

Met de stroom mee naar de hub

*Een kwantitatief onderzoek naar de
kansen van het laden van private EV's
op mobiliteitshubs*

Masterthesis
Human Geography
Faculteit Geowetenschappen
Universiteit Utrecht

Auteur: Dennis M. Ernst
Studentnummer: 5958474

Begeleider Universiteit Utrecht:
Dr. Francisco J. Bahamonde Birke

Stagebegeleider Goudappel:
Nick Juffermans

05-08-2021

Met de stroom mee naar de hub

***Een kwantitatief onderzoek naar de
kansen van het laden van private EV's
op mobiliteitshubs***

**Masterthesis
Human Geography
Faculteit Geowetenschappen
Universiteit Utrecht**

**Auteur: Dennis M. Ernst
Studentnummer: 5958474**

**Begeleider Universiteit Utrecht:
Dr. Francisco J. Bahamonde Birke**

**Stagebegeleider Goudappel:
Nick Juffermans**

05-08-2021

Foto voorblad: Graft Architects, 2021

Voorwoord

Beste lezer,

Voor u ligt “Met de stroom mee naar de hub: een kwantitatief onderzoek naar de kansen van het laden van private EV’s op mobiliteitshubs”. Dit onderzoek geldt als masterscriptie voor de opleiding *Human Geography* met als track *Daily Life & Public Space* aan de Universiteit Utrecht. Daarnaast is dit onderzoek onderdeel van een afstudeerstage bij Goudappel, een adviesbureau voor mobiliteit. Het onderzoeksproces startte in februari 2021 en inmiddels, na ruim 6 maanden hard werken, is dit verslag het eindresultaat.

Bij aanvang van het onderzoeksproces heb ik bewust gekozen om een afstudeerstage te combineren met het schrijven van mijn masterscriptie. Inmiddels ruim een jaar geleden (juni 2020) leverde ik mijn bachelorscriptie in. Toen al was het onderwerp gericht op een mobiliteitsvraagstuk. Die interesse is niet vervaagd en daarom besloot ik te solliciteren voor een afstudeerstage bij Goudappel, een van de toonaangevende mobiliteitsbureaus in Nederland. Hier heb ik geen spijt van gekregen. Van begin tot eind heb ik het, ondanks de voornamelijk online werkomgeving, enorm naar mijn zin gehad binnen het bedrijf, kon ik meewerken met projecten en werd bovendien met me meegedacht als er problemen ontstonden in mijn onderzoeksproces. In het bijzonder wil ik Nick Juffermans, mijn stagebegeleider, bedanken voor zijn hulp, expertise en enthousiasme.

Verder wil ik Francisco Bahamonde Birke, mijn begeleider van de Universiteit Utrecht, bedanken voor zijn uitgebreide hulp. Met name tijdens de data-analyse heb ik veel van hem geleerd. Ik had zelf nog nooit eerder geprogrammeerd in Python en zonder zijn hulp had ik de resultaten van dit onderzoek niet kunnen vergaren. Tot slot ontkomen ook mijn familie en vrienden, mijn huisgenoten en mijn vriendin niet aan een dankwoord. Ten tijde van de coronacrisis is thuiswerken het devies en is sociaal contact enorm verminderd. Het uitvoeren van dit onderzoek op mijn studentenkamer werd er daarmee niet makkelijker op, maar dankzij hun steun, hulp en feedback is het resultaat toch een scriptie waar ik trots op ben. Zodoende sluit ik mijn studententijd af. Het was een mooie tijd, maar de tijd is gekomen om het werkende leven in te gaan.

Voor nu veel leesplezier gewenst!

Dennis M. Ernst

Utrecht, 5 augustus 2021

Samenvatting

Mobiliteitshubs bevatten in toenemende mate laadinfrastructuur voor EV's (E-Hubs). Momenteel zijn deze nog vooral gericht op elektrische deelsystemen, maar ook private EV-eigenaars kunnen hier mogelijk van profiteren. In dit onderzoek is de bereidheid van consumenten om de EV op de mobiliteitshub op te laden getoetst aan de hand van vier economische variabelen (loopafstand, prijs, laadtijd en laadzekerheid). Hiervoor is een *discrete choice* experiment uitgevoerd. Respondenten kregen dertig alternatieven voorgelegd met de keuze om de EV thuis of op de hub op te laden. Dit is geanalyseerd middels een *Mixed Logit*. Gebleken is dat al deze economische variabelen van belang zijn bij het opladen van de EV, maar dat met name de prijs, afstand tot de hub en laadzekerheid doorslaggevend zijn in de keuze van respondenten. Verder is gebleken dat het verzorgingsgebied van de mobiliteitshub met 4 minuten loopafstand relatief beperkt is voor de EV-eigenaar. Dit onderzoek toont aan dat laadfaciliteiten op de mobiliteitshub kansrijk zijn voor omliggende woonwijken bij de opschaling van het aantal EV's, maar dat succes is gebonden aan strikte economische omstandigheden. Niet alleen dient de hub op maximaal 4 minuten loopafstand te zijn, maar ook dient de prijs van het laden lager te zijn dan thuis het geval is en moet de consument de garantie op een vrije laadplek hebben.

Abstract

Mobility hubs increasingly contain charging facilities for EV's (E-Hubs). Nowadays, these charging facilities are predominantly focussed on shared EV's, but they can also offer opportunities for the private EV-owner. This research analysed whether (potential) EV-owners are willing to charge their EV at the mobility hub on the basis of four economic variables (walking distance, price, charging time and charging certainty). A discrete choice experiment has been conducted, which has been analysed with a Mixed Logit. Results showed that all economic variables were significant of influence on the charging choice of respondents, but especially the walking distance, price and charging certainty were decisive. Furthermore, it turned out that the catchment area of the mobility hub is only four minutes for EV-owners. This research shows that charging facilities on mobility hubs offer possibilities for surrounding living areas, but that the success is bounded by specific economic conditions. Most importantly, the mobility hub should not exceed a four minute walking distance. Moreover, it should offer a guaranteed vacant charging space and a lower charging price than at home.

Keywords: Mobility hub, E-Hub, EV's, discrete choice, Mixed Logit, walking distance, charging time, price, charging certainty, charging facility

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting	3
Abstract	3
1. Inleiding	7
2. Theoretisch Kader	11
2.1 Kenmerken en voorzieningen op de mobiliteitshub	11
2.1.1 Verschillende soorten mobiliteitshubs	12
2.1.2 Ontwikkelingen in de mobiliteitshub: de E-Hub	14
2.2 De reiziger als <i>homo economicus</i>	16
2.2.1 Random utility theory	17
2.2.2 Kritiek vanuit de <i>homo psychologicus</i>	20
2.3 Economische factoren bij laadkeuzes van de consument	21
2.3.1 De invloed van reisafstand	22
2.3.2 De invloed van laadtijd	23
2.3.3 De invloed van prijs	25
2.3.4 De invloed van laadzekerheid	26
2.3.5 Socio-economische factoren	28
2.4 Coördinatie van EV-laden in het elektriciteitsnetwerk	31
2.4.1 Afstemming vraag en aanbod	32
2.4.2 Smart charging	33
2.5 Samenvatting	35
3. Methode	37
3.1 Kwantitatief onderzoek	37
3.2 Dataverzameling	38
3.2.1 Enquêtes	38
3.2.2 Indeling van de enquête	39

3.2.3	Respondentenwerving	41
3.2.4	Consent	42
3.3	Data-analyse	43
3.3.1	Discrete choice model in Python	43
3.3.2	Onderzochte variabelen	44
4.	Resultaten	47
4.1	Beschrijvende statistiek	47
4.1.1	Socio-economische kenmerken	48
4.1.2	Huidig EV-bezit en laadgedrag	51
4.1.3	Het belang van economische variabelen bij EV-laden	53
4.1.4	Gemaakte laadkeuzes	55
4.2	Resultaten MNL	57
4.3	Resultaten ML	59
4.4	Marginale substitutievoet	63
4.5	Samenvatting	64
5.	Conclusie	65
6.	Discussie	68
6.1	Interpretatie van de resultaten	68
6.2	Methodologische keuzes en reikwijdte van de resultaten	70
6.3	Aanbevelingen	72
7.	Reflectie	74
8.	Literatuurlijst	75

Figuren- en tabellenlijst

Figuur 2.1 Verschil in voorzieningen bij mobiliteitshubs op wijkniveau, centrale hubs en regionale hubs in Los Angeles.....	13
Figuur 2.2 Nederlandse hubtypering op basis van geografische ligging (y-as) en verzorgingsgebied (x-as) van de hub.....	13
Figuur 2.3 De Nederlandse vertaling van mobiliteitsvoorzieningen uitgesplitst per type hub.....	14
Figuur 2.4 Correlatie tussen het aantal openbare laadfaciliteiten (number of ports) en het aantal unieke EV-gebruikers per dag.....	23
Figuur 2.5 The travel demand curve	25
Figuur 2.6 Verhouding tussen het aantal publieke laadfaciliteiten en het aantal volledig elektrische auto's (BEVs)	27
Figuur 2.7 Diffusion of innovations model.....	29
Figuur 2.8 Elektriciteitsvraag van een huishouden en een EV gedurende de dag....	32
Figuur 2.9 Drie vormen van smart charging	34
Figuur 2.10 Conceptueel model	36
Figuur 4.1 Leeftijdsverdeling respondenten.....	48
Figuur 4.2 Geslachtsverdeling respondenten.....	48
Figuur 4.3 Opleidingsniveau respondenten	49
Figuur 4.4 Inkomensverdeling Nederland en steekproef.....	50
Figuur 4.5 Inkomensverdeling respondenten.....	50
Figuur 4.6 Huishoudens met een EV in bezit	51
Figuur 4.7 Aantal EV's in huishouden.....	51
Figuur 4.8 Aantal auto's (EV & ICE) in huishouden.....	51
Figuur 4.9 De voornaamste manier van opladen onder respondenten	52
Figuur 4.10 Het belang van economische variabelen bij EV-laden.....	54
Figuur 4.11 De gekozen belangrijkste variabele bij EV-laden	54
Figuur 4.12 Gemaakte laadkeuzes in de dertig gestelde discrete choices.....	56
Figuur 4.13 Vergelijking gemaakte laadkeuzes van respondenten met een EV in hun huishouden en respondenten zonder een EV in hun huishouden.....	57
Tabel 3.1 Getoetste variabelen en codering.....	45
Tabel 3.2 Waardes van onderzochte variabelen voor het laden op de hub per alternatief	46
Tabel 4.1 EV-bezit in huishouden per socio-economische categorie	53
Tabel 4.2 Resultaten MNL.....	58
Tabel 4.3 Resultaten ML	61
Tabel 4.4 Marginale substitutievoet voor kosten en loopafstand	64

1. Inleiding

De afgelopen decennia is de mondiale vervoersindustrie gedomineerd door de auto, specifiek aangedreven door fossiele brandstoffen. Fossiele brandstoffen zijn echter niet oneindig voorradig en de huidige consumptie leidt op de lange termijn tot opwarming van de aarde, met schadelijke effecten voor het klimaat tot gevolg (Houghton, 2009). Dit vraagt om duurzamere alternatieven van mobiliteit (Sierzchula, Bakker, Maat & van Wee, 2012) en daarom maken overheden in toenemende mate de transitie naar het gebruik van duurzame energie. Zo is in 2015 door verschillende landen, waaronder Nederland, het Klimaatakkoord ondertekend waarin de ambitie is vastgelegd om de wereldwijde temperatuurstijging te beperken tot 1,5 graden Celsius (Rijksoverheid, 2019; Londo, Matton, Usmani, van Klaveren, Tigchelaar & Brunsting, 2020). De Nederlandse overheid heeft per sector een doelstelling bepaald om dit te bereiken. Voor de transportsector, een van de grootst vervuilende sectoren ten aanzien van CO₂-emissie (European Environment Agency, 2018; Campbell-Lendrum & Prüss-Ustün, 2018), is dit vastgesteld op een minimale reductie van 60% in 2050 ten opzichte van het emissieniveau in 1990 (Ministerie van Economische Zaken, 2016; Rijksoverheid, 2019).

Om te voldoen aan de gestelde doelen, zonder tegelijkertijd in te leveren op de hoge mate van mobiliteit, zet de Nederlandse overheid in op elektrisch vervoer. Vergelijkbaar met de Green Deal van de Europese Commissie, waarin wordt gestreefd naar een klimaatneutraal continent in 2050 (European Commission, 2019), heeft ook de Nederlandse overheid ruim 200 Green Deals aangenomen als eerste stap richting een duurzame Nederlandse economie (Green Deal, z.j.). Hiervan zijn er 35 gerelateerd aan het thema "mobiliteit", zoals de "Green Deal Elektrisch Rijden" en de "Green Deal Openbaar Toegankelijke Laadinfrastructuur". Dit geeft aan dat overheden elektrische voertuigen [EV's] als duurzaam alternatief zien voor de traditionele auto met verbrandingsmotor [ICE]. Hoewel de economische markt voor EV's sinds 2011 substantieel is gestegen, blijft de huidige verkoop van EV's ruimschoots achter bij de verkoop van ICE's. Het aantal EV's is sinds 2015 weliswaar meer dan verdubbeld, maar desondanks bestond het totale Nederlandse wagenpark in 2019 slechts voor 2,2% uit EV's (Kok, Visser, Mulder, Durkoop, Van Langevelde & Van Ginkel, 2020). Het aantal EV's stijgt dus, maar er is nog voldoende ruimte voor opschaling ten opzichte van ICE's.

In de Nationale Agenda Laadinfrastructuur is al vermeld dat voldoende laadinfrastructuur aanwezig dient te zijn om de verwachte groei naar 1,8 miljoen EV's in Nederland in 2030 mogelijk te maken (Nationaal Kennisplatform Laadinfrastructuur, 2020; Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2019). Een laadfaciliteit is voor een EV-gebruiker immers net zo belangrijk als een benzinepomp dat voor de ICE-gebruiker is (Sierzchula, Bakker, Maat & van Wee, 2014). Ondanks

dat Nederland wereldwijd de hoogste dichtheid van EV-oplaadfaciliteiten heeft, is het verder ontwikkelen van laadinfrastructuur vereist om de verwachte groei in het aantal EV's aan te kunnen. Het aantal laadfaciliteiten in Nederland mag hierbij geen belemmering zijn voor consumenten om een EV te rijden of aan te schaffen (KPMG International, 2018; Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2019). Het gebrek aan voldoende laadfaciliteiten wordt namelijk als één van de meest beperkende factoren gezien voor de aanschaf of het gebruik van een EV (European Commission, 2013; Van Amstel, Idema & van Zante, 2020; Verbeet, 2018). Daarnaast duurt het opladen van een EV momenteel nog minimaal 30 minuten aan een snellaadfaciliteit en bij een reguliere laadfaciliteit loopt dit op naar minimaal 6 uur (ANWB, z.j; Motoaki & Shirk, 2017). Er zijn mede hierdoor dus significant meer laadfaciliteiten vereist om de verwachte groei in het aantal EV's te bewerkstelligen (Motoaki & Shirk, 2017; Zhang et al., 2018).

Bij de opschaling van het aantal laadvoorzieningen dient een aantal keuzes te worden gemaakt (Voogt, Huisman & Juffermans, 2020): regulier (langzaam) laden, laadpleinen of snellaadstations? En worden deze laadvoorzieningen verspreid in de ruimte of juist gebundeld om ruimte te besparen? Met name in autoluwe zones in de Randstad is de ruimte voor auto's immers beperkt en kan het clusteren van laadvoorzieningen bijdragen aan het autoluwe karakter door EV's niet aan huis te parkeren en laden, maar op een centrale plek buiten de wijk. De mobiliteitshub biedt mogelijk uitkomst om enerzijds te voorkomen dat teveel verspreide laadfaciliteiten ontstaan en anderzijds om het aantal laadfaciliteiten te vergoeten. Mobiliteitshubs fungeren als herkenbaar knooppunt in een vervoersnetwerk met als doel om de bereikbaarheid van locaties te verbeteren of dagelijks vervoer duurzamer te maken middels ketentransport (Anderson et al., 2017; Aono, 2019; APPM & Goudappel, 2020). De 'hub' verschilt per locatie in grootte en voorzieningen, maar laadinfrastructuur voor EV's behoort in toenemende mate tot het basispakket voorzieningen, al dan niet enkel voor elektrische deelsystemen (Ambroz et al., 2016; APPM & Goudappel, 2020). De mobiliteitshub wordt verder behandeld in het theoretisch kader (§2.1).

Momenteel volgt de uitrol van laadinfrastructuur vooral het principe "paal volgt auto", waarbij een laadfaciliteit wordt geplaatst in de nabijheid van een consument met een EV (Van Amstel, 2020). Diverse onderzoeken tonen bijvoorbeeld aan dat relatief veel mensen met een private laadfaciliteit op eigen terrein een EV aanschaffen (APPM & Decisio, 2016; PWC, 2017). Als het totaal aantal EV's stijgt, stijgt echter ook het aantal particuliere EV-eigenaren dat afhankelijk is van laadfaciliteiten in de publieke ruimte (Huygen, Maas, Djafari, Woestenburg, Laarakkers & Smokers, 2018). Het is immers niet voor alle consumenten mogelijk om een private laadfaciliteit op eigen terrein te plaatsen. Laadinfrastructuur op de mobiliteitshub speelt in op deze ontwikkeling middels het principe "auto volgt paal" waarbij publieke laadinfrastructuur wordt geclusterd in de publieke ruimte (Van Amstel et al., 2020). De aanwezigheid van laadinfrastructuur bij mobiliteitshubs biedt dus

mogelijk kansen voor het tekort aan publieke laadfaciliteiten en draagt zo mogelijk bij aan de opschaling van EV's binnen de Nederlandse *modal split*. Met name voor mensen die in de buurt wonen van een mobiliteitshub is de laadinfrastructuur op de hub mogelijk van waarde, aangezien zij slechts een kleine afstand hoeven te overbruggen om gebruik te maken van de laadvoorziening.

Dit onderzoek richt zich daarom op de laadinfrastructuur bij mobiliteitshubs en de mogelijke uitwerking op het laadgedrag van mensen in omliggende woonwijken. Hiervoor is de volgende hoofdvraag geformuleerd:

In hoeverre biedt de aanwezigheid van mobiliteitshubs kansen voor inwoners van omliggende woonwijken bij de opschaling van elektrische auto's door het bieden van laadinfrastructuur voor elektrische auto's?

Om antwoord te kunnen geven op de hoofdvraag, is deze opgesplitst in een viertal deelvragen.

1. *In hoeverre bieden huidige mobiliteitshubs faciliteiten voor het opladen van EV's?*
2. *Wat zijn de behoeften van de consument met een elektrische auto bij het opladen van de auto?*
3. *In hoeverre kunnen economische factoren nabij wonende consumenten stimuleren om gebruik te maken van de laadinfrastructuur bij een mobiliteitshub?*

Er is al meermaals onderzoek gedaan naar de invloed van een mobiliteitshub op het reisgedrag van mensen. Miramontes, Pfortner, Rayaprolu, Schreiner en Wulfhorst (2017) benoemen in hun onderzoek naar de eerste mobiliteitshub van München dat er sinds de komst van de hub al snel gedragsveranderingen te zien waren richting multimodaal reizen. Ook het onderzoek van Zhong, Yin, Zhang, He en Ran (2018) toont aan dat de aanwezigheid van een mobiliteitshub een grote invloed heeft op het aantal reizen in de omgeving van de hub, de lengte van deze reizen en de verschillende vervoersmoden die worden gebruikt. Bestaande onderzoeken focussen zich echter vooral op de invloed van de mobiliteitshub op de stimulering van ketentransport en deelsystemen, maar gaan hierbij voorbij aan de mogelijke kansen voor de private EV. Bovendien richten bestaande onderzoeken omtrent de mobiliteitshub zich voor zover bekend nauwelijks op laadfaciliteiten en de mogelijkheden die dit biedt voor de nabij wonende consument volgens het principe "auto volgt paal" (Van Amstel et al., 2020). Hoekstra, Vijayashankar en Sundrani (2017, p. 9) vragen specifiek om meer onderzoek naar de voorkeuren en persoonlijke eigenschappen van EV-gebruikers. Dit is volgens hen nodig om EV-adoptie beleidsmatig in goede banen te leiden en het netwerk van laadfaciliteiten aan te laten sluiten op de wensen van de gebruikers. Er ontbreekt momenteel dus nog kennis over de kansen die laadfaciliteiten bij mobiliteitshubs bieden voor omliggende woonwijken en de voorkeuren van gebruikers bij het opladen van de EV. Dit onderzoek draagt bij om deze ontbrekende kennis te vergaren.

Door inzicht te verkrijgen in de kansen van laadinfrastructuur bij mobiliteitshubs voor omliggende woonwijken wordt vooruitgang geboekt ten aanzien van verduurzaming van de transportsector in Nederland. Zoals blijkt uit het Klimaatakkoord, de Europese Green Deal en de 35 mobiliteit gerelateerde Green Deals in Nederland (European Commission, 2019; Rijksoverheid, 2019; Londo et al., 2020; Green Deal, z.j.), is de verduurzaming van de Nederlandse mobiliteit van maatschappelijk belang om CO₂-emissies te reduceren (Sierzchula et al., 2012). Als bijvoorbeeld blijkt dat er kansen liggen voor inwoners in omliggende woonwijken om tegen een gereduceerd tarief gebruik te maken van laadinfrastructuur bij een mobiliteitshub, zorgt dat er mogelijk voor dat deze inwoners sneller de overstap maken naar een EV. Hiermee draagt dit onderzoek mogelijk bij aan de verduurzaming van Nederland.

Om antwoord te geven op de bovengenoemde hoofd- en deelvragen is allereerst bestaande literatuur behandeld. Dit begint met theorie over de mobiliteitshub en nieuwe ontwikkelingen omtrent de E-Hub. Vervolgens zijn economische factoren besproken die invloed hebben op het reis- en laadgedrag van consumenten, gebaseerd op theorie van de *homo economicus*. Hierna zijn de behoeften van consumenten bij het opladen van de EV uitgelicht en tot slot zijn verschillende vormen van *smart charging* behandeld. Na deze verkenning in de literatuur is primair onderzoek verricht om later antwoord op de hoofdvraag te geven. In hoofdstuk 3 is toegelicht welke vorm van kwantitatief onderzoek is uitgevoerd en welke keuzes hierin zijn gemaakt. Hoofdstuk 4 bevat de resultaten van het uitgevoerde *Mixed Logit* model. Tot slot is in de conclusie een antwoord geformuleerd op de hoofdvraag en zijn in de discussie de onderzoeksuitkomsten in de wetenschappelijke en maatschappelijke context geplaatst.

2. Theoretisch Kader

Dit hoofdstuk bespreekt bestaande theorieën omtrent de mobiliteitshub en consumentengedrag. Allereerst behandeld paragraaf 2.1 hoe de mobiliteitshub zich kenmerkt en welke verschillende vormen van de mobiliteitshub er zijn. Hierna is besproken welke faciliteiten de mobiliteitshub biedt voor de EV-gebruiker. Vervolgens is in paragraaf 2.2 uiteengezet hoe consumenten kunnen worden gestimuleerd om gedrag te veranderen naar duurzamere alternatieven. Dit is gedaan vanuit de economisch rationele theorie van de *homo economicus*. Hierop volgend zijn in paragraaf 2.3 verschillende economische variabelen besproken die van belang zijn bij het opladen van de EV. Paragraaf 2.4 bevat tot slot informatie omtrent *smart charging*. Het theoretisch kader sluit af met een algehele synthese van de behandelde theorieën en dit wordt tot slot gevisualiseerd in een conceptueel model.

2.1 Kenmerken en voorzieningen op de mobiliteitshub

De mobiliteitshub wordt door APPM en Goudappel (2020) als volgt omschreven:

Mobiliteitshubs worden gezien als een essentiële schakel om flexibel en naadloos reizen in de keten mogelijk te maken. Hubs zijn multimodale overstappunten in verschillende orde, grootte en voorzieningenniveaus. Doel van mobiliteitshubs is het slim bundelen van stromen (personen en/of goederen) van en naar locaties met hoge dichtheden. Mobiliteitshubs verschillen van traditionele treinstations en bushaltes door de nadrukkelijker ambitie om mensen te bewegen tot ander soortig gebruik van modaliteiten. (p. 3)

Ondanks bovenstaande definitie merken Kwantes, Van der Linde en Juffermans (2020) op dat mobiliteitshubs lastig te generaliseren zijn. Ze verschillen zoals aangegeven in grootte, locatie en voorzieningen en zijn daarom juist per locatie anders ingericht om in te spelen op de lokale situatie (Kwantes, Juffermans & Scheltes, 2019). Daar komt bij dat de mobiliteitshub een relatief nieuwe ontwikkeling in de mobiliteitswereld is en dus nog constant in ontwikkeling is (Anderson, Blanchard, Cheah & Levitt, 2017; Van Gils, 2019; Liao et al., 2020). Het doel van de mobiliteitshub is altijd óf het verbeteren van de bereikbaarheid door bijvoorbeeld *first-* en *last-mile solutions* óf (privaat) autogebruik verminderen vanwege duurzaamheidsoverwegingen (Anderson et al., 2017; Aono, 2019). Meer concreet betekent dit dat de mobiliteitshub als een knooppunt in een multimodaal netwerk functioneert, waarbij het bijvoorbeeld mogelijk moet zijn over te stappen van fiets

op openbaar vervoer of deelauto. Zodoende stimuleert de mobiliteitshub ketentransport (Ambroz et al., 2016; Aono, 2019).

Verder bieden veel mobiliteitshubs duurzame vervoersvormen. Dit kan bijvoorbeeld bestaan uit deelsystemen voor fietsen, scooters en auto's (Anderson et al., 2017; Aono, 2019), maar ook uit EV's met bijbehorende laadinfrastructuur (Aono, 2019; Van Gils, 2019; Liao et al., 2020). De mobiliteitshub heeft daarmee een breed scala aan mogelijkheden en is per locatie afgestemd op de al aanwezige mobiliteitsvormen en de consumentenvraag. Het gevolg is een breed werkveld aan mobiliteitshubs met verschillende faciliteiten voor de consument (Ambroz et al., 2016; Aono, 2019).

2.1.1 Verschillende soorten mobiliteitshubs

Ondanks de verschillen in locatie, grootte en faciliteiten biedt het rapport van Ambroz et al. (2016) handvatten voor het classificeren van de mobiliteitshub. In dit rapport voor de stad Los Angeles wordt onderscheid gemaakt tussen een drietal mobiliteitshubs op basis van stedelijke context en aanwezige voorzieningen, namelijk de hub op wijkniveau, de centrale hub en de regionale hub. De mobiliteitshub op wijkniveau wordt gekenmerkt door een kleinschalige en overzichtelijke halte in een omgeving met een relatief lage bevolkingsdichtheid. Hierbij horen in ieder geval fietsfaciliteiten, zoals deelfietsen en fietsenstallingen (figuur 2.1). De centrale mobiliteitshub is terug te vinden in stedelijke omgevingen met een hogere bevolkingsdichtheid en bevat veelal meerdere haltes of stations. De centrale hub bevat aanzienlijk meer voorzieningen dan de hub op wijkniveau, met name op het gebied van voorzieningen voor auto's en bussen (figuur 2.1). Belangrijk hierbij is dat deze voorzieningen binnen loopafstand van elkaar verspreid zijn binnen de omgeving. De regionale mobiliteitshub is tot slot de grootste binnen de driedeling van Ambroz et al. (2016). Deze hub bevindt zich doorgaans in stedelijke gebieden met een hoge bevolkingsdichtheid of bij eindstations van lijnverbindingen in het OV. Zodoende verbindt de regionale hub verschillende regionale OV-voerslijnen met elkaar. De regionale hub biedt de meeste voorzieningen voor de consument, zowel qua vervoersmogelijkheden als qua ontspanning, zoals winkels en publieke ruimte (figuur 2.1). Opvallend is dat zowel de centrale hub als de regionale hub volgens Ambroz et al. (2016) laadinfrastructuur voor EV's dient te hebben.

Figuur 2.1 Verschil in voorzieningen bij mobiliteitshubs op wijkniveau, centrale hubs en regionale hubs in Los Angeles.

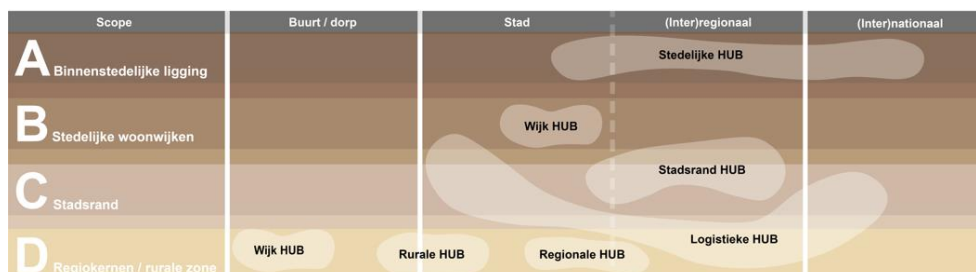
Mobility Hub Amenities	Bicycle Connections			Vehicle Connections			Bus Infrastructure		Information-Signage			Support Services				Active Uses		Pedestrian Connections	
	2.1. Bike Share	2.2. Bike Parking	2.3. Bicycling Facilities	3.1. Ride Share/Pick up-Drop off	3.2. Car Share	3.3. EV Charging Stations	4.1. Bus Layover Zone	4.2. Bus Shelters	5.1. Wayfinding	5.2. Real-time Information	5.3. Wi-Fi / Smartphone Connectivity	6.1. Ambassadors	6.2. Waiting Area	6.3. Safety and Security	6.4. Sustainable Approach	7.1. Retail	7.2. Public Space	8.1. To the Mobility Hub	8.2. At the Mobility Hub
(N) Neighborhood	●	●	■	■	○	○	■	○	●	○	○	■	○	○	○	■	■	○	○
(C) Central	●	●	○	●	●	●	○	●	●	●	●	○	○	●	●	○	●	●	●
(R) Regional	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●

Legend: Vital: ● Recommended: ○ Optional: ■

Bron: Ambroz et al., 2016

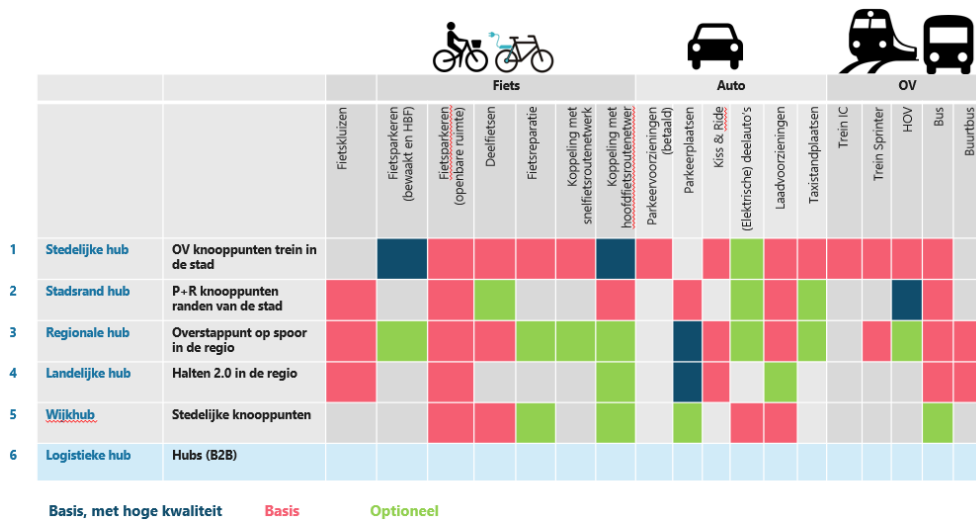
Het is belangrijk te vermelden dat de indeling in figuur 2.1 is gebaseerd op de Amerikaanse mobiliteitsinrichting. APPM en Goudappel (2020) hebben daarom figuur 2.1 vertaald naar het Nederlandse mobiliteitslandschap. Deze vertaling is gemaakt op basis van enerzijds de geografische ligging van de hub en anderzijds het verzorgingsgebied van de hub, te zien in figuur 2.2. Een deel van de vertaling is te zien in figuur 2.3, waarbij de stadsrand hub en de landelijke hub zijn toegevoegd aan de indeling van Ambroz et al. (2016). Opvallend is dat zowel in figuur 2.1 als in figuur 2.3 een grote rol wordt toebedeeld aan laadvoorzieningen op mobiliteitshubs. Alleen de kleinschalige wijkhub heeft volgens APPM & Goudappel (2020) niet per definitie de beschikking over laadfaciliteiten. Bij alle overige hubtyperingen zouden laadvoorzieningen tot het basispakket behoren. Dit past bij het toenemende belang van de EV en de bijbehorende toename van laadfaciliteiten in Nederland (Kok et al., 2020; Liao et al., 2020; Van Amstel et al., 2020).

Figuur 2.2 Nederlandse hubtypering op basis van geografische ligging (y-as) en verzorgingsgebied (x-as) van de hub



Bron: APPM & Goudappel, 2020

Figuur 2.3 De Nederlandse vertaling van mobiliteitsvoorzieningen uitgesplitst per type hub



Bron: APPM & Goudappel, 2020

2.1.2 Ontwikkelingen in de mobiliteitshub: de E-Hub

Mobiliteitshubs zijn zogezegd nog relatief nieuw in de mobiliteitswereld en mede daardoor nog constant in ontwikkeling. Daarom vonden er de afgelopen jaren meerdere grootschalige projecten plaats om nieuwe varianten van de hub te ontwikkelen en zo in de toekomst nieuwe voorzieningen aan te bieden. Al in 2003 startte het Mobil.Punkt project in Bremen, mede gefinancierd door de Europese Unie (Interreg North Sea Region, 2018). Er werden speciale stations geplaatst, vaak naast OV-haltes met een hoge frequentie, waarbij werd getest met het bieden van ruimte voor autodelen en fietsparkeerplaatsen (Glitz-Richter, 2016). Deze stations werden later aangevuld met kleinschaligere stations in woonwijken, zogenaamde Mobil.Puncttlichen, om deelauto's zo dicht mogelijk bij de gebruiker beschikbaar te stellen (Liao et al., 2020, p. 31). Het project Mobil.Punkt past daarmee goed bij de hub op wijkniveau en de centrale hub van Ambroz et al. (2016) en de stedelijke hub en wijkhub van APPM en Goudappel (2020).

Dit project was een van de eerste prototypes van de mobiliteitshub zoals we deze nu kennen (Liao et al., 2020). Niet alleen was Mobil.Punkt erop gericht om de transitie naar een duurzamere vorm van mobiliteit te veranderen, met name in de vorm van deelauto's, maar ook werd getracht om de bereikbaarheid te vergroten. Het project bleek dusdanig succesvol dat het nog steeds werkzaam is in Bremen en bovendien ook in Noorwegen is ingevoerd (Interreg North Sea Region, 2018; Share North, 2018; 2020). Daarnaast is het aanbod van Mobil.Punkt inmiddels uitgebreid met elektrische deelsystemen en bijbehorende elektrische laadfaciliteiten (Share North, 2018; 2020).

Liao et al. (2020, p. 31) benoemen in hun rapport het belang van het opnemen van nieuwe mobiliteitsvormen voor toekomstige mobiliteitshubs. Aan de hand van classificaties, zoals in figuren 2.1, 2.2 en 2.3, dient per locatie te worden afgewogen welke nieuwe mobiliteitsvormen worden geïncorporeerd om een

completer en gebruiksvriendelijkere mobiliteitsdienst te garanderen voor de consument. Een van deze relatief nieuwe ontwikkelingen is de aanwezigheid van elektrische deelsystemen en laadinfrastructuur voor de EV. Ambroz et al. (2016) maken duidelijk dat elektrische deelauto's en elektrische laadfaciliteiten inmiddels vereist zijn bij centrale en regionale hubs en dat het ook wordt aangeraden om hubs op wijkniveau in te richten met laadinfrastructuur voor elektrisch vervoer. Het geeft de opkomst en het belang van elektrisch rijden aan en dit maakt dat mobiliteitshubs steeds meer richting zogenaamde E-Hubs gaan.

Interreg North-West Europe (2019) omschrijft E-Hubs als "on-street locations that bring together e-bikes, e-cargo bikes, e-scooters and/or e-cars, offering users a wide range of options to experiment and use in various situations". Hiermee werkt een E-Hub min of meer hetzelfde als de traditionele mobiliteitshub, met als belangrijke toevoeging het gebruik van elektrische vervoersmiddelen. Een mobiliteitshub is dus niet per definitie een E-Hub, maar een E-Hub is wel per definitie een mobiliteitshub. Mede door de toename in het aantal EV's groeit ook de aandacht voor de E-Hub (Kok et al., 2020). Zo worden sinds 2019 in zes Europese steden, waaronder Amsterdam en Nijmegen, E-Hubs getest om beleidsmakers in de toekomst een blauwdruk te bieden hoe E-Hubs vorm te geven in hun stad (Interreg North-West Europe, 2019; Keep.eu, 2021). Net als bij de traditionele mobiliteitshub is de E-Hub per locatie afgestemd op de behoeften van de consument en het bestaande mobiliteitsnetwerk (Keep.eu, 2021). Het gevolg is wederom een breed scala aan hubs, variërend in grootte en faciliteiten (Interreg North-West Europe, 2019).

Interreg North-West Europe (2019) benoemt de doelstelling van de E-Hub om een hoge kwaliteit en een divers aanbod van gedeelde elektrische vervoersmiddelen te bieden om zo privaat autobezit te verminderen en duurzamere mobiliteit te creëren. De doelstelling is dus gefocust op elektrische deelsystemen, waarbij niet wordt gesproken over de mogelijke kansen van laadinfrastructuur bij de mobiliteitshub. Zoals Ambroz et al. (2016) en APPM en Goudappel (2020) duidelijk maakten in paragraaf 2.1, is laadinfrastructuur inmiddels echter een cruciale voorziening op de mobiliteitshub. De traditionele mobiliteitshub begeeft zich hiermee richting de E-Hub. Opvallend is dat veel auteurs benadrukken dat meer laadfaciliteiten vereist zijn en dat E-Hubs de springplank zijn voor de opschaling van het aantal EV's in Nederland (Ambroz et al., 2016; Motoaki & Shirk, 2017; Zhang et al., 2018; Interreg North-West Europe, 2019; Van Gils, 2019; Van Amstel et al., 2020; Liao et al., 2020). Hierbij wordt echter vooral gefocust op elektrische deelsystemen, maar wordt over het hoofd gezien dat de elektrische voorzieningen op de mobiliteitshub mogelijk ook te gebruiken zijn door private EV-bezitters die in de buurt van de hub wonen. Het principe van "paal volgt auto" wordt zodoende vervangen door "auto volgt paal", waarbij de aanwezigheid van laadinfrastructuur bij mobiliteitshubs mogelijk een stimulans is voor omwonenden om een EV aan te schaffen of te behouden (Van Amstel et al., 2020). Voor zover bekend is nog niks

geschreven over de mogelijke kansen van laadinfrastructuur bij mobiliteitshubs voor nabij wonende consumenten.

2.2 De reiziger als *homo economicus*

In paragraaf 2.1 is de opkomst van de mobiliteitshub, en meer specifiek de E-hub, behandeld. De opschaling van het aantal laadfaciliteiten staat, volgend uit het Klimaatakkoord en de Green Deals, dus hoog op de agenda van beleidsmakers wereldwijd. Hiermee is de transitie naar duurzaam vervoer echter nog niet volbracht. Deze maatregelen hebben pas effect als de consument in mobiliteitsgedrag meegaat in de huidige ontwikkeling van verduurzaming. Dit betekent dat de consument actief gestimuleerd moet worden om de ICE in te wisselen voor een EV en dat de huidige vanzelfsprekendheid dat de consument een ICE bezit dient te worden doorbroken. Dit wordt volgens de theorie van de *homo economicus* bereikt door middel van een economisch voordeel voor het duurzame alternatief (Ben-Elia & Ettema, 2011; Seebauer, 2018)

De theorie van de *homo economicus* houdt in dat de mens altijd probeert om de maximale persoonlijke winst uit een situatie te behalen. Dit betekent in de praktijk dat consumenten telkens de afweging maken tussen alternatieven op basis van factoren die voor hem of haar van waarde zijn (Limtanakool, Dijst & Schwanen, 2006; Train, 2009). Voorbeelden van keuzes die volgens de *homo economicus* worden gemaakt op basis van economische factoren zijn de keuze om te gaan winkelen of niet, de keuze voor een grote winkelketen of een lokale ondernemer en de keuze voor het vervoersmiddel voor deze reis naar de winkel. Met name in de wetenschappelijke mobiliteitsonderzoeken heeft de *homo economicus* een belangrijke positie (Horne, Jaccard & Tiedemann, 2005). Toegepast op dit specifieke onderzoek kan aan de hand van de *homo economicus* bijvoorbeeld worden verklaard welke factoren beïnvloeden of een consument de reis maakt naar de mobiliteitshub om zijn of haar EV op te laden in plaats van de EV thuis op te laden. Hiervoor dienen verschillende factoren te worden geanalyseerd, waarover in paragraaf 2.3 meer is beschreven.

De theorie van de *homo economicus* bevat drie aannames (Limtanakool et al., 2006; Train, 2009; Urbina & Ruiz-Villaverde, 2019). Allereerst moet het individu een vrije keuze hebben tussen de alternatieven en dus niet worden belemmert in zijn of haar keuze voor een van de alternatieven. Ten tweede wordt er vanuit gegaan dat individuen complete informatie hebben en dus over alle informatie beschikken om de keuze te maken die het meest winstgevend is. Tot slot bevat de *homo economicus* de aanname dat individuen rationele keuzes maken en dus daadwerkelijk kiezen wat voor henzelf het meest winstgevend is. Hoewel een versimpeling van de werkelijkheid plaatsvindt om zodoende verschillende factoren wiskundig te toetsen, gelden uitkomsten van onderzoeken gebaseerd op de theorie van de *homo economicus* veelal als een indicatie voor reisgedrag van de consument in de werkelijkheid.

2.2.1 Random utility theory

De theorie van de *homo economicus* is gebaseerd op de *random utility theory* [RUT] van Domencich en McFadden (1975). RUT, ook wel *discrete choice theory* genoemd, is een methodologisch model wat het mogelijk maakt om keuzes in reisgedrag van mensen te voorspellen. Het model bevat de aanname dat de mens telkens een discreet aantal alternatieven heeft als hij of zij voor een keuze staat (Walker & Ben-Akiva, 2002), bijvoorbeeld om de EV thuis of op een mobiliteitshub op te laden. Net als bij de *homo economicus* is RUT gebaseerd op de hypothese dat ieder individu rationele keuzes maakt om zijn of haar persoonlijke gebruikswaarde [*utility*] te maximaliseren (Train, 2009). Deze keuzes zijn gebaseerd op verschillende factoren, afhankelijk van de situatie. In het geval van het wel of niet opladen van de EV op de mobiliteitshub zijn deze factoren onder meer prijs, afstand en laadzekerheid. Dit is verder besproken in paragraaf 1.3. De *utility* wordt middels de volgende formule berekend:

$$U_j^i = U^i(X_j^i)$$

Vergelijking 2.1

Hierbij staat X_j^i voor de vector van de variabelen ten opzichte van het alternatief j en individu i (Domencich & McFadden, 1975; Cascetta, 2009).

Voor dit onderzoek is het overbodig om de gehele wiskundige redenering achter RUT te bespreken. Dit onderzoek bouwt voort op de wiskundige kennis van onder meer Domencich en McFadden (1975), Ben-Akiva en Lerman (1985) en Cascetta (2009). Een belangrijk aspect van RUT dat echter wel van belang is voor dit onderzoek is de onzekerheidsfactor. Vanwege de complexiteit van vele verschillende variabelen is het voor de onderzoeker nagenoeg onmogelijk om met 100% zekerheid te voorspellen welk alternatief wordt gekozen door een individu. Het individu kent de *utility* van de verschillende alternatieven, maar voor de onderzoeker zijn slechts algemene voorkeuren bekend. Er is zodoende een factor van onwetendheid voor de onderzoeker (Walker & Ben-Akiva, 2002). RUT maakt daarom onderscheid tussen een *systematic utility* (V_i) en een *unobserved random utility* (ε_i) (Train, 2009). De *systematic utility* bevat alle parameters die onbekend zijn voor de onderzoeker en deze worden statistisch geschat. De *random utility* bestaat uit verschillende factoren die de *utility* wel beïnvloeden, maar niet zijn inbegrepen in de *systematic utility*. De *random utility* is zodoende een soort optelsom van tekortkomingen in de *systematic utility* en dit wordt door onderzoekers het verschil tussen de werkelijke *utility* en de ervaren *utility* genoemd (Walker & Ben-Akiva, 2002; Train, 2009). De *utility* van alternatief i kan hieruit volgend als volgt worden uitgedrukt:

$$U_i = V_i + \varepsilon_i$$

Vergelijking 2.2

De *systematic utility* is samengesteld door een alternatief-specifieke constante (ASC_i) met verschillende variabelen (x_{ij}). De alternatief-specifieke constante wordt statistisch geschat en bevat de invloed van alle variabelen die niet in het model zijn inbegrepen (Train, 2009). De *systematic utility* wordt via de volgende formule berekend:

$$V_i = ASC_i + \sum_{j=1}^J \beta_{i,j} \cdot x_{i,j}$$

Vergelijking 2.3

Train (2009) benadrukt dat de absolute hoogte van de *utility* voor zowel het individu dat de keuze maakt als voor onderzoeker niet van belang is. Aangezien alleen het verschil in *utility* tussen de verschillende alternatieven van belang is voor de keuze voor een van de alternatieven, is de alternatief-specifieke constante van één van de alternatieven nul. De waarden van β geven aan hoe sterk het effect van de variabele is op de *utility* van het specifieke alternatief. De alternatief-specifieke constante en de coëfficiënten van de variabelen worden statistisch geschat. Dit is in dit onderzoek berekend met behulp van statistische programma's, waarover in paragraaf 3.3.1 meer is geschreven. De wiskundige aannames omtrent de foutmarges ε_i (*unobserved random utility*) leiden tot verschillende wiskundige modellen met verschillende specificaties. De volgende twee paragrafen beschrijven twee logistische modellen die voortborduren op de wiskundige benadering van RUT met andere aannames omtrent de foutmarges.

2.2.1.1 Multinomial Logit

Multinomial Logit [MNL] behoort tot de logistische familie binnen RUT. In tegenstelling tot probalistische modellen binnen *discrete choice models*, bevatten logistische modellen zoals MNL de mogelijkheid om correlaties tussen alternatieven te onderscheiden. Logistische modellen bieden daarom het praktische voordeel van traceerbaarheid van correlatie (Gora et al., 2020).

Het MNL model neemt aan dat irrelevante alternatieven onafhankelijke en gelijk verdeelde variabelen zijn volgens een Gumbel-distributie (Kolarova, Steck & Bahamonde-Birke, 2019). Dit betekent onder meer dat de keuze voor één van de alternatieven niet verschilt wanneer het aantal mogelijkheden toeneemt. Dit wordt ook wel *the independence of irrelevant alternatives* [IIA] genoemd (Algers, Bergström, Dahlberg & Lindqvist Dillén, 1998; Sammer & Wüstenhagen, 2006). Dit is duidelijk uitgelegd door Sammer en Wüstenhagen (2006) aan de hand van de keuze voor wasmachines:

The MNL function assumes the 'independence of irrelevant alternatives' (IIA), which implies that the probability of choosing an alternative (a specific washing machine/light bulb) is independent of whether the consumer chooses among all washing machines/light bulbs or only among selected alternatives (e.g. three alternatives). (p. 190)

Het voorbeeld van Sammer en Wüstenhagen is ook toepasbaar op de keuzemogelijkheid tussen thuis laden of laden op de hub, zoals in dit onderzoek. MNL maakt dus geen onderscheid of de consument meer keuzes heeft dan de keuzes die zijn voorgesteld aan de respondent.

Het gebruik van MNL kent echter ook beperkingen. MNL houdt geen rekening met heterogeniteit van respondenten en is daarnaast niet in staat om meerdere antwoorden van één respondent te onderscheiden (Kolarova et al., 2019). Deze beperkingen zijn te overkomen door het gebruik van een ML, wat verder is toegelicht in de volgende paragraaf.

2.2.1.2 Mixed Logit

Mixed Logit [ML] is een uitbreiding van MNL en behoort eveneens tot de logistische familie. Een ML verschilt op twee punten van een MNL. Allereerst is het voordeel van ML dat geen aanname wordt gedaan van IIA, zoals wel het geval is bij een MNL model (§ 2.3.3.1). Daarnaast houdt ML, in tegenstelling tot MNL, rekening met correlatie tussen gegeven antwoorden van dezelfde respondent en voegt het hier foutmarges aan toe. Een ML model accepteert dus dat parameters verschillend kunnen zijn voor verschillende individuen en neemt daarnaast aan dat er correlatie mogelijk is bij meerdere responsen van dezelfde respondent. Hierdoor wordt door meerdere onderzoekers benoemd dat ML een krachtiger en meer waarheidsgetrouw model is dan een MNL (Algers et al., 1998; Alfnes, 2004; Ye & Lord, 2014). In een ML wordt de *utility* middels de volgende formule berekend:

$$U_{n,i,t} = bX_{n,i,t} + \eta_n X_{n,i,t} + \varepsilon_{n,i,t}$$

Vergelijking 2.4

In vergelijking 2.4 is de coëfficiënt β uit vergelijking 2.3 weergegeven als $\beta_n = b + \eta_n$, waarbij b het gemiddelde van de populatie is en η_n een toegevoegde foutmarge is volgens een verdeling die wordt bepaald in de schatting van het model met een gemiddelde van nul en een geschatte standaardafwijking. Het schatten van b als een willekeurige parameter maakt het mogelijk om verschillende evaluaties van $X_{n,i,t}$ bij respondenten te testen. De t staat voor de verschillende keuzes die respondent n voorgelegd krijgt. Daarom wordt aangenomen dat de uitkomst van $b + \eta_n$ niet varieert over t , rekening houdend met het feit dat de evaluatie van de attributen van

de alternatieven hetzelfde blijft voor alle waarnemingen die verband houden met dezelfde respondent. Het gevolg is dat in de ML de kans dat alternatief i wordt gekozen een gewogen gemiddelde is van de MNL kansen op een specifieke η , gewogen over de verdeling van η (Kolarova et al., 2019). De volgende vergelijking toont de MNL waarschijnlijkheid op een bepaalde keuze $L_{n,i}$ voor een gegeven waarde van η :

$$P_{n,i} = \int L_{n,i}(\beta) f(\beta|\eta) d\beta$$

Vergelijking 2.5

Wanneer een individu met t keuzesituaties wordt geconfronteerd, kan de waarschijnlijkheid van het observeren van een reeks individuele keuzes als volgt worden uitgedrukt:

$$L_{n,i}(\beta) = \prod_{t=1}^T \left(\frac{e^{\beta X_{n,i,t}}}{\sum_{j=1}^J e^{\beta X_{n,j,t}}} \right)$$

Vergelijking 2.6

In hoofdstuk 3 is verder toegelicht hoe een DCA is uitgevoerd, welke middels een MNL en een ML is geanalyseerd.

2.2.2 Kritiek vanuit de *homo psychologicus*

Ondanks dat de theorie van de *homo economicus* vandaag de dag nog steeds een toonaangevende basis is voor wetenschappelijk mobiliteitsonderzoek, is er sinds de jaren '80 ook kritiek op de stroming. Aanhangers van de *homo economicus* zouden de werkelijkheid te veel versimpelen en houden geen rekening met psychologische factoren bij keuzegedrag van de mens (Kahneman & Tversky, 1979; Thaler, 2000). Bij het maken van een keuze tussen alternatieven spelen volgens aanhangers van de *homo psychologicus* niet alleen economische factoren een rol, maar zijn ook psychologische factoren bepalend. Een passend voorbeeld is het onderzoek van Kahneman en Tversky (1979). Zij legden respondenten de keuze voor tussen het 100% zeker winnen van \$1.000 of 50% kans op het winnen van \$2.500. Het bleek dat respondenten vaker kozen voor de zekerheid van \$1.000 dan de mogelijkheid tot hoogste *utility* van \$2.500. Dit toonde aan dat niet altijd wordt voldaan aan de aanname van de *homo economicus* dat de mens altijd rationeel kiest voor het alternatief met de hoogste gebruikswaarde (Kahneman & Tversky, 1979; Thaler, 2000).

Drie bekende stromingen binnen de *homo psychologicus* zijn de "Theory of planned behaviour" (Ajzen, 1991), het "Norm activation model" (Schwartz, 1977) en de "Habit formation" (Triandis, 1977; Verplanken, Aarts & Van Knippenberg, 1997). Ajzen (1991) benadrukt in zijn *theory of planned behaviour* dat menselijk gedrag

vooral wordt bepaald door intenties van het individu. Deze intenties worden volgens Ajzen met name gevormd door persoonlijke attitude, normen en ervaren gedragscontrole. Het *norm activation model* stelt dat persoonlijke normen en waarden een drijfveer zijn in gedragskeuzes. Vanuit deze normen en waarden ontstaat een morele obligatie en een gevoel van verantwoordelijkheid bij het individu om bijvoorbeeld duurzame alternatieven te kiezen, ondanks dat de *utility* hiervan lager is (Schwartz, 1977). *Habit formation* behandelt tot slot de invloed van eerdere keuzes in gedrag van mensen (Triandis, 1977; Verplanken et al., 1997). Er wordt gesteld dat gedrag onder andere wordt bepaald door keuzes in het verleden en dat de mens geneigd is om eerder gemaakte keuzes nogmaals te maken. Als er sprake is van een gewoonte waarbij alternatieven nauwelijks nog worden overwogen, is het volgens Triandis (1977) en Verplanken et al. (1997) moeilijker om gedrag te veranderen naar een ander alternatief. Al deze theorieën benadrukken het belang van psychologische factoren om gedrag van mensen te verklaren en meerdere onderzoeken combineren daarom factoren van zowel de *homo economicus* als de *homo psychologicus* om gedragsveranderingen teweeg te brengen in reisgedrag van mensen (Bamberg & Schmidt, 2003; Steg, 2005; Domarchi, Tudela & González, 2008; Ben-Elia & Ettema, 2011; Te Brömmelstroet, 2014).

In dit onderzoek is, omwille van een beperkte periode van onderzoek, de keuze gemaakt om het laadgedrag van EV-eigenaren uitsluitend vanuit de *homo economicus* te beschouwen. Aangezien er nog geen onderzoek is gedaan naar kansen van mobiliteitshubs voor nabij wonende EV-eigenaren, is het allereerst van belang om de economische aantrekkingskracht van EV-laden op de mobiliteitshub te onderzoeken. Wanneer de ideale economische omstandigheden, zoals de prijs en afstand die consumenten bereid zijn om te betalen of af te leggen, bekend zijn, kan worden onderzocht in hoeverre consumenten hun laadkeuze laten beïnvloeden door persoonlijke normen en waarden, attitudes en gewoontes. Voor dit onderzoek is de toevoeging van de *homo psychologicus* dus een interessante uitbreiding om laadkeuzes van EV-eigenaren in kaart te brengen, maar dit is niet als haalbaar geacht in de beperkte tijd. Het vervolg van het theoretisch kader bevat daarom slechts economische factoren bij laadkeuzes van de consument. De onderzoeker is zich daarentegen bewust van de bovengenoemde kritiek vanuit de *homo psychologicus* en in de discussie (Hoofdstuk 6) wordt daarom verder gereflecteerd op deze keuze.

2.3 Economische factoren bij laadkeuzes van de consument

Zoals is gebleken in paragraaf 2.2 zijn economische factoren van invloed in de keuzes die consumenten maken. Volgend uit de theorie van de *homo economicus* zijn er zodoende ook voor het laadgedrag van de consument economische factoren die de *utility* van een van de alternatieven beïnvloeden. Dit onderzoek onderzoekt specifiek de keuze van EV-eigenaren om de EV thuis of op de mobiliteitshub op te laden. Hoewel er voor zover bekend nog geen wetenschappelijke literatuur bestaat over deze specifieke keuze in laadgedrag van consumenten, is wel geschreven over de

waardering van EV's in het algemeen en de factoren die van invloed zijn op de keuze om een EV aan te schaffen of te gebruiken. Het algemene beeld dat uit deze literatuur naar voren komt is dat economische factoren significant de waardering van EV's beïnvloeden.

Hoën (2015) noemt onder anderen "aanschafprijs, operationele kosten, actieradius, oplaadtijden en beschikbaarheid van oplaadmogelijkheden" (p. 3) als factoren van invloed op de algehele waardering van EV's. Deze factoren worden tevens genoemd in eerdere onderzoeken (Horne et al., 2005; Potoglou and Kanaroglou, 2007; Mau, Eyzaguirre, Jaccard, Collins-Dodd & Tiedemann, 2008; Beck, Rose & Hensher, 2011; Hidrue, Parsons, Kempton & Gardner, 2011; Maness and Cirillo, 2012; Ziegler, 2012; Hoën & Koetse, 2014). Wanneer dit wordt toegepast op de keuze tussen het thuis opladen van de EV of het opladen op de mobiliteitshub zijn niet alle factoren nog van toepassing. De aanschafprijs van een EV is immers geen relevante variabele meer als slechts een keuze wordt gemaakt tussen twee plekken om de EV op te laden. De variabele prijs kan echter wel worden toegepast als er prijsverschillen zijn in de oplaadlocaties, waardoor de *utility* van een van de alternatieven verandert. In de volgende paragrafen is daarom aandacht besteed aan bestaande literatuur omtrent economische factoren die van invloed zijn op het bezit en gebruik van een EV.

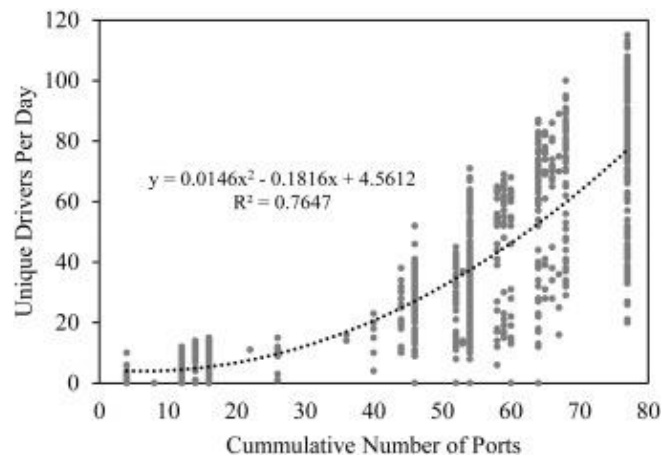
2.3.1 De invloed van reisafstand

Ondanks de door Cairncross (1997) voorspelde "*death of distance*" en de huidige geglobaliseerde wereld, is afstand nog steeds een van de belangrijkste aspecten in de ruimtelijke organisatie van menselijke activiteiten (Haugen, Holm, Strömberg, Vilhelmson & Westin, 2011). Voor nagenoeg alle voorzieningen geldt dat nabijheid een belangrijke factor voor de mens is bij het maken van de keuze om hier naartoe te reizen. Onderzoek van Limtanakool et al. (2006) maakt duidelijk dat de benodigde reistijd om het doel te bereiken grote invloed heeft op de reisgedrag dat mensen vertonen. Hierbij geldt dat de invloed van reistijd groter wordt als de afstand tot de voorziening toeneemt. Met name in mobiliteitsonderzoeken gespecificeerd op toegankelijkheid wordt afstand tot voorzieningen gebruikt om bijvoorbeeld de toegankelijkheid tot gezondheidszorg of sportvoorzieningen te bepalen.

Voor dit onderzoek naar laadgedrag van EV-eigenaren is de reisafstand ook relevant. Maness en Cirillo (2012) benoemen dat voor het opladen van de EV de afstand tot de laadvoorziening van belang is in de keuze die EV-eigenaren maken. Dit wordt onderschreven door Singer (2017) en Palomino en Parvania (2019). In beide onderzoeken wordt gesteld dat tekortkomingen in het netwerk aan publieke laadinfrastructuur tot gevolg hebben dat mensen minder snel een EV aanschaffen of gebruiken. Dit verband is tevens zichtbaar in figuur 2.4. De consument overweegt dus of de dekkingsgraad van openbare laadfaciliteiten voor hem of haar hoog genoeg is. In andere woorden: is de dichtstbijzijnde laadfaciliteit voldoende bereikbaar en blijft de reistijd beperkt (Singer, 2017)?

Van Amstel et al. (2020, p. 5) maken duidelijk dat het huidige aantal openbare laadfaciliteiten tekortschiet ten opzichte van het aantal EV's in Nederland. Hoewel de aanwezigheid en nabijheid van voldoende laadfaciliteiten dus van groot belang is voor de consument in zijn of haar besluit om een EV aan te schaffen of te gebruiken, laat de dekkinggraad van openbare laadfaciliteiten nog te wensen over. Het gevolg is dat consumenten eerder zijn geneigd om een private laadfaciliteit aan te schaffen (APPM & Decisio, 2016; PWC, 2017) of de EV minder te gebruiken (Singer, 2017).

Figuur 2.4 Correlatie tussen het aantal openbare laadfaciliteiten (number of ports) en het aantal unieke EV-gebruikers per dag.



Bron: Singer, 2017

Er is voor zover nog geen wetenschappelijk onderzoek gedaan naar de optimale reisafstand tot de mobiliteitshubs met EV-laadfaciliteiten. Zoals in paragraaf 2.1 al genoemd, is de mobiliteitshub geen eenduidig concept en kan de optimale reisafstand tot de hub dus ook per locatie verschillen, afhankelijk van aanwezige voorzieningen en grootte (Anderson et al., 2017; Van Gils, 2019; Liao et al., 2020). Het artikel van Karolemeas, Tsigdinos, Tzouras, Nikitas & Bakogiannis (2021) benadrukt echter wel dat met name laadfaciliteiten op loopafstand dienen te zijn voor de consument. Dit is met name voor dit onderzoek naar kansen voor inwoners van omliggende woonwijken bij mobiliteitshubs van waarde, aangezien hiermee maximale reistijd van huis naar de laadfaciliteiten op de hub kan worden getoetst.

2.3.2 De invloed van laadtijd

Zoals in de inleiding al kort is benoemd, wordt de opschaling van het aantal EV's momenteel beperkt door de lange laadtijd van EV's ten opzichte van het snelle tanken van ICE's (Hoen & Koetse, 2014; Motoaki & Shirk, 2017). Moorman en Berveling (2018) stellen, op basis van een test van de ANWB (z.j.), dat het thuis opladen van de EV doorgaans al 8 uur duurt. Hierna is de auto volledig opgeladen. Dit wordt onderschreven door meerdere auteurs (Grüning et al., 2011; Hoen & Koetse, 2014; Motoaki & Shirk, 2017). Het opladen aan een openbare laadfaciliteit

duurt volgens Moorman & Berveling gemiddeld tussen de 2,5 en 5 uur. Opvallend is dat de ANWB (z.j.) geen verschil in laadtijd benoemt tussen een private laadfaciliteit en een reguliere openbare laadfaciliteit en ook andere auteurs delen privaat thuis laden en openbaar laden onder dezelfde categorie in van regulier laden. Beide soorten van regulier laden duren volgens verschillende onderzoeken tussen de 6 en 10 uur voor een volle accu, afhankelijk van het type laadfaciliteit (ANWB, z.j.; Grüning et al., 2011; Hoen & Koetse, 2014; Motoaki & Shirk, 2017).

Motoaki en Shirk (2017) stellen dat het sneller opladen van de EV vereist is om consumenten te stimuleren de overstap te maken van ICE naar EV. Met behulp van snellaadfaciliteiten is de laadtijd terug te brengen tot slechts dertig minuten en is het voor de consument aantrekkelijker om de EV op te laden (ANWB, z.j.; Grüning et al., 2011; Hoen & Koetse, 2014; Motoaki & Shirk, 2017; Moorman & Berveling, 2018). Ondanks dat de laadtijd van de EV middels een snellaadfaciliteit nog altijd langer is dan het bijtanken van een ICE, is snelladen volgens Christensen, Nørrelund en Olsen (2010) een vereiste om het gebruik van EV's op te schalen.

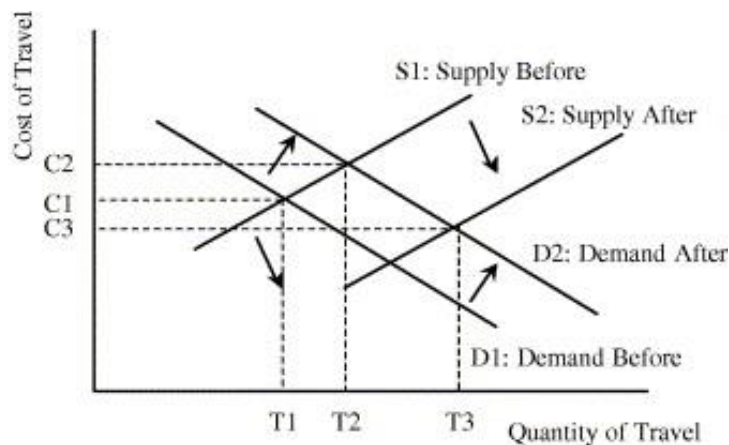
Belangrijk om hierbij te benoemen is dat er een verschil is in acceptatie afhankelijk van het moment van laden. Wanneer de EV 's nachts wordt opgeladen is de tijdsdruk over het algemeen lager dan wanneer onderweg naar een bestemming moet worden bijgeladen. Voor een EV-eigenaar die 's nachts de auto meerdere uren niet gebruikt is snelladen bijvoorbeeld niet gewenst, terwijl de EV-eigenaar overdag de auto doorgaans meer gebruikt en meer is gebaat bij een snellaadfaciliteit. Snelladen is, vanwege economische overwegingen, doorgaans echter alleen mogelijk op grootschalige openbare oplaadstations, bijvoorbeeld langs snelwegen (Sun, Yamamoto & Morikawa, 2016). Hoekstra et al. (2017) pleiten daarom voor een grootschalige uitrol van laadinfrastructuur, met daarin een groot aandeel aan goedkope snellaadfaciliteiten (p. 9). De snellaadfaciliteiten zijn daarbij dus vooral waardevol op drukke (doorvoer)locaties, zoals bijvoorbeeld langs snelwegen.

Met name voor dit onderzoek is de invloed van laadtijd belangrijk. Door hypothetisch laadinfrastructuur te clusteren op de mobiliteitshub en hier snellaadfaciliteiten te plaatsen wordt de laadtijd verkort en kan de keuze om de EV op de hub op te laden mogelijk positief wordt beïnvloedt. Snelladen is echter wel substantieel duurder dan regulier laden en dit kan het laadgedrag van consumenten dus ook negatief beïnvloeden. Onderzoek van Hidrue et al. (2011) toont echter aan dat de huidige laadtijd van een EV zwaar weegt voor consumenten bij de keuze om een EV te kopen. De auteurs stellen dat consumenten een substantieel hogere prijs accepteren voor snellere laadfaciliteiten. Dit wordt onderschreven door Maness en Cirillo (2012) en Hoekstra et al. (2017). Maness en Cirillo (2012) bevonden in hun onderzoek naar adaptatie van EV's in California dat respondenten per uur verkorting van de laadtijd bereid waren om meer dan een dollar extra te betalen voor elektriciteit (p. 106). Hier wordt in paragraaf 2.3.3. meer over geschreven.

2.3.3 De invloed van prijs

Volgend uit de economische theorie van vraag en aanbod heeft een reductie in de kosten van een product of service het gevolg dat de vraag naar het product of de service stijgt (Noland, 2001; Yoa & Morikawa, 2005). Deze *travel demand curve* is zichtbaar in figuur 2.5. Door verbeterde socio-economische factoren, zoals bevolkingsgroei en een inkomensstijging, verschuift de reiscurve in figuur 2.5 van D1 naar D2. De kosten van de reis blijven dan gelijk, maar de reis wordt wel vaker ondernomen. Verbeteringen in de reiscondities, zoals een verhoogde reissnelheid of een afname in prijs, zorgen voor lagere algehele kosten. Hierdoor verschuift de *travel demand curve* van S1 naar S2. Een verlaging in prijs is dus een endogene factor die de vraag naar de reis dus vergroot (Yoa & Morikawa, 2005).

Figuur 2.5 The travel demand curve



Bron: Noland, 2001

Hoewel de *travel demand curve* met name is gericht op reisgedrag, is de stimulans van een prijsverlaging tevens van waarde voor dit onderzoek naar keuzes in laadgedrag van EV-eigenaren. Aangezien de mobiliteitshub zich op een grotere afstand van het huis bevindt, dient een langere reis gemaakt te worden om de EV hier op te laden (§ 2.3.1). Om het opladen op de hub ondanks de langere reistijd toch aantrekkelijk te maken voor de consument, is het daarom van belang dat andere variabelen de *utility* van het opladen op de hub groter maken dan voor het thuis laden van de EV het geval is. Uitgaand van de *travel demand curve* is de prijs van het laden op de mobiliteitshub dus van belang voor de consument in zijn of haar keuze om hiernaartoe te reizen.

Maness en Cirillo (2012) stellen dat de wereldwijd groeiende vraag naar olie ervoor zorgt dat de energieprijzen van ICE's stijgt. Hierdoor zijn er steeds meer kansen voor een competitieve markt voor elektrische energie, waardoor het laden van de EV niet per definitie duurder is dan het tanken van een ICE en elektrisch laden in de toekomst zelfs significant goedkoper kan zijn. Bovendien tonen lokale en nationale overheden, zoals in de inleiding al gesteld, in toenemende mate interesse

in enerzijds het terugdringen van de afhankelijkheid van olie en anderzijds het stimuleren van duurzaam vervoer (Green Deal, z.j.; Maness & Cirillo, 2012; European Environment Agency, 2018; Campbell-Lendrum & Prüss-Ustün, 2018; European Commission, 2019). Mogelijkheden van overheden om duurzaam vervoer te stimuleren zijn onder andere het subsidiëren van elektrisch vervoer en het opladen bij een openbare laadfaciliteit, bijvoorbeeld op de E-Hub, en het extra belasten van ICE's vanwege de uitstoot van broeikasgassen (Ewing & Sarigöllü, 2000; Beck et al., 2011; Hidrue et al., 2011).

Onderzoeken van Ewing en Sarigöllü (1998; 2000) en Hidrue et al. (2011) tonen aan dat huidige subsidies in bijvoorbeeld de Verenigde Staten en Canada al gewenst effect hebben op het aantal EV's dat wordt aangeschaft. Sierzchula et al. (2014) vonden in hun onderzoek onder meer een statistisch verband tussen financiële *incentives* en de adoptie van EV's. Volgens Hidrue et al. (2011) zou de EV echter niet competitief zijn met de ICE zonder deze subsidies. De subsidies zijn dus vereist voor de ontwikkeling van de markt voor EV's. Indien in de toekomst mogelijk ook openbare laadfaciliteiten op de mobiliteitshub worden gesubsidieerd, dan kan de prijs van het laden hier dusdanig worden verlaagd dat de *utility* van het laden op de hub substantieel stijgt. Mogelijk wordt de consument daardoor gestimuleerd om een EV aan te schaffen en de EV op te laden op de mobiliteitshub. Dit is dus in lijn met de *travel demand curve* van Noland (2001).

2.3.4 De invloed van laadzekerheid

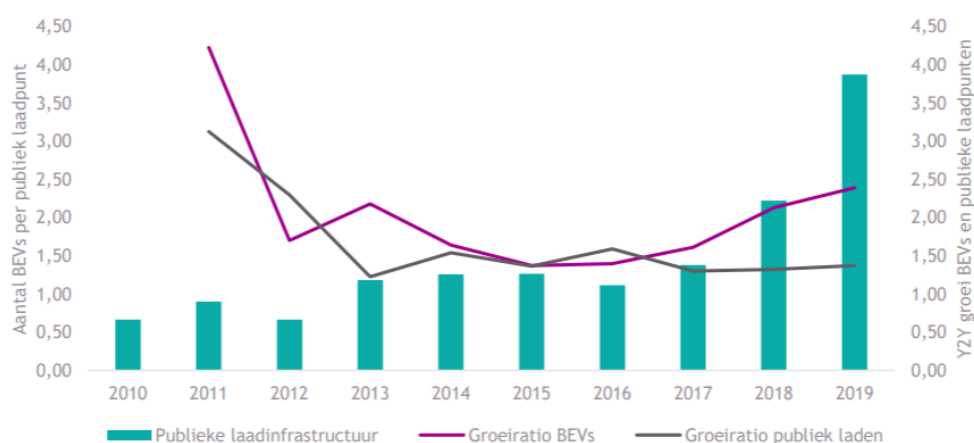
Zoals in de inleiding en in paragraaf 2.3.1 al kort is benoemd, is een voldoende dekkend netwerk van laadinfrastructuur van groot belang voor de eigenaar van een EV. Vergelijkbaar met een tankstation als basisbehoefte van een ICE-eigenaar, is een laadfaciliteit onmisbaar voor de EV-eigenaar. Sierzchula et al. (2014) vonden onder meer een statistisch verband tussen de aanwezigheid van laadinfrastructuur en de adoptie van EV's. Niet alleen is het belangrijk dat er een laadfaciliteit binnen een korte afstand aanwezig is, maar ook dient een laadfaciliteit daadwerkelijk beschikbaar te zijn. Dit wordt door Van Amstel et al. (2020) ook wel laadzekerheid genoemd.

Motoaki en Shirk (2017) maken duidelijk dat wetenschappelijke onderzoeken voorheen vaak te simplistische aannames hanteerden bij de modellering van de beschikbaarheid van laadfaciliteiten. In het onderzoek van Zengin et al. (2016) werd bijvoorbeeld aangenomen dat gebruikers van snellaadfaciliteiten binnen dertig minuten weer beschikken over een 80% volle accu en dat de snellaadfaciliteit direct daarna beschikbaar is om een andere EV op te laden. De werkelijkheid is echter dat het opladen van een EV anders werkt dan het tanken van een ICE en dat het gedrag van de consument hierbij ook wezenlijk verschilt. Uit onderzoek van Motoaki en Shirk (2017) blijkt namelijk dat 30 tot 40% van de EV's aan een snellaadfaciliteit langer dan dertig minuten op de laadplek staat. Vanwege de langere laadtijd in vergelijking met het tanken van benzine zijn consumenten volgens Motoaki en Shirk (2017) eerder

geneigd om de laadplek als een parkeerplaats te gebruiken terwijl zij zelf bijvoorbeeld boodschappen gaan doen of gaan lunchen. Het gevolg is dat het gebruikspotentieel van de laadfaciliteit niet optimaal wordt benut, wat ten koste gaat van de laadzekerheid voor de volgende consument. Het onderzoek van Motoaki en Shirk (2017) is volledig gefocust op snellaadfaciliteiten, maar de resultaten omtrent consumentengedrag gelden in mindere mate ook voor reguliere laadfaciliteiten. Regulier laden duurt, zoals vermeld in paragraaf 2.3.2, gemiddeld tussen de 6 en 10 uur en het is daarom onrealistisch om aan te nemen dat de consument zijn of haar EV direct verplaatst naar een normale parkeerplek nadat de EV is volgeladen.

Laadzekerheid is dus meer dan alleen het bieden van elektrische laadfaciliteiten. Het gaat volgens Van Amstel et al. (2020) om het bieden van het juiste aantal laadfaciliteiten, oftewel de verhouding tussen het aantal elektrische auto's en het aantal laadfaciliteiten. Dit is immers een indicatie voor de beschikbaarheid van een laadfaciliteit en dus ook voor de laadzekerheid van de EV-eigenaar. In figuur 2.6 is te zien dat het aantal volledig elektrische auto's (BEVs) per publieke laadfaciliteit snel toeneemt. Zo was er in 2017 nog gemiddeld één volledig elektrische auto per publiek laadfaciliteit en is dat in 2019 al opgelopen naar vier volledig elektrische auto's per publiek laadfaciliteit (Van Amstel et al., 2020). Op basis van de prognose van 1,8 miljoen EV's in 2030 is in de Nationale Agenda Laadinfrastructuur (NAL) de ambitie opgenomen om het aantal publieke laadfaciliteiten in Nederland te vergoten naar minimaal 1,7 miljoen in 2030. Desondanks blijft de groei in aantal publieke laadfaciliteiten momenteel nog ruim achter bij de groei in aantal EV's (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2019; Van Amstel et al., 2020).

Figuur 2.6 Verhouding tussen het aantal publieke laadfaciliteiten en het aantal volledig elektrische auto's (BEVs)



Bron: Van Amstel et al., 2020

De laadzekerheid is dus een bepalende factor voor consumenten bij het bepalen van de locatie om de EV op te laden. In meerdere onderzoeken wordt gesteld dat EV-eigenaren proberen om met hun keuze voor een locatie de wachttijd voor het

opladen van de EV te minimaliseren (Gharbaoui, Valcarengi, Brunoï, Martini, Conti & Castoldi, 2012; Yang, Cheng, Hsu, Gan & Lin, 2013; Cao, Wang, & Kamel, 2014; Hausler, Crisostomi, Schlote, Radosch & Shorten, 2014). Hierbij maken EV-eigenaren dus de rationele keuze voor het alternatief met de grootste mate van beschikbaarheid, oftewel de kortste wachttijd (Cao et al., 2014). Dit komt dus overeen met het streven naar winstmaximalisatie zoals gesteld in de theorie van de *homo economicus* (§ 2.2). Er is al meermaals onderzoek gedaan naar oplossingen om wachttijden bij laadfaciliteiten te verlagen en laadzekerheid te vergroten. Voorgestelde oplossingen zijn veelal in te delen in *smart charging* (waarover in paragraaf 2.4.2 meer is behandeld) en digitale reserveringen van laadplekken (PWC, 2017; Cao, Wang, Kaiwartya, Min, Ahmad en Abdullah, 2018; Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2019).

2.3.5 Socio-economische factoren

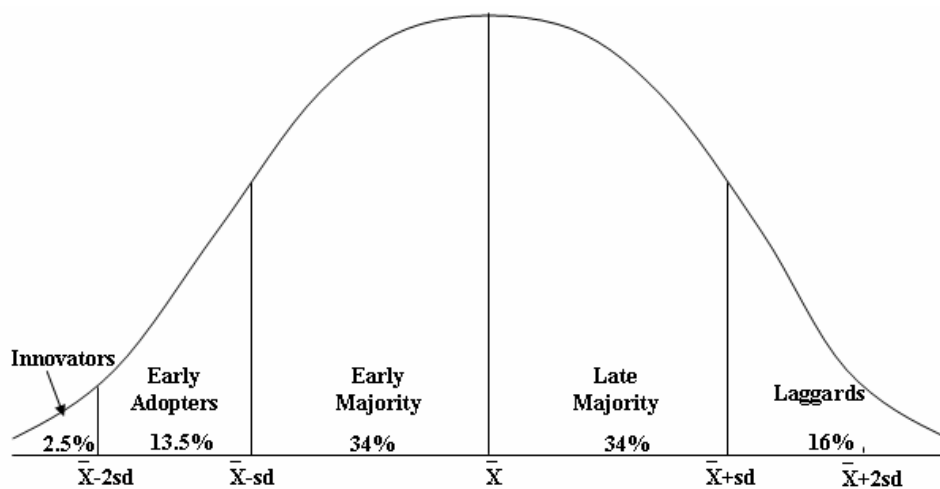
In meerdere onderzoeken wordt benoemd dat socio-economische factoren bepalend zijn in de beslissing om een EV aan te schaffen. In tegenstelling tot de ICE is de EV nog relatief nieuw en constant in ontwikkeling. Daarom worden huidige EV-eigenaren ook wel gezien als pioniers die de opkomst van nieuwe technologie verder stimuleren door gebruik en feedback. Deze "eerste gebruikers", ook wel *innovators* en *early adopters* genoemd, is bij elke nieuwe technologie te onderscheiden en is dus ook in het geval van EV's en mobiliteitshubs te herkennen (Plötz, Schneider, Globisch & Dütschke, 2014; Hardman & Tal, 2018).

De adoptie van nieuwe technologieën door verschillende groepen gebruikers is door Rogers (2003) uitgebreid beschreven. Rogers (2003) spreekt in zijn theorie genaamd *diffusion of innovations* over vijf categorieën gebruikers van een nieuwe technologie. Zijn model is te zien in figuur 2.7. In deze normale verdeling maakt Rogers onderscheid tussen vijf categorieën, elk gestandaardiseerd middels een percentage van het totaal aantal gebruikers over tijd. Dit betekent dat de eerste gebruikers van de innovatieve technologie, in dit onderzoek de EV, slechts 2,5% van het uiteindelijke totaal aantal gebruikers is. Zij worden de *innovators* genoemd en worden gekenmerkt door de wil om nieuwe ervaringen op te doen, ondanks dat de nieuwe technologie nog niet winstgevend of volledig gebruiksvriendelijk is (Rogers, 2003; Sahin, 2006). Later starten *early adopters* (13,5%) met de aanschaf van een EV. Zij bevatten veelal leidinggevende functies en geven feedback op de nieuwe technologie. Vanwege hun leidinggevende functies promoten en stimuleren ze verdere opschaling van het aantal EV's via persoonlijke netwerken. De derde categorie is de gemiddelde mens met een bovengemiddelde socio-economische status, ook wel de *early majority* genoemd. Zij bevinden zich veelal in de persoonlijke netwerken van *early adopters*, staan garant voor een derde van het uiteindelijke aantal EV-eigenaren en hebben meer belang bij een winstgevend of volledig gebruiksvriendelijk concept dan de *innovators* en *early adopters*. De start van adoptie van nieuwe technologieën door de *early majority* wordt ook wel gezien als het

omslagpunt naar grootschalige adoptie in de samenleving en een versnelling in de adoptieratio's (Rogers, 2003).

Dit omslagpunt heeft een domino-effect tot gevolg waarbij steeds meer mensen een EV aanschaffen en het marktaandeel van EV's toeneemt (Rogers, 2003). Na de *early majority* volgt de *late majority* met de aanschaf van een EV. Zij staan eveneens garant voor een derde van het uiteindelijk aantal EV-gebruikers. In tegenstelling tot hun voorgangers wacht de *late majority* met het aanschaffen van een EV tot veel kennissen een EV hebben aangeschaft en hier positief over zijn. De *late majority* wordt gekenmerkt door mensen met een onder gemiddelde sociale status of financiële situatie waardoor zij worden beperkt om te innoveren. Op het moment dat de *late majority* EV's begint te adopteren, worden zij veelal gedreven door economische redenen of sociale druk om ondanks eerdere scepsis toch een EV aan te schaffen. De laatste groep gebruikers die volgens Rogers (2003) nieuwe technologie adopteert zijn de *laggards*. Hoewel zij bij de aanschaf van de EV nog steeds sceptisch zijn en wellicht liever een ICE aanschaffen, worden zij grotendeels gedwongen om de innovatie te volgen en deze aan te schaffen, bijvoorbeeld doordat de traditionele ICE in de toekomst niet meer wordt geproduceerd en dus verdwijnt als alternatief.

Figuur 2.7 Diffusion of innovations model



Bron: Rogers, 2003

Gezien het geringe aandeel EV's in het Nederlandse wagenpark van minder dan 2% in 2019 (Kok et al., 2020), behoren de huidige EV-eigenaren volgens het model van Rogers (2003) tot de *innovators* en, in mindere mate, de *early adopters*. Om het omslagpunt naar een groter marktaandeel voor EV's te bewerkstelligen is het dus van belang dat ook de *early majority* de keuze maakt voor een EV. Er is al meermaals wetenschappelijk onderzoek gedaan naar de kenmerken van EV-eigenaren. Zo bestaat er al literatuur over de socio-economische kenmerken van de huidige EV-eigenaren, oftewel de *innovators* en de *early adopters*. Dit is een kleine groep met

specifieke socio-economische kenmerken (Wietschel, Plötz, Kühn & Gnann, 2013). Hier wordt in de volgende paragrafen meer over toegelicht. Over de potentiële EV-rijder op de korte termijn, oftewel de *early majority*, bestaat voor zover bekend echter nog geen literatuur omtrent EV-gebruik. In de volgende paragrafen wordt ingegaan op een viertal socio-economische kenmerken van huidige EV-gebruikers en indien bekend de verschillen met de toekomstige EV-rijder.

2.3.5.1 *Leeftijd van EV-eigenaren*

Volgens verschillende onderzoeken behoren personen met jonge tot middelbare leeftijd tot de *early adopters* van EV's (Deloitte, 2010; Hidrue et al., 2011). Hidrue et al. (2011) benoemen bijvoorbeeld dat verschillende persoonlijke eigenschappen het bezit van een elektrische auto stimuleren, waaronder een jonge of middelbare leeftijd. Dit is in lijn met onderzoeken van Ewing en Sarigöllü (1998), Potoglou en Kanaroglou (2007) en Ziegler (2012).

Opvallend genoeg toont onderzoek van Ozaki en Sevastyanova (2011) een contrasterend beeld waarbij het merendeel van de eigenaren van een hybride EV juist mannen boven de vijftig zijn. Dit impliceert dat een oudere leeftijd de keuze voor een hybride EV stimuleert terwijl een persoon op jongere leeftijd eerder een volledig elektrische auto aanschaft. Dit wordt onderschreven door Musti en Kockelman (2011) die een positief verband vonden tussen leeftijd en de keuze voor hybride EV's. Het is niet bekend in hoeverre de leeftijd van de *early majority* verschilt van de huidige EV-eigenaren. Ook de invloed van leeftijd op het laadgedrag van de consument is voor zover bekend nog niet onderzocht in wetenschappelijke onderzoeken.

2.3.5.2 *Geslacht van EV-eigenaren*

Volgens onderzoek van Plötz et al. (2014) in Duitsland zijn mannen vaker dan vrouwen eigenaar van een EV. Niet alleen bezitten mannen al vaker een EV, maar ook noemen Plötz et al. (2014) een hogere bereidheid van mannen om een EV te kopen dan bij vrouwen het geval is. Hoewel er voor zover bekend geen literatuur bestaat over de invloed van geslacht op het laadgedrag van EV-eigenaren, is het gegeven dat mannen vaker een EV bezitten en dit ook vaker overwegen wel degelijk van belang voor dit onderzoek. Een groter percentage mannelijke respondenten in dit onderzoek zorgt hiermee dus voor een hogere representativiteit.

2.3.5.3 *Opleidingsniveau van EV-eigenaren*

Early adopters van EV's zijn niet alleen vaak jonge of middelbare mannen, maar hebben volgens verschillende auteurs ook vaak een hoog opleidingsniveau (Hidrue et al., 2011; Ensslen, Paetz, Babrowski, Jochem & Fichtner, 2015). Onderzoek van Hidrue et al. (2011) concludeert bijvoorbeeld dat er een positief verband is tussen opleidingsniveau en de kans dat een persoon een EV aanschaft. Het opleidingsniveau van een persoon hangt veelal samen met het inkomen van de persoon (Berry &

Glaeser, 2005; Rodríguez-Pose & Tselios, 2009). De invloed van inkomen is in de volgende paragraaf verder behandeld. Voor zover bekend is er nog geen onderzoek gedaan naar de invloed van opleidingsniveau op laadkeuzes van consumenten met een EV.

2.3.5.4 *Inkomen van EV-eigenaren*

Plötz et al. (2014) maken duidelijk dat personen met een hoger inkomen vaker tot de *innovators* of *early adopters* behoren. Aansluitend bezitten en kopen personen met een hoger inkomen vaker een EV dan mensen met een lager inkomen. Dit komt volgens Hardman en Tal (2018) door het grotere risico bij de aankoop van een nieuw product, in dit geval de EV. Bovendien is de prijs van innovatieve technologieën in de startupfase veelal hoger dan het oude alternatief. Een hoger inkomen vergoot dus de kans op het aanschaffen van een EV. Volgend uit het model van Rogers (2003) is het inkomen van *innovators* en *early adopters* substantieel hoger dan het inkomen van de *early majority*. Dit impliceert dat de prijs een belangrijkere factor is voor de *early majority*, aangezien het financiële risico groter is. De *early majority* vermijdt zodoende vaker risico's bij de aanschaf van een product en de groep koopt daarom minder vaak een EV als zij hier niet bekend mee zijn (Rogers, 2003; Sierzchula et al., 2012).

Prijsverschillen beïnvloeden niet alleen de aanschaf van een EV, maar zijn ook van belang bij laadkeuzes van consumenten. Wang, Yao en Pan (2021) maken een onderscheid tussen twee soorten laadgedrag. Enerzijds benoemen zij de service-georiënteerde EV-gebruikers, voornamelijk gericht op de kwaliteit en wachttijd van de laadfaciliteit. Deze groep is de meerderheid van de EV-gebruikers en bestaat voornamelijk uit jonge, ervaren bestuurder met een hoog inkomen. Anderzijds noemen Wang et al. (2021) de pragmatisch ingestelde EV-gebruikers die een kosten-efficiënte keuze boven beleving en kwaliteit stelt. Dit is een kleinere groep die met name bestaat uit oudere mannen met een laag inkomen. De EV-gebruiker met een hoger inkomen kiest doorgaans dus eerder voor de laadfaciliteit met de beste kwaliteit of snelste service (kortste wachttijd of laadtijd), terwijl de EV-gebruiker met een lager inkomen een mindere kwaliteit of langere wachttijd eerder accepteert als de prijs bijvoorbeeld lager is. Zowel de service-georiënteerde en pragmatisch ingestelde EV-gebruiker baseert zijn of haar keuze dus op economische factoren uit paragraaf 2.3. Het onderzoek van Wang et al. (2021) toont hiermee aan dat prijs en inkomen niet alleen bepalend zijn voor het kopen van een EV, maar ook voor keuzes die consumenten maken bij het opladen van de EV.

2.4 **Coördinatie van EV-laden in het elektriciteitsnetwerk**

Het is duidelijk dat de opschaling van het aantal EV's en het aantal publieke laadfaciliteiten hoog op de agenda staat van beleidsbepalers over de hele wereld. Het Klimaatakkoord en de Green Deals gericht op elektrisch vervoer impliceren dat er binnen tientallen jaren sprake zal zijn van een substantiële stijging in de vraag naar

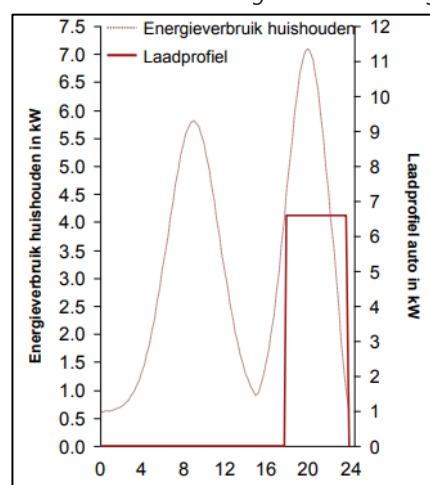
elektriciteit om EV's op te laden (Rijksoverheid, 2019; Londo et al., 2020, Green Deal, z.j.). Dit vraagt om een gedegen implementatie van het EV-laden in het totale elektriciteitsnet. Als de vraag naar elektriciteit immers stijgt, dient tegelijkertijd het aanbod aan elektriciteit mee te groeien om tekorten te voorkomen. Volgens Ghotge, Snow, Farahani, Lukszo en van Wijk (2020) kan deze groei in vraag naar elektriciteit praktische problemen opleveren. Hier wordt in de volgende paragrafen verder op ingegaan.

2.4.1 Afstemming vraag en aanbod

Het huidige elektriciteitsnet is nog niet voldoende ingericht op grootschalige EV-adoptie. Momenteel wordt het opladen van EV's namelijk niet of nauwelijks gecoördineerd om vraag en aanbod in het elektriciteitsnet in balans te houden. Hierdoor kunnen verhoogde pieken in de elektriciteitsvraag ontstaan waar het huidige elektriciteitsnet niet aan kan voldoen (Ghotge et al., 2020). Onderzoek van Van Vliet, Brouwer, Kuramochi, Van den Broek en Faaij (2011) toont aan dat de pieken in de elektriciteitsvraag met het huidige systeem met meer dan 50% stijgen met een toekomstig marktaandeel voor EV's van slechts 30%. De aanschaf van één EV verhoogt namelijk het elektriciteitsverbruik van een huishouden met 50% (Chaudhari, Kumar, Krishnan, Ukil & Gooi, 2019, p. 1). Voor een meer grootschalige adoptie van EV's onder consumenten, oftewel een hoger marktaandeel voor EV's dan 30%, neemt de piekvraag nog verder toe. Dit heeft op nationale en lokale schaal onder meer overbelasting van het elektriciteitsnet en schaarste van elektriciteit tot gevolg (Dubey & Santoso, 2015; PWC, 2017; Ghotge et al., 2020). Op mondiale schaal leiden hogere piekvragen tot hogere elektriciteitsprijzen en meer CO₂-uitstoot (Uddin, Romlie, Abdullah, Abd Halim, Abu Bakar & Chia Kwang, 2018). Het is daarom van belang om verhoogde piekvragen zoveel mogelijk te voorkomen.

Het voorkomen van piekvragen is met name van belang voor duurzame energie. In tegenstelling tot traditionele niet-duurzame energiebronnen zoals aardgas en steenkool, worden duurzame vormen van energieopwekking gekenmerkt door een hoge volatiliteit (PWC, 2017). De opbrengst van wind- en zonne-energie is namelijk niet constant door fluctuaties in windsnelheid en zonkracht. Hierdoor zijn er niet alleen pieken in de vraag naar elektriciteit, maar ook in het aanbod van duurzame elektriciteit. Dit maakt het voor netbeheerders lastiger om in verhoogde piekvragen te voorzien, met als potentieel gevolg dat elektriciteit bij wordt geproduceerd middels niet-duurzame bronnen om tekorten op te vangen. Dit

Figuur 2.8 Elektriciteitsvraag van een huishouden en een EV gedurende de dag



Bron: PWC, 2017

betekent in de praktijk dat een duurzame EV wordt opgeladen op bijvoorbeeld aardgas en indirect toch CO₂ uitstoot tot gevolg heeft.

Verder wordt het energieverbruik van een EV gekenmerkt door een grote piekvraag (PWC, 2017). EV's zijn immers alleen aan het elektriciteitsnet gekoppeld tijdens het opladen, terwijl tijdens het gebruik van een EV slechts de eigen batterij wordt verbruikt. Op het moment dat een EV wordt opgeladen via het elektriciteitsnet, wordt daarom van het ene op het andere moment een piekvraag gegenereerd. Wanneer de piekvragen van huishoudens en het opladen van EV's tegelijkertijd plaatsvinden, bestaat het gevaar van overbelasting van het elektriciteitsnet (Clement-Nyns, Haesen & Driesen, 2010; Dubey & Santoso, 2015; Ghotge et al., 2020). Dit is inzichtelijk geïllustreerd door PWC (2017) in figuur 2.8.

2.4.2 Smart charging

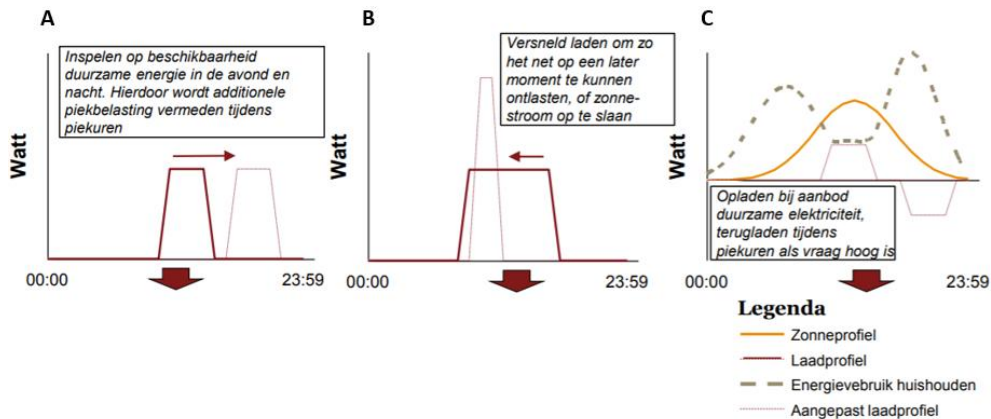
Verschillende auteurs benadrukken het belang om het opladen van EV's zoveel mogelijk te plannen. Om te voorkomen dat het elektriciteitsnet overbelast raakt door enerzijds een hoge volatiliteit of anderzijds een te hoge piekvraag biedt het slim plannen van het opladen van EV's uitkomst. Dit wordt ook wel *smart charging* genoemd (Clement-Nyns et al., 2010; Dubey & Santoso, 2015; PWC, 2017). Het belang van *smart charging* is tevens benadrukt in de Nationale agenda laadinfrastructuur [NAL]. Dit meerjarige beleidsplan van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (2019), wat als bijlage geldt van het Klimaatakkoord, heeft als doel om ervoor te zorgen dat de laadinfrastructuur toereikend is voor de opschaling van het elektrische vervoer in Nederland. In de NAL wordt *smart charging* uitgebreid behandeld als oplossing voor piekbelastingen van het elektriciteitsnet. Hierbij wordt de volgende definitie van *smart charging* gehanteerd:

Smart charging of slim laden is een brede term, die wordt gebruikt om aan te duiden dat slimme technieken de laadtransactie op afstand kunnen aansturen. In de meest eenvoudige vorm betekent dit dat het opladen van elektrische auto's op het meest optimale moment gebeurt, bijvoorbeeld wanneer de kosten laag zijn en het aanbod van (duurzame) energie hoog is. In een meer geavanceerde vorm is het mogelijk om het tijdstip en hoeveelheid van elektriciteitslevering aan elektrische voertuigen te sturen. (...) Op basis van de energievraag en de beschikbare capaciteit op lokaal niveau bepaalt het laadstation wanneer en hoe de batterij te laden. (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2019, p. 14)

Smart charging is dus simpel gezegd het slim reguleren van EV-laadmomenten. Zoals in de definitie is benoemd zijn er verschillende vormen van *smart charging*, variërend in complexiteit. *Smart charging* is zodoende onder te verdelen in een drietal categorieën: het reguleren van het laadtijdstip, het aanpassen van de laadsnelheid

en bi-directioneel laden (PWC, 2017; Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2019).

Figuur 2.9 Drie vormen van smart charging. A: Het tijdstip van laden aanpassen om piekbelasting te vermijden. B: De snelheid van laden aanpassen om piekbelasting later op de dag te voorkomen. C: Bi-directioneel laden om piekbelasting te verhelpen.



Bron: PWC, 2017

2.4.2.1 Tijdstip van laden

De eerste van de drie soorten *smart charging* is het reguleren van het laadtijdstip. In figuur 2.8 is te zien dat de piekconsumptie van huishoudens doorgaans in de ochtend en het begin van de avond plaatsvindt. Meer concreet is dit te herleiden naar het dagelijkse leven van mensen in Nederland. Tussen 07:00 en 10:00 uur vertrekken mensen naar hun werk en daalt dus de energieconsumptie van huishoudens. Tussen 16:00 en 18:00 uur komt deze groep mensen veelal weer thuis en stijgt dus de energieconsumptie van huishoudens doordat mensen bijvoorbeeld koken of tv kijken. Later op de avond gaan mensen naar bed en daalt de energieconsumptie weer. Om te voorkomen dat de consumptiepiek van EV's op hetzelfde moment plaatsvindt als de consumptiepiek van huishoudens, biedt het aanpassen van het tijdstip waarop EV's worden geladen uitkomst (PWC, 2017).

In figuur 2.9A is te zien hoe het verplaatsen van het laadtijdstip bijdraagt aan het vermijden van consumptiepieken. Door te stimuleren buiten huidige consumptiepieken te laden, bijvoorbeeld middels goedkopere tarieven buiten spits tijden of laden tijdens spitsuren te verbieden, wordt de elektriciteitsconsumptie meer evenredig verdeeld gedurende de dag (Sun et al., 2015; Chaudhari et al., 2019). Hiermee wordt volatiliteit in de energieconsumptie en overbelasting van het elektriciteitsnet voorkomen (PWC, 2017; Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2019).

2.4.2.2 Snelheid van laden

De tweede soort *smart charging* is het aanpassen van de snelheid van opladen van de EV, bijvoorbeeld door middel van snellaadfaciliteiten. Dit hangt tevens samen met

innovatie in elektrische laadfaciliteiten, waardoor het goedkoper wordt voor de consument om een snellaadfaciliteit te gebruiken. Het effect hiervan is duidelijk te zien in figuur 2.9B. De energieconsumptie bij het opladen van een EV is weliswaar hoger als sneller wordt geladen, maar is daardoor ook beter te plannen vanwege de korte tijdsduur. Het is hierdoor makkelijker in te plannen om te laden buiten spijstijden (PWC, 2017).

2.4.2.3 Bi-directioneel laden

De derde en nieuwste soort van *smart charging* is het veranderen van de manier van laden. Dit is tevens de meest complexe variant van *smart charging*, aangezien de manier van laden afhangt van de opbrengst van duurzame energie (PWC, 2017). Indien de opbrengst van duurzame energie hoog is, worden EV's middels dit systeem volledig opgeladen. Echter, indien de opbrengst van duurzame energie niet voldoende is om te voldoen aan de totale vraag naar elektriciteit, bijvoorbeeld tijdens piekuren van huishoudens, wordt elektriciteit uit de EV's terug geladen naar het elektriciteitsnet. Zodoende dienen de batterijen van EV's als een onderdeel van het elektriciteitsnet waardoor de stroomcapaciteit in balans blijft en volatilititeit wordt voorkomen. Dit wordt ook wel bi-directioneel laden of *vehicle to grid* [V2G] genoemd (De Brey, 2017; Vassileva & Campillo, 2017; Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2019). Hiervoor is het momenteel veelal vereist om te laden aan een publieke laadfaciliteit die bi-directioneel laden ondersteund, bijvoorbeeld via de laadfaciliteiten van Lomboxnet (De Brey, 2017). De technologie voor bi-directioneel laden zit momenteel nog in de niche-fase en wordt nog niet grootschalig gebruikt (Noel, Rubens, Kester & Sovacool, 2019).

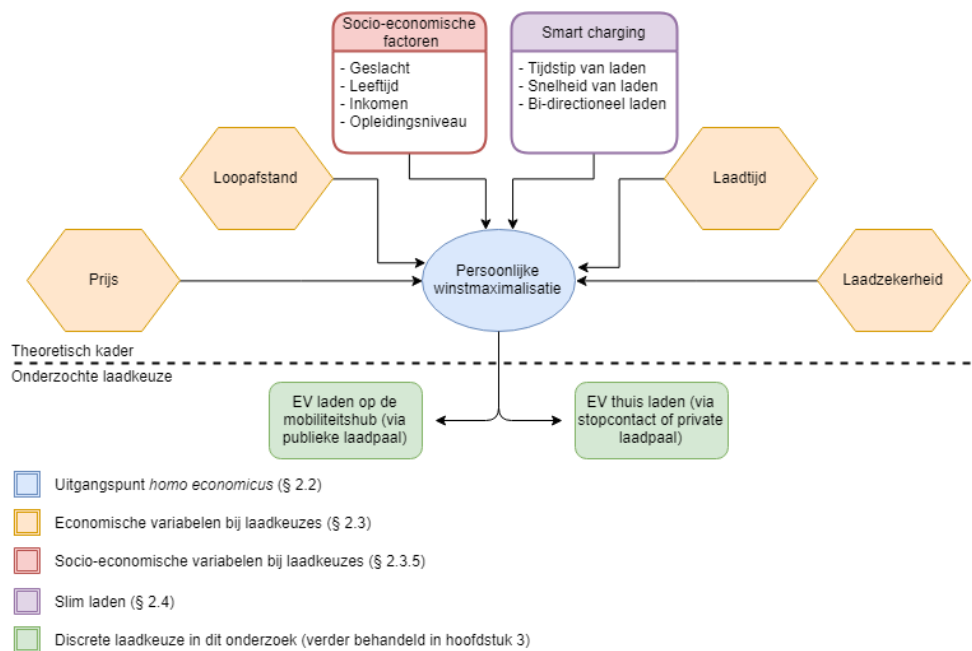
Het effect van bi-directioneel laden is duidelijk te zien 2.9C. Op momenten dat de opbrengst van zonne-energie hoog is, met name in de middag, laden de EV's op. Echter, wanneer de opbrengst van zonne-energie relatief laag is en de elektriciteitsvraag van huishoudens groot is, laden batterijen van EV's een deel van de elektriciteit die de consument niet nodig heeft terug aan de huishoudens die deze energie op dat moment wel nodig hebben (PWC, 2017). Voor dit onderzoek is het te complex om bi-directioneel laden op de mobiliteitshub te onderzoeken, zeker gezien de huidige niche-fase van de technologie (Noel et al., 2019). Allereerst is het van belang om te onderzoeken of de mobiliteitshub een optie is voor de consument om zijn of haar EV op te laden en onder welke omstandigheden. Indien in de toekomst bi-directioneel laden verder is ontwikkeld en grootschalig wordt ingezet is het mogelijk interessant om bi-directioneel laden mogelijk te maken op de mobiliteitshub.

2.5 Samenvatting

De behandelde theorie in dit hoofdstuk is samenvattend vormgegeven in figuur 2.10. In dit onderzoek wordt de laadkeuze tussen het thuis laden van de EV of het opladen van de EV op de mobiliteitshub onderzocht. De mobiliteitshub is namelijk een relatief

nieuwe, maar vooral opkomende ontwikkeling waarbij in toenemende mate laadinfrastructuur aanwezig is. In dit hoofdstuk is beschreven dat de keuze om thuis of op de hub te laden onder meer vanuit de theorie van de *homo economicus* kan worden beschouwd, waarbij de consument keuzes maakt om persoonlijke winstmaximalisatie te verwerven. Hierbij zijn verschillende economische variabelen van belang, namelijk de prijs van het laden, de loopafstand tot de hub, de laadtijd en de laadzekerheid. Verder is duidelijk dat socio-economische factoren (geslacht, leeftijd, inkomen en opleidingsniveau) invloed hebben op het bezit van een EV, maar over de invloed hiervan op laadgedrag is nog weinig bekend. Tot slot zijn er drie vormen van *smart charging* behandeld waarbij voor dit onderzoek de snelheid en het tijdstip van laden een rol spelen om toekomstige overbelasting van het elektriciteitsnet te voorkomen. In dit onderzoek is het bi-directioneel laden nog niet verder onderzocht, omdat deze techniek nog in de niche-fase zit en nog niet grootschalig wordt gebruikt. In het volgende hoofdstuk is verder uiteengezet hoe de behandelde theorie is gebruikt als startpunt voor dit onderzoek en welke methodologische keuzes zijn gemaakt.

Figuur 2.10 Conceptueel model



Bron: Eigen materiaal, 2021

3. Methode

Dit hoofdstuk beschrijft hoe dit onderzoek is uitgevoerd. De behandelde theorie uit het theoretisch kader dient hierbij als uitgangspunt. Allereerst wordt de keuze voor kwantitatief onderzoek besproken, gevolgd door de methodiek omtrent de dataverzameling. Hierin wordt behandeld hoe de enquête is vormgegeven, hoe deze is verspreid en hoe is omgegaan met de privacy van respondenten. Tot slot is de data-analyse uiteengezet, waarbij de keuze voor gebruikte modellen wordt toegelicht en verschillende keuzemogelijkheden uit de enquête zijn beschreven.

3.1 Kwantitatief onderzoek

Het doel van dit onderzoek is om te achterhalen of laadinfrastructuur bij mobiliteitshubs mogelijkheden biedt voor de nabij wonende consument met een private EV. Hierbij is de volgende hoofdvraag onderzocht:

In hoeverre biedt de aanwezigheid van mobiliteitshubs kansen voor inwoners van omliggende woonwijken bij de opschaling van elektrische auto's door het bieden van laadinfrastructuur voor elektrische auto's?

Om deze hoofdvraag te beantwoorden is gekozen voor een kwantitatieve onderzoeksmethode. Dit houdt in dat dit onderzoek is gefundeerd op een empirisch-analytische benadering. Hierbij worden theorieën gevormd door het logische principe van inductie. Volgens het principe van deductie zijn deze theorieën vervolgens getoetst op waarheid (Scheepers, Tobi & Boeije, 2016). Scheepers et al. (2016) benadrukken het belang van een gedegen literatuuronderzoek voorafgaand aan de eigen dataverwerving om zo goed mogelijk op de hoogte te zijn van bestaande theorieën en zodoende wetenschappelijk onderbouwde hypothesen te formuleren. In het theoretisch kader is daarom eerst literatuuronderzoek verricht en dit is als leidraad gebruikt voor het vervolg van dit onderzoek.

Kwantitatief onderzoek komt voort uit het streven naar nomothetische kennis. Hier wordt mee bedoeld dat wetenschappers op zoek zijn naar sociale of menselijke regelmatigheden, ook wel "wetten" genoemd, die generaliserende uitspraken geldend voor grotere populaties mogelijk maken (Scheepers et al., 2016). In dit onderzoek is onderzocht in hoeverre diverse variabelen, voortkomend uit de theorie van de *homo economicus* en de *random utility theory* (Domencich & McFadden, 1975; Ben-Akiva & Lerman, 1985; Limtanakool et al., 2006), het

laadgedrag van consumenten beïnvloeden en mogelijk als stimulans dienen om de EV op te laden op de mobiliteitshub.

Kwantitatief onderzoek omvat tevens een reductionistische benadering, waarbij de “kenbare werkelijkheid” wordt samengevat in slechts een aantal variabelen (Scheepers et al., 2016, p. 74). Ook in dit onderzoek heeft een versimpeling van de werkelijkheid plaatsgevonden. De onderzochte werkelijkheid was in dit geval het laadgedrag van de mens, wat wordt verklaard door een aantal onafhankelijke variabelen voortkomend uit het theoretisch kader. Deze variabelen zijn bevestigd in een enquête en vervolgens statistisch getoetst, waarover in de volgende paragrafen meer is beschreven.

3.2 Dataverzameling

3.2.1 Enquêtes

In dit onderzoek is gebruikt gemaakt van enquêtes ter verzameling van data. Enquêtes zijn een veel gebruikte methode binnen het kwantitatief wetenschappelijk onderzoeksveld, mede vanwege de mogelijkheden om in korte tijd een hoge respons te verwerven. Enquêtes zijn er echter in verschillende soorten en maten en kunnen bovendien op verschillende manieren worden verspreid. In dit onderzoek is een digitale benadering gebruikt volgens het principe van *Computer-assisted web interviewing, internet- or websurveys* [CAWI] (Scheepers et al., 2016). Mede vanwege de maatregelen rondom het coronavirus (Rijksoverheid, 2021), is het verrichten van online onderzoek meer verantwoord dan het fysiek afnemen van papieren enquêtes. Daarnaast heeft een enquête via het CAWI principe ook praktische voordelen. Zo biedt een digitale enquête de mogelijkheid om in een kort tijdsbestek veel respondenten te werven voor het onderzoek. Respondenten kunnen in hun eigen tijd en op hun eigen tempo via hun telefoon of computer de enquête invullen. Hierdoor worden meerdere enquêtes tegelijk ingevuld, zonder dat de onderzoeker fysiek langs al deze respondenten hoeft te zijn geweest (Chang & Vowles, 2013; Vehovar & Manfreda, 2016). Dit is dus efficiënt ten aanzien van de beperkte tijd van dit onderzoek en het is bovendien in lijn met huidige overheidsmaatregelen, zoals *social distancing* (Scheepers et al., 2016; Vehovar & Manfreda, 2016; Rijksoverheid, 2021).

Verder is de rol van de onderzoeker minimaal in een online enquête. Bij een fysieke enquête is er sprake van direct contact tussen onderzoeker en respondent, waardoor de onderzoeker, al dan niet onbewust, de antwoorden van de respondent kan beïnvloeden. Een online enquête minimaliseert deze *interviewer bias* en geeft de respondent meer kans anoniem te antwoorden (Chang & Vowles, 2013). Bovendien kunnen respondenten op eigen tempo de antwoorden invullen, waardoor ze minder gehaast hoeven te antwoorden en vrijer zijn in hun beantwoording. Dit verbetert de datakwaliteit (Holland & Christian, 2008; Vehovar & Manfreda, 2016).

Een bijkomend voordeel van een online enquête is dat het aantal verwerkingsfouten in de responsen lager is dan bij een fysieke enquête het geval is (Chang & Vowles, 2013). Dit komt enerzijds doordat de responsen al in een digitaal format zijn ingevuld en de onderzoeker de responsen dus niet handmatig hoeft te verwerken. Hiermee is een foutgevoelig proces van dataverwerking vermeden, waardoor de kans op verwerkingsfouten kleiner is (Chang & Vowles, 2013). Anderzijds kan het ontwerp van de enquête ook bijdragen aan het voorkomen van verwerkingsfouten. Met de juiste instellingen in de antwoordvelden en het programmeren van condities voor het beantwoorden van bepaalde vragen, zijn foutieve of ontbrekende antwoorden zo veel mogelijk voorkomen. Voorbeelden hiervan zijn het alleen mogelijk maken van een numerieke invoer wanneer wordt gevraagd naar leeftijd, het alleen tonen van vragen die van toepassing zijn op de respondent en het instellen van verplichte vragen zodat geen vragen onterecht worden overgeslagen (Holland & Christian, 2009; Chang & Vowles, 2013; Scheepers et al., 2016).

Om bovenstaande voordelen van een online enquête optimaal te benutten, is het van belang om de enquête te testen voorafgaand aan het daadwerkelijke dataverzamelingsproces (Scheepers et al., 2016). Voorafgaand aan dit onderzoek is de enquête daarom getest door zowel collega-onderzoekers als een aantal personen uit de onderzoeksdoelgroep. Hierdoor zijn de vraagstellingen, instellingen en routing van de enquête geoptimaliseerd voordat deze werd verspreid onder de onderzoeksdoelgroep.

3.2.2 Indeling van de enquête

De enquête stond uit van 14 mei 2021 tot en met 7 juni 2021 en is terug te vinden in bijlage A. De enquête is gemaakt met het programma LimeSurvey, omdat dit wordt ondersteund door Goudappel en het veel mogelijkheden biedt omtrent programmering.

De enquête is opgedeeld in vier delen. Allereerst zijn respondenten bevestigd naar hun huidige autobezit om zodoende te controleren of de respondent daadwerkelijk in de doelgroep valt. Hierbij is gevraagd naar het aantal auto's dat de respondent bezit en hoeveel daarvan elektrisch zijn. Belangrijk hierbij is dat respondenten die momenteel geen EV bezitten vervolgens werden bevestigd of ze binnen tien jaar verwachten een EV te bezitten. Indien het antwoord hierop "zeker niet" of "waarschijnlijk niet" was, viel de respondent niet in de doelgroep en werd het vervolg van de enquête niet getoond. Er is gekozen voor een tijdsbestek van tien jaar, omdat er in Nederland vanaf het jaar 2030 alle nieuwe auto's volledig elektrisch moeten zijn (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2019). Bovendien bezitten respondenten momenteel mogelijk een (nieuwe) ICE en vanwege de hoge aanschafkosten acht de onderzoeker het niet realistisch dat alle respondenten op de korte termijn een nieuwe auto aanschaffen. De onderzoeker verwacht dat binnen een periode van tien jaar ook personen die momenteel een auto bezitten de keuze maken om een nieuwe ICE of EV aan te schaffen.

Het tweede deel van de enquête bevatte vragen omtrent het belang van verschillende variabelen, zoals afstand en laadtijd, bij het opladen van de EV. Deze variabelen kwamen voort uit het theoretisch kader. Daarna is aan elke respondent een tiental tabellen getoond met twee opties, waarbij de respondent telkens een keuze kon maken tussen thuis opladen en op de hub opladen. De responsen uit deze tabellen zijn later gebruikt voor de *discrete choice analysis* (waarover meer is geschreven in 3.3.1) en de tabellen zijn verder inhoudelijk beschreven in paragraaf 3.3.2. Tot slot zijn algemene vragen gesteld over de socio-economische situatie van de respondent. Volgens Galesic en Bosnjak (2009) worden de laatste vragen van een enquête doorgaans sneller, korter en minder secuur beantwoord dan vragen aan het begin van de enquête. De socio-economische vragen zijn daarom aan het eind van de enquête gesteld, omdat ze snel en gemakkelijk te beantwoorden zijn zonder al te veel inspanning. Hiermee is getracht de non-respons laag te houden.

3.2.2.1 Randomisatie

In totaal bevat de enquête dertig tabellen voor de *discrete choice* analyse. Echter duurt het invullen van de enquête te lang als iedere respondent alle dertig tabellen te zien krijgt. Ondanks dat het tonen van alle vragen aan alle respondenten het mogelijk maakt om de invloed van alle variabelen volledig te testen, bestaat het gevaar dat respondenten hun interesse verliezen en de enquête niet volledig of niet secuur invullen (Mau et al., 2008). Bovendien weigeren potentiële respondenten eerder om de enquête in te vullen naarmate de enquête langer duurt (Galesic & Bosnjak, 2009). Het is daarom van belang dat de enquête enerzijds niet te lang is voor respondenten, maar anderzijds wel genoeg vragen bevat om een *discrete choice* analyse op toe te passen. Met name in het geval van een *discrete choice* analyse kunnen de vragen gaan vervelen voor de respondent. Vanwege de repeterende manier van vraagstelling met telkens een tabel waarbij slechts enkele variabelen veranderen, kan de aandacht van de respondent bij een *discrete choice* analyse sneller verdwijnen dan bij een ander soort enquête het geval is (Coast, Flynn, Salisbury, Louviere & Peters, 2006).

Om "uitval" van respondenten te voorkomen is in dit onderzoek gekozen om respondenten in drie groepen te verdelen en elke groep tien van de dertig scenario's te tonen. Aan het begin van de enquête kregen respondenten een willekeurig cijfer toegewezen tussen één en drie en op basis hiervan werden verschillende tabellen getoond. De dertig scenario's zijn random verdeeld over de drie groepen, waarbij elke groep genoeg scenario's te zien kreeg met variërende waardes in variabelen, zodat een *discrete choice* analyse mogelijk is. Zodoende krijgt elke respondent 24 vragen te zien, waarvan slechts bij tien vragen uit alternatieven dient te worden gekozen. Dit aantal vragen is minder dan de dertig vragen die respondenten volgens Hensher, Stopher en Louviere (2001) maximaal zorgvuldig beantwoorden.

3.2.3 Respondentenwerving

Sociale studies maken doorgaans gebruik van een grote groep respondenten om gedrag of een verschijnsel te verklaren door middel van verschillende variabelen. Hierbij is het belangrijk dat de groep respondenten representatief is voor de onderzoekspopulatie, waarover meer is beschreven in paragraaf 3.2.3.1. Een representatieve groep respondenten kan worden verkregen door middel van een aselechte steekproef uit de totale populatie (Scheepers et al., 2016). De doelgroep van dit onderzoek zijn mensen met een elektrische auto of interesse hierin, oftewel de *early adopters* en de *early majority* van EV's. Aangezien maar een deel van Nederland binnen deze onderzoeksdoelgroep valt en er bovendien geen database van mensen met een elektrische auto of geïnteresseerden bestaat, is het echter niet mogelijk om een aselechte doelgroep te trekken. Bovendien is het gezien de overheidsmaatregelen omtrent het coronavirus niet mogelijk om huis-aan-huis enquêtes te verspreiden. In dit onderzoek is daarom gekozen voor een digitale sneeuwbalsteekproef.

Een sneeuwbalsteekproef is bedoeld voor een doelgroep die voor de onderzoeker lastig te bereiken is. Hierbij helpt netwerken van zowel de onderzoeker als van de respondenten om de enquête verder te verspreiden onder de doelgroep (Hogan, Olade, Carpenter & Gerson, 2014; Scheepers et al., 2016). De sneeuwbaltheorie is gebaseerd op het idee dat respondenten die zijn bereikt door de onderzoeker de enquête vervolgens verder verspreiden binnen hun netwerk. Tevens kan de onderzoeker een aantal startpunten voor de verspreiding van de enquête bewerkstelligen, zoals via een betrokken organisatie. Wanneer de enquête op deze manier verder wordt verspreid, "rolt" de sneeuwbal verder en wordt het bereik van de enquête groter. Hierdoor heeft de sneeuwbalmethode het voordeel dat een grotere groep mensen wordt bereikt dan "slechts" het netwerk van de onderzoeker.

Een belangrijk nadeel van een sneeuwbalsteekproef is dat onderzoeker steeds minder zicht heeft op waar de enquête wordt verspreid en wie de enquête invult. Daar komt bij dat de enquête in dit onderzoek is verspreid via sociale media en mond-op-mond reclame. Hierbij ontstaat het gevaar dat *selection bias* ontstaan waarbij de groep respondenten te homogeen is en niet representatief is voor de gehele populatie (Bethlehem, 2010). Bovendien bestaat het gevaar dat mensen die niet tot de doelgroep behoren de enquête ook invullen.

Om bovenstaande tekortkomingen van de online sneeuwbalsteekproef te overkomen is de enquête vanuit verschillende startpunten verspreid. Allereerst is het persoonlijke netwerk van de onderzoeker via Facebook en LinkedIn gebruikt om respondenten te werven. Verder is het netwerk van stagebedrijf Goudappel, een adviesbureau voor mobiliteitszaken, gebruikt ter verspreiding van de enquête. Zowel via LinkedIn (3.246 volgers) en Twitter (1.395 volgers) als via de interne bedrijfsmedia is de enquête actief door Goudappel verspreid. Daarnaast zijn meerdere organisaties benaderd die betrokken zijn bij het elektrisch vervoer in Nederland. Hiervan bleken

twee organisaties, namelijk E-Drivers.com en ELaadNL, bereid om de enquête te verspreiden onder leden en/of volgers.

E-Drivers.com is naar eigen zeggen hét online platform voor iedereen met interesse in elektrische auto's. E-Drivers.com heeft 674 volgers op LinkedIn, 744 volgers op Facebook en naar eigen zeggen maandelijks 110.000 bezoekers op de website. Bovendien heeft E-Drivers.com een online nieuwsbrief onder leden. Zodoende is E-Drivers.com een organisatie die in direct contact staat met de doelgroep van dit onderzoek. Via de nieuwsbrief en een bericht op de website is de enquête onder de aandacht gebracht van leden en bezoekers van E-Drivers.com. ELaadNL is het kennis- en innovatiecentrum voor elektrische laadsystemen in Nederland en heeft respectievelijk 5.000 en 3.000 volgers op Twitter en LinkedIn. ELaadNL heeft de enquête verspreid via al hun sociale mediakanalen. E-Drivers.com en ELaadNL hebben dus beiden een groot bereik onder *early adopters* van EV's en de toekomstige *early majority* en waren daarom van groot belang voor de dataverzameling van dit onderzoek.

3.2.3.1 Representativiteit

In het theoretisch kader is al benoemd (§ 2.3.5) dat *early adopters* en de *early majority* niet representatief zijn voor de gehele Nederlandse populatie. Zo is er volgens verschillende auteurs een oververtegenwoordiging van jonge tot middelbare mannen met een hoog inkomen en een hoge opleiding ten opzichte van de gehele bevolking (Ewing & Sarigöllü, 1998; Rogers, 2003; Deloitte, 2010; Hidrue et al., 2011; Ziegler, 2012; Plötz et al., 2014; Ensslen et al., 2015). Het toetsen van representativiteit op basis van socio-economische variabelen is niet nodig. In de uitgevoerde logistische regressie (MNL & ML, zie § 3.3.3) is de representativiteit immers gecontroleerd aan de hand van de socio-economische variabelen. In de logistische regressie is echter niet getoetst of de groep respondenten daadwerkelijk tot de *early adopters* en de *early majority* behoort. Van deze onderzoeksdoelgroep bestaat geen data en zodoende kan niet worden bepaald of de groep respondenten overeenkomt met de onderzoeksdoelgroep. Dit is verder besproken in de discussie (§ 6.2).

3.2.4 Consent

Zoals in elk onderzoek is het van groot belang dat zorgvuldig met data van de respondenten wordt omgegaan. Zimmer (2010) benoemt in zijn onderzoek dat het uitlekken van persoonlijke data grote gevolgen kan hebben voor respondenten. De respondent dient daarom goed te zijn ingelicht over wat er met zijn of haar data gebeurt en dient hier tevens mee akkoord te gaan voorafgaand aan het onderzoek (Zimmer, 2010; Nardi, 2018). Dit is sinds 25 mei 2018 tevens vastgelegd in een Europees brede privacywetgeving: de Algemene verordening gegevensbescherming [AVG]. De AVG bepaalt dat een persoon expliciet toestemming moet geven voor het verwerken van persoonsgegevens en dat slechts gegevens mogen worden verwerkt

die vereist zijn voor het uiteindelijke doel van het onderzoek (Autoriteit Persoonsgegevens, 2020).

De eerste pagina van de enquête bevat daarom informatie over de privacy en anonimiteit van dit onderzoek. Persoonlijke gegevens zoals naam, adres en emailadres zijn niet van belang voor dit onderzoek en zijn daarom ook niet bevraagd of geregistreerd. Hiermee is de respondent volledig anoniem. Andere persoonsgegevens, zoals geslacht, leeftijd, opleidingsniveau en inkomen zijn wel getoetst, maar respondenten waren niet verplicht om deze vragen te beantwoorden.

Met name bij kleine, selectieve doelgroepen bestaat het gevaar dat de antwoorden van een respondent ondanks anonimiteit toch terug zijn te leiden tot de persoon. Vanwege de grote doelgroep van dit onderzoek is dat bij deze enquête nagenoeg onmogelijk. Er is dus geen sprake van *sensitive data*.

3.3 Data-analyse

3.3.1 Discrete choice model in Python

De verkregen data uit de enquête is geanalyseerd in Python door middel van een *discrete choice analysis* [DCA]. DCA is gebaseerd op de *Random Utility Theory* en beide theorieën modeleren de keuze van een persoon uit een reeks alternatieven. Hierbij wordt er, zoals in paragraaf 2.2 is beschreven, van uitgegaan dat de mens streeft naar *utility maximization* en dat de mens daardoor keuzes maakt waarbij hij of zij kiest voor het alternatief met de meeste persoonlijke waarde (Train, 2009). Dit sluit dus aan bij de theorie van de *homo economicus* waarbij de mens eveneens streeft naar winstmaximalisatie.

De gebruikte DCA in dit onderzoek is een voorbeeld van een *stated preference* [SP] methode waarbij een hypothetische keuze wordt voorgelegd aan de respondent. Dit is gedaan door waardes van variabelen omtrent deze keuze te variëren, zoals voorgesteld door Hensher en Greene (2002). In totaal bevatte dit onderzoek dertig keuzes tussen thuis opladen of opladen op de mobiliteitshub. De bijbehorende waardes van de onderzochte variabelen zijn kort beschreven in paragraaf 3.3.2 en zijn terug te vinden in bijlage B.

Recente literatuur en methodes over DCA zijn met name gebaseerd op artikelen van McFadden (McFadden, 1974; 1986; McFadden & Train, 2000; Loeviere, Flynn & Carson, 2010). Zoals onder andere duidelijk werd in *Urban Travel Demand: A behavioral analysis* (Domencich & McFadden, 1975) is DCA uitermate geschikt voor onderzoek naar keuzes in reisgedrag van mensen (Lyons, Mayor & Tol, 2009; Ben-Elia & Shiftan, 2010; Li, Yang, Shen & Wu, 2019). Dit onderzoek bouwt daarom eveneens voort op de theorie van McFadden middels een DCA.

In dit onderzoek zijn twee logistische modellen uitgevoerd met behulp van Python versie 3.8.8 voor Mac. De scripts voor beide modellen zijn geschreven in Atom en zijn terug te vinden in bijlagen E en F. Net als in het onderzoek van Kolarova et al., (2019) is gebruik gemaakt van de software PythonBiogeme om beide modellen te

schatten (Bielaire, 2003; 2016). Allereerst is een standaard MNL uitgevoerd als testmodel. Dit is gedaan aangezien het uiteindelijke ML model uitgebreider en ingewikkelder is in uitvoering en interpretatie dan een standaard MNL. De analyse is daarom eerst getest met een eenvoudiger MNL om het proces van data-analyse te vereenvoudigen. Nadat dit MNL model volledig is uitgevoerd en goed werkte is een ML uitgevoerd, wat uiteindelijk resulteerde in de daadwerkelijke resultaten van dit onderzoek.

Het wiskundige verschil in de modellering van een MNL en de modellering van een ML is uiteengezet in het theoretisch kader (§ 2.2.1). De keuze voor een ML als eindmodel is gemaakt op basis van deze wiskundige verschillen met een MNL. De ML biedt de mogelijkheid om de aanname van IIA los te laten en om correlatie tussen antwoorden van dezelfde respondent te herkennen. Met name voor de data in dit onderzoek is het van belang om correlatie tussen antwoorden van dezelfde respondenten in de data-analyse te verwerken. Iedere respondent heeft immers tien keuzemogelijkheden beantwoord en de tien bijbehorende antwoorden zijn daarmee dus gelinkt aan dezelfde respondent. Het ML model is in staat om correlatie tussen deze antwoorden te onderscheiden. Daarom is in dit onderzoek uiteindelijk gekozen voor een meer waarheidsgetrouw ML model als eindmodel (Algiers et al., 1998; Alfnes, 2004; Ye & Lord, 2014; Kolarova et al., 2019).

3.3.2 Onderzochte variabelen

De enquête testte het belang van variabelen die in het theoretisch kader zijn behandeld. Op basis van de *homo economicus* en het streven van de mens naar winstmaximalisatie zijn de volgende variabelen onderzocht: afstand, laadtijd, prijs, moment van laden, laadzekerheid en socio-economische factoren. Om een DCA uit te voeren, zijn meerdere vragen gesteld waarbij de respondent tussen twee alternatieven kon kiezen. Hierbij zijn hypothetische situaties voorgelegd in tabellen waarbij telkens in één variabele is gevarieerd om per variabele te toetsen of veranderingen effect hebben op de keuzes van respondenten. In tabel 3.1 zijn deze variabelen uitgesplitst in de gebruikte waardes, inclusief dummy coderingen zoals deze in het *Mixed Logit* model zijn gebruikt. In totaal zijn respondenten dertig verschillende alternatieven voorgehouden, welke in bijlage B zijn toegelicht. In tabel 3.2 is voor elk alternatief de waarde van onderzochte variabelen voor het opladen op de hub samengevat met behulp van de codering uit tabel 3.1. De omstandigheden (waardes van variabelen) voor het thuis opladen van de EV bleven constant.

Tabel 3.1 Getoetste variabelen en codering

Variabelen	Getoetste waarden
Afstand	0 = Geen afstand 1 = 4 minuten lopen 2 = 8 minuten lopen 3 = 12 minuten lopen
Kosten per kilometer	0 = €0,030 1 = €0,045 2 = €0,080 3 = €0,117
Laadtijd	0 = 6-10 uur (100% volle accu) 1 = 30 minuten (80% volle accu)
Laadzekerheid	0 = Geen garantie op een laadplek 1 = Garantie op een laadplek
Wanneer mag u laden?	0 = Altijd 1 = Alleen 's nachts (tussen 21:00 en 06:00) en overdag (tussen 11:00 en 16:30)

Bron: Eigen materiaal, 2021

De kosten per kilometer zijn gebaseerd op cijfers van de ANWB (z.j.), waarbij het thuis opladen van de EV goedkoper is dan het opladen bij openbare laadfaciliteiten vanwege het winstoogmerk van de verstreker van de laadfaciliteit. Hierin is variatie aangebracht om te onderzoeken of een lagere prijs, bijvoorbeeld door subsidies, het laadgedrag van EV-eigenaren verandert. De laadtijd is gebaseerd op de gemiddelde laadtijd van een reguliere laadfaciliteit volgens de ANWB (2020) en Moorman en Berveling (2018), waarbij tevens is overgenomen dat een snellaadfaciliteit veelal slechts snel oplaad tot 80% van de accu vol is geladen. Voor de laadzekerheid is de definitie van Motoaki en Shirk (2017) en Van Amstel et al. (2020) gevolgd, waarbij de consument bij een hoge laadzekerheid gegarandeerd een laadplek heeft. De momenten wanneer mag worden geladen op de mobiliteitshub zijn gebaseerd op de resultaten van PWC (2017) omtrent *smart charging*, waarin wordt gesteld dat het opladen van EV's tijdens pieken in de energieconsumptie van huishoudens niet duurzaam is vanwege overbelasting van het elektriciteitsnetwerk (§ 2.4).

Tabel 3.2 Waardes van onderzochte variabelen voor het laden op de hub per alternatief (op basis van codering in tabel 3.1)

	Afstand	Kosten per kilometer	Laadtijd	Laadzekerheid	Wanneer mag u laden?
ALT 1	3	2	0	0	0
ALT 2	2	2	0	0	0
ALT 3	1	2	0	0	0
ALT 4	3	3	1	0	0
ALT 5	2	3	1	0	0
ALT 6	1	3	1	0	0
ALT 7	3	1	0	0	0
ALT 8	2	1	0	1	0
ALT 9	1	1	0	0	1
ALT 10	3	2	1	0	0
ALT 11	2	2	1	0	0
ALT 12	1	2	1	0	0
ALT 13	3	0	0	0	1
ALT 14	2	0	0	0	0
ALT 15	1	0	0	1	0
ALT 16	3	1	1	0	0
ALT 17	2	1	1	0	0
ALT 18	1	1	1	0	0
ALT 19	3	0	0	1	0
ALT 20	2	0	0	1	0
ALT 21	1	0	0	1	0
ALT 22	3	1	1	1	0
ALT 23	2	1	1	1	0
ALT 24	1	1	1	1	0
ALT 25	3	0	0	0	1
ALT 26	2	0	0	0	1
ALT 27	1	0	0	0	1
ALT 28	3	1	1	0	1
ALT 29	2	1	1	0	1
ALT 30	1	1	1	0	1

Bron: Eigen materiaal, 2021

4. Resultaten

Dit hoofdstuk behandelt de resultaten van dit onderzoek. Allereerst is kort toegelicht hoe het proces van dataverwerking en data cleaning is uitgevoerd. Vervolgens komt de beschrijvende statistiek aan bod om inzicht te verkrijgen in de data en de kenmerken van de respondenten. Naast informatie over socio-economische kenmerken van respondenten wordt hierbij het huidige (elektrische) autobezit en de huidige manier van EV-laden behandeld. Hierna worden de resultaten van het uitgevoerde *discrete choice* model toegelicht. Voor dit model zijn met name de gemaakte keuzes tussen de dertig alternatieven (bijlage B) van belang, aangevuld met de socio-economische kenmerken.

4.1 Beschrijvende statistiek

In totaal is de online enquête (bijlage A) 305 keer gestart. Hiertoe behoren echter ook onjuist ingevulde of onvolledige responsen, zowel door respondenten die aan het begin van de enquête besloten om toch niet te starten als respondenten die halverwege de enquête besloten om te stoppen. Tot deze groep behoren 54 respondenten, waardoor het totaal afgeronde enquêtes werd teruggebracht tot 251 responsen. Daarnaast bevatte deze 251 responsen ook nog informatie van respondenten die buiten de doelgroep vallen. Zoals in de methode (§ 3.2.2) is uitgelegd, is de vraag gesteld of respondenten momenteel een EV in hun huishouden bezitten. Indien dit niet het geval was, is vervolgens de vraag gesteld of de respondent verwacht binnen 10 jaar een EV te bezitten. Indien de respondent hier “zeker niet” of “waarschijnlijk niet” op antwoorde, behoorde deze persoon niet tot de doelgroep. Uiteindelijk zijn er hierdoor 16 responsen verwijderd doordat de persoon buiten de doelgroep viel. Zodoende resteerden nog 235 responsen. Daarnaast zijn responsen van personen die geen antwoord hadden ingevuld bij de socio-economische vragen verwijderd. Dit resulteerde in nog eens 85 verwijderde responsen. Dit was nodig om het later uitgevoerde ML model succesvol uit te voeren. Het resultaat na deze data cleaning is een databestand met 150 volledige responsen van respondenten die tot de doelgroep behoren van dit onderzoek.

In de volgende paragrafen wordt beschrijvende statistiek toegepast op dit nieuwe databestand. Allereerst worden de socio-economische kenmerken behandeld. Hierna wordt het huidige EV-bezit en -gedrag besproken en tot slot wordt beschrijvende statistiek toegepast op de economische variabelen voortkomend uit het theoretisch kader.

4.1.1 Socio-economische kenmerken

4.1.1.1 Leeftijdverdeling

De gemiddelde leeftijd van de groep respondenten is 44 jaar. De jongste respondent was 20 jaar en de oudste respondent was 79 jaar oud. De meest voorkomende leeftijd is 54 jaar. Na het indelen van ingevulde leeftijden in een drietal leeftijdsklassen op basis samengevoegde klassen van het Centraal Bureau voor de Statistiek [CBS] (2021b) is de leeftijdsverdeling van de respondenten bepaald, welke is te zien in figuur 4.1.

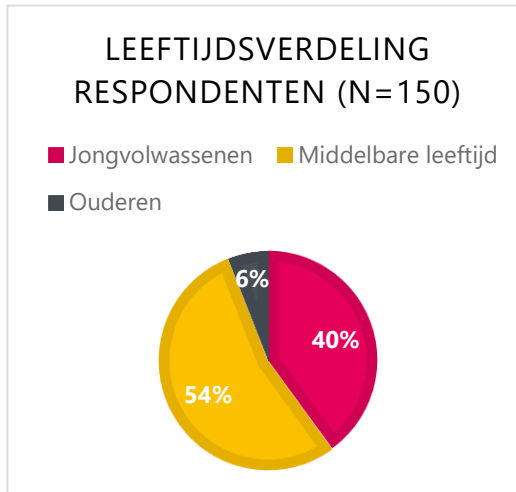
Jongvolwassenen zijn personen van 18 tot 40 jaar oud. Personen van middelbare leeftijd zijn 40 tot 65 jaar en ouderen zijn 65 jaar of ouder. De groep van middelbare leeftijd is in dit onderzoek de grootste groep (54%), gevolgd door de groep jongvolwassenen (40%) en een kleine groep ouderen (6%).

De leeftijdsverdeling in dit onderzoek komt grotendeels overeen met theorie uit het theoretisch kader. Meerdere onderzoeken toonden aan dat een jonge tot middelbare leeftijd de kans op het bezit van een EV vergoot (Ewing & Sarigöllü, 1998; Potoglou & Kanaroglou, 2007; Ziegler, 2012). Ook Deloitte (2010) en Hidrue et al. (2011) benoemden dat *early adopters* vooral personen zijn met een jonge tot middelbare leeftijd. Gebaseerd op theorie uit het theoretisch kader is de groep respondenten in dit onderzoek qua leeftijd representatief voor de onderzoeksdoelgroep.

4.1.1.2 Geslachtsverdeling

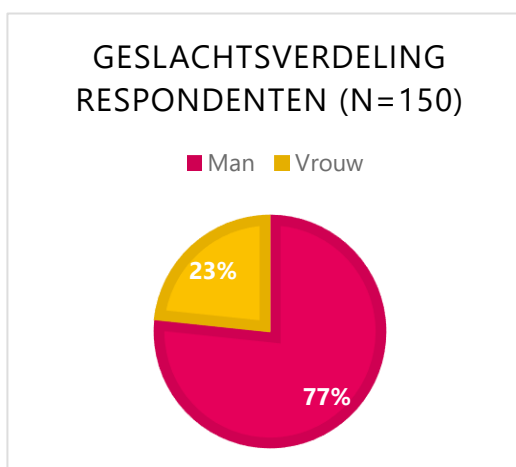
De geslachtsverdeling van de respondenten (figuur 4.2) schetst een beeld waarbij het mannelijke geslacht is oververtegenwoordigd. Ruim driekwart van de respondenten associeerde zichzelf met het mannelijke geslacht (77%). 23% van de respondenten gaf aan zich met het vrouwelijke geslacht te identificeren.

Figuur 4.1 Leeftijdsverdeling respondenten



Bron: Eigen materiaal, 2021

Figuur 4.2 Geslachtsverdeling respondenten



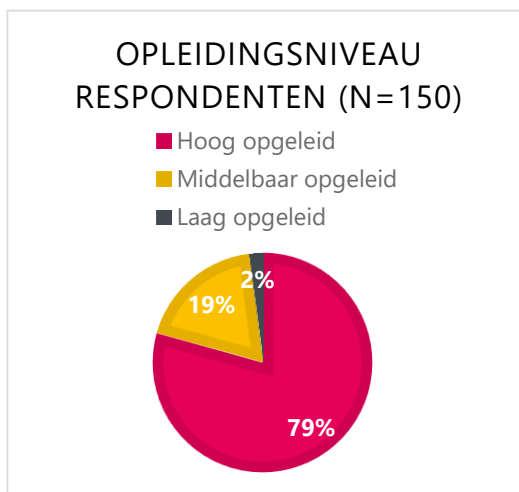
Bron: Eigen materiaal, 2021

De oververtegenwoordiging van het mannelijke geslacht in dit onderzoek is in lijn met theorie uit het theoretisch kader, waarin is gesteld dat mannen vaker een elektrische auto kopen of hierin geïnteresseerd zijn. Hierdoor behoren mannen, afgaand op wetenschappelijke literatuur, vaker tot de doelgroep van dit onderzoek en is de oververtegenwoordiging van het mannelijke geslacht in dit onderzoek dus juist representatief.

4.1.1.3 Opleidingsniveau

Het opleidingsniveau van de respondenten (figuur 4.3) is over het algemeen hoog. Ruim driekwart van de respondenten (79%) gaf aan dat hij of zij een HBO of universitaire opleiding had afgerond. Iets minder dan een kwart van de respondenten (19%) heeft een middelbaar opleidingsniveau (MBO, HAVO of VWO) afgerond en slechts 2% kent met VMBO of MAVO als hoogst afgeronde opleiding een laag opleidingsniveau. Ter vergelijking: uit data van het CBS (2021a) blijkt dat op nationale schaal 32% van Nederland een HBO of universitaire studie heeft afgerond. De groep respondenten in dit onderzoek zijn dus gemiddeld substantieel hoger opgeleid dan gemiddeld in Nederland.

Figuur 4.3 Opleidingsniveau respondenten



Bron: Eigen materiaal, 2021

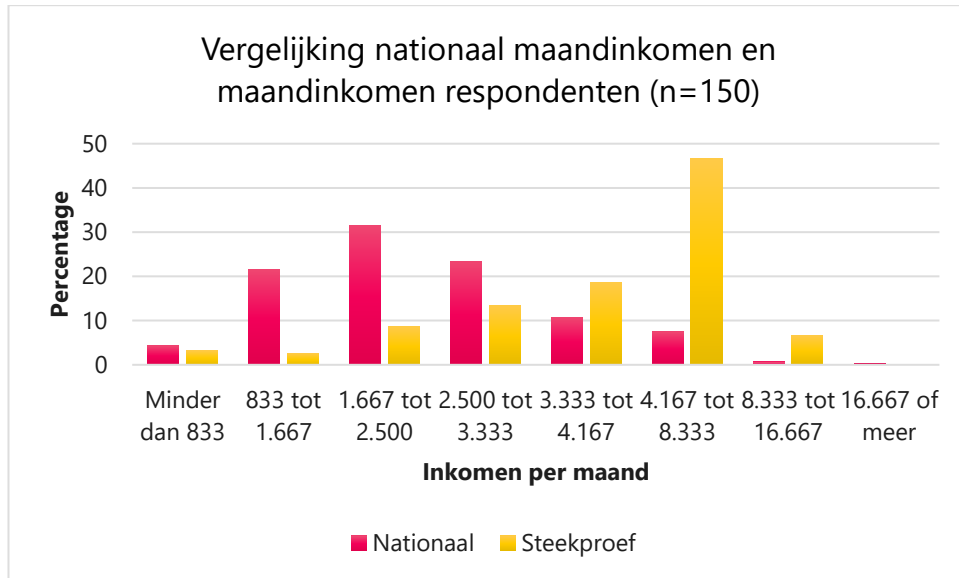
De oververtegenwoordiging van hoogopgeleiden in dit onderzoek komt overeen met theorie uit het theoretisch kader. Er zijn zoals vermeld in paragraaf 2.3.5.3 namelijk meerdere onderzoeken die aantonen dat een hoger opleidingsniveau de kans op het bezit van een EV vergroot (Hidrue et al., 2011; Ensslen et al., 2015). Daarmee is de kans dus ook groter dat een hoogopgeleid persoon sneller tot de huidige EV-bezitters of toekomstige EV-bezitters behoort. Voor dit onderzoek is de oververtegenwoordiging van hoogopgeleiden dus juist representatief voor de doelgroep.

4.1.1.4 Inkomensverdeling

De inkomensverdeling van de groep respondenten verschilt wezenlijk van landelijke data. In figuur 4.4 is in het rood de nationale maandinkomensverdeling te zien en in het geel de maandinkomensverdeling van de groep respondenten. Duidelijk is dat er sprake is van een rechts scheve verdeling, oftewel: de groep respondenten heeft over het algemeen een hoger inkomen dan gemiddeld in Nederland. Dit betekent dat er een oververtegenwoordiging van personen met hogere inkomens is in de groep respondenten. Dit is duidelijk zichtbaar voor bijvoorbeeld de inkomensklasse

4.167 tot 8.333: Ruim 46% van de respondenten behoort tot deze groep terwijl dit op nationale schaal slechts 7% is.

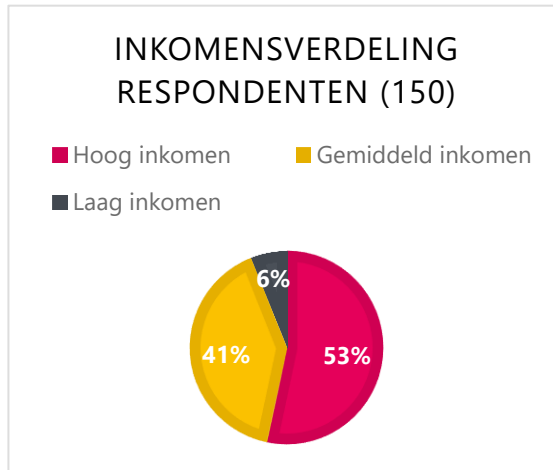
Figuur 4.4 Inkomensverdeling Nederland en steekproef



Bron: Eigen materiaal, 2021

Voor de uitvoering van zowel het MNL en ML model is het niet praktisch om met veel inkomensklassen te werken. Daarom toont in figuur 4.5 een kleinere variatie aan inkomensklassen. Hierbij zijn maandinkomens van 4.167 euro of hoger ingedeeld als hoog inkomen. Maandinkomens tussen 1.667 en 4.167 euro behoren tot de gemiddelde inkomens en de groep lage inkomens bevat maandinkomens van maximaal 1.666 euro. Ook bij deze indeling is de oververtegenwoordiging van hoge inkomens duidelijk zichtbaar (53%), gevolgd door gemiddelde inkomens (41%) en lage inkomens (6%).

Figuur 4.5 Inkomensverdeling respondenten



Bron: Eigen materiaal, 2021

De oververtegenwoordiging van hogere inkomens in de groep respondenten is weliswaar niet overeenkomstig met landelijke statistieken, maar sluit wel aan bij theorie uit het theoretisch kader. In paragraaf 2.3.5.4 werd al duidelijk dat meerdere wetenschappelijke onderzoeken aantonen dat een hoger inkomen de kans op het bezit van een EV vergroot. De scheve verdeling naar de hogere

inkomensklassen past daarom goed bij de onderzoeksdoelgroep, aangezien een hoger inkomen tevens de kans vergroot om tot de doelgroep te behoren.

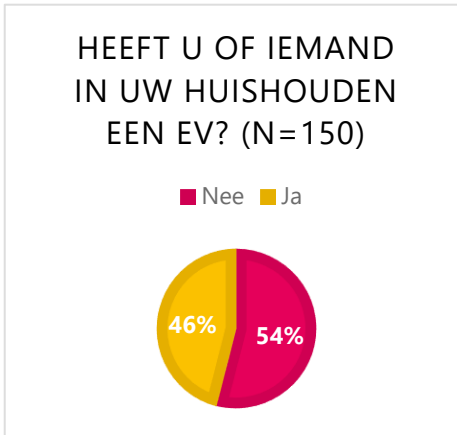
4.1.2 Huidig EV-bezit en laadgedrag

4.1.2.1 Huidig EV-bezit

In figuur 4.6 is te zien dat 69 van de 150 respondenten aangaven dat iemand in hun huishouden een EV bezit (54%). De groep respondenten is dus nagenoeg gelijk verdeeld met huishoudens die al een EV bezitten en personen die binnen tien jaar een EV verwachten te bezitten. Opvallend is dat de respondenten die al een EV in hun huishouden bezitten veelal aangeven slechts één EV te bezitten.

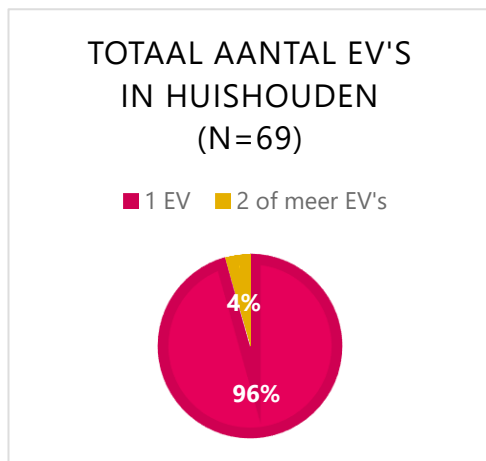
Figuur 4.7 maakt duidelijk dat slechts 4% van de 69 respondenten met een EV in hun huishouden meer dan één EV bezit. Bovendien geeft het grootste deel van de ondervraagde EV-bezitters (67%) aan hier nog minimaal één andere, niet elektrische auto naast te bezitten (figuur 4.8). Slechts 33% van de ondervraagde EV-eigenaren bezit enkel één of meerdere EV's. Blijkbaar kiezen respondenten momenteel nog nauwelijks voor een volledig elektrisch wagenpark, maar prefereren ze het bezit van ICE naast hun EV.

Figuur 4.6 Huishoudens met een EV in bezit



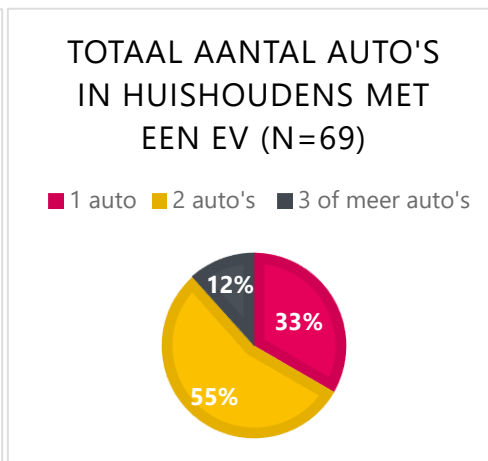
Bron: Eigen materiaal, 2021

Figuur 4.7 Aantal EV's in huishouden



Bron: Eigen materiaal, 2021

Figuur 4.8 Aantal auto's (EV & ICE) in huishouden



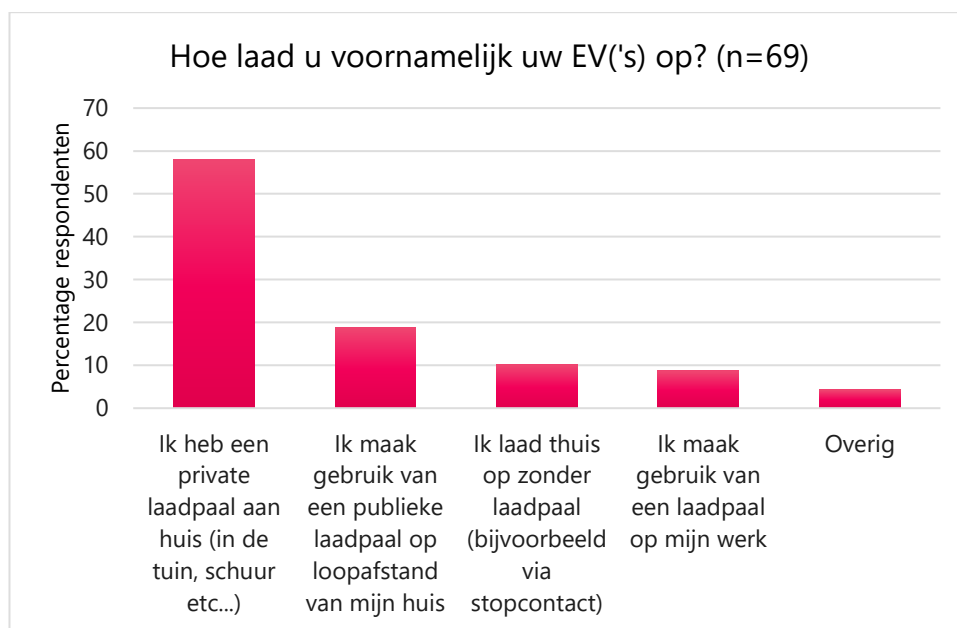
Bron: Eigen materiaal, 2021

4.1.2.2 Huidige manier van opladen

In figuur 4.9 is te zien dat het grootste gedeelte van de 69 respondenten met een EV in hun huishouden zijn of haar EV voornamelijk oplaadt via een private laadfaciliteit

aan huis (58%). Nog eens 10% laadt thuis op zonder laadfaciliteit. Zodoende geeft slechts 19% van de respondenten met een EV aan dat hij of zij gebruik maakt van een publieke laadfaciliteit. Dit sluit aan bij de huidige uitrol van laadinfrastructuur volgens het principe van “paal volgt auto” (Van Amstel et al., 2020). Daarnaast werd in de inleiding ook al genoemd dat huidige EV-bezitters en consumenten die nu een EV kopen veelal een private laadfaciliteit op eigen terrein bezitten (APPM & Decisio, 2016; PWC, 2017). Tevens is drie keer gekozen voor de optie “anders” (4%), waarbij de betreffende respondenten toelichtten dat hun EV zelfstandig oplaadt tijdens het rijden. Dit zijn hybride EV's.

Figuur 4.9 De voornaamste manier van opladen onder respondenten



Bron: Eigen materiaal, 2021

4.1.2.3 Koppeling EV-bezit en socio-economische kenmerken

Door bovenstaande twee paragrafen te combineren is vergeleken hoe EV-bezit onder verschillende socio-economische groepen is verdeeld. In tabel 4.1 is inzichtelijk gemaakt hoeveel respondenten tot iedere socio-economische categorie behoren en hoeveel respondenten per socio-economische groep een EV bezitten in hun huishouden. Voor de drie leeftijdscategorieën valt op dat respondenten van middelbare leeftijd en ouderen vaker wel een EV in hun huishouden bezitten dan niet. Hierbij dient wel te worden vermeld dat de groep ouderen in dit onderzoek met 9 respondenten vrij klein is. De groep jongvolwassenen bezit vaker geen EV in hun huishouden. Wat betreft geslacht is een groter verschil te zien in EV-bezit. Iets meer dan de helft van de bevroegde mannen geeft aan een EV in het huishouden te bezitten, terwijl het overgrote deel van de vrouwen aangeeft geen EV te bezitten in hun huishouden.

Het bezit van een EV in het huishouden geeft een minder duidelijk beeld wanneer dit wordt vergeleken met het opleidingsniveau van de respondenten. Bij alle drie de inkomensklassen is de groep respondenten redelijk gelijk verdeeld in EV-bezit. De groep met lage inkomens is met drie respondenten echter erg klein, wellicht door de in paragraaf 4.1.1.4 genoemde verklaring dat personen met een laag inkomen volgens theorie minder snel tot de doelgroep van dit onderzoek behoren. Het inkomen van de respondent lijkt in tabel 4.1 wel van belang in het EV-bezit. Van de kleine groep respondenten met een laag inkomen heeft geen enkel persoon hiervan een EV in hun huishouden. Respondenten met een gemiddeld inkomen bezitten in ongeveer een derde van de gevallen een EV in hun huishouden, terwijl bij respondenten met een hoog inkomen meer dan de helft een EV in hun huishouden bezit.

Tabel 4.1 EV-bezit in huishouden per socio-economische categorie

Socio-economische groepen	Aantal respondenten met een EV in huishouden	Aantal respondenten zonder een EV in huishouden	Totaal aantal respondenten
Jongvolwassenen	19	41	60
Middelbare leeftijd	42	39	81
Ouderen	8	1	9
Man	64	51	115
Vrouw	5	30	35
Laag opgeleid	2	1	3
Middelbaar opgeleid	13	15	28
Hoog opgeleid	54	65	119
Laag inkomen	0	9	9
Gemiddeld inkomen	24	37	61
Hoog inkomen	45	35	80

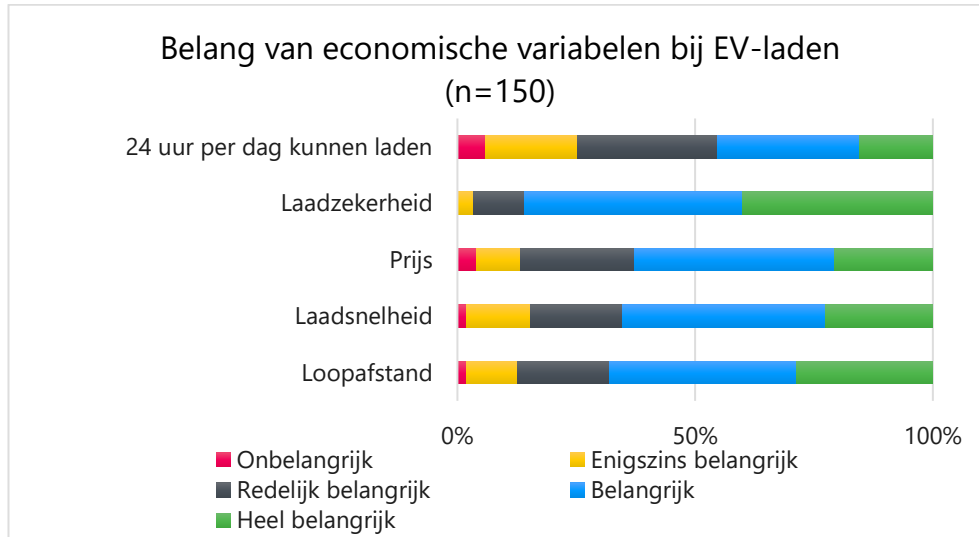
Bron: Eigen materiaal, 2021

4.1.3 Het belang van economische variabelen bij EV-laden

Bij de analyse van de vragen naar het belang van een aantal economische variabelen bij het opladen van de EV, voortkomend uit het theoretisch kader, valt op dat onderzochte variabelen over het algemeen als belangrijk worden gezien door de respondent. In figuur 4.10 is duidelijk te zien dat het belang van laadzekerheid, oftewel de garantie dat er een vrije plek is om te laden, veruit als belangrijkste variabele wordt gezien. Minder dan 1% vindt laadzekerheid onbelangrijk bij het opladen van de EV. Laadzekerheid wordt opgevolgd door respectievelijk loopafstand, laadsnelheid en prijs van het laden, welke ook allen van belang zijn. Het 24 uur per dag kunnen laden wordt door het grootste gedeelte van de respondenten

wel als redelijk belangrijk, belangrijk of heel belangrijk genoemd (75%), maar is de minst belangrijke variabele van de vijf bevroegde economische variabelen bij het opladen van een EV.

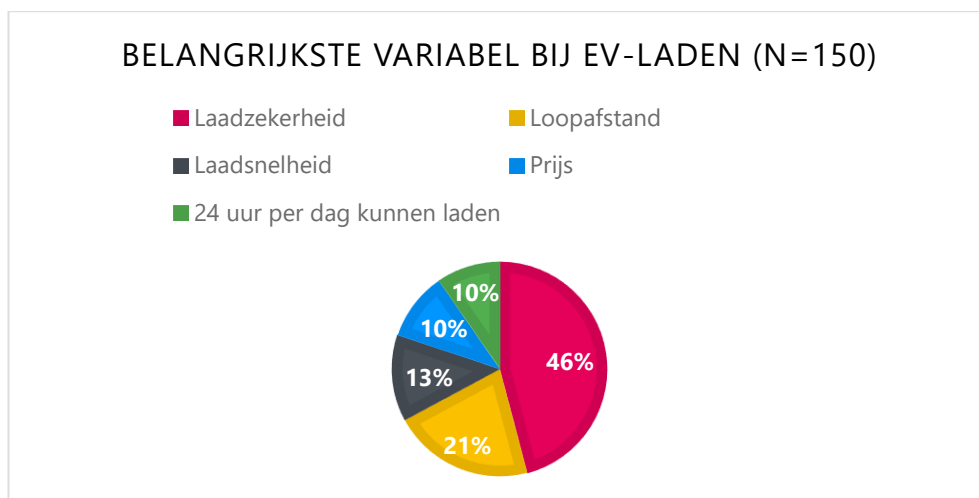
Figuur 4.10 Het belang van economische variabelen bij EV-laden



Bron: Eigen materiaal, 2021

Figuur 4.11 schetst een soortgelijk beeld. Hierin is uiteengezet in hoeverre iedere variabele werd gekozen als belangrijkste variabele bij het opladen van een EV. Ook hierin is laadzekerheid veruit de meest gekozen variabele (46%), wederom gevolgd door loopafstand (21%). De overige drie variabelen, laadsnelheid (13%), prijs (10%) en het 24 uur per dag kunnen laden (10%), verschillen niet veel van elkaar en zijn het minst gekozen als belangrijkste factor.

Figuur 4.11 De gekozen belangrijkste variabele bij EV-laden



Bron: Eigen materiaal, 2021

4.1.4 Gemaakte laadkeuzes

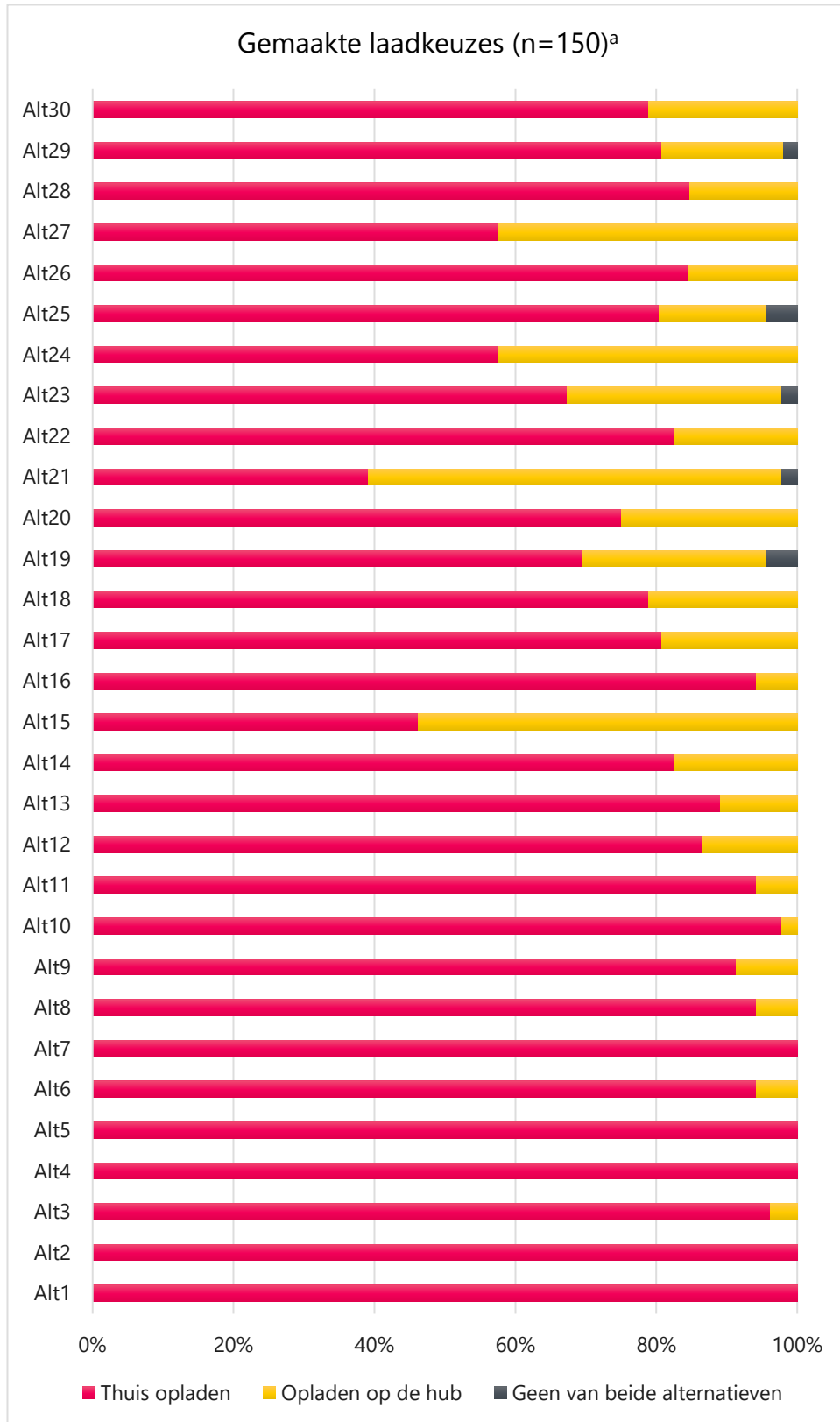
Figuur 4.12 toont de door de respondenten gemaakte keuzes voor alle dertig onderzochte alternatieven. De volledige keuzetabellen met daarbij de verschillende waardes van variabelen zijn terug te vinden in bijlage B.

Opvallend is dat bij het grootste gedeelte voornamelijk wordt gekozen om de EV thuis op te laden in plaats van op de hub. Met name bij de alternatieven 1 tot en met 6, welke gelden als nulmetingen van de huidige situatie, wordt nagenoeg uitsluitend gekozen om de EV thuis op te laden. Alleen in het geval van een hub op 4 minuten loopafstand wordt door 4% van de respondenten gekozen voor de hub als hier een reguliere laadfaciliteit aanwezig is. Indien er een snellaadfaciliteit aanwezig is, kiest 6% van de respondenten om de EV op de hub op te laden.

Slechts in zes alternatieven kiest minstens 30% van de respondenten voor opladen op de hub. Dit betekent dat in het overgrote deel van de gestelde alternatieven minder dan een derde van de respondenten kiest om op de mobiliteitshub op te laden. Van alle onderzochte alternatieven zijn er twee waarbij een kleine meerderheid van de respondenten kiest om op de hub op te laden. Dit zijn alternatief 15 (53%) en alternatief 21 (52%). Beide alternatieven zijn gelijk qua propositie en bevatten dezelfde waarden voor laadtijd, laadzekerheid en het moment van laden op de mobiliteitshub. De enige verschillen zijn de vier minuten loopafstand naar de hub en de lagere prijs per kilometer op de hub vergeleken met thuis laden. Dit insinueert dat de lagere prijs de *utility* van op de hub opladen groter maakt, ondanks de loopafstand van vier minuten. Als echter de loopafstand naar de hub wordt verhoogd naar 8 minuten, met dezelfde waardes voor overige variabelen, daalt blijkbaar de *utility* dusdanig dat slechts 13% van de respondenten nog kiest om op de hub op te laden (alternatief 20).

Verder is het opvallend dat de afstand tot de hub een belangrijke rol lijkt te spelen. In de alternatieven waarbij de mobiliteitshub op 4 minuten loopafstand is (alternatieven 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27 en 30) wordt in alle gevallen meer gekozen om op de hub te laden dan bij alternatieven waarbij de hub op 8 of 12 minuten loopafstand is. Alternatieven waarbij de mobiliteitshub op 8 minuten loopafstand is gesitueerd hebben over het algemeen eveneens een hoger percentage respondenten dat kiest voor laden op de hub in vergelijking met alternatieven waarbij de hub op 12 minuten loopafstand is gesitueerd.

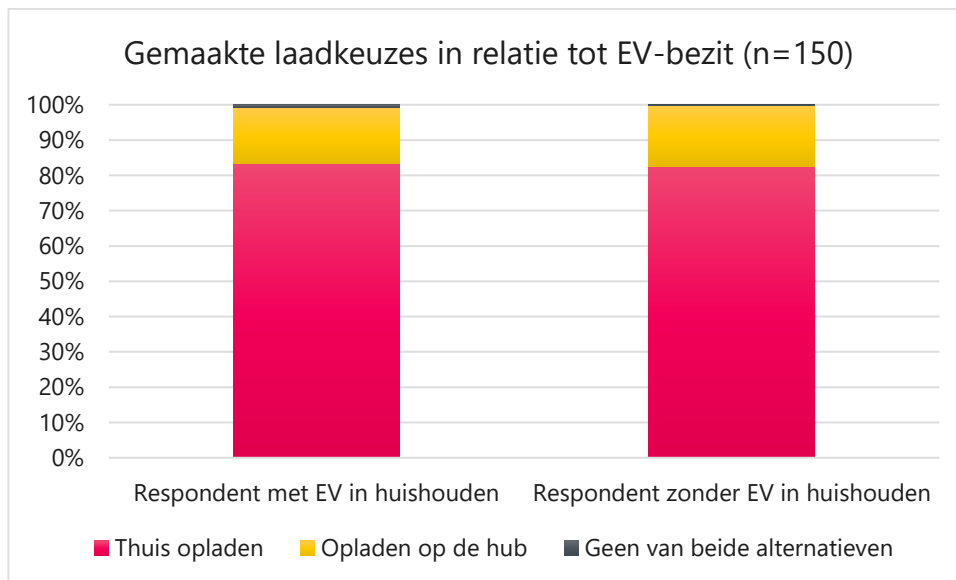
Figuur 4.12 Gemaakte laadkeuzes in de dertig gestelde discrete choices



^a Zoals in paragraaf 3.2.2.1 is vermeld zijn respondenten in drie groepen onderverdeeld. Bron: Eigen materiaal, 2021

De gemaakte laadkeuzes laten dus zien er voornamelijk wordt gekozen om de EV thuis op te laden in plaats van op de mobiliteitshub. Interessant is om bij deze keuzes onderscheid te maken in twee groepen respondenten, namelijk de respondent met een EV in zijn of haar huishouden en de respondent zonder een EV in zijn of haar huishouden. Figuur 4.13 toont dat er nauwelijks verschil is in de keuzes van respondenten met en zonder een EV in hun huishouden. Bij beide groepen kozen de respondenten in 83% van de gestelde laadkeuzes om de EV thuis op te laden. Ook de keuze om op de mobiliteitshub te laden is bij beide groepen vergelijkbaar. 16% procent van de respondenten met een EV in bezit kiest om op de hub te laden, terwijl dit voor de respondenten zonder een EV in bezit 17% is. De gemaakte laadkeuzes zijn dus niet anders voor personen die al een EV bezitten als voor personen zonder een EV in hun huishouden.

Figuur 4.13 Vergelijking gemaakte laadkeuzes van respondenten met een EV in hun huishouden en respondenten zonder een EV in hun huishouden



Bron: Eigen materiaal, 2021

4.2 Resultaten MNL

Zoals vermeld in paragraaf 3.3.3 is voorafgaand aan het ML model een MNL uitgevoerd als testmodel. De resultaten hiervan zijn samengevat in tabel 4.2 en de originele uitvoer is terug te vinden in bijlage C. Deze tabel geeft een overzicht van de geschatte coëfficiënten (β), de geschatte standaarddeviaties (η), de waarden van de t-toets en de algehele *model fit*. Over het algemeen toont het model verwachte indicaties en waarden.

Tabel 4.2 Resultaten MNL

Name	Est. value β	Est. value η	t-value β
ASC 1	5.88	0.509	(11.6)
ASC 2	5.33	0.473	(11.3)
β LOOPAFSTAND	-0.865	0.114	(-7.57)
β LOOPAFSTAND Jongvolwassenen	0.297	0.0837	(3.55)
β LOOPAFSTAND Ouderen	-1.33	0.428	(-3.1)
β KOSTEN	-1.15	0.224	(-5.12)
β KOSTEN Laag & gemiddeld inkomen	-0.532	0.203	(-2.62)
β SNELLADEN	0.488	0.281	(1.73)
β SNELLADEN Laag & gemiddeld inkomen	1.15	0.24	(4.8)
β BUITEN PIEKUREN	-0.56	0.174	(-3.21)
β LAADZEKERHEID	0.719	0.202	(3.55)
Model Fit			
Log-likelihood (0)	-1647.918		
Log-likelihood (final)	-565.8596		
Rho-square	0.657		
Estimated Parameters	11		
Sample size	1500		

Bron: Eigen materiaal, 2021

Om te toetsen op significantie is voor alle variabelen een eenzijdige t-toets uitgevoerd (grenswaarde t-toets = 1.64), omdat de richting van de effecten voorafgaand bekend was *a priori*, oftewel op basis van eerder uitgevoerd onderzoek zoals beschreven het theoretisch kader. Alle vijf de onderzochte economische variabelen (loopafstand, laadtijd, prijs, laadzekerheid en altijd kunnen laden) blijken uit de MNL significant van invloed op de keuze van respondenten om hun EV thuis of op de mobiliteitshub op te laden. Vervolgens zijn de socio-economische kenmerken één voor één in het model verwerkt om mogelijke correlatie met de economische kenmerken te toetsen. Hieruit bleek dat jongvolwassenen en ouderen samen met loopafstand significant correleerden. Verder correleerden lage en gemiddelde inkomens met zowel de kosten van het laden als met de tijdsduur (snelladen). De overige socio-economische variabelen hadden geen significant verband met de economische variabelen en zijn dus niet inbegrepen in tabel 4.2.

Het MNL model impliceert een negatief verband tussen een grotere loopafstand en de kans dat een persoon deze optie kiest om zijn of haar EV op te

laden ($\beta_{\text{Loopafstand}} = -0.865$; $t = -7.57$, $p < 0.05$). Hierbij is er een verschil in de opvatting van verschillende leeftijdsgroepen. Ouderen laten hun keuze om hun EV op de hub op te laden significant negatiever beïnvloeden indien de afstand toeneemt dan jongvolwassenen en respondenten van middelbare leeftijd ($\beta_{\text{Loopafstand \& Ouderen}} = -1.33$; $t = -3.1$, $p < 0.05$). Jongvolwassenen laten hun keuze daarentegen juist minder negatief beïnvloeden door een langere loopafstand ($\beta_{\text{Loopafstand \& Jongvolwassenen}} = 0.297$; $t = 3.55$, $p < 0.05$). Leeftijd lijkt dus een belangrijke factor te zijn in de invloed van loopafstand op de keuze voor de mobiliteitshub.

De resultaten uit tabel 4.2 impliceren daarnaast dat een hogere prijs om de EV op te laden de keuze voor een alternatief significant negatief beïnvloedt ($\beta_{\text{Kosten}} = -1.15$; $t = -5.12$, $p < 0.05$). Voor personen uit lage en gemiddelde inkomensklassen is dit negatieve verband echter sterker dan voor personen hoge inkomens ($\beta_{\text{Kosten \& Lage en gemiddelde inkomens}} = -0.532$; $t = -2.62$, $p < 0.05$).

Ook de aanwezigheid van een snellaadfaciliteit beïnvloedt de keuze voor de mobiliteitshub significant ($\beta_{\text{Snelladen}} = 0.488$; $t = 1.73$, $p < 0.05$). Een kortere laadtijd is voor respondenten dus belangrijk in de keuze voor een van de alternatieven. Opvallend is dat respondenten met een laag of een gemiddeld inkomen significant meer kiezen voor de mobiliteitshub als deze een snellaadfaciliteit bevat ($\beta_{\text{Snelladen \& Lage en gemiddelde inkomens}} = 1.15$; $t = 4.8$, $p < 0.05$). Voor personen met een hoger inkomen lijkt het snel opladen van de EV dus minder doorslaggevend te zijn in de keuze om de EV thuis of op hub op te laden.

Verder tonen de resultaten uit tabel 4.2 dat ook het moment van laden van belang is. Het alleen buiten piekuren kunnen laden van de EV heeft een negatief significant effect op de keuze van respondenten ($\beta_{\text{Buiten piekuren}} = -0.56$; $t = -3.21$, $p < 0.05$). Daarnaast blijkt dat een hoge laadzekerheid een positief significant effect heeft op de kans dat een persoon kiest voor een van de alternatieven ($\beta_{\text{Laadzekerheid}} = 0.719$; $t = 3.55$, $p < 0.05$).

De geschatte coëfficiënten (β) van het MNL model zijn gebruikt als startpunt voor de schatting van het ML model. De resultaten van de ML zijn in de volgende paragraaf behandeld.

4.3 Resultaten ML

De resultaten van het ML model zijn samengevat in tabel 4.3 en de originele uitvoer is terug te vinden in bijlage D. Net als bij de MNL-resultaten uit paragraaf 4.2 toont tabel 4.3 een overzicht van de geschatte coëfficiënten (β), de geschatte standaarddeviaties (η), de waarden van de t-toets en de algehele *model fit*. Extra in het ML model zijn de standaardafwijkingen van de variabelen, welke zijn vermeld onder de betreffende variabelen. Zoals eerder vermeld zijn de geschatte coëfficiënten (β) van het MNL model als startpunt gebruikt voor de schatting van de ML. Nu is immers niet alleen de richting van de effecten *a priori* bekend op basis van literatuur, maar is ook een indicatie van de sterkte van de verbanden bekend *a*

posteriori op basis van het MNL model. Er is daarom wederom gekozen voor een eenzijdige t-toets met een grenswaarde van 1.64.

Door het startpunt van de schatting aan te passen aan eerder verkregen coëfficiënten is er niet vanaf het daadwerkelijke nulpunt geschat. Dit heeft tot gevolg dat de initiële Log-likelihood in de originele uitvoer van de ML (bijlage D) niet het echte startpunt van het model is. De startpunten waren immers al eerder geschat en gaven al een indicatie van het verwachte effect. Hierdoor is de Log-likelihood (0) in bijlage D kleiner dan deze daadwerkelijk is. De initiële Log-likelihood in tabel 4.3 is daarom opnieuw berekent en aangepast naar het daadwerkelijke startpunt van de schatting. Hiervoor is de volgende formule gebruikt:

$$V = \ln P_0^N,$$

Vergelijking 4.1

Hierbij is P de kans dat een van de drie antwoordmogelijkheden wordt gekozen. Aangezien er per alternatief drie keuzemogelijkheden waren, is de waarde van P worden $P = \frac{\epsilon^0}{\epsilon^1 + \epsilon^2 + \epsilon^3} = \frac{1}{1+1+1} = 1/3$. De initiële Log-likelihood is vervolgens verkregen door de vergelijking $V = N * \ln P_0$, welke in dit geval $1500 * \ln \frac{1}{3} = -1647,918$ is. Dit is dezelfde initiële Log-likelihood als in de hiervoor uitgevoerde MNL.

Doordat de initiële Log-likelihood opnieuw is berekent, is ook de Rho-square opnieuw berekend. De Rho-square wordt namelijk berekend middels de volgende vergelijking:

$$R_2 = 1 - \frac{\text{Log likelihood (final)}}{\text{Log likelihood (initial)}}$$

Vergelijking 4.2

De nieuwe Rho-square is dus $1 - \frac{-456,2524}{-1647,918} = 0,723$. Dit betekent dat 72% van de gemaakte laadkeuzes van respondenten te verklaren is aan de hand van de gestelde variabelen (Bierlaire, 2016).

Wat betreft de vijf economische variabelen schat het ML model vergelijkbare uitkomsten als het hiervoor uitgevoerde MNL model. Dit is zoals verwacht. Opvallend is dat slechts één socio-economische variabele in het ML model nog significant correleert met een economische variabele, terwijl dit bij het MNL model nog voor een drietal socio-economische variabelen het geval was.

Net als bij het MNL model zijn alle vijf de economische variabelen (loopafstand, laadtijd, prijs, laadzekerheid en altijd kunnen laden) significant van invloed op de keuze van respondenten om hun EV thuis of op de mobiliteitshub te laden. De socio-economische variabelen die significant correleerden met een van de vijf economische variabelen in het MNL model (leeftijd met afstand en inkomen met kosten) zijn vervolgens één voor één toegevoegd aan het ML model. Hieruit bleek

echter dat, in vergelijking met de MNL, slechts één socio-economische variabele nog significant van invloed was. Voor inkomen en kosten bleek de groep met lage en gemiddelde inkomens niet significant anders te worden beïnvloedt door een verandering in de prijs van het EV-laden. Voor leeftijd en afstand bleek de groep jongvolwassenen niet significant anders te worden beïnvloedt door de afstand van een alternatief dan personen van middelbare leeftijd. De groep ouderen bleek echter wel nog significant anders te worden beïnvloedt door een langere afstand dan personen van middelbare leeftijd. Van de socio-economische variabelen bleken dus alleen ouderen significant anders te reageren bij een lagere afstand van de laadfaciliteit. De overige socio-economische variabelen zijn niet significant en zijn daarom niet opgenomen in tabel 4.3.

Tabel 4.3 Resultaten ML

Name	Est. Value β	Est. Value Rob. Stdv.1	Rob. t-value
ASC 1	10.7	1.37	(7.8)
β STDV. 1	2.38	0.483	(4.92)
ASC 2	10.7	1.29	(8.32)
β LOOPAFSTAND	-2.66	-	(-5.1)
η LOOPAFSTAND	-	0.298	(-5.06)
β LOOPAFSTAND Ouderen	-2.64	-	(-3.63)
β KOSTEN	-3.08	-	(-5.84)
η KOSTEN	-	0.459	(3.2)
β SNELLADEN	2.03	-	(4.09)
η SNELLADEN	-	0.532	(-4.68)
β BUITEN PIEKUREN	-1.48	-	(-3.62)
η BUITEN PIEKUREN	-	0.736	(-1.34)
β LAADZEKERHEID	2.7	-	(4.23)
η LAADZEKERHEID	-	0.579	(5.01)
Model Fit			
Log-likelihood (0)	-1647.918		
Log-likelihood (final)	-456.2524		
Rho-square	0.723		
Estimated Parameters	14		
Observations	1500		
Sample size	150		
Number of draws	5000		

Bron: Eigen materiaal, 2021

De belangrijkste factor lijkt de prijs van het EV-laden te zijn. Het ML model toont een sterk negatief verband tussen de kosten en de kans dat voor een alternatief wordt gekozen ($\beta_{\text{Kosten}} = -3.08$; $t = -5.84$, $p < 0.05$). Dit betekent dat de respondent eerder geneigd is te kiezen voor het goedkoopste alternatief. Na de prijs zijn de laadzekerheid en de loopafstand tot de laadfaciliteit het meest doorslaggevend voor de respondenten. Het ML model toont dat een hoge laadzekerheid een positief significant effect heeft op de kans dat een persoon kiest voor een van de alternatieven ($\beta_{\text{Laadzekerheid}} = 2.7$; $t = 4.23$, $p < 0.05$). Dit houdt in dat de respondent eerder geneigd is te kiezen voor het alternatief waarbij gegarandeerd een vrije plek is om de EV te laden. Daarnaast toont het model een negatief verband tussen een grotere loopafstand en de kans dat een persoon een van de opties kiest om zijn of haar EV op te laden ($\beta_{\text{Loopafstand}} = -2.66$; $t = -5.1$, $p < 0.05$). Een grotere loopafstand tot de hub verkleint dus de kans dat de respondent kiest om zijn of haar EV op de hub op te laden. Voor ouderen is de loopafstand significant extra belangrijk in hun keuze om de EV thuis of op de hub op te laden ($\beta_{\text{Loopafstand} + \text{Ouderen}} = -2.64$; $t = -3.63$, $p < 0.05$). Ten opzichte van jongvolwassenen en personen van middelbare leeftijd, die zelf dus ook al significant negatief worden beïnvloedt door een langere loopafstand, kiezen ouderen nog vaker voor een laadfaciliteit die minder ver lopen is.

De aanwezigheid van een snellaadfaciliteit is weliswaar minder doorslaggevend dan bovenstaande variabelen, maar is wel significant positief van invloed op de keuze van de respondent ($\beta_{\text{Snelladen}} = 2.03$; $t = 4.09$, $p < 0.05$). De respondent kiest over het algemeen eerder om de EV op de hub op te laden als hier een snellaadfaciliteit is. De minst invloedrijke van de vijf economische variabelen is het altijd kunnen laden van de EV. Ook dit is significant van invloed op de keuze om de EV thuis of op de hub te laden. Volgend uit tabel 4.3 is er een negatief verband tussen het alleen tijdens piekuren mogen laden en de kans dat voor een alternatief wordt gekozen ($\beta_{\text{Buiten piekuren}} = -1.48$; $t = -3.62$, $p < 0.05$). Dit betekent dat respondenten eerder geneigd zijn om te kiezen voor het alternatief waarbij de gehele dag mag worden geladen in plaats van alleen buiten pieken in elektriciteitsvraag. Bovenstaande resultaten komen over het algemeen overeen met de theorie uit hoofdstuk 2. De respondent laat zich positief beïnvloeden door variabelen die theoretisch gezien de aantrekkelijkheid van een laadfaciliteit vergoot, zoals de aanwezigheid van een snellaadfaciliteit en de garantie op een laadplek. Logischerwijs laat de respondent zich negatief beïnvloeden door theoretisch negatieve variabelen, zoals een langere loopafstand, een hogere prijs of restricties in het moment van laden. Interessant is nu hoeveel de gemiddelde respondent daadwerkelijk over heeft voor bepaalde laadomstandigheden. Middels de marginale substitutievoet is berekend hoeveel respondenten bereid zijn om extra te betalen (*willingness to pay*) of te reizen (*willingness to travel*). Hierover is meer geschreven in de volgende paragraaf.

4.4 Marginale substitutievoet

De coëfficiënten (β) van het ML model bieden de mogelijkheid om per variabele de marginale substitutievoet [MSV] te bepalen. De aan- of afwezigheid van bepaalde attributen (bijvoorbeeld een snellaadfaciliteit) of veranderende waarden van variabelen (bijvoorbeeld een grotere loopafstand) beïnvloeden zoals beschreven in hoofdstuk 2 de *utility* van een alternatief om de EV op te laden. Om de *utility* van een alternatief constant te houden als een van de variabelen in waarde verandert, dient een andere variabele ook in waarde te veranderen. Zodoende ontstaat een evenwicht, wat de MSV wordt genoemd. Hiervoor is de volgende formule gebruikt:

$$MSV_{X,Y} = \frac{U'_X}{U'_Y} = \frac{\beta_{X,i}}{\beta_{Y,j}}$$

Vergelijking 4.3

De bovenstaande formule is gebruikt om zowel de extra kosten (*willingness to pay [WTP]*) als de extra afstand (*willingness to travel [WTT]*) die respondenten bereid zijn te betalen of af te reizen te berekenen. Hiermee wordt bijvoorbeeld berekend hoeveel extra kosten consumenten accepteren in ruil voor een snellaadfaciliteit. De berekende prijs die respondenten bereid zijn extra te betalen is, net als de laadprijzen van de ANWB (z.j.) in de uitgevoerde DCA, berekend in eurocent per gereden kilometer. De bereidheid om extra te reizen is, net als in de uitgevoerde DCA uitgerukt in minuten loopafstand. Voor de MSV van snelladen en kosten is de volgende formule als voorbeeld gebruikt:

$$MSV_{Snelladen,Kosten} = \frac{U'_{Snelladen}}{U'_{Kosten}} = \frac{\beta_{Snelladen}}{\beta_{Kosten}}$$

Vergelijking 4.4

Uit tabel 4.4 blijkt dat respondenten gemiddeld bereid zijn om €0,0086 per kilometer minder te betalen voor een mobiliteitshub die een minuut verder lopen is. Per minuut verder lopen naar de mobiliteitshub is de consument gemiddeld dus bereid om 0,86 eurocent per gereden kilometer minder te betalen om de EV op te laden. Dit lijkt weinig, maar is in de praktijk een significant toch aanzienlijk. Ter indicatie: indien een respondent zijn of haar EV met een actieradius van 200 kilometer volledig oplaadt is de respondent bereid om €1,73 extra te betalen voor een oplaadfaciliteit die een minuut minder er lopen is ($200 * 0,0086363636 = 1.72727272$).

Voor een locatie met een snellaadfaciliteit is de consument gemiddeld bereid om 0,66 eurocent per gereden kilometer extra te betalen. Verder is de consument gemiddeld bereid om 0,48 eurocent extra te betalen indien ook tijdens pieken van elektriciteitsvraag mag worden geladen. Tot slot is de consument bereid om 0,88 eurocent extra te betalen voor de garantie op een vrije laadplek.

Tabel 4.4 Marginale substitutievoet voor kosten en loopafstand

Variabel	Bereidheid om te betalen (in eurocent per gereden kilometer)	Bereidheid om te reizen (in minuten)
Loopafstand	0,86363636	-
Loopafstand & Ouderen	0,85714286	-
Kosten	-	1,15789474
Snelladen	0,6590909	0,7631579
Buiten piekuren	0,48051948	0,55639098
Laadzekerheid	0,8766234	1,0150376

Bron: Eigen materiaal, 2021

De MSV's van de loopafstand tot de hub tonen soortgelijke resultaten. De respondent is gemiddeld bereid om 1,16 minuten minder ver te lopen naar de mobiliteitshub als de prijs per kilometer hoger is dan bij het alternatief. Verder is de consument gemiddeld bereid om 0,76 minuten verder te lopen naar een locatie als er een snellaadfaciliteit aanwezig is. De consument is daarnaast bereid om 0,56 minuten verder te lopen als ook mag worden geladen tijdens piekuren in elektriciteitsvraag. Tot slot is de consument gemiddeld bereid om 1,02 minuten verder te lopen voor een locatie waar er de garantie op een vrije laadplek is.

4.5 Samenvatting

Al met al tonen de resultaten een interessante uitkomst. De groep respondenten in dit onderzoek, waarvan het grootste gedeelte bestaat uit hoog opgeleide jonge tot middelbare mannen zijn met een hoog inkomen (§ 4.1.1), kiest slechts in twee van de dertig keuzemogelijkheden een meerderheid voor het opladen van de EV op de mobiliteitshub. Dit zijn de alternatieven waarbij de prijs op de hub lager is dan thuis het geval is, waar verder garantie op een laadplek is en de loopafstand slechts 4 minuten is (§ 4.1.4). Dit komt overeen met het gegeven dat vooral de laadzekerheid en, in mindere mate, loopafstand als belangrijkste variabelen worden gezien door respondenten bij keuze voor een locatie om hun EV te laden (§ 4.1.3).

Opvallend is dat de uitkomst van de ML deels een ander beeld schetst. Enerzijds sluit het resultaat van de ML aan bij het belang van loopafstand en laadzekerheid. Het blijkt dat respondenten hun keuze voor de locatie om hun EV op te laden in grote mate afhangt van de loopafstand en de laadzekerheid en dat men hier ook bereid is om significant meer geld voor te betalen. Anderzijds blijkt uit de ML dat de prijs van het laden wel degelijk meest doorslaggevende factor is in de keuze van respondenten. Hoewel respondenten desgevraagd aangeven dat prijs niet de belangrijkste factor is, kiest de respondent doorgaans dus onbewust wel voor het alternatief met de laagste prijs.

5. Conclusie

Dit hoofdstuk bevat de belangrijkste resultaten en de uiteindelijke beantwoording van de in de inleiding gestelde hoofdvraag. Voorafgaand aan dit hoofdstuk is onder meer behandeld welke voorzieningen de mobiliteitshub te bieden heeft voor de consument met een EV, wat de laadbehoeften zijn van consumenten met een EV en tot slot is in het resultatenhoofdstuk onderzocht in hoeverre economische variabelen consumenten met een EV stimuleren om hun EV op de mobiliteitshub op te laden. Dit hoofdstuk start met een korte samenvatting waarbij onder meer de eerste twee deelvragen zijn beantwoord. De derde deelvraag is beantwoord aan de hand van de resultaten. Tot slot is een allesomvattend antwoord geformuleerd op de hoofdvraag.

In dit onderzoek is onderzocht in hoeverre mobiliteitshubs bijdragen aan de opschaling van EV's in Nederland door het bieden van laadinfrastructuur. De eerste deelvraag luidde: **"In hoeverre bieden huidige mobiliteitshubs faciliteiten voor het opladen van EV's?"**. Mobiliteitshubs zijn hierbij gedefinieerd als *"multimodale overstappunten in verschillende orde, grootte en voorzieningenniveaus"* (APPM & Goudappel, 2020, p.3). Hierbij zijn in toenemende mate laadfaciliteiten voor EV's aanwezig (Ambroz et al., 2016; APPM & Goudappel, 2020). Met name de recentere ontwikkeling van de E-Hub maakt duidelijk dat laadfaciliteiten voor EV's momenteel als basisvoorziening worden gezien voor een succesvolle hub (Interreg North-West Europe, 2019; Kok et al., 2020). Dit is echter voornamelijk gericht op elektrische deelsystemen en er is nog weinig aandacht voor de private EV van consumenten die vlakbij de mobiliteitshub wonen. Om in de schaarse ruimte die Nederland nog vrij heeft toch opschaling van EV's te bewerkstelligen, is een goed geplande en doordachte verdere uitrol van laadinfrastructuur van groot belang. Laadfaciliteiten op mobiliteitshubs kunnen mogelijk bijdragen aan de opschaling van het aantal EV's in Nederland, terwijl de schaarse ruimte optimaal wordt benut door clustering van laadfaciliteiten.

De tweede deelvraag luidde: **"Wat zijn de behoeften van de consument met een elektrische auto bij het opladen van de auto?"**. Vanuit bestaande wetenschappelijke theorie is duidelijk geworden dat menselijk reisgedrag kan worden beschouwd vanuit de theorie van de *homo economicus* (Limtanakool et al., 2006; Train, 2009). Aan de hand van economische variabelen weegt de consument af bij welk alternatief de *utility*, oftewel de persoonlijke winst, het hoogste is. Voor het opladen van de EV is volgens bestaande wetenschappelijke literatuur een viertal

economische variabelen van belang voor de consument het opladen van de EV. Hiertoe behoren de afstand tot de laadfaciliteit, de prijs van het EV-laden, de snelheid van het laden en de laadzekerheid. Een grote afstand tot de laadfaciliteit, een hoge laadprijs, een reguliere (en dus langzame) laadfaciliteit en het gebrek aan garantie op een vrije laadplek zijn allen beperkende factoren die de *utility* van een laadalternatief verminderen (Maness & Cirillo, 2012; Sierzchula et al., 2014; Motoaki & Shirk, 2017; Van Amstel et al., 2020). De consument met een EV heeft dus kort gezegd de behoefte aan voldoende laadfaciliteiten op korte afstand, laden tegen lage prijzen, snelladen en een hoge laadzekerheid.

Naast deze vier economische variabelen die volgend uit bestaande literatuur als belangrijk worden beschouwd voor het opladen van de EV, is er nog een vijfde economische variabele toegevoegd aan dit onderzoek. Dit betreft het moment van laden, oftewel de mogelijkheid om ook tijdens pieken in elektriciteitsconsumptie de EV te mogen laden. Onderzoeken van onder andere PWC (2017) en Ghotge et al. (2020) waarschuwden al voor overbelasting van het elektriciteitsnet bij grootschalige adoptie van EV's. Als oplossing zijn reeds verschillende vormen van *smart charging* aangedragen. In dit onderzoek is het verplaatsen en/of het reguleren van het laadmoment meegenomen als economische variabele die van invloed is op de keuze van consumenten om hun EV op te laden.

De derde deelvraag wordt voornamelijk beantwoord aan de hand van het uitgevoerde onderzoek. De vraag luidde: **“In hoeverre kunnen economische factoren nabij wonende consumenten stimuleren om gebruik te maken van de laadinfrastructuur bij een mobiliteitshub?”**. Middels een DCA in de vorm van een enquête is respondenten de keuze gesteld om onder wisselende omstandigheden (30 alternatieven, bijlage B) te kiezen tussen het thuis opladen van de EV of het opladen van de EV op de mobiliteitshub. De groep van 150 respondenten bestond voornamelijk uit hoog opgeleide jonge tot middelbare mannen met een hoog inkomen. Opvallend is dat in slechts twee van de dertig keuzemogelijkheden het grootste deel van de respondenten koos voor het opladen op de mobiliteitshub. Bovendien kiest slechts in zes van de dertig keuzemogelijkheden minstens 30% van de respondenten voor het opladen op de mobiliteitshub. Dit impliceert dus dat in het overgrote deel van gestelde keuzemogelijkheden het opladen op de mobiliteitshub niet wordt geprefereerd boven het thuis opladen van EV. Dit is opvallend, aangezien in een groot deel van de gestelde keuzemogelijkheden de optie om de EV op de hub te laden in theorie gunstige omstandigheden kende, zoals een lage prijs of een snellaadfaciliteit.

Het bleek dat met name de loopafstand, de laadzekerheid en de prijs van het laden doorslaggevend waren in de keuze van de respondenten. Desgevraagd gaven respondenten aan dat vooral de laadzekerheid en, in mindere mate, de loopafstand het belangrijkste zijn. De uitkomst van het ML model toont echter dat de invloed van prijs nog belangrijker is dan de laadzekerheid en de loopafstand. Enerzijds sluit het resultaat van de ML aan bij het belang van loopafstand en

laadzekerheid. Respondenten hebben onder meer 0,86 eurocent per gereden kilometer extra over voor een laadfaciliteit die een minuut minder ver lopen is. De oudere respondent is zelfs bereid om dit bedrag te verdubbelen. Voor een locatie met garantie op een vrije laadplek is de gemiddelde respondent bereid om 0,66 eurocent per gereden kilometer extra te betalen. Dit zijn relatief grote prijsverschillen in vergelijking met de huidige kosten van het EV-laden, die variëren van €0,045 tot €0,117 (ANWB, z.j.)

Anderzijds toont de ML dat de prijs van het EV-laden wel degelijk de meest doorslaggevende factor is voor de gemiddelde respondent, ondanks dat respondenten desgevraagd aangeven dat dit niet het geval is. Blijkbaar kiezen respondenten dus onbewust wel vaker voor het alternatief met de laagste elektriciteitsprijs.

Al met al tonen de resultaten aan dat economische factoren een grote rol spelen in de keuze van respondenten om hun EV thuis of op de mobiliteitshub op te laden. Met name de prijs van het laden, de afstand tot de laadfaciliteit en de laadzekerheid blijken doorslaggevend. Dit onderzoek maakt duidelijk dat de getoetste economische variabelen als stimulans kunnen fungeren om consumenten hun EV op de mobiliteitshub te laden. Met name een lage prijs, een hoge laadzekerheid en een korte loopafstand stimuleren de keuze voor de hub. Het stimulerende effect blijft in dit onderzoek echter nog redelijk beperkt tot een aantal keuzemogelijkheden waarbij grootschalig voor de hub wordt gekozen.

Door het beantwoorden van de deelvragen is het nu mogelijk om een antwoord te formuleren op de hoofdvraag van dit onderzoek. De hoofdvraag luidde:

In hoeverre biedt de aanwezigheid van mobiliteitshubs kansen voor inwoners van omliggende woonwijken bij de opschaling van elektrische auto's door het bieden van laadinfrastructuur voor elektrische auto's?

Al met al kan worden gesteld dat de mobiliteitshub kansrijk is voor inwoners van omliggende woonwijken bij de opschaling van EV's in Nederland. Met name de ontwikkeling van de E-Hub zorgt ervoor dat laadfaciliteiten inmiddels een basisvoorziening zijn op de mobiliteitshub. Kijkend naar reisgedrag vanuit de theorie van de *homo economicus* is duidelijk dat er economische stimulans nodig is om het laden van de EV op de hub aantrekkelijker te maken dan het thuis laden. Dit wordt tevens duidelijk in de uitkomsten van de dertig keuzemogelijkheden (figuur 4.12). De belangrijkste handvatten hiervoor zijn het aanbieden van een lagere prijs en een hoge laadzekerheid. Daarbij is de mobiliteitshub uitsluitend kansrijk bij omliggende woonwijken op ongeveer vier minuten loopafstand. Een langere loopafstand tot de mobiliteitshub heeft tot gevolg dat economische variabelen minder succesvol zijn als stimulans. Een succesvolle mobiliteitshub voor nabij wonende EV-eigenaars is dus afhankelijk van maximaal 4 minuten loopafstand en stimulerende economische variabelen, waarvan met name prijs en laadzekerheid doorslaggevend zijn.

6. Discussie

In dit hoofdstuk zijn de resultaten in een bredere context geplaatst aan de hand van theorie uit hoofdstuk 2. Allereerst is de conclusie van dit onderzoek in een bredere context geplaatst door dit te vergelijken met de al bestaande kennis omtrent mobiliteitshubs en reizigersgedrag. Vervolgens zijn de methodologische keuzes van dit onderzoek geëvalueerd en is behandeld in hoeverre de resultaten te generaliseren zijn. Daarna is een aantal aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek. Tot slot is kort gereflecteerd op het onderzoeksproces en de persoonlijke ontwikkeling van de onderzoeker.

6.1 Interpretatie van de resultaten

In hoofdstuk 4 en 5 is duidelijk geworden dat de mobiliteitshub kansrijk is voor inwoners van omliggende woonwijken. Hierbij is er een duidelijke maximale loopafstand tot aan de hub: vier minuten lopen vinden mensen schappelijk; voor langere loopafstanden daalt de bereidheid om naar de hub te lopen drastisch. Het verzorgingsgebied van de mobiliteitshub is zodoende dus beperkt als het aankomt op de private EV-gebruiker. Zoals in hoofdstuk 2 beschreven is het aanbieden van laadfaciliteiten op mobiliteitshubs momenteel een basisvoorziening, waardoor mobiliteitshubs op grote schaal kunnen worden ontwikkeld ten behoeve van de consument met een private EV. De laadvoorzieningen zijn immers aanwezig, maar de aandacht van de consument en de bereidheid van de consument om hier gebruik van te maken moeten hierop volgen. In de toekomst kan het verzorgingsgebied van de mobiliteitshub wellicht worden vergroot, zeker als de consument bekend is met de mogelijkheden van de hub. In dit onderzoek is namelijk alleen gekeken naar de aanwezigheid van laadinfrastructuur op mobiliteitshubs. De figuren 2.1 en 2.3 (§ 2.1.1) maakten echter duidelijk dat de mobiliteitshub een breed scala aan voorzieningen bevat die van waarde kunnen zijn voor de consument (Ambroz et al., 2016; APPM & Goudappel, 2020). De aanwezigheid van bijvoorbeeld winkels of aansluitingen op openbaar vervoer vergroten in theorie de aantrekkingskracht van de mobiliteitshub en kunnen zo tevens het verzorgingsgebied van de mobiliteitshub vergroten. De aanwezigheid van overige voorzieningen is in dit onderzoek buiten beschouwing gelaten.

In paragraaf 2.1.2 werd het project Mobil.Punkt al besproken. Deze eerste vorm van een mobiliteitshub in Duitsland was een groot succes en werd naarmate de tijd verstreek steeds bekender en meer gebruikt (Interreg North Sea Region, 2018). Daarnaast worden er sinds 2019 al E-Hubs getest in zes Europese steden (Interreg North-West Europe, 2019; Keep.eu, 2021). Voor al dit soort projecten is het

van belang om te blijven ontwikkelen en langzaam meer bekendheid te verwerven. Zoals Liao et al. (2020, p. 31) al aangaven in hun onderzoek is het blijven ontwikkelen van het nieuwe concept en het actief blijven opnemen van nieuwe mobiliteitsvormen doorslaggevend om een succesvolle hub te ontwikkelen. Voor de toekomst van de mobiliteitshub is het daarom van belang om de resultaten van dit onderzoek te omarmen en de huidige focus op elektrische deelsystemen te verbreden naar ook private EV-eigenaren.

De resultaten van dit onderzoek tonen aan dat respondenten momenteel slechts bij bepaalde omstandigheden voor de mobiliteitshub kiezen als oplaadplek voor hun EV. Niet alleen dient de hub op maximaal 4 minuten loopafstand te zijn van de respondent, maar ook dient er een lagere prijs en een hoge laadzekerheid te zijn in vergelijking met het thuis laden. De aanwezigheid van een snellaadpaal is minder doorslaggevend, maar stimuleert wel het gebruik van de mobiliteitshub. Restricties in momenten waarop de consument mag laden werken daarentegen juist in het nadeel van de mobiliteitshub. Dit toont dat de kansen van mobiliteitshubs om een belangrijke rol te spelen in de elektriciteitsvoorziening van private EV's momenteel nog gebonden zijn aan selectieve economische omstandigheden die de *utility* voor de consument vergroten. Dit sluit aan bij de theorie van de *homo economicus*, waarbij de mens streeft naar winstmaximalisatie en keuzes baseert op de hoogste persoonlijke winst (Horne et al., 2005; Limtanakool et al., 2006; Train, 2009; Ben-Elia & Ettema, 2011; Seebauer, 2018). Met name de loopafstand, prijs en laadzekerheid zijn hierbij dus van belang, wat aansluit bij theorie in het theoretisch kader (Limtanakool et al., 2006; Hidrue et al., 2011; Gharbaoui et al., 2012; Maness & Cirillo, 2012; Cao et al., 2014; Sierzchula et al., 2014; Motoaki & Shirk, 2017; Singer, 2017; Palomino & Parvania, 2019; Van Amstel et al., 2020).

Opvallend is dat de resultaten van dit onderzoek aantonen dat de aanwezigheid van een snellaadfaciliteit en het tijdens het piekuren van elektriciteitsvraag mogen laden wel significant van invloed zijn op de keuze van respondenten, maar dat deze wel minder doorslaggevend zijn dan de overige economische variabelen. In bestaande wetenschappelijk literatuur is wel geschreven over het belang van snelladen en het moment van laden (Christensen, Nørrelund & Olsen, 2010; Hidrue et al., 2011; Motoaki & Shirk, 2017; PWC, 2017). Het verschil in mate van belang van variabelen bij het EV-laden is voor zover bekend echter nog niet eerder beschreven in wetenschappelijke mobiliteitsonderzoeken. Dit onderzoek is dus een eerste stap in de richting van een compleet eisenpakket waar de mobiliteitshub aan moet voldoen om succesvol te integreren in het Nederlandse EV-laadgedrag.

Verder bleken de getoetste socio-economische variabelen (leeftijd, geslacht, inkomen en opleidingsniveau) in het ML model nagenoeg allemaal niet significant van invloed. Alleen de groep ouderen bleek hun laadkeuze significant meer te laten beïnvloeden door een langere loopafstand. Dit is in lijn met onderzoeken van onder andere Somenahalli en Shipton (2013) en Szeto, Yang, Wong en Wong (2017) waarbij

werd gevonden dat de bereidheid om te reizen daalt bij een hogere leeftijd. Opvallend is dat de MNL een ander resultaat voor de socio-economische variabelen toonde dan de ML. Het MNL model toonde dat jongvolwassenen significant minder belang hechten aan een langere afstand, wat dus ook in lijn is met de theorie dat de bereidheid om te reizen daalt als de leeftijd toeneemt. In de resultaten van het ML model was dit echter geen significant verband meer. Dit impliceert dat er zoals Somenahalli en Shipton (2013) en Szeto et al. (2017) stelden een negatief verband is tussen ouderen en een verminderde bereidheid om verder te lopen, maar dat jongeren en personen van middelbare leeftijd niet significant anders op een langere loopafstand reageren. Dit kan verklaard worden door de over het algemeen goede fysieke gesteldheid van jongeren en personen van middelbare leeftijd in vergelijking met een over het algemeen verminderde mobiliteit van ouderen.

Daarnaast toonde het MNL model dat respondenten met een laag of gemiddeld inkomen negatiever werden beïnvloedt door een hogere prijs dan respondenten met een hoog inkomen. Het ML model liet echter zien dat dit geen significant verband meer was. Dit is een opvallend resultaat, aangezien personen met een hoger inkomen veelal meer te besteden hebben en dus doorgaans een hogere prijs accepteren. Het positieve verband tussen inkomen en de bereidheid om te betalen is onder andere onderschreven in studies van Sundt en Rehdanz (2015) en Pleeging, Van Exel, Burger en Stavropoulos (2021).

Het resultaat dat personen met een laag of gemiddeld inkomen niet significant zwaarder worden beïnvloedt door een hogere prijs is dus niet overeenkomstig met bestaande wetenschappelijke onderzoeken. De reden hiervoor is mogelijk dat de groep respondenten met een laag inkomen met 9 respondenten klein is. Daarnaast bezitten van de in totaal 61 respondenten met een gemiddeld inkomen 24 respondenten momenteel al een EV. Dit kan invloed hebben gehad op de antwoorden die zij hebben gegeven. Dit heeft mogelijk ook met psychologische factoren vanuit de theorie van de *homo psychologicus* te maken (§ 2.2.2). Respondenten die momenteel bijvoorbeeld al een EV bezitten kunnen immers al gewend zijn aan de huidige manier van opladen en kiezen voor het opladen aan huis, terwijl de prijs per kilometer op de hub in gestelde keuzes lager is. Figuur 4.9 (§ 4.1.2.2) toonde bijvoorbeeld dat het grootste deel van de respondenten die momenteel een EV bezitten inderdaad een private laadpaal aan huis hebben. Zij zijn dus gewend aan deze manier van opladen en dit is mogelijk van invloed geweest op de resultaten van dit onderzoek. Respondenten die momenteel nog geen EV bezitten hebben nog geen laadgewoontes ontwikkeld, waardoor mogelijk eerder wordt gekozen voor het alternatief met de hoogste *utility*. Dit is een interessant startpunt voor vervolgonderzoek, waarover in paragraaf 6.3 meer is beschreven.

6.2 Methodologische keuzes en reikwijdte van de resultaten

In dit onderzoek is gekozen voor een kwantitatieve benadering in de vorm van een enquête onder huidige EV-eigenaars en toekomstige EV-eigenaren. De keuze voor

deze doelgroep is gebaseerd op de *diffusion of innovations* curve van Rogers (2003), waarbij de huidige groep EV-eigenaren theoretisch gezien in te delen zijn als *innovators* en *early adopters*. Hierop volgend behoort de toekomstige groep EV-eigenaren theoretisch gezien tot de *early majority*. Deze indeling is echter te simplistisch in de praktijk en bovendien is lastig te toetsen of respondenten daadwerkelijk tot de *early majority* behoren. De keuze om de doelgroep van dit onderzoek toe te spitsen op *innovators*, de *early adopters* en de *early majority* is dan ook vooral een theoretische keuze die in de praktijk niet of nauwelijks op representativiteit te toetsen is. De totale doelgroep is immers niet bekend. Dit probleem is getracht te overkomen door respondenten te selecteren op het huidige en toekomstige EV-bezit. Doordat in het begin van de enquête de vragen zijn gesteld of respondenten al een EV bezitten en hoe waarschijnlijk respondenten het achten dat zij binnen tien jaar een EV bezitten, is getracht om enkel respondenten in dit onderzoek te betrekken die of al een EV bezitten of daadwerkelijk geïnteresseerd zijn om in de nabije toekomst een EV aan te schaffen. De gekozen grens van tien jaar is echter arbitrair en bij een ander gekozen tijdsgrens had wellicht een andere groep respondenten kunnen ontstaan. Desondanks is de onderzoeker ervan overtuigd dat de selectie van respondenten met al een EV in bezit (*innovators* en *early adopters*) en respondenten die binnen tien jaar verwachten een EV te bezitten (*early majority*) voldoende valide is om de uitkomsten van dit onderzoek voor waarheid aan te nemen.

Daarnaast was er vanwege de online vorm van de respondentenwerving en de toegepaste sneeuwbalmethode weinig zicht op de verspreiding van de enquête. Voor deze methode was onder andere gekozen, omdat het tijdens de coronacrisis niet verantwoord was om fysieke enquêtes te verspreiden. Dit had zoals benoemd in paragraaf 3.2.3 als potentieel gevolg dat ook mensen buiten de doelgroep de enquête konden invullen. De onderzoeker staat echter achter de gekozen methode om de doelgroep te bereiken. De socio-economische eigenschappen van de groep respondenten kwamen immers in grote lijnen overeen met de theoretische kenmerken van de doelgroep van dit onderzoek (§ 2.3.5). Dit is een indicatie dat de groep respondenten over het algemeen daadwerkelijk tot de doelgroep van dit onderzoek behoorde. De onderzoeker is er daarom van overtuigd dat de groep respondenten niet alleen theoretisch, maar ook in de praktijk tot de *innovators*, *early adopters* en *early majority* behoorde.

Een ander punt van aandacht is de keuze om in dit onderzoek slechts de theorie van de *homo economicus* als basis te gebruiken. Zoals beschreven in paragraaf 2.2.2 is er in de wetenschappelijke wereld kritiek op de puur economische redenering van persoonlijke winstmaximalisatie. De mens baseert keuzes immers niet alleen op economische factoren, maar ook op persoonlijke normen, waarden en gewoontes. (Schwartz, 1977; Triandis, 1977; Kahneman & Tversky, 1979; Azjen, 1991; Verplanken et al., 1997; Thaler, 2000). De onderzoeker is zich bewust van de mogelijke invloed van psychologische factoren op laadgedrag van de consument.

Omwille van de haalbaarheid en beperkte tijd van dit onderzoek is gekozen om de theorie van de *homo psychologicus* buiten beschouwing te laten. Indien was gekozen voor een combinatie van de *homo economicus* en de *homo psychologicus* was de conclusie wellicht anders dan nu het geval is. Er is echter momenteel geen reden om te twijfelen aan de resultaten van dit onderzoek, maar vervolgonderzoek kan de resultaten wel verifiëren. Een vervolgonderzoek naar laadkeuzes van EV-eigenaren waarbij factoren van zowel de *homo economicus* als de *homo psychologicus* worden geanalyseerd is hierbij aan te raden. Hierover is meer beschreven in de volgende paragraaf.

De resultaten van dit onderzoek zijn steekproefsgewijs tot stand gekomen. Ondanks dat de resultaten over het algemeen een verwacht beeld schetsen, heeft dit onderzoek slechts een beperkte reikwijdte. Dit onderzoek was gebaseerd op een hypothetische keuze tussen het thuis opladen van de EV of het op de mobiliteitshub laden van de EV. Het is echter de vraag of respondenten daadwerkelijk dezelfde keuzes maakt als de gestelde keuze niet meer hypothetisch is, maar dit een keuze betreft in werkelijkheid. Met name de groep respondenten die nu nog geen EV bezit kan zich wellicht lastig inbeelden in de hypothetische situatie, omdat zij deze keuze (nog) niet gewend zijn. In dit onderzoek lijkt echter geen sprake te zijn van een verkeerde inbeelding onder toekomstige EV-rijders. Figuur 4.13 toont bijvoorbeeld dat respondenten met een EV en respondenten zonder een EV gemiddeld dezelfde laadkeuzes maakten.

Daarnaast maakt de groep respondenten mogelijk niet dezelfde keuzes als de totale onderzoeksdoelgroep gemiddeld zou maken. Uiteindelijk bestond de steekproef in dit onderzoek uit 150 respondenten. Dit is uiteraard een klein deel van de totale onderzoekspopulatie, waardoor het generaliseren van de resultaten niet zonder vervolgonderzoek mogelijk is. Desondanks maken de resultaten van dit onderzoek wel degelijk duidelijk dat de mobiliteitshub kansrijk is in de toekomst. Vervolgonderzoek kan deze resultaten als eerste aanzet gebruiken om grootschaligere uitspraken te kunnen doen over de mogelijkheden van het private EV-laden op de mobiliteitshub.

6.3 Aanbevelingen

Eerder in dit hoofdstuk is al een paar keer genoemd dat vervolgonderzoek interessant is. Allereerst is er dus gekozen om psychologische factoren buiten beschouwing te laten. Bestaande mobiliteitsonderzoeken tonen echter dat, naast economische factoren, ook psychologische factoren vaak een rol spelen in de reiskeuzes van consumenten. De onderzoeken van Domarchi et al. (2008) en Ben-Elia en Ettema (2011) zijn voorbeelden van studies waarbij economische en psychologische factoren zijn gecombineerd. Naar aanleiding van dit onderzoek is een aanvullende studie met psychologische factoren een interessante toevoeging op de resultaten. Hierbij is aan te raden om in ieder geval de drie bekende stromingen binnen de *homo psychologicus* aan het vervolgonderzoek toe te voegen. Dit zijn de

“Theory of planned behaviour” (Ajzen, 1991), het “Norm activation model” (Schwartz, 1977) en de “Habit formation” (Triandis, 1977; Verplanken et al., 1997), zoals kort is beschreven in paragraaf 2.2.2.

Verder is het aan te raden om de resultaten van dit onderzoek toe te passen op een bestaande mobiliteitshub of een hub die in ontwikkeling is. Zoals benoemd in paragraaf 6.2 is dit onderzoek gericht op een hypothetische keuze tussen het thuis laden of het laden op de hub. Hierbij is het interessant of de consument in grote lijnen dezelfde keuzes maakt indien dit geen hypothetische keuzes meer zijn, maar keuzes die betrekking hebben op hun dagelijkse leven. Is de EV-eigenaar in de werkelijkheid daadwerkelijk bereid om 4 minuten naar de mobiliteitshub te lopen als daar de prijs om te laden lager is dan thuis? Het testen van de resultaten aan de hand van een casestudy kunnen zodoende aantonen of dit onderzoek puur theoretisch blijft of ook inzetbaar is in de praktijk.

Tot slot is het aan te raden om in vervolgonderzoek tevens overige voorzieningen op de mobiliteitshub mee te rekenen in de *utility* van de mobiliteitshub. De keuze van de consument om zijn of haar EV op de hub op te laden kan immers worden beïnvloedt door overige voorzieningen die de mobiliteitshub te bieden heeft. In paragraaf 2.1 is al genoemd dat de mobiliteitshub vele verschillende voorzieningen bevat, afhankelijk van de grootte en het verzorgingsgebied. Interessant hierbij is welke van deze voorzieningen ook bijdragen aan de aantrekkingskracht van de mobiliteitshub. Indien snelladen wordt gecombineerd met een supermarktbezoek op de hub, is de *utility* om de EV daar op te laden wellicht groter dan voor een mobiliteitshub zonder supermarkt. Hiermee wordt de keuze om thuis of op de hub te laden in het grotere geheel geplaatst waarbij de *time-geography* van Hägerstrand (Kwan & Weber, 2003) een rol speelt in het reisgedrag van mensen.

7. Reflectie

Dit hoofdstuk reflecteert kort op het onderzoeksproces en de persoonlijke ontwikkeling van de onderzoeker. Zoals in elk onderzoek kende de totstandkoming van deze scriptie voorspoed en tegenspoed. Zeker ten tijde van de coronacrisis, waarin thuiswerken het devies was en sociaal contact sterk verminderde, werd het doen van wetenschappelijk onderzoek bemoeilijkt.

Het is overduidelijk dat de coronacrisis en de getroffen maatregelen van de overheid van invloed waren op het onderzoeksproces. Het fysiek verspreiden van de enquête was hierdoor niet mogelijk en dit zorgde ervoor dat de doelgroep van dit onderzoek enkel digitaal kon worden bereikt. Hierdoor was er weinig zicht op de verspreiding van de enquête en was het lastig voor de onderzoeker om een grote groep respondenten te werven. De onderzoeker had immers geen persoonlijk netwerk binnen de doelgroep. De onderzoeker schakelde daarom door naar bedrijven en organisaties die wel directe contacten hadden met personen binnen de doelgroep en dit heeft geleid tot drie organisaties die bereid waren om actief de enquête te verspreiden onder de onderzoeksdoelgroep. Daarmee zijn uiteindelijk 309 responsen verzameld en is een representatieve steekproef bereikt.

Helaas bevatte de verspreide enquête geen verplichte socio-economische vragen. De onderzoeker koos hiervoor, omdat socio-economische gegevens gevoelig of privé kunnen zijn voor de respondent. Om te voorkomen dat respondenten de enquête niet afmaakten, is daarom gekozen voor niet-verplichte socio-economische vragen. Tijdens de data-analyse bleek echter dat voor een succesvolle uitvoering van het ML model ook de socio-economische vragen volledig ingevuld moesten zijn. Hierdoor zijn helaas nog 85 responsen extra verwijderd. Dit was achteraf onnodig geweest als de socio-economische vragen verplicht waren gesteld.

Op persoonlijk vlak heeft de onderzoeker veel geleerd van dit onderzoek. De onderzoeker had bijvoorbeeld nog nooit eerder een ML uitgevoerd en ondanks wat opstartproblemen is de uitvoering hiervan toch gelukt. Daarnaast was dit de eerste keer dat de onderzoeker programmeerde in Python. Vooral op het gebied van programmeren en modelleren heeft de onderzoeker dus veel geleerd en in de toekomst kunnen deze ervaringen weer van pas komen. De onderzoeker hoopt in zijn verdere carrière actief te blijven in de mobiliteitswereld en hierbij is dit onderzoek als ervaring van waarde.

8. Literatuurlijst

- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behaviour. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, 179–211.
- Alfnes, F. (2004). Stated preferences for imported and hormone-treated beef: application of a mixed logit model. *European Review of Agriculture Economics*, 31(1), 19–37. <https://doi.org/10.1093/erae/31.1.19>
- Algers, S., Bergström, P., Dahlberg, M., & Lindqvist Dillén, J. (1998). Mixed Logit Estimation of the Value of Travel Time. *Working Paper Series*, 15, 1–33.
- Ambroz, D. H., Wilson, R. D., Ahn, R. L., Choe, C., Katz, R., Mack, J. W., ... La, M. (2016). *Mobility Hubs: A Reader's Guide*. Geraadpleegd van <http://www.urbandesignla.com/resources/docs/MobilityHubsReadersGuide/hj/MobilityHubsReadersGuide.pdf>
- Aono, S. (2019). *Identifying Best Practices for Mobility Hubs*. Retrieved from *Identifying Best Practices for Mobility Hubs*. Geraadpleegd van https://sustain.ubc.ca/sites/default/files/Sustainability%20Scholars/2018_Sustainability_Scholars/Reports/2018-71%20Identifying%20Best%20Practices%20for%20Mobility%20Hubs_Aono.pdf
- APPM & Decisio. (2016). *De gemeente elektrisch: Een statistisch onderzoek naar de effectiviteit van elektrisch vervoerbeleid van gemeenten*. Opgesteld in opdracht van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. Geraadpleegd van <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/06/Een%20statistisch%20onderzoek%20effectiviteit%202016.pdf>
- APPM & Goudappel. (2020). *Gelderse Mobiliteitshubs Cruciale schakels in bereikbaarheid en leefbaarheid*. Provincie Gelderland. Geraadpleegd van [https:// gelderland.stateninformatie.nl/document/8831906/1/Eindrapport_Gelderse_Mobiliteitshubs_\(PS2020-289\)#:~:text=Doel%20van%20mobiliteitshubs%20is%20het,ander%20soortig%20gebruik%20van%20modaliteiten](https:// gelderland.stateninformatie.nl/document/8831906/1/Eindrapport_Gelderse_Mobiliteitshubs_(PS2020-289)#:~:text=Doel%20van%20mobiliteitshubs%20is%20het,ander%20soortig%20gebruik%20van%20modaliteiten)
- Autoriteit Persoonsgegevens. (2020). Mag u persoonsgegevens verwerken? Geraadpleegd op 23 maart 2021, van <https://autoriteitpersoonsgegevens.nl/nl/onderwerpen/algemene-informatie-avg/mag-u-persoonsgegevens-verwerken>

- Bamberg, S., & Schmidt, P. (2003). Incentives, Morality, Or Habit? Predicting Students' Car Use for University Routes With the Models of Ajzen, Schwartz, and Triandis. *Environment and Behavior*, 35(2), 264–285.
<https://doi.org/10.1177/0013916502250134>
- Beck, M.J., Rose, J.M., Hensher, D.A., (2011) Behavioural responses to vehicle emissions charging. *Transportation*, 38, 445–463.
<https://doi.org/10.1007/s11116-010-9316-7>
- Ben-Akiva, M. E. & Lerman, S. R. (1985). *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand*. Londen, Engeland: The MIT Press.
- Ben-Elia, E., & Ettema, D. (2011). Rewarding rush-hour avoidance: A study of commuters' travel behavior. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(7), 567–582. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.03.003>
- Ben-Elia, E., & Shiftan, Y. (2010). Which road do I take? A learning-based model of route-choice behavior with real-time information. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(4), 249–264.
<https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.01.007>
- Berry, C. R., & Glaeser, E. L. (2005). The divergence of human capital levels across cities. *Papers in Regional Science*, 84(3), 407–444.
<https://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2005.00047.x>
- Bethlehem, J. (2010). Selection Bias in Web Surveys. *International Statistical Review*, 78(2), 161–188. <https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2010.00112.x>
- Bierlaire, M. (2003). A free package for the estimation of discrete choice models. Gepresenteerd bij 3rd Swiss Transportation Research Conference, Ascona, Zwitserland.
- Bierlaire, M. (2016). *PythonBiogeme: a short introduction* (TRANSP-OR 160706). Geraadpleegd van <https://transp-or.epfl.ch/pythonbiogeme/documentation/pythonfirstmodel/pythonfirstmodel.html>
- Cairncross, F. (1997). *The death of distance: How the communications revolution will change our lives*. London, Engeland: Orion Business Books.
- Campbell-Lendrum, D., & Prüss-Ustün, A. (2018). Climate change, air pollution and noncommunicable diseases. *Bulletin of the World Health Organization*, 97(2), 160–161. <https://doi.org/10.2471/blt.18.224295>
- Cao, Y., Wang, N., & Kamel, G. (2014, November). A publish/subscribe communication framework for managing electric vehicle charging. In *2014 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)* (pp. 318–324). Wenen, Oostenrijk: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCVE.2014.7297564>

- Cao, Y., Wang, T., Kaiwartya, O., Min, G., Ahmad, N., & Abdullah, A. H. (2018). An EV Charging Management System Concerning Drivers' Trip Duration and Mobility Uncertainty. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 48(4), 596–607. <https://doi.org/10.1109/tsmc.2016.2613600>
- Cascetta, E. (2009). Random Utility Theory. In *Transportation Systems Analysis: Models and Applications* (2de editie, pp. 89–167). New York, Verenigde Staten: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-75857-2>
- Centraal Bureau voor de Statistiek [CBS]. (2021a, 18 mei). *Bevolking; onderwijsniveau; geslacht, leeftijd en migratieachtergrond* [Dataset]. Geraadpleegd van <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82275NED/table?dl=3BE32>
- Centraal Bureau voor de Statistiek [CBS]. (2021b, 2 juli). *Leeftijdsverdeling*. Geraadpleegd op 27 juli 2021, van <https://www.cbs.nl/nl-nl/visualisaties/dashboard-bevolking/leeftijd/bevolking>
- Chang, T.-Z., & Vowles, N. (2013). Strategies For Improving Data Reliability For Online Surveys: A Case Study. *International Journal of Electronic Commerce Studies*, 4(1), 121–130. <https://doi.org/10.7903/ijecs.1121>
- Chaudhari, K., Kandasamy, N. K., Krishnan, A., Ukil, A., & Gooi, H. B. (2019). Agent-Based Aggregated Behavior Modeling for Electric Vehicle Charging Load. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(2), 856–868. <https://doi.org/10.1109/tii.2018.2823321>
- Christensen, L., Nørrelund, A. V., & Olsen, A. (2010). Travel behaviour of potential Electric Vehicle drivers. The need for changing: A contribution to the Edison project. Gepresenteerd bij European Transport Conference 2010. Geraadpleegd van <https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/7728667/Travel+behaviour+of+potential+Electric+Vehicle+drivers.pdf>
- Clement-Nyns, K., Haesen, E., & Driesen, J. (2010). The Impact of Charging Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid. *IEEE Transactions on Power Systems*, 25(1), 371–380. <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2009.2036481>
- Coast, J., Flynn, T. N., Salisbury, C., Louviere, J., & Peters, T. J. (2006). Maximising Responses to Discrete Choice Experiments. *Applied Health Economics and Health Policy*, 5(4), 249–260. <https://doi.org/10.2165/00148365-200605040-00006>
- De Brey, B. (2017). Smart Solar Charging: Bi-Directional AC Charging (V2G) in the Netherlands. *Journal of Energy and Power Engineering*, 11(7), 483–490. <https://doi.org/10.17265/1934-8975/2017.07.007>

- Deloitte. (2010). *Gaining Traction: A Customer View of Electric Vehicle Mass Adoption in the US Automotive Market*. Geraadpleegd van <https://www.yumpu.com/en/document/read/4198231/gaining-traction-a-customer-view-of-electric-vehicle-mass-adoption-in->
- Domarchi, C., Tudela, A., & González, A. (2008). Effect of attitudes, habit and affective appraisal on mode choice: an application to university workers. *Transportation*, 35(5), 585–599. <https://doi.org/10.1007/s11116-008-9168-6>
- Domencich, T. A., & McFadden, D. (1975). *Urban Travel Demand: A behavioral analysis*. Amsterdam, Nederland: North-Holland Publishing Company.
- Dubey, A., & Santoso, S. (2015). Electric Vehicle Charging on Residential Distribution Systems: Impacts and Mitigations. *IEEE Access*, 3, 1871–1893. <https://doi.org/10.1109/access.2015.2476996>
- Ensslen, A., Paetz, A.-C., Babrowski, S., & Jochem, P. (2015). On the road to an electric mobility mass market - How can early adopters be characterized? In M. Hülsmann & D. Fornahl (Eds.), *Markets and policy measures in the evolution of electric mobility* (8th ed., pp. 21–52). <https://doi.org/10.5445/IR/1000047349>
- European Commission. (2019). *Communication From The Commission: The European Green Deal* (COM(2019) 640 final). Geraadpleegd van <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>
- European Environment Agency. (2018). *Environmental indicator report 2018: In support to the monitoring of the Seventh Environment Action Programme* (No 19). Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2800/180334>
- Ewing, G. O., & Sarigöllü, E. (1998). Car fuel-type choice under travel demand management and economic incentives. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 3(6), 429–444. [https://doi.org/10.1016/s1361-9209\(98\)00019-4](https://doi.org/10.1016/s1361-9209(98)00019-4)
- Ewing, G. O., & Sarigöllü, E. (2000). Assessing Consumer Preferences for Clean-Fuel Vehicles: A Discrete Choice Experiment. *Journal of Public Policy and Marketing*, 18(1), 106–118. <https://doi.org/10.1509/jppm.19.1.106.16946>
- Galesic, M., & Bosnjak, M. (2009). Effects of Questionnaire Length on Participation and Indicators of Response Quality in a Web Survey. *The Public Opinion Quarterly*, 73(2), 349–360.

- Gharbaoui, M., Valcarenghi, L., Brunoï, R., Martini, B., Conti, M., & Castoldi, P. (2012). An advanced smart management system for electric vehicle recharge. In *2012 IEEE International Electric Vehicle Conference*. Greenville, South Carolina, Verenigde Staten: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ievc.2012.6183171>
- Ghotge, R., Snow, Y., Farahani, S., Lukszo, Z., & van Wijk, A. (2020). Optimized Scheduling of EV Charging in Solar Parking Lots for Local Peak Reduction under EV Demand Uncertainty. *Energies*, 13(5), 1275–1293. <https://doi.org/10.3390/en13051275>
- Glötz-Richter, M. (2016). Reclaim Street Space! – Exploit the European Potential of Car Sharing. *Transportation Research Procedia*, 14, 1296–1304. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.202>
- Gora, P. ł., Bankiewicz, D., Karnas, K., Kaźmierczak, W., Kutwin, M. ł., Perkowski, P. ł., ... Zięba, D. (2020). On a road to optimal fleet routing algorithms: a gentle introduction to the state-of-the-art. *Smart Delivery Systems*, 37–92. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815715-2.00014-2>
- Graft Architects (2021). E.ON Ultra-Fast Charging Stations [Foto]. Geraadpleegd op 20 juli 2021, van <https://graftlab.com/en/projects/e-on-ultra-fast-charging-stations>
- Green Deal. (z.j.). De Green Deals. Geraadpleegd op 17 februari 2021, van <https://www.greendeals.nl/green-deals>
- Grüning, M., Witte, M., Boteler, B., Kantamaneni, R., Gabel, E., Bennink, D., . . . Kampman, B. (2011). *Impacts of Electric Vehicles - Deliverable 3* (11.4058.05). CE Delft. Geraadpleegd van https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/docs/d3_en.pdf
- Hardman, S., & Tal, G. (2018). Who are the early adopters of fuel cell vehicles? *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(37), 17857–17866. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.08.006>
- Haugen, K., Holm, E., Strömngren, M., Vilhelmson, B., & Westin, K. (2011). Proximity, accessibility and choice: A matter of taste or condition?. *Papers in Regional Science*, 91(1), 65–84. <https://doi.org/10.1111/j.1435-5957.2011.00374.x>
- Hausler, F., Crisostomi, E., Schlote, A., Radosch, I., & Shorten, R. (2014). Stochastic Park-and-Charge Balancing for Fully Electric and Plug-in Hybrid Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(2), 895–901. <https://doi.org/10.1109/tits.2013.2286266>
- Hensher, D. A. & Greene, W. H. (2002). The Mixed Logit Model: The State of Practice. *Transportation*, 30, 133-176.

- Hidrué, M. K., Parsons, G. R., Kempton, W., & Gardner, M. P. (2011). Willingness to pay for electric vehicles and their attributes. *Resource and Energy Economics*, 33(3), 686–705. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2011.02.002>
- Hoekstra, A., Vijayashankar, A., & Sundrani, V. L. (2017). Modelling the Total Cost of Ownership of Electric Vehicles in the Netherlands (pp. 1–13). Gepresenteerd bij EVS30 Symposium, Stuttgart, Duitsland. Geraadpleegd van https://www.researchgate.net/profile/Auke-Hoekstra/publication/320415990_Modelling_the_Total_Cost_of_Ownership_of_Electric_Vehicles_in_the_Netherlands/links/59e46660458515393d60e017/Modelling-the-Total-Cost-of-Ownership-of-Electric-Vehicles-in-the-Netherlands.pdf
- Hoen, A. (2015). *Snelhedenbeleid voor elektrische voertuigen* (1681). Planbureau voor de Leefomgeving. Geraadpleegd van <https://www.pbl.nl/publicaties/snelhedenbeleid-voor-elektrische-voertuigen>
- Hoen, A., & Koetse, M. J. (2014). A choice experiment on alternative fuel vehicle preferences of private car owners in the Netherlands. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 61, 199–215. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.01.008>
- Holland, J. L., & Christian, L. M. (2009). The Influence of Topic Interest and Interactive Probing on Responses to Open-Ended Questions in Web Surveys. *Social Science Computer Review*, 27(2), 196–212. <https://doi.org/10.1177/0894439308327481>
- Horne, M., Jaccard, M., & Tiedemann, K. (2005). Improving behavioral realism in hybrid energy-economy models using discrete choice studies of personal transportation decisions. *Energy Economics*, 27(1), 59–77. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2004.11.003>
- Houghton, J. (2009). *Global Warming: The Complete Briefing* (4de editie). Cambridge, Verenigd Koninkrijk: Cambridge University Press.
- Interreg North Sea Region. (2018). *Analysis of the impacts of car-sharing in Bremen, Germany* (Final report). Geraadpleegd van <https://share-north.eu/wp-content/uploads/2018/08/Analysis-of-the-Impact-of-Car-Sharing-in-Bremen-2018-Team-Red-Final-Report-English-compressed.pdf>
- Interreg North-West Europe. (2019, 3 oktober). EHUBS - Smart Shared Green Mobility Hubs. Geraadpleegd op 5 maart 2021, van <https://www.nweurope.eu/projects/project-search/ehubs-smart-shared-green-mobility-hubs/#tab-1>
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*, 47(2), 263. <https://doi.org/10.2307/1914185>

- Karolemeas, C., Tsigdinos, S., Tzouras, P. G., Nikitas, A., & Bakogiannis, E. (2021). Determining Electric Vehicle Charging Station Location Suitability: A Qualitative Study of Greek Stakeholders Employing Thematic Analysis and Analytical Hierarchy Process. *Sustainability*, 13(4), 2298. <https://doi.org/10.3390/su13042298>
- Keep.eu. (2021, 5 maart). Smart Shared Green Mobility Hubs. Geraadpleegd op 5 maart 2021, van <https://keep.eu/projects/21149/Smart-Shared-Green-Mobility-EN/>
- Kok, R., Visser, W., Mulder, H., Durkoop, T., van Langevelde, C., & van Ginkel, M. (2020). *Trendrapport Nederlandse markt personenauto's: Overzicht van trends en ontwikkelingen tot en met 2019*. Geraadpleegd van <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2020/11/Trendrapport%20Nederlandse%20markt%20personenautos%20tot%20en%20met%202019.pdf>
- Kolarova, V., Steck, F., & Bahamonde-Birke, F. J. (2019). Assessing the effect of autonomous driving on value of travel time savings: A comparison between current and future preferences. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 129, 155–169. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.08.011>
- KPMG International. (2018). *Autonomous Vehicles Readiness Index*. Geraadpleegd van <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/tw/pdf/2018/03/KPMG-Autonomous-Vehicle-Readiness-Index.pdf>
- Kwan, M. P., & Weber, J. (2003). Individual accessibility revisited: implications for geographical analysis in the twenty-first century. *Geographical analysis*, 35(4), 341-353.
- Kwantes, C., Juffermans, N., & Scheltes, A. (2019). HUB's: van hippe hype-fase naar duurzame mobiliteitstransitie (pp. 1–13). Gepresenteerd bij Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk 21 en 22 november 2019, Deventer, Nederland: Goudappel.
- Kwantes, C., van der Linde, L., & Juffermans, N. (2020). De mobiliteitshub: van houtkoolschets naar foto. Gepresenteerd bij Nationaal Verkeerskundecongres (NVC). Geraadpleegd van https://upload.lingacms.nl/nv_ce0191a9/Papers_2020/De%20Mobiliteitshub.pdf
- Li, Y., Yang, L., Shen, H., & Wu, Z. (2019). Modeling intra-destination travel behavior of tourists through spatio-temporal analysis. *Journal of Destination Marketing & Management*, 11, 260–269. <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2018.05.002>

- Liao, F., Correia, G., Bösehans, G., Goodman, P., Vleugel, J., van Arem, B., ... Bell, M. (2020). *EHUBS - Smart Shared Green Mobility Hubs: Deliverable 1.1: State-of-the-art related to eHUBS*. Interreg North-West Europe. Geraadpleegd van https://www.nweurope.eu/media/9929/dt211_state-of-the-art_report_for_ehubs_final.pdf
- Limtanakool, N., Dijst, M., & Schwanen, T. (2006). The influence of socioeconomic characteristics, land use and travel time considerations on mode choice for medium- and longer-distance trips. *Journal of Transport Geography*, 14(5), 327–341. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2005.06.004>
- Londo, M., Matton, R., Usmani, O., van Klaveren, M., Tigchelaar, C., & Brunsting, S. (2020). Alternatives for current net metering policy for solar PV in the Netherlands: A comparison of impacts on business case and purchasing behaviour of private homeowners, and on governmental costs. *Renewable Energy*, 147, 903-915.
- Louviere, J. J., Flynn, T. N., & Carson, R. T. (2010). Discrete Choice Experiments Are Not Conjoint Analysis. *Journal of Choice Modelling*, 3(3), 57–72. [https://doi.org/10.1016/s1755-5345\(13\)70014-9](https://doi.org/10.1016/s1755-5345(13)70014-9)
- Lyons, S., Mayor, K., & Tol, R. S. J. (2009). Holiday destinations: Understanding the travel choices of Irish tourists. *Tourism Management*, 30(5), 683–692. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2008.10.024>
- Maness, M., & Cirillo, C. (2012). Measuring Future Vehicle Preferences. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2285(1), 100–109. <https://doi.org/10.3141/2285-12>
- Mau, P., Eyzaguirre, J., Jaccard, M., Collins-Dodd, C., & Tiedemann, K. (2008). The 'neighbor effect': Simulating dynamics in consumer preferences for new vehicle technologies. *Ecological Economics*, 68(1–2), 504–516. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.05.007>
- McFadden, D. & Train, K. (2000). Mixed MNL Models For Discrete Response. *Journal of Applied Econometrics*, 15, 447-470.
- McFadden, D. (1974). Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. In Zarembka, P. (Red.), *Frontiers in Econometrics*. New York: Academic Press, 105-142.
- McFadden, D. (1986). The choice theory approach to market research. *Marketing Science*, 5(4), 275-279.
- Ministerie van Economische Zaken. (2016). *Energierapport: Transitie naar duurzaam*. Den Haag: Ministerie van Economische Zaken.

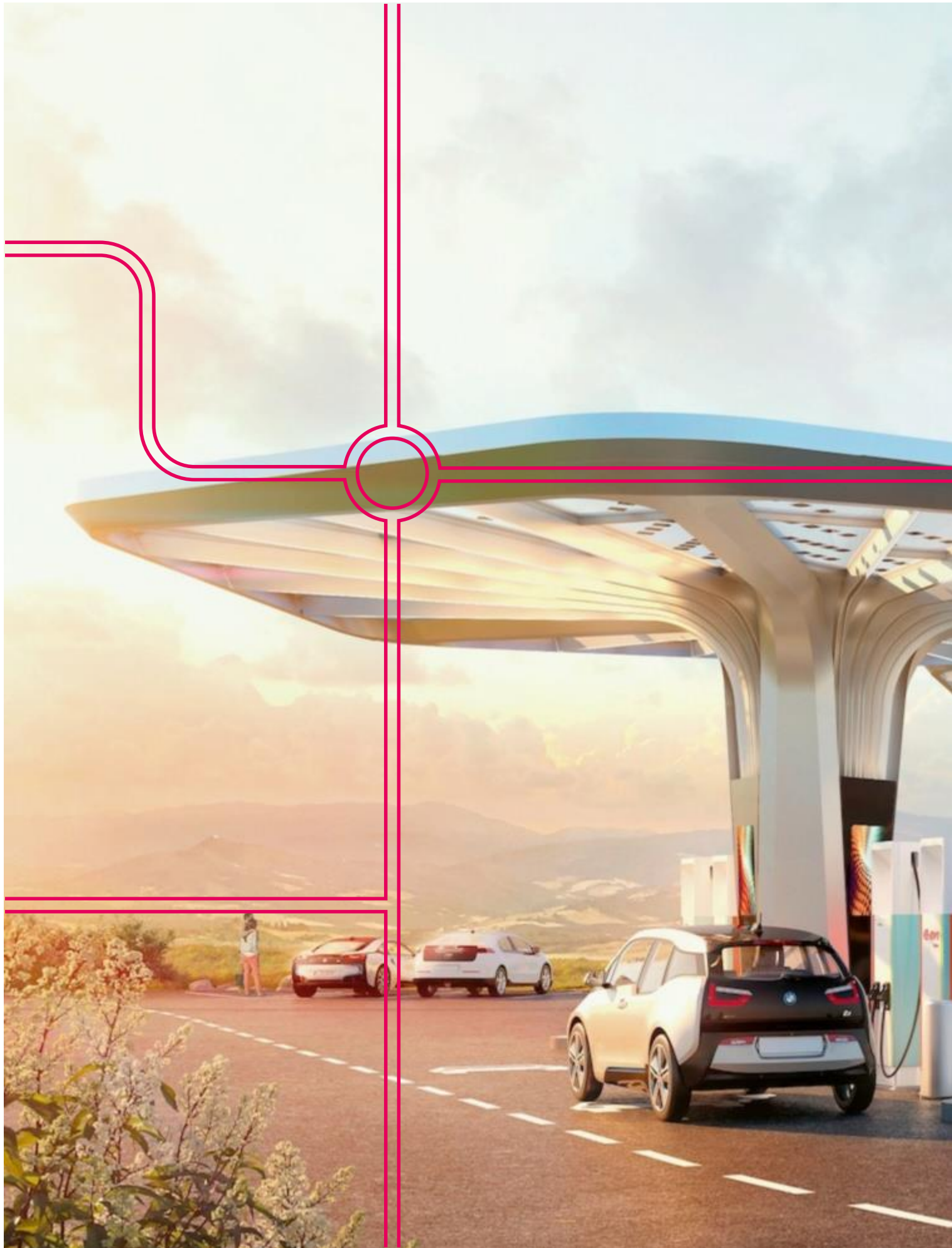
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2019). *Nationale Agenda Laadinfrastructuur*. Geraadpleegd van <https://www.agendalaadinfrastructuur.nl/default.aspx>
- Miramontes, M., Pfertner, M., Rayaprolu, H. S., Schreiner, M., & Wulfhorst, G. (2017). Impacts of a multimodal mobility service on travel behavior and preferences: user insights from Munich's first Mobility Station. *Transportation*, 44(6), 1325–1342. <https://doi.org/10.1007/s11116-017-9806-y>
- Moorman, S., & Berveling, J. (2018). "It's electrifying!". Het stimuleren van elektrisch rijden met gedragsbeïnvloeding. Gepresenteerd bij Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk, Amersfoort, Nederland. Geraadpleegd van https://cvs-congres.nl/e2/site/cvs/custom/site/upload/file/cvs_2018/id_126_saeda_moorman_it_s_electrifying.pdf
- Motoaki, Y., & Shirk, M. G. (2017). Consumer behavioral adaption in EV fast charging through pricing. *Energy Policy*, 108, 178–183. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.05.051>
- Musti, S., & Kockelman, K. M. (2011). Evolution of the household vehicle fleet: Anticipating fleet composition, PHEV adoption and GHG emissions in Austin, Texas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 45(8), 707–720. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2011.04.011>
- Nardi, P. M. (2018). Finding Ideas to Research. In P. M. Nardi (Red.), *Doing Survey Research: A Guide to Quantitative Methods* (4de editie, pp. 26–45). Abingdon, Verenigd Koninkrijk: Routledge.
- Nationaal Kennisplatform Laadinfrastructuur. (2020). *Handreiking Snelladen van elektrisch vervoer: Zorgen dat snel, vaak en zeker kan worden geladen*. Geraadpleegd van https://www.nkl.nl/nederland/uploads/files/Handreiking_Snelladen.pdf
- Noel, L., Rubens, Z. G., Kester, J., & Sovacool, B. K. (2019). *Vehicle-to-Grid: A Sociotechnical Transition Beyond Electric Mobility* (1e ed.). Cham, Zwitserland: Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04864-8_3
- Noland, R. B. (2001). Relationships between highway capacity and induced vehicle travel. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(1), 47–72. [https://doi.org/10.1016/s0965-8564\(99\)00047-6](https://doi.org/10.1016/s0965-8564(99)00047-6)
- Ozaki, R., & Sevastyanova, K. (2011). Going hybrid: An analysis of consumer purchase motivations. *Energy Policy*, 39(5), 2217–2227. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.04.024>

- Palomino, A., & Parvania, M. (2019). Advanced charging infrastructure for enabling electrified transportation. *The Electricity Journal*, 32(4), 21–26.
<https://doi.org/10.1016/j.tej.2019.03.003>
- Pleeging, E., Van Exel, J., Burger, M. J., & Stavropoulos, S. (2021). Hope for the future and willingness to pay for sustainable energy. *Ecological Economics*, 181, 106900. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106900>
- Plötz, P., Schneider, U., Globisch, J., & Dütschke, E. (2014). Who will buy electric vehicles? Identifying early adopters in Germany. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 67, 96–109. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.06.006>
- Potoglou, D., & Kanaroglou, P. S. (2007). Household demand and willingness to pay for clean vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(4), 264–274. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2007.03.001>
- PWC. (2017). *Smart Charging van elektrische voertuigen: Institutionele knelpunten en mogelijke oplossingen*. Geraadpleegd van <https://nederlandelektrisch.nl/u/images/2017-12-pwc-laden.pdf>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2019). *Mission Zero: Powered by Holland*. Netherlands Enterprise Agency. Geraadpleegd van <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/06/Misson%20Zero%20Powered%20by%20Holland.pdf>
- Rijksoverheid. (2019). *Klimaatakkoord*. Geraadpleegd van <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2019/06/28/klimaatakkoord/klimaatakkoord.pdf>
- Rijksoverheid. (2021, 18 maart). Coronavirus COVID-19. Geraadpleegd op 22 maart 2021, van <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/coronavirus-covid-19>
- Rodríguez-Pose, A., & Tselios, V. (2009). Education and income inequality in the regions of the European Union. *Journal of Regional Science*, 49(3), 411–437. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2008.00602.x>
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations* (5de ed.). New York, Verenigde Staten: Free Press.
- Sahin, I. (2006). Detailed Review Of Rogers' Diffusion Of Innovations Theory And Educational Technology-Related Studies Based On Rogers' Theory. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 5(2), 14–23.
- Sammer, K., & Wüstenhagen, R. (2006). The influence of eco-labelling on consumer behaviour – results of a discrete choice analysis for washing machines. *Business Strategy and the Environment*, 15(3), 185–199. <https://doi.org/10.1002/bse.522>

- Scheepers, P. L. H., Tobi, H., & Boeije, H. R. (2016). *Onderzoeksmethoden*. Den Haag, Nederland: Boom Lemma.
- Schwartz, S. H. (1977). Normative influences on altruism. In L. Berkowitz (Red.), *Advances in experimental social psychology* (pp. 221–279). San Diego, Verenigde Staten: Academic Press.
- Seebauer, S. (2018). The psychology of rebound effects: Explaining energy efficiency rebound behaviours with electric vehicles and building insulation in Austria. *Energy Research & Social Science*, 46, 311–320.
<https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.08.006>
- Share North. (2018, 10 mei). Bergen Celebrates the Grand Opening of the City's First "Mobilpunkt" –. Geraadpleegd op 2 juni 2021, van <https://share-north.eu/2018/05/bergen-celebrates-the-grand-opening-of-the-citys-first-mobilpunkt/>
- Share North. (2020, juli). Bergen – A City dedicated to mobility hubs, emissions reduction and transnational learning. Geraadpleegd op 4 maart 2021, van <https://share-north.eu/2019/07/bergen-a-city-dedicated-to-mobility-hubs-emissions-reduction-and-transnational-learning/>
- Sierzchula, W., Bakker, S., Maat, K., & van Wee, B. (2012). Technological diversity of emerging eco-innovations: a case study of the automobile industry. *Journal of Cleaner Production*, 37, 211–220.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.011>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.043>
- Singer, M. R. (2017). *The Barriers to Acceptance of Plug-in Electric Vehicles: 2017 Update* (NREL/TP-5400-70371). National Renewable Energy Lab, Verenigde Staten. <https://doi.org/10.2172/1408997>
- Somenahalli, S., & Shipton, M. (2013). Examining the Distribution of the Elderly and Accessibility to Essential Services. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 104, 942–951. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.189>
- Steg, L. (2005). Car use: lust and must. Instrumental, symbolic and affective motives for car use. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39(2–3), 147–162. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2004.07.001>
- Sun, X. H., Yamamoto, T., & Morikawa, T. (2015). Charge timing choice behavior of battery electric vehicle users. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 37, 97–107. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.04.007>

- Sundt, S., & Rehdanz, K. (2015). Consumers' willingness to pay for green electricity: A meta-analysis of the literature. *Energy Economics*, 51, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.06.005>
- Szeto, W., Yang, L., Wong, R., Li, Y., & Wong, S. (2017). Spatio-temporal travel characteristics of the elderly in an ageing society. *Travel Behaviour and Society*, 9, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2017.07.005>
- Te Brömmelstroet, M. (2014). Sometimes you want people to make the right choices for the right reasons: potential perversity and jeopardy of behavioural change campaigns in the mobility domain. *Journal of Transport Geography*, 39, 141–144. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.07.001>
- Thaler, R. H. (2000). From Homo Economicus to Homo Sapiens. *Journal of Economic Perspectives*, 14(1), 133–141. <https://doi.org/10.1257/jep.14.1.133>
- Train, K. E. (2009). *Discrete choice methods with simulation*. Cambridge university press.
- Triandis, H. C. (1977). *Interpersonal behavior*. Monterey, CA: Brooks/Cole.
- Uddin, M., Romlie, M. F., Abdullah, M. F., Abd Halim, S., Abu Bakar, A. H., & Chia Kwang, T. (2018). A review on peak load shaving strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3323–3332. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.056>
- Urbina, D. A., & Ruiz-Villaverde, A. (2019). A Critical Review of Homo Economicus from Five Approaches. *American Journal of Economics and Sociology*, 78(1), 63–93. <https://doi.org/10.1111/ajes.12258>
- Van Amstel, M., Idema, H.-J., & van Zante, A. (2020). De nationale Laaddrukanalyse. Enpuls. Geraadpleegd van https://www.enpuls.nl/persberichten/groeiend-tekort-publieke-laadfaciliteiten/#m_/media/ajhh2dhz/enpuls-rapport-nationale-laaddrukanalyse.pdf
- Van Gils, L. (2019). *EHUB technical and functional requirements*. Interreg North-West Europe. Geraadpleegd van https://www.nweurope.eu/media/9927/dt111_ehub_technical_and_functional_requirements.pdf
- Van Vliet, O., Brouwer, A. S., Kuramochi, T., van den Broek, M., & Faaij, A. (2011). Energy use, cost and CO2 emissions of electric cars. *Journal of Power Sources*, 196(4), 2298–2310. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.09.119>
- Verplanken, B., Aarts, H., & Van Knippenberg, A. (1997). Habit, information acquisition, and the process of making travel mode choices. *European Journal of Social Psychology*, 27(5), 539–560.

- Voogt, N., Huisman, R., & Juffermans, N. (2020). *Sophie in de wereld van elektrificatie*. Goudappel Coffeng. Geraadpleegd van <https://www.goudappel.nl/whitepaper/>
- Walker, J., & Ben-Akiva, M. (2002). Generalized random utility model. *Mathematical Social Sciences*, 43(3), 303–343. [https://doi.org/10.1016/s0165-4896\(02\)00023-9](https://doi.org/10.1016/s0165-4896(02)00023-9)
- Wang, Y., Yao, E., & Pan, L. (2021). Electric vehicle drivers' charging behavior analysis considering heterogeneity and satisfaction. *Journal of Cleaner Production*, 286, 124982. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124982>
- Wietschel, M., Plötz, P., Kühn, A., & Gnann, T. (2013). *Market evolution scenarios for electric vehicles*. Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI. Geraadpleegd van https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2013/NPE_TC_O_Bericht_en.pdf
- Yang, S. N., Cheng, W. S., Hsu, Y. C., Gan, C. H., & Lin, Y. B. (2013). Charge scheduling of electric vehicles in highways. *Mathematical and Computer Modelling*, 57(11–12), 2873–2882. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2011.11.054>
- Ye, F., & Lord, D. (2014). Comparing three commonly used crash severity models on sample size requirements: Multinomial logit, ordered probit and mixed logit models. *Analytic Methods in Accident Research*, 1, 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.amar.2013.03.001>
- Zhang, Q., Li, H., Zhu, L., Campana, P. E., Lu, H., Wallin, F., & Sun, Q. (2018). Factors influencing the economics of public charging infrastructures for EV – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 500–509. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.022>
- Zhong, G., Yin, T., Zhang, J., He, S., & Ran, B. (2018). Characteristics analysis for travel behavior of transportation hub passengers using mobile phone data. *Transportation*, 46(5), 1713–1736. <https://doi.org/10.1007/s11116-018-9876-5>
- Ziegler, A. (2012). Individual characteristics and stated preferences for alternative energy sources and propulsion technologies in vehicles: A discrete choice analysis for Germany. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 46(8), 1372–1385. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.05.016>



Goudappel BV werkt vanuit Amsterdam, Den Haag, Deventer, Eindhoven en Leeuwarden

Snipperlingsdijk 4
7417 BJ Deventer
The Netherlands

Postbus 161
7400 AD Deventer
The Netherlands

+31(0) 570 666 222
info@goudappel.nl
www.goudappel.nl

BTW NL 0072 11 879 B01
KVK 3801 7479
IBAN NL09 INGB 0001 2746 32