, 1986; Christensen, 1997). Elektrische auto's hebben pas een substantieel positief effect op het milieu indien ze breed geaccepteerd worden, oftewel: een substantieel marktaandeel hebben. Om die reden zetten overheden financiële stimulansen in, in een poging om de 'early adopters' over de streep te trekken.

2.2 Barrières die duurzame innovaties beperken

Duurzame innovaties verschillen van andere innovatieve producten en diensten doordat ze het milieu minder schaden dan conventionele technologieën (Rennings, 2000). De voorbeelden variëren van verbeteringen aan bestaande ontwerpen, zoals een turbolader bij automotoren, tot radicalere technologieën zoals zonnecellen en windturbines. Duurzame innovaties hebben enerzijds een milieubesparend effect, maar anderzijds hebben ze last van marktfalen (zie hiervoor). Daardoor blijft hun aandeel lager dan wanneer er geen sprake zou zijn van marktfalen, waardoor ze minder worden doorontwikkeld, wat vervolgens hun adoptie weer beperkt (Jaffe et al., 2005; Brown, 2001).

Een andere barrière die bijdraagt aan beperkte adoptie van duurzame innovaties is 'bounded rationality'. Consumenten maken geen rationele keuze om maximaal nut te bereiken, maar zijn meestal slechts op de hoogte van een deel van alle mogelijke opties en consequenties en handelen ze dus op basis van onvolledige informatie (Nelson en Winter, 1982). In plaats van de totale kosten van een product te berekenen, vertrouwt de consument op heuristische of vuistregels bij de aankoopbeslissing (Jaffe en Stavins, 1994; Schleich, 2009). Dit kan er bijvoorbeeld toe leiden dat een individu te veel nadruk legt op de aankoopprijs en de gebruikskosten niet nauwkeurig waardeert (Levine et al., 1995). Omdat veel duurzame innovaties een hoge aankoopprijs hebben, schrikt dit consumenten af – hoewel de verbruikskosten laag kunnen zijn – met een langzame adoptie als gevolg (Brown, 2001). Dit proces speelt ook bij elektrische auto's (Turrentine en Kurani, 2007).

3. Factoren die invloed hebben op adoptie van elektrische auto's

Omdat elektrische auto's pas in 2010 breed op de consumentenmarkt zijn geïntroduceerd (de tijdelijke introductie in de jaren negentig niet meegerekend), is er weinig empirisch onderzoek gedaan naar daadwerkelijke adoptie op basis van empirische data. Veel kennis van factoren die van invloed zijn op adoptie van elektrische auto's is afkomstig uit 'stated preference'-onderzoek, waarin potentiële consumenten hypothetische situaties voorgelegd krijgen. Echter, uit de literatuur blijkt twijfel over de mogelijkheid van het inschatten van de daadwerkelijke aankoop van auto's met een lage emissie op basis van dergelijk onderzoek (Lane en Potter, 2007). Daarom richt ons onderzoek zich op factoren die van invloed zijn op het daadwerkelijke aankoopgedrag door consumenten ('revealed preference'-onderzoek). Daartoe zijn recente data gebruikt uit 30 landen.

We hebben onderzocht welke variabelen invloed hebben op de adoptie van elektrische auto's; relevante variabelen zijn gebaseerd op eerder 'revealed preference'-studies naar de adoptie van hybride elektrische auto's. We hebben de volgende variabelen meegenomen: opleidingsniveau, brandstofprijzen en mate van milieubewustheid (Lane en Potter, 2007; Diamond, 2009; Gallagher en Muehlegger, 2011). Hybride elektrische auto's zijn al vanaf eind jaren negentig op de markt. Deze zijn weliswaar een minder radicale innovatie dan volledig elektrische auto's, maar zijn in sommige opzichten wel een goede vergelijkingsbasis omdat ze verschillende overeenkomsten hebben, zoals een accu, elektrische aandrijving en een geringere invloed op het milieu dan auto's die op brandstoffen rijden (mits ze op elektriciteit rijden en niet op brandstof). Tevens hebben we uit theoretisch studies factoren overgenomen en ondergebracht in drie categorieën: technologie, consument en context.

Technologie omvat aspecten zoals batterijkosten en prestatiekenmerken (actieradius en oplaadtijd). De aankoopprijs van elektrische auto's, die sterk afhangt van de accu, is het belangrijkste obstakel voor grootschalige adoptie (Brownstone et al., 2000). De IEA (2011) concludeert dat de aankoopprijs van een elektrische auto met een 30 kWh-batterij (met ongeveer een 135 kilometer actieradius) \$10.000 duurder is dan een vergelijkbare auto met een conventionele verbrandingsmotor. Een grotere batterij (in kWh) vergroot de actieradius maar leidt ook tot een hogere aankoopprijs. Een andere technologiefactor is de oplaadtijd (Hidrue et al., 2011; Neubauer et al., 2012). Waar tanken van brandstof ongeveer 4 minuten kost, hebben elektrische auto's ongeveer 30 minuten (bij een snellaadstation) tot meerdere uren nodig om op te laden (>10 uur bij een 110 of 220 Volt-aansluiting), afhankelijk van de batterijgrootte (Saxton, 2013).

Contextfactoren zijn brandstofprijzen (Diamond, 2009; Beresteanu en Li, 2011; Gallagher en Muehlegger, 2011; Eppstein et al., 2011; Shafiei et al., 2012) en elektriciteitskosten. Deze twee factoren bepalen samen een groot deel van de gebruikskosten van elektrische auto's (absoluut en ten opzichte van auto's met een verbrandingsmotor; Zubaryeva et al., 2012; Dijk et al., 2013). Studies laten zien dat de beschikbaarheid van oplaadpunten eveneens een belangrijke factor is

(Yeh, 2007; Struben en Sterman, 2008; Egbue en Long, 2012; Tran et al., 2012). Verwacht mag worden dat het aantal laadpalen op lange termijn endogeen zal worden, dus zullen gaan afhangen van de vraag, maar op dit moment wordt de plaatsing van laadpalen nog veelal exogeen bepaald, bijvoorbeeld als maatregel om de luchtkwaliteit te stimuleren. Ook een hogere stedelijke dichtheid verhoogt adoptie van elektrische auto's. Immers de reisafstanden zijn dan gemiddeld korter, waardoor een beperkte actieradius eerder geaccepteerd zal worden (IEA, 2011). Een andere contextfactor is de diversiteit van de modellen elektrische auto's die worden aangeboden (Van den Bergh et al., 2006), alsmede een productie in eigen land (IEA, 2013) en de aanwezigheid van elektrische auto's in het straatbeeld (Eppstein et al., 2011).

4. Methode

4.1 Dataverzameling

In ons onderzoek hebben we recente bestaande data verzameld uit 30 landen (zie figuur 1). Deze landen zijn geselecteerd op basis van beschikbaarheid van data met betrekking tot adoptie van elektrische auto's en oplaad-infrastructuur. In onze studie verstaan we onder elektrische auto's zowel volledig-elektrische auto's met batterij (zoals de Nissan LEAF) als plug-in hybrides (zoals de Chevrolet Volt). Voorwaarde was wel dat de voertuigen met een stekker kunnen worden opgeladen; hybride elektrische-automodellen, zoals de Toyota Prius, zijn daarom niet meegenomen in onze analyse.

Gebaseerd op de factoren die zijn benoemd in paragraaf 3, zijn gegevens verzameld over de volgende factoren: marktaandeel van elektrische auto's, financiële stimulansen gericht op consumenten, aantal oplaadpunten per 100.000 inwoners⁷, mate van milieubewustheid, brandstofprijs, aanwezigheid van fabrieken voor elektrische auto's in een land, inkomen, autobezit (aantal auto's per hoofd van de bevolking), opleidingsniveau, elektriciteitsprijs, aantal beschikbare modellen van elektrische auto's, jaar van introductie van elektrische auto's, verkoopprijs van elektrische auto's, en stedelijke dichtheid. Adoptie van elektrische auto's is geoperationaliseerd als het nationale marktaandeel van elektrische voertuigen. Een omschrijving van de variabelen en hun bronnen is weergegeven in tabel 1. Actieradius en oplaadtijd zijn niet meegenomen in ons model omdat in alle onderzochte landen dezelfde elektrische auto's beschikbaar waren. Er is geen noemenswaardig verschil tussen de actieradius van een Nissan LEAF in China of een Nissan LEAF in Duitsland.⁸

⁷ Oplaadpunten zijn zo gedefinieerd dat er mogelijk meerdere oplaadpunten per locatie zijn en meerdere laadpunten (stekkers) per oplaadpunt mogelijk zijn.

⁸ Verschillen in temperatuur zouden invloed hebben op de actieradius. Hierdoor zou hetzelfde voertuig in verschillende landen iets andere prestatiekenmerken kunnen hebben, afhankelijk van de weersomstandigheden. Het precieze effect van temperatuur op de actieradius van EV's was ten tijde van het uitvoeren van ons onderzoek nog niet bekend.

Tabel 1: Omschrijving van variabelen en bronnen

Variabele	Omschrijving	Bron
Marktaandeel	Nationaal marktaandeel elektrische voertuigen als percentage van alle voertuigverkoppen	Statistieken op websites van autoproducenten
Stimulans	Financiële stimulansen van overheden voor aankoop en/of gebruik van een elektrische auto	ACEA, 2012a; ACEA, 2012b; overheidsinstellingen
Oplaadpunten	Aantal oplaadpunten ⁹ , gecorrigeerd voor het aantal inwoners (hoeveelheid oplaadpunten per 100.000 inwoners)	Chargemap, 2013; lemnet.org, 2013; ASBE, 2013; Gronbil, 2013; kaarten met oplaadpunten ¹⁰
Milieu ¹¹	Rangschikking van milieuwetgeving en milieuprestaties als indicator van nationale verschillen in milieubewustzijn	Yale, 2013
Brandstofprijs	Gewogen gemiddelde van de benzine- en dieselprijs in een land. Weging op basis van het daadwerkelijk gebruik.	IEA, 2012a; Reuters, 2012; World Bank, 2012a en 2012b
Hoofdkantoor	Dummy die aanwezigheid weergeeft van een hoofdkantoor van een fabrikant of fabriek van elektrische auto's	Website van autofabrikanten
Inkomen	Nationaal inkomen per hoofd van de bevolking gemeten in koopkracht	World Bank, 2013a
Autobezit	Aantal voertuigen per hoofd van de bevolking in een land	World Bank, 2013a
Opleidingsniveau	Percentage van de beroepsbevolking met ten minste een MBO-opleiding	World Bank, 2013b
Elektriciteitsprijs ¹²	Elektriciteitsprijzen voor huishoudens in 2011, per kWh	Eurostat, 2013; IEA, 2012a
Beschikbare modellen	Aantal modellen gekocht in 2012	Website statistieken auto-industrie
Introductie	Jaar (vanaf 2008) waarin elektrische auto's voor het eerst in een land zijn verkocht	Marklines, 2013
Prijs EV	Aankoopprijs van een Mitsubishi MiEV ¹³	Nationale websites Mitsubishi
Stedelijke dichtheid	Aantal inwoners per vierkante mijl in stedelijke gebieden boven de 500.000 inwoners	Demographia, 2013

⁹ Een oplaadpunt met meerdere aansluitingen wordt hier geteld als één oplaadpunt.

¹⁰ Voor veel landen gold dat nationale kaarten met oplaadpunten meer gegevens bevatten dan internationale websites als www.chargemap.com

¹¹ Er is geen sprake van omgekeerde causaliteit tussen adoptie van elektrische auto's en de Environmental Performance Index (EPI) omdat het lage aantal elektrische voertuigen in deze landen een verwaarloosbare impact heeft op de indicatoren waaruit de EPI bestaat.

¹² Door problemen met de beschikbaarheid van data is voor IJsland gebruik gemaakt van de elektriciteitsprijs van 2012.

¹³ In landen waar de MiEV niet beschikbaar was, zijn andere elektrische-automodellen gebruikt als vergelijk, zoals de BYD F3DM in China.

4.2 Financiële stimulansen

Om adoptie van elektrische auto's te stimuleren gebruiken overheden financiële stimulansen voor producenten en voor kopers van elektrische auto's. Sommige landen hebben de voertuigbelasting voor elektrische auto's verlaagd, terwijl andere landen een subsidie bij de registratie toekennen. Deze stimulansen worden op het moment van registratie of jaarlijks (BPM/RBM/bijtelling in Nederland) gegeven. Hierdoor is een divers landschap ontstaan met verschillende financiële stimulansen. Enerzijds om die stimulansen te kunnen vergelijken, en anderzijds om ze te kunnen opnemen in één overall variabele zijn de beleidsmaatregelen gestandaardiseerd naar de relatie met CO₂-emissie (waardoor brandstofgebruik en CO₂-emissie onder één noemer kunnen worden gebracht) en dollars van 2012. Om brandstofgebruik te kunnen converteren naar CO₂-emissies, hebben we de volgende formule gebruikt: 1 L/100 km = 23,2 g CO₂/km (UNEP, 2012). Om de verschillende valuta's om te rekenen naar dollars hebben we de gemiddelde wisselkoersen van de kwartalen van 2012 gebruikt. Soms was het nodig om een prestatiekenmerk van een voertuig te gebruiken, bijvoorbeeld CO₂-emissie, om zo de financiële stimulans van een bepaalde beleidsmaatregel te berekenen.¹⁴ Een voorbeeld is een jaarlijks terugkomend bedrag, afhankelijk van de CO₂-emissies van een voertuig. Dit geeft echter geen indicatie van de besparing ten opzichte van een aankoop van een voertuig met conventionele verbrandingsmotor (er is niets te vergelijken). Om de waarde van zulke financiële stimulansen toch te kunnen bepalen, hebben we gegevens over de kenmerken van een voertuig met conventionele verbrandingsmotor en een elektrisch voertuig gebruikt (respectievelijk een Volkswagen Golf uit 2012 en een Nissan Leaf). Tabel 2 geeft de basiskennmerken van deze voertuigen. We hebben de uitlaatemissies van een elektrische auto op '0' gesteld. Uiteraard geldt deze waarde alleen voor duurzaam opgewekte elektriciteit (of kernenergie), en verschilt de werkelijke uitstoot in de gebruiksfase, afhankelijk van de wijze waarop stroom in diverse landen wordt opgewekt. De waardering van de financiële stimulans is daarmee een overschatting, waarvan de hoogte varieert per land.

Tabel 2: Voertuig met conventionele verbrandingsmotor (CV) en elektrische auto's gebruikt voor de waardering van de financiële stimulans

	CV-auto	Elektrische auto
Aankoopprijs	\$25.000	\$35.000
Uitlaatemissies	140 CO ₂ g/km	0 g/km
Brandstofverbruik ¹⁵	19 km/l	45 km/l ¹⁶
Gewicht	1550 kg	1950 kg
Motor/batterij	2.0177 kW	20 kWh Li-ion

Sommige beleidsmaatregelen, zoals subsidie bij registratie, worden eenmalig uitgekeerd. Voor andere beleidsmaatregelen, op basis van bijvoorbeeld jaarlijkse betalingen, hebben we de monetaire waarde bepaald door een terugverdientijd van 3 jaar te gebruiken en een discontovoet voor consumenten van 30% (gebaseerd op het werk van Greene et al., 2005; Yeh, 2007). Het was helaas niet mogelijk onderscheid te maken tussen zakenauto's en particulier aangeschafte auto's, omdat van diverse landen de benodigde gegevens niet beschikbaar waren. Specifieke stimulansen ten aanzien van bedrijfsauto's en lease auto's zijn daarom niet meegenomen.

Voor de onderzochte landen zijn de financiële stimulansen in 2011 en 2012 niet aanmerkelijk

¹⁴ Voor de beleidsmaatregelen geanalyseerd in onze studie zijn de CO₂-emissies gemeten vanaf de uitlaat van een voertuig, gebaseerd op standaard rijgedrag, bijvoorbeeld NEDC en FTP-75.

¹⁵ Gebaseerd op het Amerikaanse FTP-75 standaard rijgedrag.

¹⁶ Weergegeven in kilometers/liter, gebruikelijk voor de berekening van brandstofverbruik van elektrische auto's.

veranderd. De belangrijkste veranderingen zijn ten eerste dat Portugal de financiële stimulans voor adoptie van elektrische auto's heeft verlaagd met \$5500 ten opzichte van de stimulans voorheen. Ten tweede heeft Finland deze in dezelfde periode verhoogd met \$4600.

5. Resultaten en discussie

Dit hoofdstuk beschrijft de modelvariabelen en het model zelf. Daarna worden de implicaties van de resultaten besproken, om duidelijk te krijgen wat het effect is van verschillende beleidsmaatregelen (brandstofbelastingen, consumentensubsidies en het installeren van oplaadpunten) op de adoptie van elektrische voertuigen.

5.1 *Correlatieanalyse van modelvariabelen*

Appendix 1 geeft de correlaties tussen de variabelen in het model. Een van de dingen die opvalt is de sterke correlatie tussen veel kenmerken van elektrische auto's (prijs, jaar van introductie, beschikbaarheid, marktaandeel, financiële stimulansen en oplaadinfrastructuur). Dat is een indicatie voor een relatie tussen een aantal ontwikkelingen tijdens de vroege periode van de introductie van een radicale innovatie. Verder blijkt dat de variabele prijs van elektrische auto's negatief gecorreleerd is met het marktaandeel in een land. De Mitsubishi MiEV was het duurst in landen waar de adoptieniveaus laag waren, bijvoorbeeld in Turkije, China en Nieuw-Zeeland, en goedkoper in de Verenigde Staten, Noorwegen en Japan, waar het marktaandeel relatief groot is. Soms was het verschil in verkoopprijs erg groot, zoals tussen Australië (\$53.126) en Zwitserland (\$26.925).

De correlatie tussen oplaadinfrastructuur en het type elektrische voertuig (plug-in hybride of puur elektrisch met batterij) is eveneens in Appendix 1 weergegeven. Landen met een groter aandeel plug-in hybride elektrische auto's zijn minder afhankelijk van oplaadpunten, waardoor de relatie tussen adoptie van elektrische auto's in een land en oplaadinfrastructuur verzwakt. Voorlopige modeluitkomsten laten echter zien dat het percentage plug-in hybride elektrische auto's in een land geen statistisch significante relatie heeft met de oplaadinfrastructuur of het marktaandeel van elektrische auto's. Dit suggereert dat het aandeel elektrische auto's met interne verbrandingsmotor in een land niet significant samenhangt met de oplaadinfrastructuur of het adoptieniveau van elektrische auto's.

5.2 *Beschrijvende analyse van kenmerken van elektrische auto's*

Naast socio-demografische factoren als inkomen en opleidingsniveau, hebben we ook verschillende specifieke variabelen van elektrische auto's opgenomen in ons model, waaronder financiële stimulansen, oplaadinfrastructuur, modelbeschikbaarheid en productie in eigen land.

Financiële stimulansen

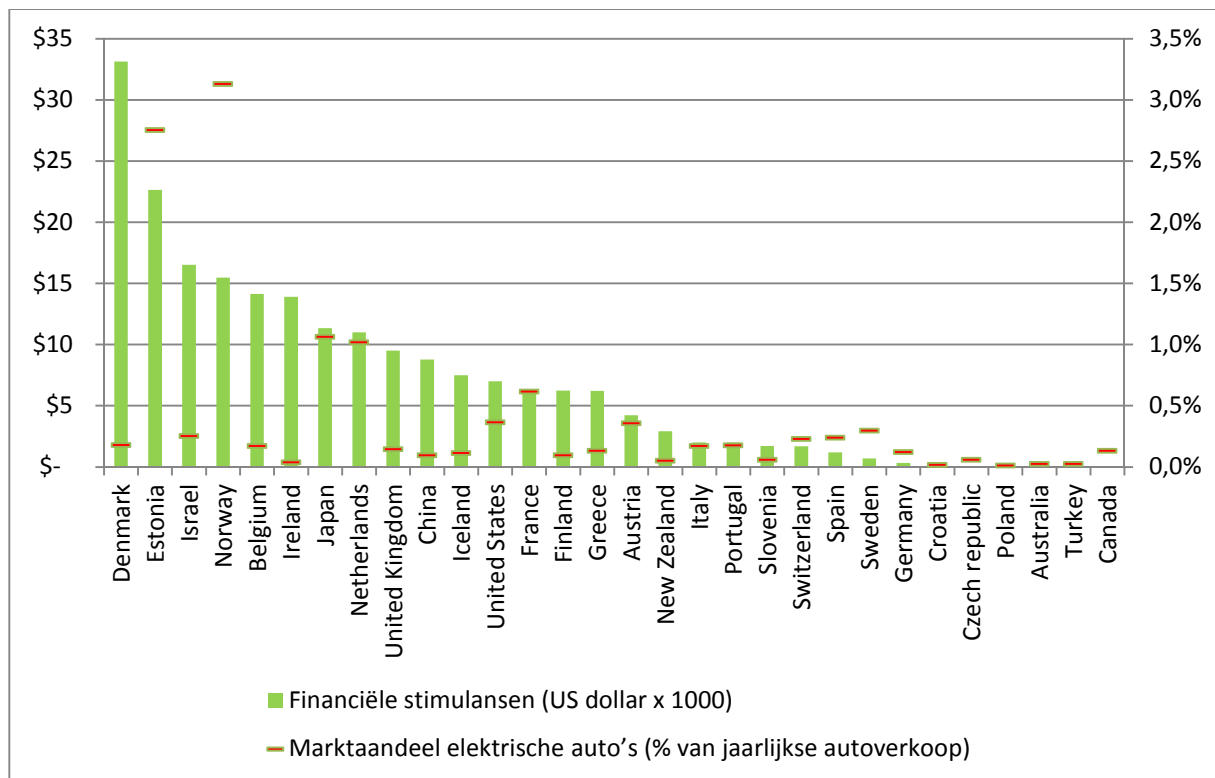
Financiële stimulansen zijn positief gecorreleerd met adoptie van elektrische auto's (zie figuur 1; $p = 0,01$). Toch is er een substantiële variatie te zien tussen de verschillende datapunten, en dus is het effect van vergelijkbare financiële prikkels niet overal (min of meer) gelijk. Daarnaast lijken er twee verschillende groepen landen te zijn. De eerste groep wordt gevormd door ongeveer de onderste helft van de door ons onderzochte landen (14 landen) die financiële stimulansen bieden van minder dan \$2000. Zij laten lagere marktaandelen voor elektrische auto's zien, met uitzondering van Zweden (0,30%) en Zwitserland (0,23%) en in mindere mate Canada (0,13%) en Duitsland (0,12%). De andere 10 landen hadden weinig financiële stimulansen, en kenden een lage adoptie van elektrische auto's.

De andere groep in figuur 1 kenmerkt zich door sterke financiële stimulansen en een grote variatie in marktaandelen van elektrische auto's. Sommige landen, zoals Noorwegen en Estland,

laten een hoge financiële stimulans zien met een hoge adoptie van elektrische auto's. De invloed van vergelijkbare stimulansen op de adoptie is echter niet overal gelijk, aangezien landen als Denemarken en België hoge financiële stimulansen lieten zien met relatief lage adoptie van elektrische auto's. Figuur 1 suggereert dat er ook andere factoren zijn dan financiële stimulansen die de adoptie van elektrische auto's beïnvloeden.

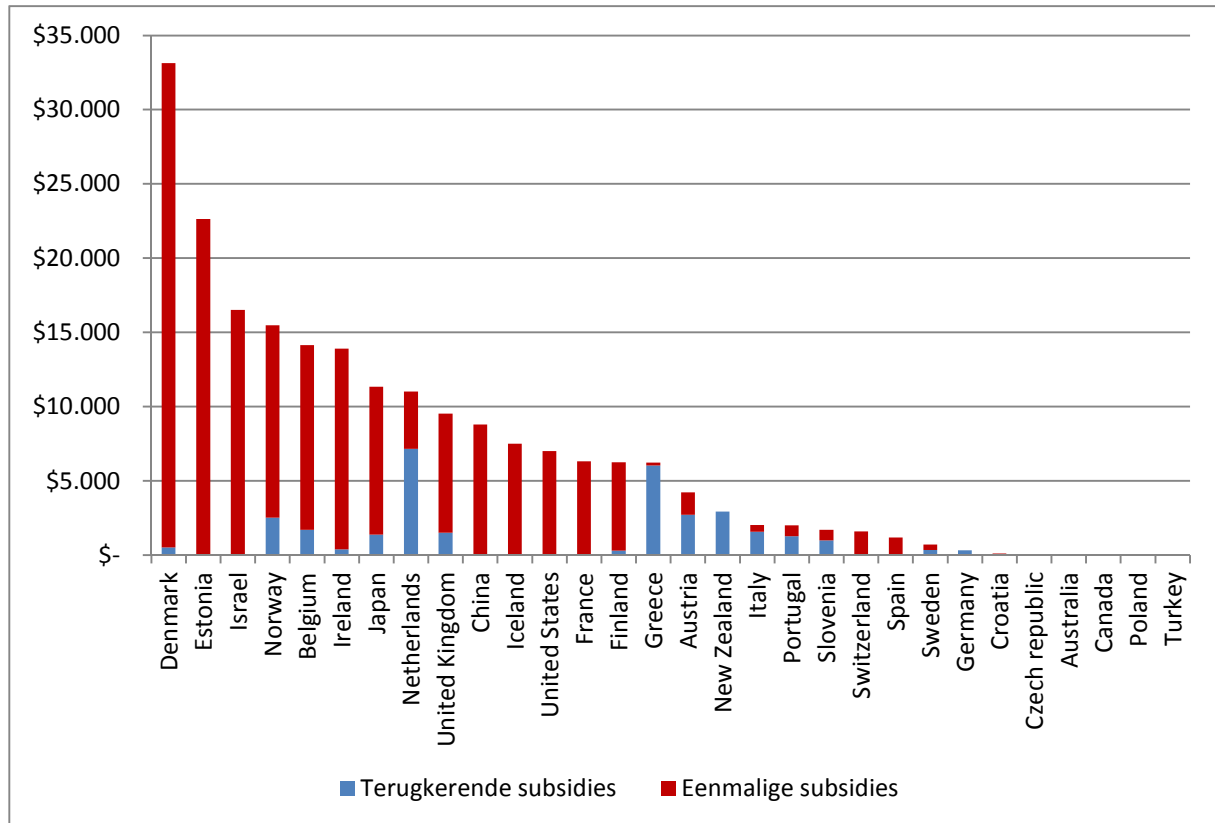
Naast de variabelen die opgenomen zijn in het model, zijn er waarschijnlijk land-specifieke factoren die invloed hebben op het marktaandeel van elektrische auto's. Zo kochten consumenten in Estland in 2011 55 elektrische auto's (Mnt.ee, 2013), maar kocht de overheid in 2012 ongeveer 500 MiEv's (Estonia, 2011). Die laatste aankoop verklaart grotendeels het grote marktaandeel van elektrische auto's in 2012. Omgekeerd installeerde Noorwegen in 2009 een uitgebreide laadinfrastructuur en steeg de adoptie van elektrische auto's sinds 2010 meer geleidelijk, voornamelijk door particuliere kopers (SAGPA, 2012).

Een andere factor die niet wordt opgenomen in de variabele 'financiële stimulans' is de ontvanger van de subsidies. Door de aankoop van de meerderheid van elektrische auto's tot en met 2012, worden wagenparkbeheerders gezien als een belangrijke 'early adopter' (IEA, 2013). De financiële stimulansen van de Belgische overheid waren echter gericht op huishoudens, waardoor ze een groot deel van de markt gemist hebben, en daar de adoptie van elektrische auto's achterloopt. Deze land-specifieke factoren zijn niet in ons model opgenomen, maar hebben potentieel wel invloed gehad op de nationale adoptieniveaus van elektrische auto's.



Figuur 1: Financiële stimulansen per land en bijbehorend marktaandeel van elektrische auto's in 2012

Figuur 2 laat zien hoe typen eenmalige en terugkerende financiële stimulansen werden toegepast in verschillende landen.



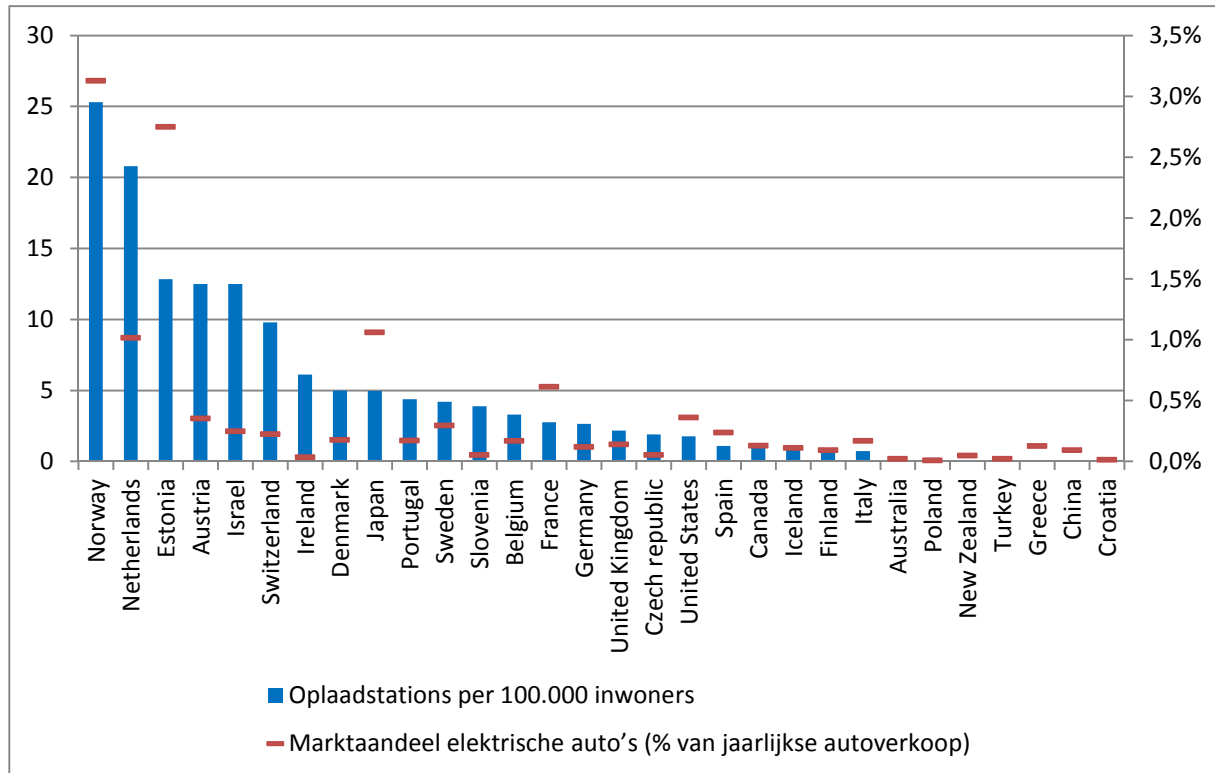
Figuur 2: Verdeling van subsidies per land

Figuur 2 laat zien dat de meeste financiële stimulansen voor elektrische auto's bestonden uit een eenmalige subsidie (78%), in plaats van een terugkerende subsidie. Subsidie bij registratie kan een dominante rol spelen omdat de terugkerende subsidie een hoge discontovoet kent, wat de waarde voor de consument doet afnemen. De correlatie tussen het marktaandeel van elektrische auto's en eenmalige/terugkerende subsidies is niet statistisch significant, wat suggereert dat de totale waarde van de financiële stimulans relevant is voor de snelheid van adoptie en niet het type financiële stimulans (eenmalige/terugkerende subsidie).

Laadinfrastructuur

Figuur 3 laat een positieve en significante relatie ($p < ,001$) zien tussen het aantal oplaadpunten (gecorrigeerd voor populatie) en de snelheid van adoptie van elektrische auto's. Ondanks deze positieve correlatie zijn er wel grote verschillen tussen de landen. Zo hebben bijvoorbeeld Estland en Israël ongeveer eenzelfde verhouding tussen oplaadpunten en bevolking, maar het marktaandeel van elektrische auto's was in Estland 11 maal groter dan in Israël. Ook lijkt het erop dat er zeven landen zijn met zowel een gering aantal oplaadpunten als een geringe adoptie.

Over de oplaadinfrastructuur is weinig informatie beschikbaar. Dit is wellicht te wijten aan het feit dat oplaadpunten grotendeels door lokale overheden worden geïnstalleerd (Bakker en Trip, 2013). De door ons onderzochte landen hebben verschillende benaderingen voor de realisatie van oplaadinfrastructuur. Dit varieert van een federaal mandaat (Estland) tot autofabrikanten die het voortouw nemen (Japan) en van initiatief bij lokale overheden (België) tot publiek-private samenwerking (Noorwegen) (Estonia, 2011; SAGPA, 2012; ASBE, 2013; Nobil, 2012). Deze verschillende benaderingen zijn waarschijnlijk gerelateerd aan andere factoren, die invloed hebben op adoptie, zoals lokale betrokkenheid.



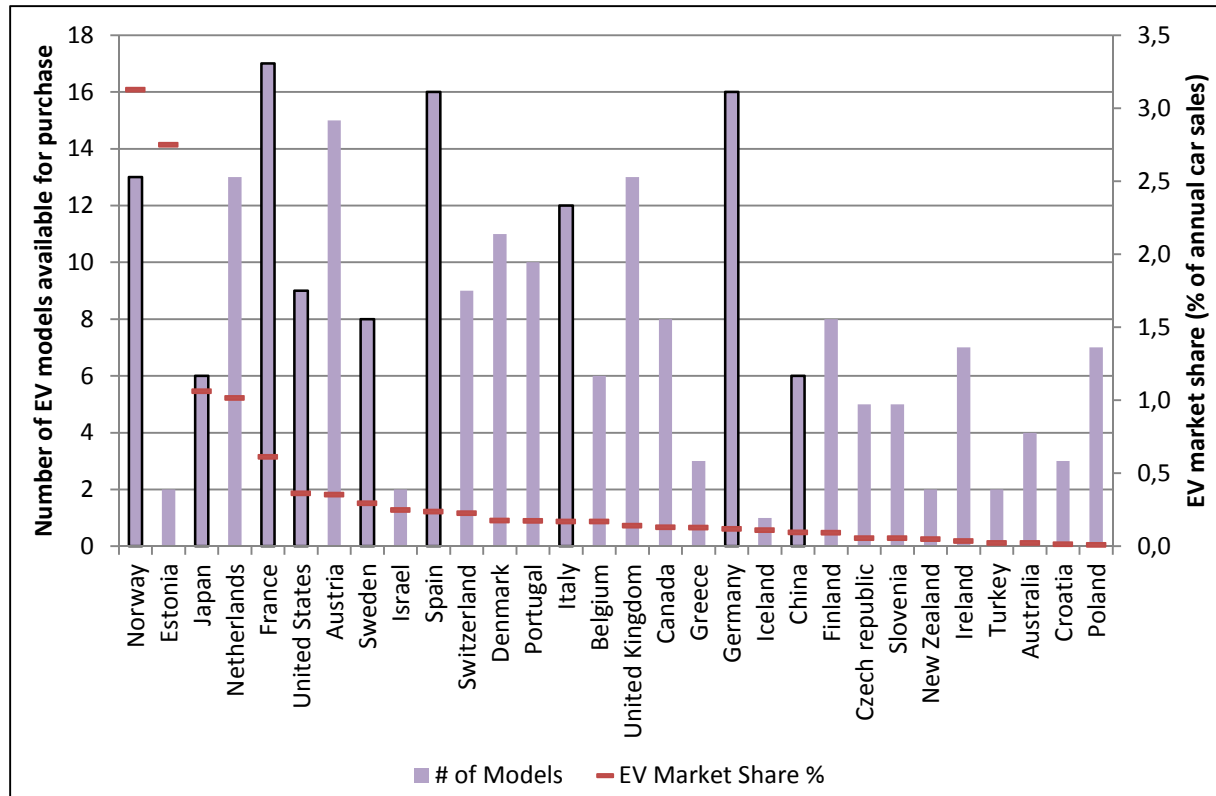
Figuur 3: Nationale laadinfrastructuur per land en bijbehorend marktaandeel van elektrische auto's in 2012

Uit de figuren 1 en 3 blijkt dat vier (van de dertig) landen (Kroatië, Polen, Australië en Turkije) zowel weinig financiële als infrastructurele stimulansen geven om de aanschaf van elektrische auto's te stimuleren.. De overige landen verschillen sterk in de mate waarin ze beleid voeren om de adoptie van elektrische auto's te stimuleren.

Beschikbaarheid van elektrische-automodellen en lokale productie van elektrische auto's

Veel kenmerken van elektrische auto's hangen sterk onderling samen (zie de correlatiematrix, appendix 1). Om beter te begrijpen hoe deze variabelen op elkaar inwerken, laat figuur 4 drie van zulke variabelen zien: het aantal beschikbare modellen, of in een land modellen worden geproduceerd (vetgedrukte kolommen); en marktaandeel van de elektrische auto.

In totaal zijn in 2012 45 verschillende elektrische-automodellen verkocht, waarvan een klein aantal, waaronder de Nissan Leaf, Chevrolet Volt/Opel Ampera en Toyota Plug-in Prius, het leeuwendeel vormden. De Mitsubishi MiEV was het meest beschikbare model en wordt verkocht in 26 van de door ons onderzochte landen. Er is een positieve correlatie tussen het marktaandeel van elektrische auto's in een land en het aantal beschikbare modellen. Onduidelijk is of hier sprake is van een wisselwerking tussen beide variabelen, of dat causaliteit in één richting dominant is. In veel gevallen verkochten fabrikanten eerst een beperkt aantal modellen in hun moederland, zoals Ford in de Verenigde Staten en Mercedes in Duitsland; in deze gevallen experimenteerden de fabrikanten waarschijnlijk met een beperkte productie van verschillende modellen voordat zij hun verkoopinspanningen vergrootten (meer modellen, meer landen).



Figuur 4: Aantal beschikbare elektrische-automodellen op de markt, aanwezigheid van fabrieken (kolommen omkaderd) en het marktaandeel van elektrische auto's

De landen met een eigen fabrieken voor elektrische auto's, zoals Japan, Frankrijk en de VS, hadden de grootste marktaandelen van elektrische auto's. Andere landen die zelf elektrische auto's produceren met lage adoptieniveaus, waaronder Duitsland en Italië, hadden geen modellen uit eigen land beschikbaar. Dit suggereert een sterke relatie tussen adoptie van elektrische auto's door consumenten en productie door fabrikanten uit eigen land. In verschillende grote landen bleek adoptie van in eigen land geproduceerde modellen elektrische auto's groter dan van modellen uit andere landen. Dit was voornamelijk het geval in China en Japan, waar alleen elektrische auto's uit eigen land werden gekocht. Voertuigen van Chinese autofabrikanten zijn zelfs nauwelijks buiten China verkocht. Veel fabrikanten, waaronder Ford, Audi en Mia Electric, verkochten hun voertuigen alleen of voornamelijk in landen waar zij fabrieken hebben. De relatie tussen de variabelen in figuur 4 laat dus een complexe relatie zien tussen consumenten, fabrikanten en de nationale houding tegenover elektrische auto's.

5.3 Resultaten kleinstekwadratenmethode en de betekenis daarvan

Lineaire regressie is toegepast (tabel 3) tussen het logaritme van het marktaandeel van elektrische auto's en financiële stimulansen, stedelijke dichtheid, opleidingsniveau, milieubewustheid, brandstofprijs, prijs van elektrische auto's, aanwezigheid van fabrieken, aantal voertuigen per persoon, beschikbaarheid van modellen, introductiedatum, laadinfrastructuur en elektriciteitsprijs. We hebben grafische en numerieke analyses gebruikt om er zeker van te zijn dat de data voldeden aan de assumpties omtrent lineariteit, (normaal)verdeling en homoscedasticiteit. We hebben ANOVA-testen en histogrammen gebruikt om te testen voor lineariteit, Shapiro-Wilktesten om een normaalverdeling aan te tonen en visuele analyses van scatterplots om te testen voor heteroscedasticiteit. Aangezien de marktaandelen van elektrische auto's scheef naar rechts verdeeld bleken, is een log transformatie ter normalisatie toegepast.

Tabel 3: Resultaten uit regressieanalyse omtrent adoptie van de elektrische auto in 2012

	Niet-gestandaardiseerde coëfficiënt	Gestandaardiseerde coëfficiënt
	B (Std. err.)	Beta
(Constant)	-5,703 (2,858)	
Stimulans	0,006 (0,003)**	0,357
Oplaainfrastructuur	0,131 (0,039)***	0,599
Milieu	0,020 (0,037)	0,106
Brandstof	-0,141 (0,827)	-0,031
Hoofdkantoor	0,926 (0,492)*	0,312
Inkomen	-0,046 (0,036)	-0,336
Autobezit	0,003 (0,002)	0,319
Opleidingsniveau	0,030 (0,003)	0,190
Elektriciteit	-0,221 (0,282)	-0,115
Aantal beschikbare EV's	0,049 (0,056)	0,178
EV introductie	0,122 (0,232)	0,106
EV Prijs	0,008 (0,029)	0,046
Stedelijke dichtheid	0,018 (0,077)	0,056
N	30	
R ²	0,792	
Adjusted R ²	0,623	

*** p<0,01, ** p<0,05, * p<0,1

De adjusted R² uit het model bedroeg 0,623. Dat betekent dat bijna tweederde van de variatie in het marktaandeel van elektrische auto's in een land verklaard kan worden door deze onderzochte variabelen. De coëfficiënten voor de financiële stimulans en de laadinfrastructuur zijn beide positief en statistisch significant met een p-waarde van respectievelijk 0,039 en 0,004. Van deze twee variabelen had de oplaadinfrastructuur hogere Betawaarden (zowel gestandaardiseerd als ongestandaardiseerd). Dit duidt erop dat de aanwezigheid van oplaadinfrastructuur een betere voorspeller is voor adoptie van de elektrische auto dan financiële stimulans, wanneer wordt gecontroleerd voor de andere variabelen in het model. Het installeren van één extra oplaadpunt (per 100.000 inwoners) heeft dus grotere invloed op het marktaandeel dan het verhogen van de financiële stimulans met \$1000. Wel blijft de causaliteit onduidelijk: leidt meer oplaadinfrastructuur tot een hoger marktaandeel of omgekeerd? Of er elektrische auto's in het land worden geproduceerd was ook een significante variabele, alleen in minder mate (met een p-waarde van 0,079).

Uit tabel 3 concluderen we dat - ceteris paribus - een stijging van de financiële stimulans met \$1000 zou leiden tot een stijging van 0,06% marktaandeel. Zo zou in een land met een marktaandeel van 0,22%, door het verhogen van de stimulans met \$2000, dit marktaandeel toenemen tot 0,34%. Eén extra oplaadpunt (per 100.000 inwoners) zal het marktaandeel doen toenemen met 0,12%.

Echter, ook al laat ons model zien dat financiële stimulansen en oplaadinfrastructuur positief gecorreleerd zijn met het adoptieniveau van elektrische auto's in een land, het geen garantie is dat dit voor alle landen geldt. Dit blijkt reeds uit figuur 1 en figuur 3. Zo laat figuur 1 zien dat België en Denemarken hoge financiële stimulansen hebben, maar ook een laag marktaandeel van elektrische auto's. Omgekeerd hebben Zweden en Zwitserland lage stimulansen, maar is het marktaandeel relatief hoog. Figuur 3 laat soortgelijke relaties zien tussen laadinfrastructuur en

marktaandeel. Financiële stimulansen en oplaadinfrastructuur kunnen dus slechts in beperkte mate de adoptie van elektrische auto's voorspellen.

Vergelijken we onze resultaten met die van 'stated preference'-studies, dan blijkt dat hoewel laadinfrastructuur en financiële prikkels (zoals verwacht) significant zijn bij het voorspellen van adoptie van elektrische auto's, dit niet geldt voor socio-demografische variabelen als inkomen, opleidingsniveau, milieubewustheid en stedelijke dichtheid. Dit is in tegenspraak met de bevindingen van (Lane en Potter, 2007; Gallagher en Muehlegger, 2011; Egbue en Long, 2012). Ook de brandstofprijs is niet significant, in tegenstelling tot adoptie van hybride elektrische auto's in eerdere studies (Diamond, 2009; Beresteanu en Li, 2011; Gallagher en Muehlegger, 2011). Er zijn echter fundamentele verschillen tussen deze literatuur en onze studie, die deze verschillende resultaten zouden kunnen verklaren. Ten eerste keken de studies naar hybride elektrische auto's naar één land over verschillende jaren, terwijl onze studie verschillende landen gedurende één jaar onderzocht. Ten tweede was er tijdens die studies een grotere variatie in brandstofprijzen. Omgekeerd kan het ook zijn dat verschillen als de ingewikkelde berekening van totale aankoopkosten en de rol van oplaadinfrastructuur erin, invloed heeft op de relatie tussen brandstofprijzen en de verkoop van elektrische auto's dan van hybride elektrische auto's. Meer onderzoek is nodig om de relatie tussen brandstofprijs en adoptie van elektrische auto's te bepalen, in het bijzonder onderzoek dat meerdere jaren omvat en zich richt op één land.

Gevoeligheidsanalyses

We hebben diverse gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Daaruit blijkt dat het model niet gevoelig is voor het eventueel normaliseren van de oplaadinfrastructuur voor stedelijke dichtheid, en andere discontovoeten en daarmee terugverdientijden. Wel blijkt het model gevoelig voor het verwijderen van de variabelen voor financiële stimulansen en oplaadinfrastructuur: het verwijderen van de variabele voor de financiële stimulansen resulteerde in een substantieel lagere adjusted R². We concluderen dat de laadinfrastructuur in ons model aanzienlijk meer variantie verklaart in het marktaandeel van elektrische auto's dan financiële stimulansen.

Discussie

Een belangrijke vraag is hoe plausibel de resultaten zijn voor landen met zeer lage marktaandelen van EV's. Aan de ene kant is dit naar onze mening geen probleem omdat het marktaandeel een afhankelijke variabele is. Daarbij geldt dat zelfs als dat zeer lage aandeel halveert of verdubbelt, de resultaten nauwelijks zullen wijzigen. Aan de andere kant is een analyse van de invloed van onafhankelijke variabelen op dat marktaandeel robuuster bij hogere marktaandelen. We bevelen daarom aan om, wanneer marktaandelen van EVs zouden toenemen, vergelijkbaar onderzoek over een aantal jaren opnieuw uit te voeren.

Een tweede discussiepunt betreft het feit dat we een cross-sectie analyse hebben uitgevoerd. Het is goed denkbaar dat landen hun fiscale beleid aanpassen aan wijzigende omstandigheden. Ook beleid ten aanzien van bijvoorbeeld laadinfrastructuur zal wellicht in de toekomst wijzigen, tenminste in sommige landen. We raden toekomstig longitudinaal onderzoek aan zodra er voldoende longitudinale data beschikbaar zijn.

6. Conclusies

In dit paper is de invloed van financiële stimulansen en andere socio-economische factoren op de adoptie van elektrische voertuigen multinationalaal vergeleken. Financiële stimulansen, aantal oplaadpunten (naar populatie) en de aanwezigheid van een fabriek die elektrische auto's produceren bleken positief samen te hangen met de adoptie van elektrische auto's. Van deze variabelen was het aantal oplaadpunten de beste voorspeller voor het marktaandeel in een land.

Een tweede conclusie uit onze analyse is dat specifieke kenmerken van elektrische auto's significant bij te dragen aan de voorspelling van de adoptie, terwijl algemene socio-demografische factoren als inkomen, opleidingsniveau en milieubewustheid dit niet doen.

6.1 *Implicaties voor beleid*

Onze resultaten suggereren dat het verstrekken van consumentensubsidies en/of het vergroten van het aantal oplaadpunten effectieve beleidsmaatregelen om het aandeel van elektrische auto's te doen toenemen. Omdat adoptie door consumenten erg belangrijk is tijdens de introductie van radicale innovaties (Nemet en Baker, 2009), kunnen zulke maatregelen een groot verschil uitmaken voor de verkoop van elektrische auto's in de komende decennia. Omdat het aantal oplaadpunten de sterkste voorspeller van adoptie van elektrische auto's bleek, is het aanleggen van voldoende oplaadpunten wellicht effectiever dan het verhogen van consumentensubsidies. Echter, omdat deze twee factoren waarschijnlijk complementair zijn, zal het stimuleren van beide beleidsmaatregelen leiden tot een hoger marktaandeel dan de beperking tot één van deze.

Terwijl nationale overheden voornamelijk verantwoordelijk zijn voor consumentensubsidies, zijn de oplaadpunten voornamelijk de verantwoordelijkheid van lokale overheden (IEA, 2013). De IEA (2013) concludeert echter dat de "uitgaven aan infrastructuur relatief beperkt waren" (p.16), wat suggereert dat een betere coördinatie tussen lokale en nationale overheden gewenst is (Bakker en Trip, 2013).

Hoewel subsidies en de aanleg van oplaadpunten wellicht effectief zijn voor de adoptie van elektrische auto's, is de volgende vraag of ze ook efficiënt zijn in maatschappelijke en economische zin. Om deze vraag te beantwoorden, is een ex-ante kosteneffectiviteitsanalyse (KEA) of kostenbatenanalyse (KBA) nodig. Echter, door de dynamische aard van radicale innovaties is enige voorzichtigheid bij het toepassen van deze methoden gewenst. Hoewel elektrische auto's broeikasgasemissies niet aanzienlijk kunnen verminderen op de korte termijn, hebben ze wel een relatief groot potentieel op de langere termijn (IEA, 2012c), ervan uitgaande dat het aandeel duurzame elektriciteit drastisch zal stijgen. Daarom kunnen financiële stimulansen vandaag de dag belangrijk zijn voor de stimulering van brede adoptie in de toekomst.

Daarnaast is het moeilijk om de kosten van de financiële stimulansen voor gebruik van elektrische auto's te vergelijken met andere beleidsmaatregelen die CO₂-emissies verminderen. Financiële stimulansen voor de verkoop van elektrische auto's kunnen op tijdelijke basis nodig zijn in de introductiefase van elektrische auto's, omdat ze nog niet kunnen concurreren met conventionele voertuigen met verbrandingsmotor. Als over een aantal decennia elektrische auto's een succes blijken, zou kunnen blijken dat financiële stimulansen bijgedragen hebben aan dit succes. Met andere woorden, er zou een sneeuwbaal effect kunnen ontstaan door deze financiële stimulansen, maar dit is moeilijk op te nemen in een conventionele KEA of KBA. Daarom suggereren wij dat deze analyses gebruikt kunnen worden bij de besluitvorming, maar dat de uitkomsten altijd in perspectief gezien moeten worden en dat de besluitvormers bij het interpreteren van deze uitkomsten altijd de lange termijn voor ogen moet hebben.

6.2 *Aanbevelingen voor verder onderzoek*

In dit onderzoek is gekeken naar de totale oplaadinfrastructuur in een land, waarbij niet is meegenomen hoe de verdeling van oplaadpunten (veel in één stad, weinig op andere plaatsen) van invloed is op de adoptie van elektrische auto's. Omdat lokale overheden veelal een belangrijke rol spelen bij de installatie van de oplaadinfrastructuur, kan hun toewijzing van groot belang zijn voor de adoptie in een land (Bakker en Trip, 2013). Daarom bevelen wij onderzoek aan naar de relatie tussen de distributie van de laadinfrastructuur en de adoptie van elektrische auto's in een land.

Daarnaast blijkt uit ons model dat de oplaadinfrastructuur en de financiële stimulansen sterke voorspellers zijn bij het schatten van adoptie in de door ons onderzochte landen. Het zou echter kunnen zijn dat deze variabelen gerelateerd zijn aan andere belangrijke factoren die we niet hebben gemeten; deze factoren verklaren misschien mede de variatie in adoptie. Verder onderzoek is nodig om het belang van oplaadinfrastructuur en financiële stimulansen te onderzoeken, en om te verkennen of er nog andere factoren een rol spelen. Zo kunnen bijvoorbeeld schommelingen in de brandstofprijzen, die nu niet zijn meegenomen, invloed hebben op de adoptie.

Dankwoord

Wij zijn erkentelijk voor de bijdragen van Eric Molin (TU Delft) en James Dunn (Universiteit van Wisconsin-Madison). Ondersteuning werd verleend door de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek en de Universiteit van Wisconsin-Madison Center for Sustainability and the Global Environment.

Referenties

- Adner, R. (2002). When are technologies disruptive? A demand-based view of the emergence of competition. *Strateg. Manag. J.*, 23, 667–688.
- Anderson, P., and Tushman, M. (1990). Technological discontinuities and dominant designs: a cyclical model of technological change. *Adm. Sci. Q.*, 35, 604–633.
- Arrow, K. (1962). The economic implications of learning by doing. *Rev. Econ. Stud.*, 29 (3), 155–173.
- Arrow, K. (1966). Exposition of the theory of choice under uncertainty. *Synthese*, 16(3–4), 253–269.
- ASBE (2013). Charging Locations. (<http://www.asbe.be/en/locations>) (accessed 03.04.13).
- Bakker, S. en Trip, J. (2013). Policy options to support the adoption of electric vehicles in the urban environment. *Transp. Res. Part D*, 25, 18–23.
- Beresteanu, A., en Li, S. (2011). Gasoline prices, government support, and the demand for hybrid vehicles in the United States. *Int. Econ. Rev.*, 52(1), 161–182.
- Brown, M. (2001). Market failures and barriers as a basis for clean energy policies. *Energy Policy*, 29, 1197–1207.
- Brownstone, D., Bunch, D., en Train, K. (2000). Joint mixed logit models of stated and revealed preferences for alternative-fuel vehicles. *Transp. Res. Part B*, 34, 315–338.
- Chargemap (2013). (<http://chargemap.com>) (accessed 03.04.13).
- Christensen, C. (1997). *The Innovator's Dilemma*. Harvard Business School Press, Boston, MA.
- Demographia (2013). *Demographia World Urban Areas 9th Annual Edition*.
- Diamond, D. (2009). The impact of government incentives for hybrid-electric vehicles: evidence from US states. *Energy Policy*, 37, 972–983.
- Dijk, M., Orsato, R., en Kemp, R. (2013). The emergence of an electric mobility trajectory. *Energy Policy*, 52, 135–145.
- Egbue, O., en Long, S. (2012). Barriers to widespread adoption of electric vehicles: an analysis of consumer attitudes and perceptions. *Energy Policy*, 48, 717–729.
- Eppstein, M., Grover, D., Marshall, J., en Rizzo, D. (2011). An agent-based model to study market penetration of plug-in hybrid electric vehicles. *Energy Policy*, 39, 3789–3802.
- Estonia (2011). *Estonia Will Promote the Use of Electric Cars Under a Green Investment Scheme*. Government Communication Unit, 03 March 2011.
- Eurostat (2013). Electricity Households. (<http://www.energy.eu/#domestic>) (accessed 28.08.13).
- Foster, R. (1986). *Innovation: The Attacker's Advantage*. Macmillan, London.
- Gallagher, K., en Muehlegger, E. (2011). Giving green to get green? Incentives and consumer adoption of hybrid vehicle technology. *J. Environ. Econ. Manag.*, 61(1), 1–15.
- Geels, F. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Res. Policy*, 31(8–9), 1257–1274.
- Greene, D., Patterson, P., Singh, M., and Li, J. (2005). Feebates, rebates and gas-guzzler taxes: a study of incentives for increased fuel economy. *Energy Policy*, 33, 757–775.
- Gronnbil (2013). (<http://www.gronnbil.no>) (accessed 13.07.13).
- Hidrué, M., Parsons, G., Kempton, W., en Gardner, M. (2011). Willingness to pay for electric vehicles and their attributes. *Resour. Energy Econ.*, 33, 686–705.

Horbach, J. (2008). Determinants of environmental innovation—new evidence from German panel data sources. *Res. Policy*, 37, 163–173.

IEA (2011). Technology Roadmap Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles. OECD/IEA, Paris.

IEA (2012a). Key World Energy Statistics 2012. OECD/IEA, Paris.

IEA (2012b). World Energy Outlook 2012. OECD/IEA, Paris.

IEA (2012c). Tracking Clean Energy Progress: Energy Technology Perspectives 2012 Excerpt as IEA Input to the Clean Energy Ministerial.

IEA (2013). Global EV Outlook: Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020. OECD/IEA, Paris.

IPCC (2012). Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York, NY.

Jaffe, A., en Stavins, R. (1994). The energy-efficiency gap: what does it mean? *Energy Policy*, 22, 804–810.

Jaffe, A., Newell, R., en Stavins, R. (2005). A tale of two market failures: technology and environmental policy. *Ecol. Econ.*, 54, 164–174.

Lane, B., en Potter, S. (2007). The adoption of cleaner vehicles in the UK: exploring the consumer attitude-action gap. *J. Clean. Prod.*, 15, 1085–1092.

Lemnet.org (2013). (<http://lemnet.org>) (accessed 03.04.13).

Lesaffre, E., Rizopoulos, D., en Tsonaka, R. (2007). The logistic transform for bounded outcome scores. *Biostatistics*, 8 (1), 72–85.

Levine, M., Koomey, J., McMahon, J., Sanstad, A., en Hirst, E. (1995). Energy efficiency policy and market failures. *Annu. Rev. Energy Environ.*, 20, 535–555.

Lieven, T., Muhlmeier, S., Henkel, S., en Walker, J. (2011). Who will buy electric cars? An empirical study in Germany. *Transp. Res. Part D*, 16 (3), 236–243.

Marklines (2013). Statistics—Sales Database Search. (http://www.marklines.com/en/vehicle_sales/search_model) (accessed 15.12.13).

Menanteau, P., en Lefebvre, H. (2000). Competing technologies and the diffusion of innovations: the emergence of energy-efficient lamps in the residential sector. *Res. Policy*, 29, 375–389.

Mnt.ee (2013). 2012 Estonian Vehicle Registrations by Motor Type. (www.mnt.ee) (accessed 15.12.13).

Nelson, R., en Winter, S. (1977). In search of a useful theory of innovation. *Res. Policy*, 6, 136–176.

Nelson, R., en Winter, S. (1982). An Evolutionary Theory of Economic Change. Harvard University Press, Cambridge, MA.

Nemet, G., en Baker, E. (2009). Demand subsidies versus R&D: comparing the uncertain impacts of policy on a pre-commercial low-carbon energy technology. *Energy J.*, 30 (4), 49–80.

Nesbitt, K., en Sperling, D. (1998). Myths regarding alternative fuel vehicle demand by light-duty vehicle fleets. *Transp. Res. Part D*, 3 (4), 259–269.

Neubauer, J., Brooker, A., en Wood, E. (2012). Sensitivity of battery electric vehicle economics to drive patterns, vehicle range, and charge strategies. *J. Power Sources*, 209, 269–277.

Nobil (2012). The Norwegian Charging Station Database for Electromobility. Oslo, Norway.

Rennings, K. (2000). Redefining innovation—eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecol. Econ.*, 32, 319–332.

Reuters (2012). TABLE—China Retail Gasoline, Diesel Prices Since 2003. (<http://af.reuters.com/article/energyOilNews/idAFL4E8D75DN20120207>) (accessed 10.07.12).

Rogers, E. (1995). *Diffusion of Innovations*, 4th edition The Free press, New York, NY

SAGPA (2012). Re-charged for Success. The Third Wave of Electric Vehicle Promotion in Japan. Östersund, Sweden.

Saxton, T. (2013). Understanding Electric Vehicle Charging. Plug in America. (<http://www.pluginamerica.org/drivers-seat/understanding-electric-vehicle-charging>) (accessed 27.08.13).

Schleich, J. (2009). Barriers to energy efficiency: a comparison across the German commercial and services sector. *Ecol. Econ.*, 68 (7), 2150–2159.

Shafiei, E., Thorkelsson, H., Ásgeirsson, E., Davidsdottir, B., Raberto, M., en Stefansson, H., (2012). An agent-based modeling approach to predict the evolution of market share of electric vehicles: a case study from Iceland. *Technol. Forecast. Soc. Change*, 79 (9), 1638–1653.

Sierzchula, W., Bakker, S., Maat, K., en van Wee, B. (2012). Technological diversity of emerging eco-innovations: a case study of the automobile industry. *J. Clean. Prod.*, 37, 211–220.

Sovacool, B., en Hirsh, R. (2009). Beyond batteries: an examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid (V2G) transition. *Energy Policy*, 37 (3), 1095–1103.

Struben, J., en Sterman, J. (2008). Transition challenges for alternative fuel vehicle and transportation systems. *Environ. Plan. B: Plan. Des.*, 35, 1070–1097.

Teece, D. (1986). Profiting from technological innovation: implications for integration, collaboration, licensing and public policy. *Res. Policy*, 15, 285–305.

Tran, M., Banister, D., Bishop, J., en McCulloch, M. (2012). Realizing the electric-vehicle revolution. *Nat. Clim. Change*, 2, 328–333.

Turrentine, T., en Kurani, K. (2007). Car buyers and fuel economy? *Energy Policy*, 35, 1213–1223.

Tushman, M., en Anderson, P. (1986). Technological discontinuities and organizational environments. *Adm. Sci. Q.* 31, 439–465.

UNEP (2012). The European Union Automotive Fuel Economy Policy. (http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/case_studies/europe/cs_eu_0.asp) (accessed 28.06.12).

Van den Bergh, J., Faber, A., Idenbrug, A., Oosterhuis, F. (2006). Survival of the greenest: evolutionary economics and policies for energy innovation. *Environ. Sci.*, 3 (1), 57–71.

World Bank (2012a). Road Sector Gasoline Fuel Consumption (kt of oil equivalent).

World Bank (2012b). Road Sector Diesel Fuel Consumption (kt of oil equivalent).

World Bank (2013a). GNI per Capita (PPP).

World Bank (2013b). Percent of Labor Force with Tertiary Education.

World Bank (2013c). GDP Ranking, PPP Based.

Yale (2013). Environmental Performance Index 2012. (<http://epi.yale.edu/epi2012/rankings>) (accessed 11.06.13).

Yeh, S. (2007). An empirical analysis on the adoption of alternative fuel vehicles: the case of natural gas vehicles. *Energy Policy*, 35, 5865–5875.

Zhang, X., Wang, K., Hao, Y., Fan, J., en Wei, Y. (2013). The impact of government policy on preference for NEVs: the evidence from China. *Energy Policy*, 61, 382–393.

Zubaryeva, A., Thiel, C., Barbone, E., en Mercier, A. (2012). Assessing factors for the identification of potential lead markets for electrified vehicles in Europe: expert opinion elicitation. *Technol. Forecast. Soc. Change*, 79, 1622–1637.

Appendix 1: Correlaties tussen variabelen

	Market share	Incentive	Env	Fuel	Chg infra	HQ	Income	Per cap vehicle s	Ed	Elec	Avail	EV intro	EV price	Urban density
Mar share														
Incentive	,498**													
Env	,258	-,115												
Fuel	-,091	-,015	,182											
Chg infra	,697**	,380*	,260	,107										
HQ	,400*	-,058	,048	-,183	,011									
Income	,443*	,135	,586**	-,081	,455*	,163								
Per cap veh	,142	-,111	,565**	-,141	-,049	,036	,647**							
Ed	,347	,366*	,048	-,263	,213	,042	,514**	,320						
Elec	,089	,112	,304	,082	,065	,085	,313	,241	,002					
Avail	,375*	-,141	,423*	-,136	,259	,524**	,403*	,174	-,117	,463**				
EV intro	,553**	,130	,375*	-,159	,447*	,492**	,559**	,250	,053	,274	,542**			
EV Price	-,448*	-,311	-,380*	,282	-,361	-,133	-,461*	-,336	-,419*	-,065	-,201	-,391*		
Urb Den	-,277	-,139	-,477**	,433*	-,135	-,043	-,622**	-,739**	-,392*	-,200	-,235	-,247	,448*	

**Significant at the 0,01 level (2-tailed).

*Significant at the 0,05 level (2-tailed).

Uitleg bij de afkortingen (zie tabel 1 voor een uitgebreidere omschrijving)

Mar share	Martaandeel elektrische auto's
Incentive	Financiële incentives gericht op elektrische auto's
Env	Indicator voor milieubewustheid
Fuel	Brandstofkosten
Chg infra	Indicator voor laadinfrastructuur
HQ	Indicator voor de aanwezigheid hoofdkantoor automotieve bedrijf op EV gebied
Income	Indicator nationaal inkomen per hoofd van de bevolking
Per cap veh	Voertuigen per hoofd van de bevolking
Ed	Opleidingsniveau
Elec	Elektriciteitsprijs
Avail	Aantal modellen (typen) elektrische voertuigen verkocht in 2011
EV intro	Jaar waarin elektrische auto's in een land voor het eerst zijn verkocht
EV Price	Prijs Mitsubishi MiEV
Urb Den	Stedelijke dichtheid
