

De invloed van de stedelijke omgeving en routekeuze op de actieradius van elektrische voertuigen

Alex Donkers

Technische Universiteit Eindhoven¹

Jeroen Quee

Sweco Nederland B.V.²

Luuk de Vries

Sweco Nederland B.V.³

Themanummer CVS 2019

Uitgebreide samenvatting op basis van een CVS-artikel. Het volledige artikel staat op:

https://www.cvs-congres.nl/e2/site/cvs/custom/site/upload/file/cvs_2019/sessie_e/e4/cvs_78_het_gebruik_van_stedelijke_data_om_de_actieradius_en_routekeuze_van_elektrische_voertuigen_te_optimaliseren_1_2019.pdf

¹Technische Universiteit Eindhoven: E: a.j.a.donkers@tue.nl

²Sweco Nederland B.V.: E: jeroen.quee@sweco.nl

³Sweco Nederland B.V.: E: luuk.devries@sweco.nl

1. Inleiding

Voertuigen met verbrandingsmotoren hebben een grote invloed op onze levenskwaliteit door de uitstoot van broeikasgassen, geluidsoverlast en uitstoot van fijnstof. Elektrische auto's beloven deze problemen te verminderen en geven een impuls aan de economie. De verkoop van elektrische auto's wordt belemmerd door angst bij de consument, genaamd *range anxiety* (Deloitte, 2018), veroorzaakt door de lage batterijcapaciteit, lange oplaadtijd en een gebrek aan laadinfrastructuur. Gezien echte doorbraken in batterijcapaciteit en laadinfrastructuur op korte termijn niet worden verwacht (Donkers, 2019), is een andere methode om *range anxiety* te verminderen onderzocht; namelijk door de energie-efficiëntie van de rit te optimaliseren. Zweeds onderzoek toont aan dat bijna de helft van de ritten energie zouden kunnen besparen door enkel een andere route te kiezen (Boriboonsomsin et al., 2012). Meer inzicht in het energieverbruik van elektrische auto's is daarbij essentieel.

Academici hebben in de loop der jaren verschillende energievoorspellingsmodellen gemaakt (Donkers, 2019). Onderzoek is gedaan naar de invloed van rolweerstand, hoogtevverschillen, drempels, verkeersintensiteit, automatisering, rijstijl en de invloed van weer. Echter gebruiken veel modellen historische, geaggregeerde data en wordt de invloed van variabelen uit de gebouwde omgeving niet voldoende meegenomen. Door ontwikkelingen in microscopische verkeersmodellen is het mogelijk om complexe situaties te modelleren voor individuele voertuigen met real-time data (Donkers, 2019). Dit onderzoek gebruikt microscopische verkeersmodellen om de invloed van rijstijl, weer, infrastructuur en verkeersintensiteit op het energieverbruik van elektrische auto's te voorspellen.

2. Methode

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden is een combinatie van verschillende methodes gebruikt. Allereerst is er op basis van een literatuuronderzoek een energievoorspellingsmodel gemaakt. Verschillende scenario's, met verschillen in rijstijl, weersomstandigheden, infrastructuur en verkeersintensiteit zijn vervolgens gemodelleerd middels microscopische verkeerssimulaties in VISSIM. De output hiervan, de gemodelleerde snelheid met een granulariteit van 0,1 seconde, is als input gebruikt voor het energiemodel. Hieronder zijn de belangrijkste componenten van de methodologie beschreven.

2.1 Energievoorspellingsmodel

Op basis van een literatuuronderzoek (o.a. Wang et al., 2017) is een energievoorspellingsmodel opgesteld. De totale energie welke nodig is om een elektrisch voertuig te laten rijden is gedefinieerd als:

$$E_{Tank-to-wheel} = \frac{((f_r mg \cos(\theta) + \frac{1}{2} \rho A C_d (v-w)^2 + mg \sin(\theta) + 1,05 * ma) * v + P_{aux}) * t}{\eta_{powertrain}} \quad (i)$$

Waarbij f_r de rolweerstandscoefficiënt is, m [kg] de massa van het voertuig inclusief bestuurder, g [m/s²] de gravitatieconstante, θ [rad] de helling van het wegdek, ρ [kg/m³] de luchtdichtheid, A

[m²] het frontale oppervlak van het voertuig, C_d de luchtweerstandscoefficiënt, v en w [m/s] respectievelijk de rij- en windsnelheid en a [m/s²] de acceleratie. Daarnaast omschrijft P_{aux} [W] het vermogen dat wordt gebruikt door alle elektronische apparatuur (zoals verlichting, verwarming, airco, radio en ruitenwissers) en omschrijft $\eta_{powertrain}$ [-] het rendement van energieomzetting tussen de batterij en het wiel. In de voorspelling is regeneratief remmen meegenomen op basis van berekeningen door Xu et al. (2015) en is de efficiëntie daarvan gesteld op 15% voor agressieve bestuurders, 40% voor normale bestuurders en 90% voor eco-bestuurders. Het rendement van de powertrain is gesteld op 85% voor een BMW i3 gebaseerd op berekeningen door Donkers (2019).

2.2 Modelvariabelen

Verschillende variabelen zijn meegenomen in het verkeersmodel om de energieconsumptie zo accuraat mogelijk te voorspellen. Allereerst zijn drie rijstijlen gemodelleerd: eco-rijden, normaal rijden en agressief rijden. Deze verschillen in snelheid (eco-rijden 95%, normaal 100%, agressief 105%), en ook is er rekening gehouden met verschillen in acceleratie en deceleratie, laterale acceleratie, efficiëntie van regeneratief remmen, zoals omschreven door Donkers (2019). Het microscopische voertuiggedrag wordt voornamelijk bepaald door het Wiedemann car-following model.

Het weer heeft invloed op de energieconsumptie via de buitentemperatuur, luchtdruk, relatieve luchtvochtigheid, luchtdichtheid en windsnelheid. In Donkers (2019) is de invloed van individuele weersvariabelen berekend. In de case study in dit onderzoek is gevarieerd met temperatuur, die op zijn beurt invloed heeft op o.a. luchtdruk, luchtvochtigheid en luchtdichtheid. Verschillende typisch Nederlandse scenario's zijn vergeleken. De invloed van extreem weer op het rijgedrag, zoals door slecht zicht of een glad wegdek, zijn niet vergeleken, daarvoor is vervolgonderzoek nodig.

Verschillende infrastructurele elementen zijn in VISSIM gemodelleerd op basis van de snelheidsreductie die deze elementen veroorzaken. Deze reductie is per element onderzocht op basis van literatuur, en gedetailleerd omschreven door Donkers (2019). De snelheidsremmende elementen beïnvloeden de energieconsumptie voornamelijk door de veroorzaakte deceleratie, acceleratie en het verschil in rolweerstand. Bochten, hellingen, verschillende wegtypes, drempels, verkeerslichten en OV-haltes zijn in dit onderzoek in VISSIM gemodelleerd en onderzocht.

2.3 Case study: Nieuwegein (Utrecht, NL)

Voor deze studie zijn drie routes in Nieuwegein gekozen en gemodelleerd om de invloed van al deze variabelen te meten. Deze routes hebben hetzelfde vertreklocatie en bestemming en zijn vergelijkbaar in reistijd, en bevatten alle elementen beschreven in 2.2. De eerste route (3,1 km) is een typische 30-weg door een woonwijk met veel drempels, de tweede route (3,7 km) is een route door het centrum met 50 km/u en veel verkeerslichten en de laatste route (4,5 km) maakt gebruik van de snelweg. In Nieuwegein zijn 4 scenario's onderzocht: een leeg netwerk met enkel de meetvoertuigen, een scenario in de ochtendspits, een scenario waar een grootschalige eco-strategie wordt getest en een scenario in de winter. In alle scenario's is tijdens de simulaties voor de meetvoertuigen een mix van rijstijlen toegepast. Het overige verkeer, gesimuleerd op basis van verkeerstellingen door VRU, bestaat in scenario 2 en 4 ook een mix van rijstijlen. In scenario 3 is al het overige verkeer middels de eco-rijstijl gemodelleerd. De routekeuze van het overige verkeer is gemodelleerd op basis van een Kirchhoff-verdeling en komt overeen met de VRU-tellingen.

3. Resultaten

3.1 De invloed van rijstijl

De rijstijl van de bestuurder heeft een groot effect op het energieverbruik en daarmee de range van het elektrische voertuig. Agressievere bestuurders proberen kosten wat het kost hun (hoge) wensnelheid te bereiken, waarmee zowel de grilligheid als de amplitude van het accelereren en decelereren toeneemt. Dit heeft tot wel 17% meer energieverbruik tot gevolg dan een eco-rijstijl wanneer op de snelweg 130 km/h wordt gereden. Opvallend was tevens dat we concluderen dat als we de grilligheid in acceleratie en deceleratie door gebruik van cruise-control wegnemen, het energieverbruik in extreme gevallen met 53% af kan nemen.

3.2 De invloed van het weer.

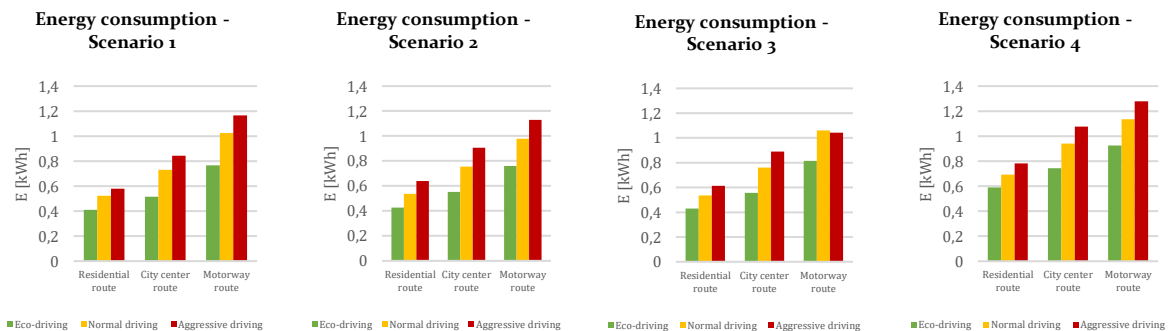
Het weer heeft specifiek bij lage snelheden een enorme invloed op het energieverbruik. Het verschil tussen energieverbruik bij 0°C is tweemaal zo hoog als het energieverbruik bij 20°C, voornamelijk vanwege het gebruik van het onboard klimaatsysteem. Specifiek de invloed van wachttijd voor het verkeerslicht kan bij koude weersomstandigheden groot zijn. Wind is tevens een belangrijke factor, met bij een storm (ca. 100 km/h) driemaal zo veel verbruik tot gevolg in vergelijking tot windstil.

3.3. De invloed van het wegontwerp

Het wegontwerp heeft voornamelijk invloed op het energieverbruiken vanwege de verschillen in rolweerstand, zwaartekracht en de hoeveelheid remmen en optrekken. Het effect van klinkers ten opzichte van asfalt heeft een ca. 20% hoger energieverbruik tot gevolg. Een helling van 1° heeft afhankelijk van de rijsnelheid een ca. 30% hoger energiegebruik bij ca. 130 km/h, tot 100% hoger energieverbruik bij 30 km/h tot gevolg. Ook snelheidsdrempels en verkeerslichten hebben een groot gevolg op het energieverbruik, met tot maar liefst viermaal het energieverbruik tot gevolg voor agressieve bestuurders.

3.4 Case study resultaten

In onderstaande grafieken is het energieverbruik per route, per rijstijl en per scenario weergegeven. We zien in onderstaande grafieken dat over het algemeen geldt dat hoe agressiever de rijstijl, hoe hoger het energieverbruik. Maar ook zien we dat het energieverbruik tussen de scenario's (1: enkel meetvoertuigen, 2: ochtendspits, 3: eco-strategie en 4: winter) duidelijk verschilt.



Figuur 1: Energieverbruik uitgesplitst naar rijstijl, route (woonwijk, stedelijk, snelweg) en scenario.

De meest opvallende resultaten vanuit de case study waren, per scenario:

1. Zoals verwacht verbruikt de agressieve bestuurder meer energie dan de eco-bestuurder, en kost de route over de snelweg meer energie dan die door de woonwijk.
2. In de ochtendspits neemt reistijd in het netwerk toe, maar blijft het extra energieverbruik beperkt, doordat bestuurders minder hard kunnen rijden.
3. Als we met z'n allen eco-rijden, dan neemt de capaciteit van het netwerk dusdanig veel af, dat de reistijd in het netwerk extreem uitvalt. De besparing in energieverbruik is nauwelijks zichtbaar.
4. Voor in de winter schiet het energieverbruik door gebruik van de verwarming enorm omhoog. Bij langzaam rijdend verkeer werd 40% van het totale energieverbruik in het model, veroorzaakt door het klimaatsysteem.

4. Handelingsperspectief

Vanuit deze resultaten is het overduidelijk geworden dat de routekeuze voor elektrische voertuigen van meer variabelen afhankelijk is dan simpelweg tijd en afstand. Voornamelijk vanwege het feit dat het elektrische verbruik significant wordt beïnvloed door deze variabelen. Het gebruik van real-time stedelijke data biedt derhalve handvaten om de routekeuze van deze voertuigen te beïnvloeden, waarmee de range van de voertuigen significant kan worden verhoogd. Het geeft derhalve de kans om het gebruik van elektrische voertuigen in een stedelijke omgeving te stimuleren. We hebben in ons onderzoek een aantal kansen geïdentificeerd, welke we verder uitschrijven.

Het handelen van navigatiebedrijven – De term ‘meest economische route’ is in veel navigatiesystemen reeds een veelgebruikte optie die onafhankelijk is van bijvoorbeeld het weer of wegontwerp. Het gebruik van real-time data maakt het mogelijk om deze optie te dynamiseren en specifiek geschikt te maken voor bestuurders van een elektrisch voertuig die hun range willen maximaliseren.

Het handelen vanuit verkeersmanagement – Vanuit verkeersmanagement wordt in traditionele zin veelal gefocust op verkeersafwikkeling. Met behulp van dynamische routeinformatie, implementatie van de groene golven en verkeersscenario's wordt gepoogd de doorstroming te vergroten. Vanuit verkeersmanagement is stedelijke data waardevol om de systemen en oplossingen voor het vergroten van de doorstroming verder te ontwikkelen. Specifiek om vanuit die data een betrouwbaar, waardevol en robuust dynamisch advies te geven voor de bestuurder van een elektrisch voertuig.

We hebben tevens geïdentificeerd dat de bestuurder een belangrijke rol speelt. En hier zit nog een groot kennishiaat. Hoe gaat de bestuurder reageren? En kunnen we een businessmodel ontwikkelen waar het delen van data zowel positief is voor de gebruiker, als de maatschappij? Nader onderzoek is in onze ogen essentieel om de juiste methoden te vinden om range van het elektrisch voertuig te vergroten én daarbij tevens de angst van de bestuurder omwille van de beperkte range, weg te nemen.

Referenties

- Boriboonsomsin, K., Barth, M. J., Zhu, W., & Vu, A. (2012). *Eco-routing navigation system based on multisource historical and real-time traffic information*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 13(4), 1694-1704. <https://doi.org/10.1109/TITS.2012.2204051>
- Deloitte. (2019). *New market. New entrants. New challenges. Battery Electric Vehicles*. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/manufacturing/deloitte-uk-battery-electric-vehicles.pdf>
- Donkers, A. J. A. (2019). *Improving the range of EVs through urban data: The impacts of environmental variables, driving style and route choice on the energy efficiency of electric vehicles*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34354.56006>
- Wang, J., Besselink, I., & Nijmeijer, H. (2018). *Battery electric vehicle energy consumption prediction for a trip based on route information*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 232(11), 1528-1542. <https://doi.org/10.1177%2F0954407017729938>
- Xu, G., Xu, K., Zheng, C., Zhang, X., & Zahid, T. (2015). *Fully electrified regenerative braking control for deep energy recovery and maintaining safety of electric vehicles*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 65(3), 1186-1198.: <https://doi.org/10.1109/TVT.2015.2410694>