

SLIM LADEN MET FLEXIBELE NETTARIEVEN IN UTRECHT

OPENBARE EINDRAPPORTAGE

Resultaten van onderzoeksproject
FLEET, gefinancierd door de Topsector
Energiesubsidie van het Ministerie van
Economische Zaken en Klimaat

Projectnummer: TEUE519004

Januari 2020 – Juni 2023



INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING.....	3
1. INLEIDING.....	5
2. OPLOSSINGSRICHTING, DOELSTELLINGEN EN SAMENWERKENDE PARTIJEN	6
2.1. OPLOSSINGSRICHTING	6
2.2. DOELSTELLING.....	7
2.3. SAMENWERKENDE PARTIJEN	8
3. WERKWIJZE	10
3.1. INRICHTING FLEET-STURING	10
3.2. INRICHTING GEBRUIKERSONDERZOEK.....	13
3.3. TIJDLIJN.....	15
4. RESULTATEN – EFFECTIVITEIT VAN DE FLEET-STURING.....	16
4.1. FLEET-STURING TOT FEBRUARI 2023.....	16
4.2. FLEET-STURING VANAF FEBRUARI 2023.....	20
4.3. CONTEXT.....	22
5. RESULTATEN – GEBRUIKERSONDERZOEK.....	23
5.1. ENQUÊTESTUDIE 1: INZICHT IN LAADVOORKEUREN VAN HUIDIGE EV-RIJDERS EN TOEKOMSTIGE EV-RIJDERS.....	23
5.2. ENQUÊTESTUDIE 2: ERVARINGEN MET <i>SLIM LADEN</i> OP HET TRIODOS BANK LAADPLEIN.....	27
5.3. INTERVIEWS.....	29
5.4. CONTEXT.....	33
6. DISCUSSIE, IMPACT EN VERVOLGSTAPPEN	35
6.1. DISCUSSIE.....	35
6.2. IMPACT.....	36
6.3. VERVOLGSTAPPEN.....	37
7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	39
COLOFON	40
APPENDIX.....	41
A. INTERVIEWSCHEMA VOOR GEBRUIKERSINTERVIEWS.....	41
B. LIJST MET PUBLICATIES.....	42

SAMENVATTING

Dit eindverslag presenteert de resultaten van het onderzoeksproject 'Slim laden met flexibele nettarieven in Utrecht', afgekort FLEET, wat gefinancierd is door de Topsector Energiesubsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Binnen dit onderzoeksproject is er een grootschalig *slim laden* systeem opgezet en getest voor publieke laadpalen voor elektrische auto's. Bij *slim laden* varieert de laadsnelheid van elektrische voertuigen, om de laadvraag van deze voertuigen te verschuiven naar gunstige momenten. In dit *slim laden* systeem werd gebruik gemaakt van flexibele nettarieven voor het laden van elektrische auto's (EV). Deze flexibele nettarieven werden door de netbeheerder gebruikt om een financiële prikkel te geven om niet te laden op piekmomenten in het elektriciteitsnet. Op deze manier kunnen netcongestieproblemen worden voorkomen.

Binnen dit onderzoeksproject werd in samenwerking met netbeheerder Stedin een flexibel nettariefstelsel ontwikkeld. In dit nettariefstelsel voorspelde de netbeheerder de belasting in het lokale elektriciteitsnet voor elk moment van de dag. Op basis hiervan werden nettarieven bepaald, welke gecommuniceerd werden naar de laadpaaloperator. Binnen dit project werd er gebruik gemaakt van een nettariefstelsel met drie verschillende tarieven. De laadpaaloperator kreeg afhankelijk van de voorspelde netbelasting een capaciteit per tarief toegewezen, die deze laadpaaloperator kon verdelen over alle laadpalen binnen hetzelfde laagspanningsnet.

De laadpaaloperator gebruikte de flexibele nettarieven en de day-ahead elektriciteitsprijzen voor het bepalen van de laadprofielen van de elektrische auto's. Hierbij werd *slim laden* in praktijk toegepast. Deze sturing op basis van nettarieven is gefaseerd opgeschaald naar uiteindelijk 380 publieke laadpalen in bijna 200 laagspanningsnetten in de stad Utrecht. In totaal is de sturing voor een periode van ongeveer 2,5 jaar toegepast. Hierbij werd geladen met een minimumamperage van 6 ampère, om laadproblemen bij verschillende elektrische automodellen te voorkomen. Bij de analyse van de resultaten werd er gebruik gemaakt van een virtuele transformatorcapaciteit, aangezien de huidige EV-adoptiegraad nog niet daadwerkelijk tot congestieproblemen leiden.

De resultaten van de sturing laten zien dat de laadvraag van EV's ongeveer 50% lager ligt op piekmomenten en dat de hoeveelheid virtuele netcongestie 20% lager lag met de FLEET-sturing dan wanneer er ongecontroleerd zou worden geladen. Slim laden op basis van flexibele nettarieven heeft dus een duidelijke positieve impact op de netcongestie. Modelsimulaties laten zien dat de effectiviteit van de sturing ongeveer tweemaal zo hoog zou liggen indien er geen minimumamperage van 6 ampère nodig zou zijn bij de *slim laden* sturing. Bovendien laten de modelsimulaties zien dat sturing op basis van alleen day-ahead prijzen al leidt tot een flinke vermindering van de hoeveelheid virtuele netcongestie. Flexibele nettarieven blijven echter van belang als prikkel voor laadpaalexploitanten zonder dynamisch energiecontract en voor de specifieke momenten dat de prijzen in de elektriciteitsmarkt niet de juiste prikkel geven om netcongestie te voorkomen. Tot slot laten de resultaten zien dat niet alle

congestieproblemen kunnen worden opgelost met *slim laden* op basis van flexibele nettarieven. Netverzwaringen en andere maatregelen blijven dus essentieel om toekomstige netcongestieproblemen te voorkomen.

Het uitgevoerde gebruikersonderzoek lieten zien dat gebruikers in beginsel positief staan tegenover het toepassen van *slim laden* en dat ze weinig gemerkt hebben van het toepassen van *slim laden*. Ondanks dat *slim laden* is uitgerold op grote schaal, was het aantal klachten van eindgebruikers zeer laag (gemiddeld 1 per week op enkele duizenden wekelijkse laadsessies). Uit gebruikersonderzoek blijkt dat een deel van de gebruikers veel waarde hecht aan een overrulefunctie, vooral uit angst dat de auto niet voldoende zou zijn opgeladen (*range anxiety*). In de praktijk wordt deze overrulefunctie echter nauwelijks gebruikt.

Uiteindelijk leidt dit onderzoeksproject tot de volgende aanbevelingen:

1. Dit project heeft in een grootschalige test bij 380 publieke laadpunten laten zien dat het mogelijk is om een goed-functionerend slim laden systeem uit te rollen op een grote schaal. De invoering van dit systeem was succesvol en heeft nauwelijks tot klachten en problemen geleid. Snelle opschaling heeft nauwelijks tot problemen geleid. Het wordt dus aanbevolen om *slim laden* projecten op grote schaal niet te schuwen.
2. Het toepassen van slim laden op basis van flexibele nettarieven vermindert de hoeveelheid congestie die plaatsvindt door EV-laden. Hierdoor kunnen netverzwaringen en netinvesteringen voorkomen worden en wordt tijd gekocht voordat netverzwaringen moeten worden doorgevoerd. Het is daarom aan te raden dat dit systeem of een soortgelijk systeem op grotere schaal uitgerold wordt. De netbeheerders hebben ondertussen besloten om het 'netbewust laden', dat in grote lijnen lijkt op het hier geteste tariefsysteem, in te voeren.
3. Het benodigde minimumampèrage van 6 ampère bij het opladen van EV's heeft grote invloed op de effectiviteit van het toepassen van slim laden. In dit project is een oplossing voor dit probleem onderzocht waarbij EV's tijdens het laden werden getest op hun gevoeligheid voor dit probleem en het minimumampèrage op basis daarvan voor een deel van de auto's werd losgelaten. Dat leidde tot een verbetering van de impact, maar het is voor de uitrol van *slim laden* van groot belang om dit benodigd minimumampèrage uit te faseren. Hiervoor zijn het invoeren van normen en standaardisatie belangrijk. Het is belangrijk om te blijven testen op interoperabiliteit om toe te werken naar een goed functionerend *slim laden* ecosysteem.

1. INLEIDING

Binnen het onderzoeksproject ‘Slim laden met flexibele nettarieven in Utrecht’, afgekort als FLEET, is er in de periode januari 2020 tot en met juni 2023 een grootschalig *slim laden*-systeem opgezet binnen de stad Utrecht met sturing op basis van flexibele nettarieven. Flexibele nettarieven worden gezien als mogelijke oplossing om congestieproblemen te verminderen, die veroorzaakt worden door onder andere het opladen van elektrische auto’s op piekmomenten. In het huidige systeem zijn de nettarieven die worden betaald aan netbeheerders statisch en onafhankelijk van het moment van elektriciteitsverbruik. Bij invoering van flexibele nettarieven zullen deze tarieven afgestemd zijn op de specifieke status van het elektriciteitsnet op een bepaald moment. Dit kan afnemers een financiële prikkel geven om het elektriciteitsverbruik te schuiven naar momenten met een gunstigere situatie op het net. Dit kan congestieproblemen en daarmee netverzwaringen voorkomen.

Er is nog weinig inzicht in de optimale inrichting van een flexibel nettariefsysteem. Bovendien is het niet duidelijk wat de effectiviteit van het toepassen van nettarieven in de praktijk gaat zijn. Het FLEET-project heeft getracht meer duidelijkheid in deze zaken te scheppen zodat netbeheerders en de Autoriteit Consument en Markt (ACM) beter geïnformeerde beslissingen kunnen nemen over het nettariefsysteem van de toekomst.

Binnen het FLEET-project is er een flexibel nettariefsysteem ontwikkeld en is dit nettariefsysteem toegepast bij een zeer groot *slim laden*-experiment op publieke laadpalen in de stad Utrecht. Dit *slim laden*-experiment vond plaats op 380 publieke laadpalen op bijna 200 laagspanningsnetten in de stad Utrecht. In dit experiment werden de laadprofielen van elektrische auto’s die laadden op deze publieke laadpalen geoptimaliseerd op basis van het ontwikkelde nettariefsysteem. Binnen dit grootschalige experiment zijn barrières voor de effectieve toepassing van slim laden geïdentificeerd en is er gewerkt aan oplossingen voor deze barrières, zodat slim laden om netcongestie tegen te gaan effectief kan worden opgeschaald.

De resultaten van dit project geven inzicht in de effectiviteit van het in de praktijk toepassen van flexibele nettarieven voor het opladen van elektrische auto’s. Daarnaast zijn er binnen dit project een groot aantal modelsimulaties uitgevoerd om de potentiële effectiviteit van een flexibel nettariefsysteem verder te onderzoeken. Tot slot is er gebruikersonderzoek uitgevoerd om de impact van het invoeren van een *slim laden* systeem op basis van flexibele nettarieven op de EV-rijder te onderzoeken.

Dit rapport presenteert de activiteiten en resultaten van het FLEET-project. In hoofdstuk 2 zullen de gekozen oplossingsrichting, de projectdoelstellingen en de samenwerkende partijen geïntroduceerd worden. In hoofdstuk 3 wordt de gekozen werkwijze verder toegelicht. De resultaten van de sturing worden uiteengezet in hoofdstuk 4 en de resultaten van het gebruikersonderzoek worden weergegeven in hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 en 7 bevatten een discussie en de conclusies.

2. OPLOSSINGSRICHTING, DOELSTELLINGEN EN SAMENWERKENDE PARTIJEN

2.1. OPLOSSINGSRICHTING

De flexibiliteit die beschikbaar is bij het opladen van elektrische voertuigen in laagspanningsnetten wordt momenteel nauwelijks benut. Dit leidt enerzijds tot hogere laadkosten en een hogere CO₂-uitstoot. Aan de andere kant leidt dit steeds vaker tot een overbelasting van het laagspanningsnetwerk, aangezien de gelijktijdigheid in het laden van elektrische auto's hoog is en deze laadpiek samenvalt met de piekbelasting van huishoudens.

Het slim opladen van elektrische auto's biedt een oplossing voor bovenstaande problemen en daarmee een win, win, win situatie voor alle partijen: de EV-rijder, de laadpaalbeheerder en de netbeheerder. Bij een slim laden systeem wordt de snelheid waarmee een elektrische auto wordt opgeladen gevarieerd in de tijd. Deze laadsnelheid wordt afgestemd op de voorkeuren van de EV-rijder, de marktomstandigheden op een bepaald moment (elektriciteitsprijs, CO₂-emissiefactor van elektriciteit) en de situatie op een laagspanningsnet. Op deze manier kan slim laden ervoor zorgen dat de laadkosten, CO₂-uitstoot van het opladen van elektrische auto's en de hoeveelheid netcongestie afnemen. Hierdoor kunnen netverzwaringen of -uitbreidingen worden vermeden of uitgesteld, wat wenselijk is gezien de hoge maatschappelijke kosten die hiermee gepaard gaan en gezien de schaarste in technisch-geschoold personeel om deze netverzwaringen of -uitbreidingen uit te voeren.

De flexibiliteit bij het opladen van elektrische auto's is vele malen groter dan andere flexibiliteitsbronnen in het laagspanningsnet, zoals warmtepompen en zonnepanelen. Om deze reden wordt *slim laden* gezien als een van de meest kansrijke ontwikkelingen voor het stabiel houden van lokale elektriciteitsnetten^{1,2}.

Eén van de voornaamste kernvragen is hoe deze flexibiliteit in opladen van elektrische auto's kan worden ontsloten ten behoeve van het in stand houden van het elektriciteitsnet. In eerdere studies zijn hiervoor verschillende oplossingen gepresenteerd. In de eerste oplossing wordt gebruik gemaakt van een variabele beschikbare capaciteit voor laadpalen voor elektrische auto's. Het beschikbare vermogen om te laden varieert daarbij gedurende de dag en mogelijk zelfs dag tot dag. Een tweede oplossing betreft het hanteren van een bandbreedte. Hierbij hebben de laadpalen altijd de beschikbaarheid tot een vaste capaciteit (bandbreedte) voor het opladen van EV's. Wanneer er meer wordt geladen dan deze capaciteit wordt er een meerprijs betaald. Ten derde kan een flexibel nettarief worden gehanteerd: afhankelijk van het tijdstip waarop er geladen wordt aan de laadpaal wordt er meer of minder betaald. Door met een prijsprikkel te werken, worden laadpaalbeheerders niet gedwongen, maar gestimuleerd

¹ 'Lokale flexibiliteit voor een stabiele elektriciteitsvoorziening', TKI Urban Energy, augustus 2019

² Nationale Agenda Laadinfrastructuur – Slim laden voor iedereen 2022-2025

om slim te laden op momenten met weinig capaciteitsproblemen op het laagspanningsnet.

De oplossingsrichting met een variabele beschikbare laadcapaciteit is reeds getest in eerdere slim laden proeven waaronder *Flexpower*³ (Amsterdam) en *Slim Laden*⁴ (Overijssel en Gelderland). Het toepassen van een bandbreedtemodel wordt als minder effectief geacht, aangezien er geen prikkel wordt gegeven om op piekmomenten minder te laden. Bij aanvang van het project was er nog geen onderzoek gedaan naar de effectiviteit en impact van het toepassen van flexibele nettarieven voor het opladen van elektrische auto's.

Om te onderzoeken in hoeverre het mogelijk is om via prijsprikkels congestie te voorkomen is dit binnen het FLEET-project in de praktijk getest. Binnen het geteste systeem maakt de netbeheerder voorspellingen van de netbelasting en vertaalt deze voorspellingen naar nettarieven. Deze zijn lager dan normaal op momenten met een lage netbelasting, en hoger dan normaal op momenten met een hoge netbelasting. Vervolgens worden de laadprofielen van elektrische auto's geoptimaliseerd op basis van deze nettarieven, de laadvoorkeuren van de gebruiker en de prijzen op de elektriciteitsmarkt.

Dit project is de eerste grootschalige proef met flexibele nettarieven voor het opladen van elektrische auto's in Nederland. Het geteste nettariëfsysteem is toegepast op 380 publieke laadpalen van *We Drive Solar* in bijna 200 laagspanningsnetten binnen de gemeente Utrecht. *Slim laden* wordt enkel toegepast bij vaste gebruikers die gemiddeld vaker dan 0,3 keer per week laden. Bovendien hebben gebruikers de mogelijkheid om hun laadsessie te *overrulen*, wat inhoudt dat er op maximaal vermogen wordt geladen. Binnen het onderzoeksproject is onderzocht in hoeverre deze oplossing waarde creëert voor alle partijen in de keten: de EV-rijder, de laadpaalbeheerder en de netbeheerder.

2.2. DOELSTELLING

De doelstelling zoals geformuleerd in het projectplan is als volgt: Het doel van dit project is om door middel van slim laden met flexibele nettarieven de waarde van bespaarde netinvesteringen mede ten goede te laten komen aan EV-rijders, hun gedrag te beïnvloeden ten behoeve van piekreductie, en daarmee de maatschappelijke kosten van de transitie naar elektrische vervoer en een duurzaam energiesysteem betaalbaar te houden.

De volgende resultaten waren voorzien in het projectplan:

1. Een gerealiseerde flexibele tariefstructuur voor nettarieven, die risicoreductie voor de netbeheerder met betrekking tot leveringszekerheid combineert met voldoende financiële incentive voor ketenpartners (aggregators, CPO's, EV-rijders)

³ ElaadNL - Flexpower 3: Meer laden op een vol elektriciteitsnet. <https://elaad.nl/proef-in-amsterdam-succesvol-meer-elektrische-autos-opladen-op-een-druk-elektriciteitsnet/>

⁴ ElaadNL - Eindverslag proef Variabele Netcapaciteit in Overijssel en Gelderland <https://elaad.nl/grootschalige-proef-met-slim-laden-elektrische-autos-in-gelderland-en-overijssel-afgerond/>

om het financieel potentieel van capaciteitsmanagement/netcongestie te gelde te maken;

2. Een ontwikkelde gebruiksvriendelijke user-interface, die de EV-rijder voldoende controle biedt over zijn laadgedrag en hem tegelijkertijd ontzorgt;
3. Een vaststelling van welke financiële prikkels en andere randvoorwaarden nodig zijn om het gedrag van EV-rijders te beïnvloeden en inzicht verkrijgen in hoe de EV-rijder deze ervaart, met oog op uitrol van dit nieuwe slimladensysteem over heel Nederland.

2.3. SAMENWERKENDE PARTIJEN

De volgende partijen waren als projectpartner betrokken bij dit project:

Tabel 1 - Overzicht van betrokken projectpartners en hun rollen in het project

Naam organisatie	Rol in het project
Utrecht Sustainability Institute	<ol style="list-style-type: none"> 1. Opzetten gezamenlijke datastructuur 2. Kennismanagement en kennisuitwisseling met aanliggende projecten 3. Kennisdisseminatie 4. Ondersteuning projectleiding
Universiteit Utrecht – Copernicus Instituut voor Duurzame Ontwikkeling	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitoring gebruikerservaringen door middel van gebruikersonderzoek (interviews & enquêtestudies) 2. Modelsimulaties kijkend naar de effectiviteit van flexibele nettarieven 3. Evaluatie van impact slimme nettarieven op netcongestie. 4. Kennisdisseminatie door middel van o.a. schrijven wetenschappelijke publicaties 5. Penvoeren en projectleiding
Smart Solar Charging B.V.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Opzetten, testen en evalueren user-interface voor overrulefunctie 2. Beschikbaar stellen van 380 publieke laadpalen voor slim laden 3. Inrichten backoffice voor <i>slim laden</i> met flexibele nettarieven 4. Monitoring effectiviteit <i>slim laden</i> en beschikbaar stellen monitoringdata 5. Bepaling van <i>slim laden</i> parameters
Stedin Netbeheer B.V.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ontwikkelen systeem voor bepalen flexibele nettarieven 2. Opzetten datauitwisselingsinfrastructuur voor het bepalen en communiceren van flexibele nettarieven.

	<ol style="list-style-type: none"> 3. Installatie van meetinfrastructuur in laagspanningsnetten 4. Evaluatie van impact slimme nettarieven op netcongestie.
Stichting ElaadNL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Monitoring gebruikerservaringen door middel van gebruikersonderzoek (interviews & enquêtestudies) 2. Evaluatie van impact slimme nettarieven op netcongestie. 3. Modelsimulaties kijkend naar de effectiviteit van flexibele nettarieven 4. Uitvoeren <i>slim laden</i> testen in ElaadNL testlab.

Daarnaast hebben de volgende partijen substantieel bijgedragen aan het uitvoeren van de *slim laden* proef (zonder daarvoor kosten ten laste van het project te leggen):

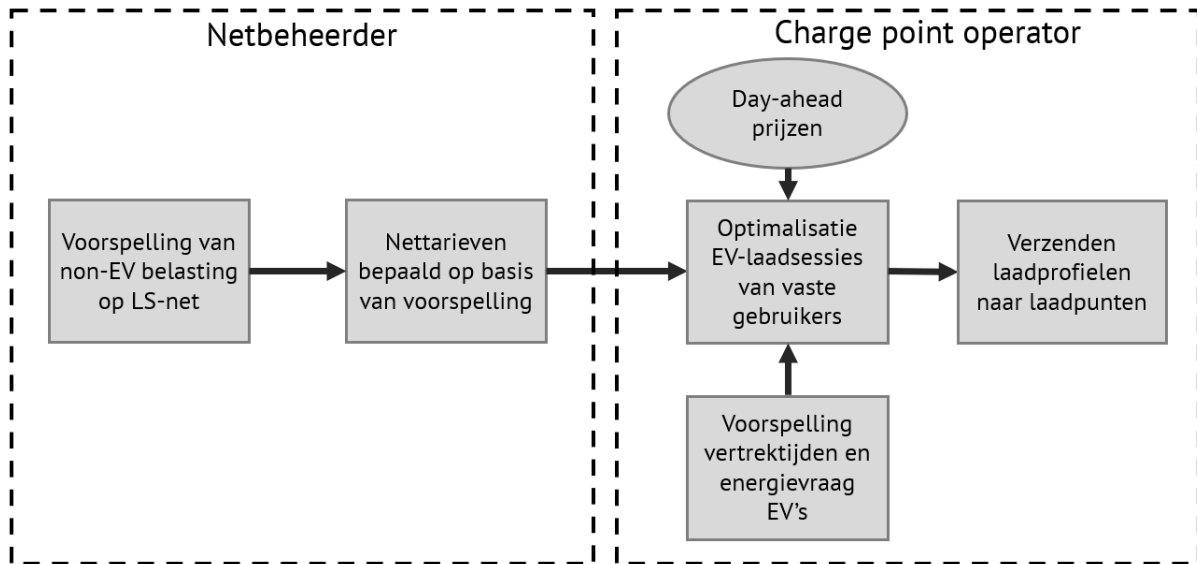
Tabel 2 - Overzicht van andere betrokken partijen bij het FLEET-project

Naam organisatie	Rol in het project
Enervalis	<ol style="list-style-type: none"> 1. Opzetten datauitwisselingsinfrastructuur 2. Live aansturing van laadsessies 3. Ontwikkeling laadalgoritmes
Last Miles Solutions	<ol style="list-style-type: none"> 1. Opzetten datauitwisselingsinfrastructuur 2. Opzetten backoffice

3. WERKWIJZE

3.1. INRICHTING FLEET-STURING

Verschillende stappen zijn vereist om de sturing op basis van flexibele nettarieven te realiseren. Het FLEET-consortium heeft het processchema voor de aansturing op basis van flexibele nettarieven ingericht zoals in Figuur 1. Elk van de verschillende stappen zal apart worden toegelicht.



Figuur 1 - Overzicht van gezette stappen binnen de FLEET-sturing

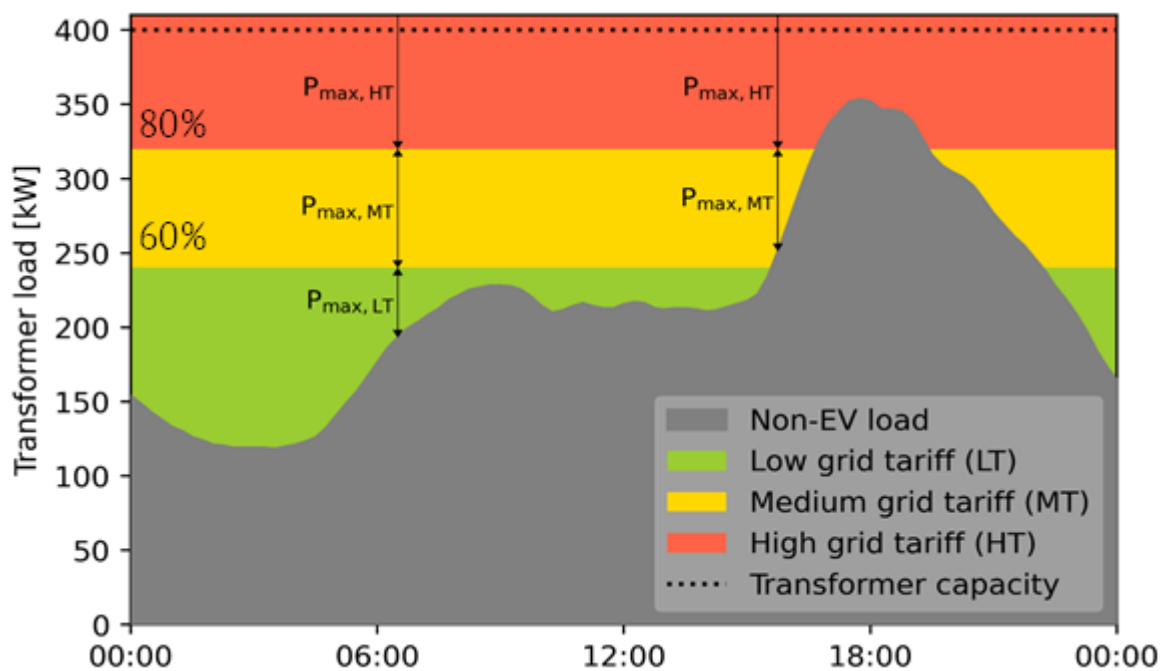
Voorspellingen door netbeheerder

De hoogte van de flexibele nettarieven op een bepaald tijdstip zijn afhankelijk van de drukte op het net op dit tijdstip. Om deze nettarieven tijdig te kunnen communiceren naar de charge point operator (CPO) dient de netbeheerder een voorspelling te maken van de non-EV belasting (totale belasting minus de laadvraag van elektrische auto's) in een bepaald laagspanningsnet op een bepaald tijdstip. In het FLEET-project heeft Stedin voorspelalgoritmes ontwikkeld voor een voorspeltermijn van vier dagen. Deze zijn apart ontwikkeld voor bemeten transformatoren waar historische meetdata beschikbaar is, en voor onbemeten transformatoren, waar deze data niet beschikbaar is.

Bepaling van nettarieven

De nettarieven zijn afhankelijk van de hoogte van de voorspelde non-EV belasting ten opzichte van de transformatorcapaciteit. Binnen FLEET is er een nettariiefsystematiek ontwikkeld waarin er een bepaald aantal nettarieven worden onderscheiden. Voor elk onderscheidde nettarief wordt er voor elk tijdstip een beschikbare capaciteit aan de CPO gecommuniceerd. Mocht de totale laadvraag van de EV's groter zijn dan de beschikbare capaciteit voor een bepaald nettarief, dan geldt voor elke extra geconsumeerde kW op dat moment het hogere nettarief. Op piekmomenten is er geen capaciteit beschikbaar voor de lage nettarieven en wel voor de hogere nettarieven. Op deze manier wordt er een financiële prikkel gegeven om niet op de piekmomenten te laden.

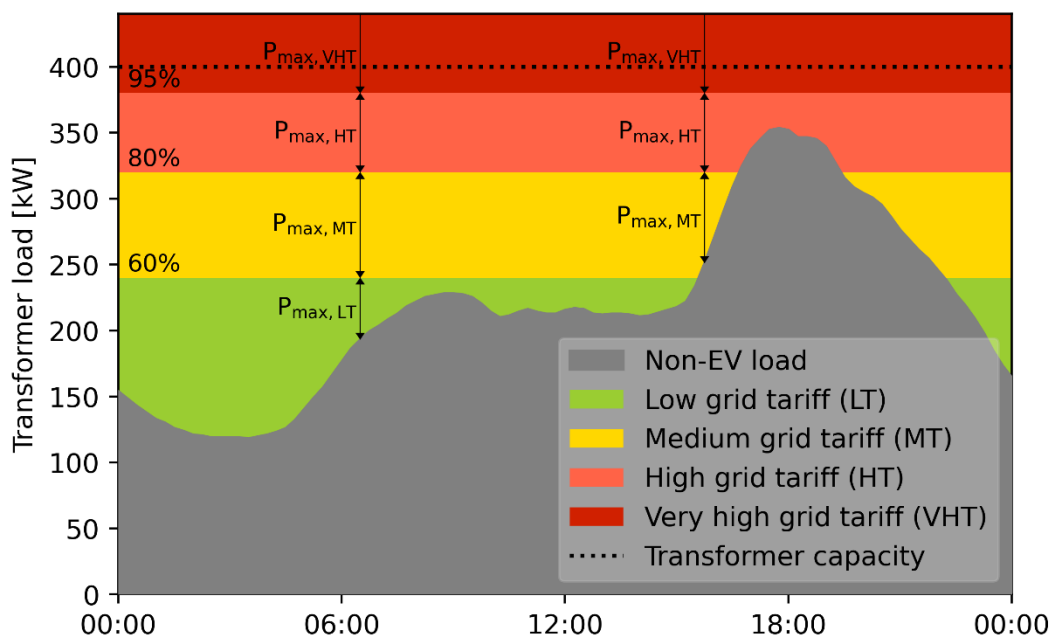
Gedurende het grootste deel van het project (vanaf de start tot februari 2023) is er onderscheid gemaakt tussen drie nettarieven: een laag nettarief van 0,00 euro/kWh, een middentarief van 0,012 euro/kWh en een hoog tarief van 0,04 euro/kWh. De grenswaarde tussen het lage en middentarief was 60% van de transformatorcapaciteit. Dit betekent dat als de voorspelde non-EV belasting lager ligt dan 60% van de transformatorcapaciteit, er capaciteit beschikbaar is voor het lage nettarief. De beschikbare capaciteit voor het lage nettarief is gelijk aan het verschil tussen de voorspelde non-EV belasting en de 60% transformatorcapaciteit. De grenswaarde tussen het midden en hoge tarief was 80% van de transformatorcapaciteit. Figuur 2 geeft een overzicht van de nettariefinrichting.



Figuur 2 - Overzicht van de gebruikte nettariefinrichting binnen FLEET gedurende de eerste fase van het project.

Aangezien er met de huidige adoptiegraad van elektrische auto's nog nauwelijks congestie plaatsvindt, is er binnen dit project gebruik gemaakt van een virtuele transformatorcapaciteit. Deze ligt lager dan de daadwerkelijke transformatorcapaciteit en is gebruikt om meer inzicht te krijgen in de effectiviteit van het toepassen van nettarieven in toekomstige situaties met daadwerkelijke netcongestie. Het grootste deel van de tijd was deze gelijk aan 110% van de hoogst voorspelde non-EV belasting in de komende vier dagen.

Na evaluatie van de eerste resultaten is de nettariefinrichting gedurende de laatste maanden van het project aangepast. Allereerst is er een extra nettarief toegevoegd, die geldt wanneer de virtuele transformatorbelasting hoger dan 95% is van de transformatorcapaciteit, zoals te zien in Figuur 3. Dit is toegevoegd omdat er geen specifieke prijsprikkel was om onder de transformatorcapaciteit te blijven. Daarnaast zijn de nettarieven verhoogd naar respectievelijk 0,00 euro/kWh, 0,024 euro/kWh, 0,08 euro/kWh en 0,25 euro/kWh. Tot slot is de methode voor het bepalen van de virtuele



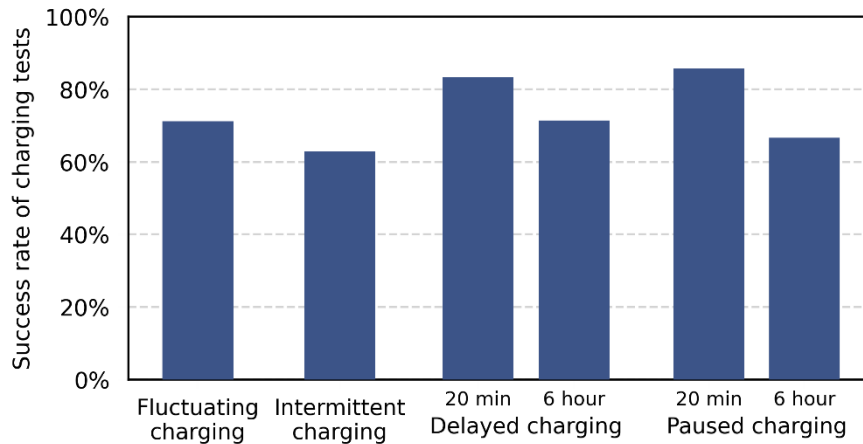
Figuur 3 - Overzicht van de gebruikte nettariefinrichting binnen FLEET gedurende de tweede fase van het project.

transformatorcapaciteit aangepast. In de eerste fase was deze onafhankelijk van het aantal laadpalen in het specifieke net. Dit betekent dat congestie in sommige laagspanningsnetten niet te voorkomen was door het hoge aantal laadpalen in dat specifieke net. Bij andere laagspanningsnetten kwam de belasting nauwelijks in de buurt van de transformatorcapaciteit door een laag aantal laadpalen. In de nieuwe methode is de virtuele transformatorcapaciteit gelijk aan de hoogst voorspelde non-EV belasting in de komende vier dagen + 8,28 kW voor de eerste laadpaal in het net + 4,14 kW voor elke extra laadpaal.

Optimalisatie van laadsessies

De nettarieven worden door middel van een API gecommuniceerd naar de charge point operator en de *smart charging operator*, in dit geval Enervalis. Enervalis heeft in het project een optimalisatiemodel ontwikkeld waarin de laadsessies van elektrische auto's worden geoptimaliseerd. Bij deze optimalisatie worden, naast de nettarieven, verschillende inputs gebruikt. Wanneer een elektrische auto gaat laden bij een laadpaal voorspelt Enervalis de vertrektijd en energiebehoefte van dit voertuig op basis van historische laadsessies van de gebruikte laadpas. Daarnaast worden de day-ahead prijzen in de elektriciteitsmarkt meegenomen in de optimalisatie. Deze voorspelling en optimalisatie wordt elke 10 minuten opnieuw uitgevoerd.

Een aantal specifieke aspecten zijn meegenomen bij dit laadalgoritme. Allereerst worden laadsessies niet gepauzeerd en wordt er altijd geladen met een minimum amperage van 6 ampère. Dit is omdat uit de testen van EV's bij het ElaadNL Testlab blijkt dat een deel van de automodellen niet goed reageert op laadsignalen indien een laadsessie gepauzeerd wordt (zie Figuur 4). Gastgebruikers (minder dan 4 laadsessies of minder dan 0,3 laadsessies gemiddeld per week) zijn uitgesloten van de *slim laden* sturing. Ook zijn gebruikers die problemen ervoeren met *slim laden* uitgesloten van de sturing.



Figuur 4 - Resultaten van de *slim laden* testen bij het ElaadNL Testlab. *Fluctuating charging* staat voor een laadsessie waarin de laadsnelheid veelvuldig fluctueert. *Intermittent charging* staat voor een laadsessie waarin de sessie vaak kort gepauzeerd wordt. Bij de *delayed charging* en *paused charging* test wordt de laadsessie voor een specifieke periode (20 minuten of 6 uur) respectievelijk gepauzeerd of uitgesteld.

Gedurende het project is deze sturing uitgebreid met een aantal andere zaken. Allereerst is er een overrulfunctie ontwikkeld. Deze functie geeft gebruikers de mogelijkheid om het *slim laden* bij hun laadsessie te overrulen, bijvoorbeeld wanneer de gebruiker snel weg moet. Daarnaast is er een tool ontwikkeld die garandeert dat er bij lage elektriciteitsprijzen op maximaal vermogen wordt geladen. Deze tool werd ontwikkeld omdat er soms door een verkeerde voorspelling van de vertrektijd van een elektrische auto bij de laadpaal er niet optimaal gebruik werd gemaakt van momenten met lage elektriciteitsprijzen bij het laden. Tot slot is er een speciale laadtest ontworpen om de voertuig-ID's te identificeren die het technisch aankunnen om uitgesteld te laden. Zoals later te lezen in de resultatensectie, heeft het benodigde minimum amperage van 6 ampère grote impact op de effectiviteit van het *slim laden*. In deze laadtest wordt het laden voor langere tijd gepauzeerd wanneer een voertuig bijna vol zit. Indien het voertuig na de laadpauze adequaat reageert op het laadsignaal, dan wordt het voertuig-ID geïdentificeerd als een voertuig dat in staat is om uitgesteld te laden. Bij toekomstige laadsessies van dit voertuig-ID kan dan uitgesteld laden worden toegepast.

3.2. INRICHTING GEBRUIKERSONDERZOEK

Binnen het gebruikersonderzoek in het FLEET-project is er getracht om inzicht te krijgen in de voorkeuren en ervaringen met *slim laden* van EV-rijders. Dit is op verschillende manieren gedaan.

Allereerst is er binnen dit project een helpdesk opgezet voor *slim laden*. Gebruikers konden zich hier melden wanneer zij problemen ervoeren met *slim laden*. Bij klachten zijn er verschillende acties ondernomen. Allereerst werden sommige gebruikers uitgesloten van de *slim laden* sturing, indien zij dit wensten. Daarnaast werd er bij gebruikers met specifieke automodellen een hoger minimum amperage toegepast, aangezien een minimum amperage van 6 ampère tot laadproblemen leidde bij deze automodellen. In specifieke gevallen zijn er additionele laadtesten uitgevoerd bij het

testlab van ElaadNL, om bepaalde laadproblemen te kunnen duiden en hier oplossingen voor te bedenken. Zo merkten wij dat bij sommige voertuigen het laadvermogen niet toenam nadat het laadampère werd opgeschaald naar 30 ampère nadat er na een langere tijd op 6 ampère geladen werd.

Een belangrijk onderdeel van het gebruikersonderzoek waren interviews met gebruikers van de We Drive Solar laadpalen. Om aan contactgegevens van gebruikers van We Drive Solar laadpalen te komen zijn deze laadpalen uitgerust met een sticker waarin zij zich konden aanmelden als vaste klant. Bij het aanmelden werd aan gebruikers gevraagd of zij benaderd konden worden voor gebruikersonderzoek. In de periode maart 2022 tot en met mei 2023 zijn deze gebruikers telefonisch en per email benaderd voor het uitvoeren van een kort interview. In totaal waren 11 gebruikers bereid om deel te nemen aan een interview. Deze interviews vonden telefonisch en via Microsoft Teams plaats, en werden afgenomen volgens een vast interviewschema (zie appendix A).

Binnen het FLEET-project is er tweemaal een enquête uitgezet. De eerste enquête was exploratief van aard en had als doel om inzicht te krijgen in de laadvoorkeuren van zowel huidige als toekomstige EV-rijders. Deze enquête werd via sociale media, intranet van verschillende organisaties en het persoonlijke netwerk van de onderzoekers verspreid en is ingevuld door 316 huidige en toekomstige EV-rijders in de periode mei-juli 2021.

De tweede enquête is opgesteld om de ervaringen van het slim experiment op EV-rijders te monitoren. Deze enquête is uitgezet onder EV-rijders die laden op het Triodos Bank laadplein, waar *slim laden* ook is toegepast. De verspreiding van deze enquête vond plaats in de periode februari tot begin april 2023, door middel van intranet van de Triodos Bank en via een mail aan de leaserijders van Triodos met een elektrische auto. In totaal is deze enquête ingevuld door 30 gebruikers.

3.3. TIJDLIJN

Het FLEET-project is begonnen op 1 januari 2020 en is geëindigd op 30 juni 2023. Figuur 5 presenteert de tijdlijn van de projectwerkzaamheden gedurende deze periode.

Sturing	2020												2021												2022												2023							
	j	f	m	a	m	j	j	a	s	o	n	d	j	f	m	a	m	j	j	a	s	o	n	d	j	f	m	a	m	j	j	a	s	o	n	d	j	f	m	a	m	j		
	Geen sturing												1 LS-net												30 LS-netten												200 LS-netten (versimpeld)				200 LS-netten (onbemeten)			
1. Opzetten project																																												
1.1. Bepalen nulmeting	█																																											
1.2. Inrichten datainfrastructuur	█																																											
2. Nettarieven + trafometingen																																												
2.1. Opzetten methode voor bepalen tarieven	█																																											
2.2. Inrichten datainfrastructuur voor trafometingen	█																																											
2.3. Automatisering processen													█																															
2.4. Inrichten opschaling naar 30 transformatoren													█																															
2.5. Inrichten opschaling naar 200 transformatoren																									█																			
2.6. Ontwikkelen onbemeten sturing																									█																			
2.7. Herinrichting nettarieven																																					█							
3. Inrichten sturing																																												
3.1. Opzetten eerste sturingsmechanisme	█																																											
3.2. Opzetten overrulefunctie													█																															
3.3. Opzetten monitoringsinfrastructuur													█																															
3.4. Opzetten nieuwe sturingsmethode													█																															
3.5. Automatiseren monitoringsinfrastructuur																									█																			
3.6. Ontwikkelen 0A laadtest																																					█							
3.7. Monitoring en bijschaven sturing																																					█							
4. Communicatie met gebruiker																																												
4.1. Opzetten helpdeskinfrastructuur	█																																											
4.2. Opzetten vaste gebruiker infrastructuur	█																																											
4.3. Ontwerpen en beplakken stickers/flyers													█																															
5. Gebruikersonderzoek																																												
5.1. Opzetten enquête laadvoorkeuren EV-rijders													█																															
5.2. Uitzetten & analyse enquête laadvoorkeuren EV-rijders																									█																			
5.3. Opzetten interviewguide																									█																			
5.4. Uitvoeren en analyseren interviews																																					█							

Figuur 5 - Tijdlijn van projectwerkzaamheden binnen het FLEET-project

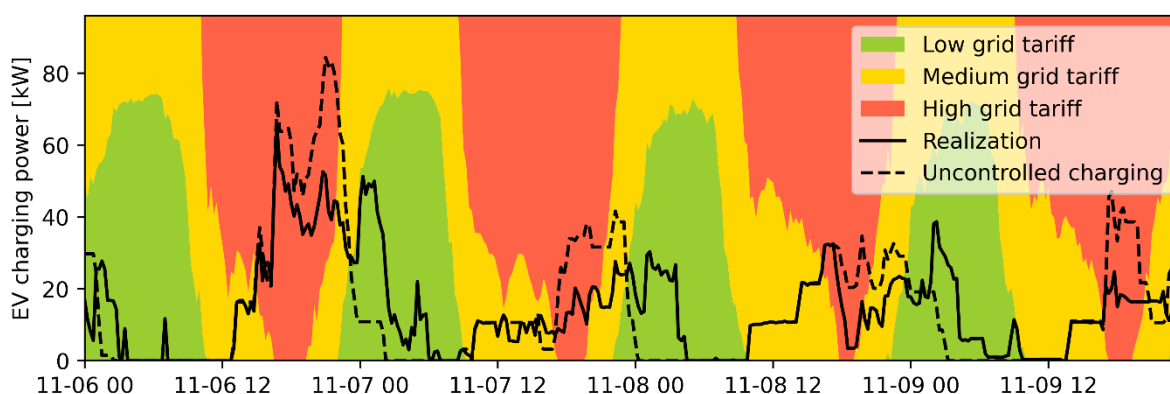
4. RESULTATEN – EFFECTIVITEIT VAN DE FLEET-STURING

4.1. FLEET-STURING TOT FEBRUARI 2023

Gemeten effectiviteit⁵

Tot februari 2023 vond de FLEET-sturing plaats volgens de oorspronkelijke setup, met 3 verschillende nettarieven (<60% transformatorbelasting laag nettarieef, 60-80% transformatorbelasting midden nettarieef, >80% hoog nettarieef) en met een virtuele transformatorcapaciteit die gelijk is aan 110% van de hoogst voorspelde waarde van de totale transformatorbelasting exclusief EV-belasting in de komende 3 dagen.

Figuur 6 geeft een voorbeeld van de laadprofielen met FLEET-sturing voor een specifiek laagspanningsnet voor een aantal dagen. Binnen dit figuur worden de laadprofielen met de FLEET-sturing (*Realization*) vergeleken met de laadprofielen met ongecontroleerd laden (*Uncontrolled charging*). Het is duidelijk te zien dat er een verschuiving in de laadvraag optreedt bij het toepassen van de FLEET-sturing; Op momenten met hoge nettarieven is de laadpiek iets minder dan de helft lager dan met ongecontroleerd laden. Dit is andersom wanneer de nettarieven laag zijn. Op dat moment is de laadvraag met de FLEET-sturing juist hoger dan met ongecontroleerd laden. Dit laat duidelijk zien dat er met de FLEET-sturing dus een verschuiving plaatsvindt van de momenten met hoge netbelasting naar de momenten met lage netbelasting.

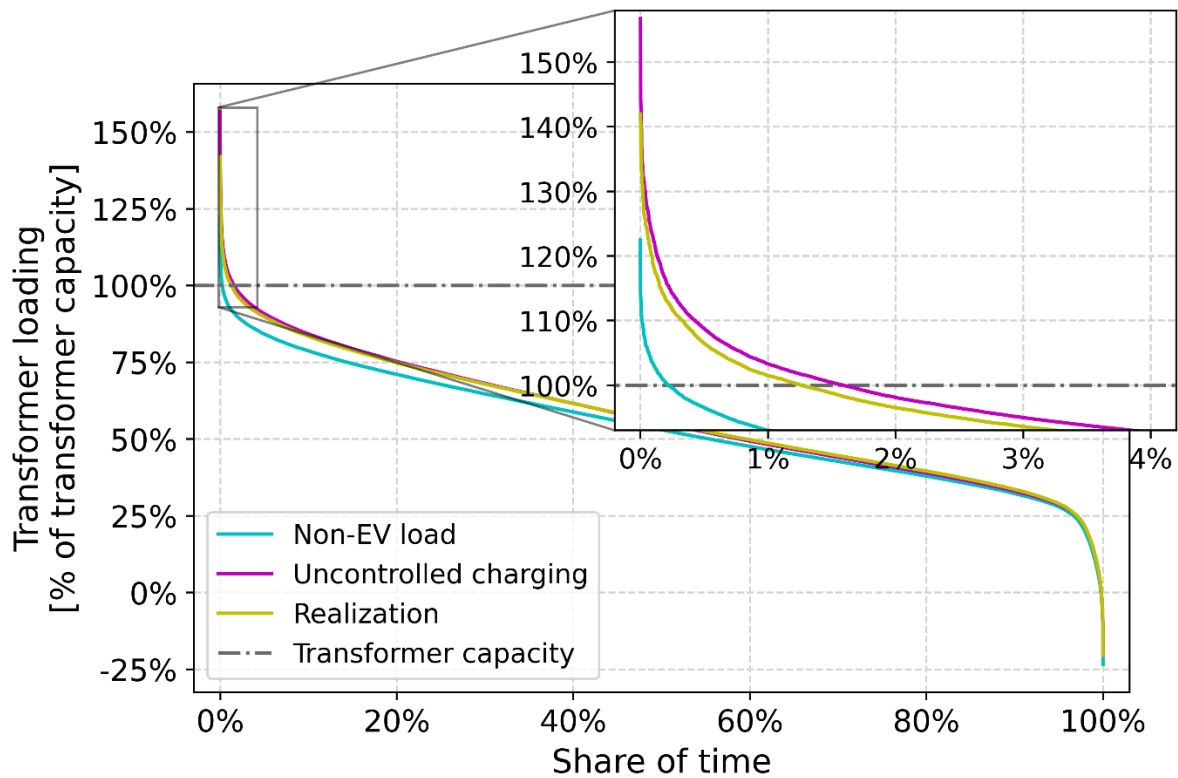


Figuur 6 - Voorbeeld van de laadprofielen voor een specifiek laagspanningsnet met de gerealiseerde sturing (Realization) en met ongecontroleerd laden (Uncontrolled charging).

Figuur 7 geeft inzicht in hoeverre deze verschuiving van de laadvraag heeft geleid tot een vermindering in de hoeveelheid virtuele congestie. Dit figuur laat de belastingduurkromme zien van de transformatorbelasting van vijf laagspanningsnetten. Het kruispunt tussen deze belastingduurkrommes en de transformatorcapaciteit geeft inzicht in de hoeveelheid virtuele congestie die er heeft plaatsgevonden met verschillende laadstrategieën. Het is bij het interpreteren van deze resultaten belangrijk om ervan bewust te zijn dat deze congestiewaardes niets vertellen over de hoeveelheid verwachte congestie in de toekomst, aangezien er gebruik is gemaakt van een virtuele

⁵ De resultaten in dit hoofdstuk zijn uitgebreider beschreven in de volgende publicatie: Brinkel, N., Markotić, P., Kuiper, L., Warmerdam, S., Baeten, B., Meersmans, J., ... & AlSkaif, T. (2023, June). Dynamic Grid Tariffs for Electric Vehicle Charging: Results from a Real-World Experiment. In *2023 IEEE Belgrade PowerTech* (pp. 1-6). IEEE.

transformatorcapaciteit. Zo werd er in dit experiment een virtuele congestiesituatie nagebootst in de zomermaanden, terwijl congestie normaal gesproken optreedt in de wintermaanden. In dit figuur is te zien dat het toepassen van de FLEET-sturing heeft geleid tot een 21% afname van de hoeveelheid virtuele congestie, van 1,6% van de tijd met ongecontroleerd laden naar 1,3% van de tijd met de FLEET-sturing.



Figuur 7 - Belastingduurkromme van de transformatorbelasting voor verschillende laadstrategieën voor vijf laagspanningsnetten.

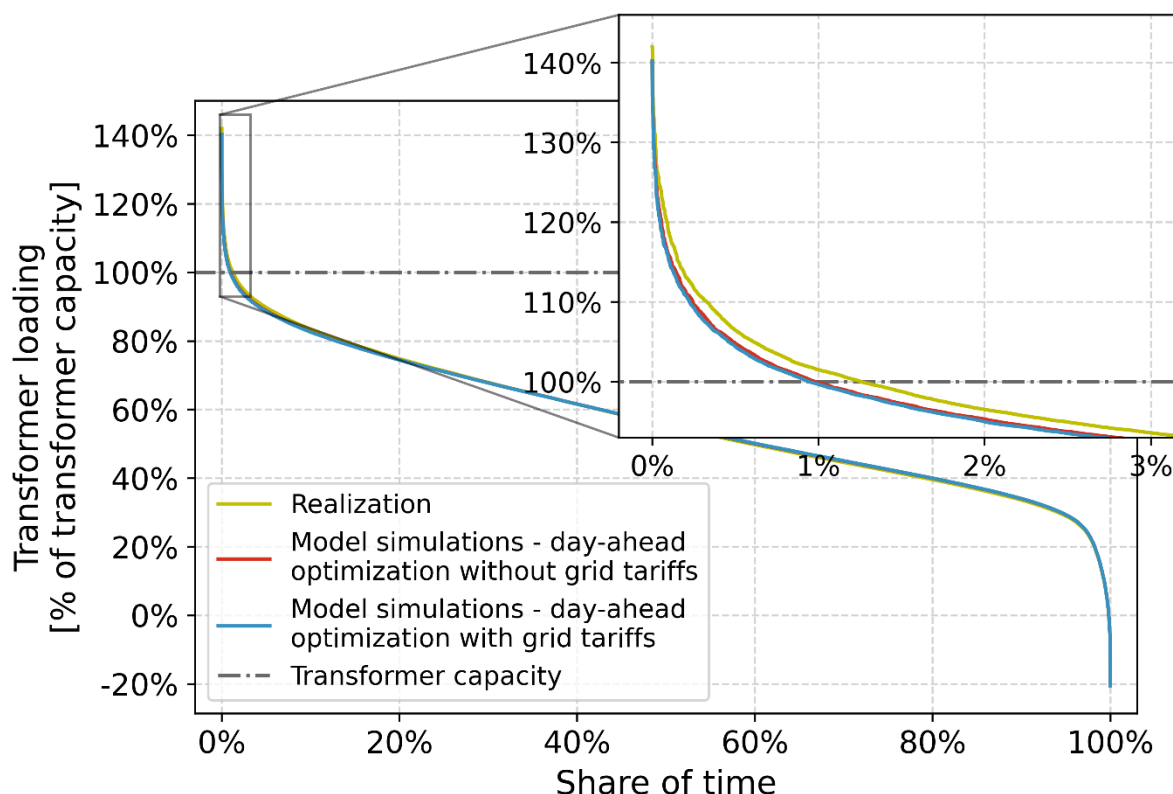
Tabel 3 geeft verder inzicht in de effectiviteit van het toepassen van de FLEET-sturing. Deze tabel laat zien welk deel van de laadvraag is voldaan in de verschillende nettariëfcategorieën. Met ongecontroleerd laden is 34,0% van de laadvraag voldaan in de hoogste tariefcategorie. Dit is afgenomen naar 28,1% bij het toepassen van de FLEET-sturing. Aangezien de hoogste tariefcategorie geldt bij een transformatorbelasting van boven de 80%, laat deze afname zien dat er flink minder is geladen op momenten met een hoge netbelasting.

Tabel 3 - Verdeling van de laadvraag over verschillende nettariëfcategorieën met de gerealiseerde sturing (Realization) en met ongecontroleerd laden (Uncontrolled charging).

	Uncontrolled charging	Realization
Lowest grid tariff category	25.5%	33.2%
Middle grid tariff category	40.6%	38.7%
Highest grid tariff category	34.0%	28.1%

Modelsimulaties

Om de gemeten resultaten van de FLEET-sturing beter te kunnen duiden zijn er modelsimulaties uitgevoerd. In Figuur 8 worden de gemeten laadprofielen met de FLEET-sturing vergeleken met de laadprofielen wanneer deze geoptimaliseerd worden in een modelsimulatie. Bij deze gemodelleerde laadprofielen is er ook uitgegaan van het minimum laadvermogen van 6 ampère en worden gastgebruikers ook uitgesloten van de sturing. Wel wordt aangenomen dat er perfect inzicht is in de energiebehoefte en vertrektijden van elektrische auto's van de laadpaal. Deze modelsimulaties geven dus inzicht in de maximaal haalbare effectiviteit met de FLEET-sturing.



Figuur 8 - Belastingduurkrommes van de gerealiseerde FLEET-sturing, de gemodelleerde FLEET-sturing en de gemodelleerde sturing op basis van alleen day-ahead prijzen voor vijf laagspanningsnetten.

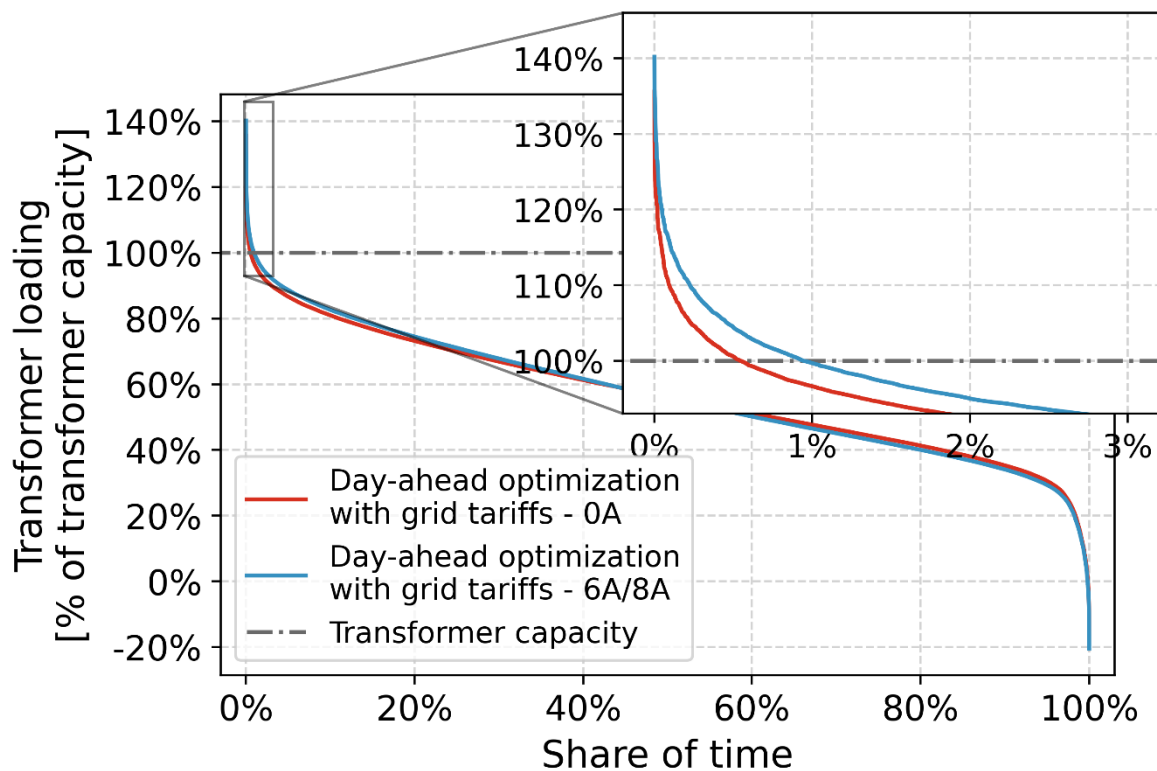
De resultaten laten zien dat in de optimale situatie er 0,9% van de tijd virtuele congestie plaatsvindt met de FLEET-sturing, wat lager ligt dan de 1,3% van de tijd die in praktijk heeft plaatsgevonden. Dit verschil heeft verschillende oorzaken. Allereerst komt dit doordat er bij de sturing in de praktijk geen perfect inzicht was in de daadwerkelijke energiebehoefte en vertrektijd van een laadsessie. Om te voorkomen dat er niet aan de laadbehoefte is voldaan bij vertrek moest er soms wat conservatiever worden geladen, wat een negatieve impact heeft gehad op de effectiviteit van de sturing. Daarnaast vonden er bij de sturing soms communicatieproblemen plaats. Bij deze communicatieproblemen werden laadsessies vertraagd doorgegeven, waardoor er gedurende enige tijd geen *slim laden* kon worden toegepast bij deze laadsessies.

In de modelsimulaties in Figuur 8 is er onderscheid gemaakt tussen sturing op basis van nettarieven en day-ahead prijzen en sturing op basis van alleen day-ahead prijzen. Het is te zien dat het verschil in effectiviteit tussen beide sturingen marginaal is. Dit komt omdat de momenten met hoge day-ahead prijzen grotendeels samenvallen met de momenten met hoge nettarieven, doordat day-ahead prijzen stijgen wanneer de elektriciteitsvraag hoger is. Het invoeren van dynamische nettarieven maakt dus weinig verschil indien een laadpaaloperator een dynamisch energiecontract heeft dat gekoppeld is aan de day-ahead markt. Echter hebben niet alle laadpaaloperators dergelijke energiecontracten en kan het invoeren van dynamische nettarieven voor deze laadpaaloperators een financiële prikkel geven om toch *slim laden* toe te passen op hun laadpalen. Bovendien is het de vraag of de hoge day-ahead prijzen ook in de toekomst samen zullen vallen op de momenten met een hoge belasting van het lokale elektriciteitsnet, met name met grootschalige uitrol van windparken op de Noordzee.

Tot slot laat Figuur 8 zien dat zelfs in de meest optimale situatie netcongestie soms niet voorkomen kan worden met het toepassen van dynamische nettarieven. Dit heeft een aantal oorzaken:

- i. Een aantal laadtransacties heeft een lage flexibiliteit in het laden en moet er ook tijdens piekuren worden geladen om ervoor te zorgen dat aan de laadbehoefte van deze laadtransactie wordt voldaan bij vertrek;
- ii. Gastgebruikers werden uitgesloten van de sturing en werden ook tijdens piekuren op maximaal vermogen opgeladen;
- iii. De gekozen virtuele transformatorcapaciteit was onafhankelijk van het aantal laadpalen in een specifiek net. Hierdoor was deze transformatorcapaciteit in sommige gevallen onrealistisch laag en was deze transformator in praktijk allang verzwaard geweest;
- iv. De hoogste tariefcategorie gold vanaf een transformatorbelasting boven 80%. Hierdoor was er geen extra financiële prikkel om onder de transformatorcapaciteit te blijven;
- v. Er werd geladen met een minimumamperage van 6 ampère, ook tijdens piekmomenten.

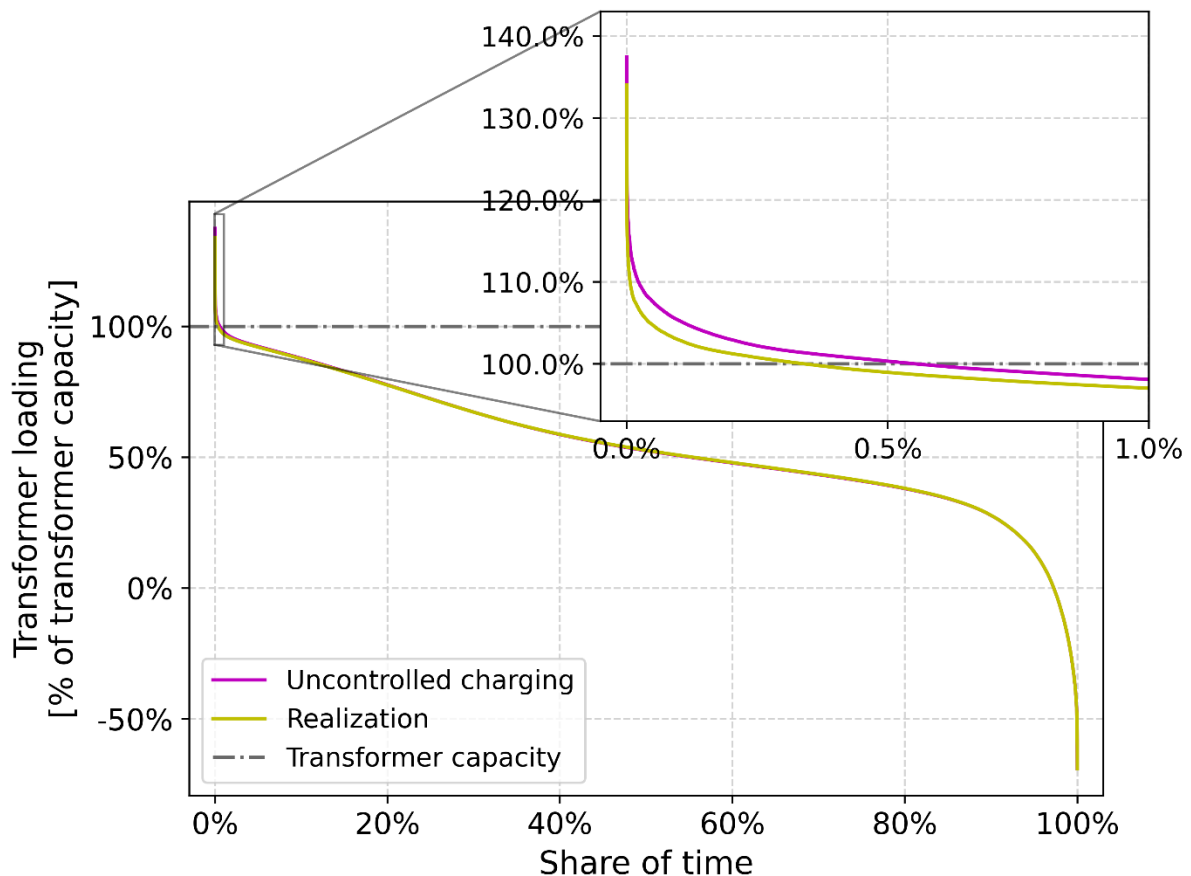
De impact van dit laatste effect is ook onderzocht door middel van een modelsimulatie. Figuur 9 vergelijkt de belastingduurkrommes van modelsimulaties waarin het minimumamperage van 6 ampère wel en niet is meegenomen. Hierin is te zien dat de hoeveelheid congestie ongeveer halveert wanneer dit minimumamperage niet meegenomen hoeft te worden in de sturing.



Figuur 9 - Belastingduurkrommes van de gemodelleerde FLEET-sturing met en zonder een minimumamperage van 6 ampère.

4.2. FLEET-STURING VANAF FEBRUARI 2023

Zoals beschreven in hoofdstuk 3.1 is de methode voor het bepalen van de nettarieven herzien vanaf februari 2023. De virtuele transformatorcapaciteit is vanaf dit moment afhankelijk van het aantal actieve laadpalen in een laagspanningsnet. Ook is er een vierde tariefcategorie toegevoegd bij een totale voorspelde belasting van meer dan 95% van de virtuele transformatorcapaciteit. Figuur 10 presenteert de belastingduurkrommes voor deze fase van de sturing voor alle laagspanningsnetten. Deze belastingduurkrommes zijn gebaseerd op de voorspelde niet-EV belasting, in plaats van de gemeten waardes, aangezien niet alle laagspanningsnetten zijn uitgerust met meetapparatuur. De congestiewaarden in Figuur 10 kunnen niet direct vergeleken worden met de resultaten in hoofdstuk 4.1, aangezien de methode voor het bepalen van de virtuele transformatorcapaciteit is aangepast en er naar een ander aantal laagspanningsnetten wordt gekeken.



Figuur 10 - Belastingduurkrommes van de transformatorbelasting voor verschillende laadstrategieën voor alle laagspanningsnetten tijdens de tweede fase van de FLEET-sturing.

In de tweede fase van de sturing is er 0.55% van de tijd sprake van virtuele congestie indien er ongecontroleerd wordt geladen. Het toepassen van de FLEET-sturing heeft ervoor gezorgd dat dit is afgenomen met 38.4% naar 0.34% van de tijd virtuele congestie.

Daarnaast zijn er verdere modelsimulaties uitgevoerd om te verifiëren of de verandering in het aantal tariefcategorieën effectief is in het tegengaan van congestie. Tabel 4 laat de hoeveelheid virtuele transformatorcongestie zien met verschillende laadstrategieën. In de modelsimulaties is zowel het scenario met 3 tariefcategorieën, zoals in de eerste fase van de FLEET-sturing, als het scenario met 4 tariefcategorieën meegenomen. Het is zichtbaar dat het toevoegen van een extra tariefcategorie de hoeveelheid virtuele transformatorcongestie licht vermindert en dat dit dus leidt tot een hogere effectiviteit van het toepassen van dynamische nettarieven. Daarnaast zijn er modelsimulaties uitgevoerd waarin er alleen werd geladen op basis van flexibele nettarieven, zonder day-ahead prijzen mee te nemen in de optimalisatie. Dit is relevant voor laadpaaloperators zonder dynamisch energiecontract. De resultaten in Tabel 4 laten zien dat de effectiviteit van de sturing nagenoeg hetzelfde is wanneer day-ahead prijzen niet mee worden genomen in de optimalisatie. Dit laat zien dat het toepassen van dynamische nettarieven ook effectief is voor laadpaaloperator zonder dynamisch energiecontract.

Tabel 4 - Hoeveelheid virtuele congestie met verschillende laadscenario's

	Deel van de tijd met virtuele transformatorcongestie
Realisatie met FLEET-sturing	0,330%
Ongecontroleerd laden	0,513%
Modellsimulatie – sturing op basis van alleen day-ahead prijzen	0,173%
Modellsimulatie – sturing op basis van 4 nettariefcategorieën & day-ahead prijzen	0,146%
Modellsimulatie – sturing op basis van 3 nettariefcategorieën & day-ahead prijzen	0,163%
Modellsimulatie – sturing op basis van 4 nettariefcategorieën zonder day-ahead prijzen	0,146%
Modellsimulatie – sturing op basis van 3 nettariefcategorieën zonder day-ahead prijzen	0,180%

4.3. CONTEXT

Om de resultaten van de FLEET-sturing in een bredere context te plaatsen worden de resultaten binnen dit project vergeleken met de bevindingen van andere, vergelijkbare slim laden proeven en studies. Andere studies communiceren resultaten vooral in vermindering van piekbelasting. Bij FLEET is gekeken naar vermindering van virtuele netcongestie, maar ook naar vermindering van belasting in de hoogste prijscategorie, wat gelijk staat aan moment van hoge piekbelasting. Deze is door de FLEET-sturing afgenomen van 34,0% naar 28,1% van de laadvraag in de hoogste categorie.

Bij de proef Flexpower 3⁶ is duidelijk geworden dat er in de piekperiode tussen 17:00 en 20:00 uur een gemiddelde reductie in het vermogen van 26%. Bij het toepassen van het *netbewust laden* profiel bij de ElaadNL Outlook laadprofielen⁷ is een reductie van 28% mogelijk door het toepassen van netbewust laden tussen 17:00 en 23:00 uur. Bij de Proeftuin Slimme Laadpleinen⁸ blijkt wederom dat het toepassen van het *netbewust laden* profiel leidt tot een gemiddelde vermogensafname van 30% tussen 17:00 en 23:00 over de laadpleinen.

Een 1-op-1 vergelijking is hier niet te maken, aangezien bij FLEET het moment van de hoogste tariefcategorie niet vast staat in de tijd, alsmede dat deze niet even hoog is voor elk moment.

⁶ ElaadNL - Flexpower 3: Meer laden op een vol elektriciteitsnet. <https://elaad.nl/proef-in-amsterdam-succesvol-meer-elektrische-autos-opladen-op-een-druk-elektriciteitsnet/>

⁷ ElaadNL - Regulier en netbewust laden. Outlook laadprofielen personenauto's. <https://elaad.nl/onderzoek-naar-laadprofielen-geeft-inzicht-in-belasting-stroomnet-door-laden-elektrische-autos-en-effect-van-slim-laden/>

⁸ ElaadNL - Slimmer laden op Laadpleinen. <https://elaad.nl/gebruik-laadpleinen-en-potentie-slim-laden-goed-tevoorspellen-door-classificatie/>

5. RESULTATEN – GEBRUIKERSONDERZOEK

In het FLEET-project is er tweemaal kwantitatief onderzoek gedaan door middel van een enquêtestudie. Daarnaast is er grootschalig kwalitatief onderzoek uitgevoerd door middel van interviews met gebruikers van laadpalen waar *slim laden* is toegepast. Deze sectie rapporteert de resultaten van deze drie uitgevoerde studies.

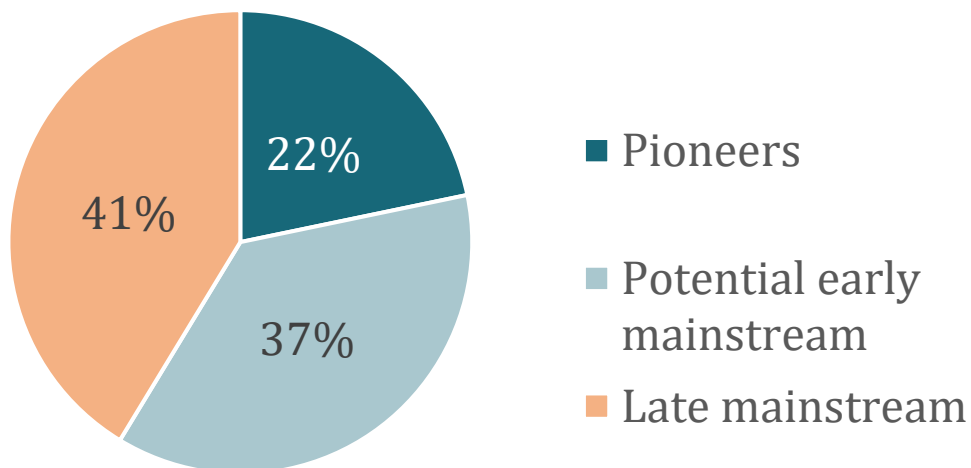
5.1. ENQUÊTESTUDIE 1: INZICHT IN LAADVOORKEUREN VAN HUIDIGE EV-RIJDERS EN TOEKOMSTIGE EV-RIJDERS

De eerste enquêtestudie had als doel om inzicht te krijgen in de laadvoorkeuren van zowel huidige als toekomstige EV-rijders. Hiervoor is een online enquête opgesteld en deze is op sociale media en via het persoonlijke netwerk van de onderzoekers verspreid. In totaal hebben 316 respondenten deze enquête ingevuld.

In deze enquête werd er onderscheid gemaakt tussen drie groepen:

- i. *Pioneers*: respondenten die op het moment van het invullen van de enquête aangaven een elektrische auto te bezitten.
- ii. *Potential early mainstream*: respondenten die nog niet in het bezit zijn van een elektrische auto en aangaven te verwachten deze binnen vijf jaar aan te schaffen.
- iii. *Late mainstream*: respondenten die nog niet in het bezit zijn van een elektrische auto en aangaven niet te verwachten deze binnen vijf jaar aan te schaffen.

Figuur 11 laat de verdeling van de respondenten tussen deze drie groepen zien.

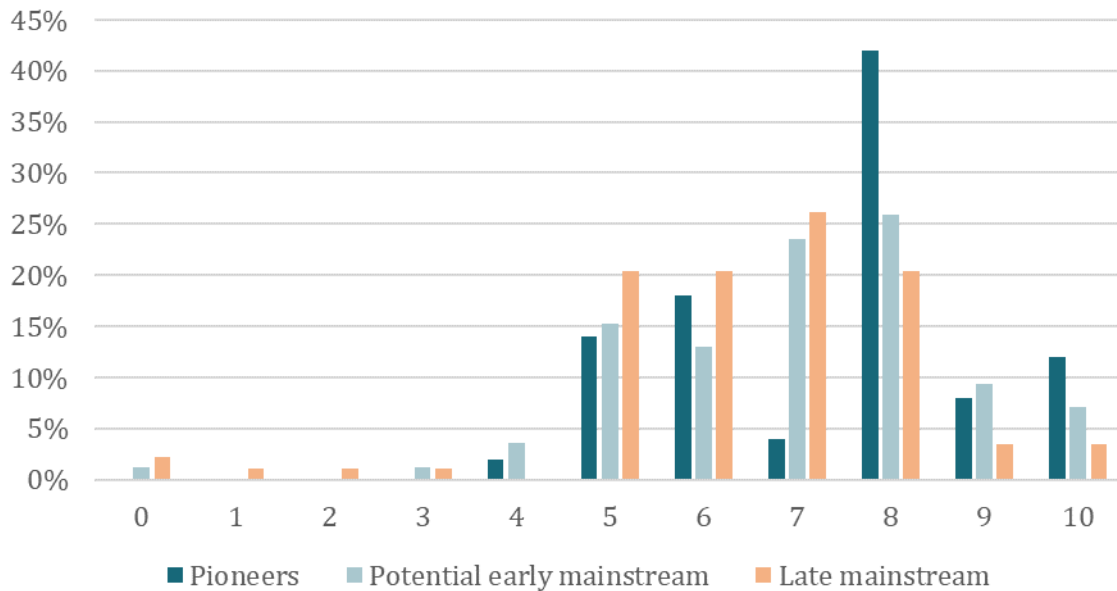


Figuur 11 - Verdeling van de respondenten tussen de drie onderscheiden groepen in de eerste enquêtestudie.

In deze enquête werden deze drie groepen bevroegd over hun perceptie van elektrische auto's, hun beweegredenen in de keuze om een elektrische auto aan te schaffen en naar hun perceptie over *slim laden*. De focus bij het presenteren van resultaten zal liggen bij de perceptie over *slim laden*.

Eén van de enquêtevragen bevroeg de gebruikers naar het cijfer dat zij het concept van *slim laden* idee zouden geven, nadat er een uitleg is gegeven over wat *slim laden* inhoudt.

Figuur 12 laat de verdeling in de gegeven cijfers zien tussen de verschillende groepen. Over het algemeen is het merendeel van de respondenten positief over het *slim laden* concept, en beoordeelt het grootste deel van de respondenten dit concept met een voldoende. De groep *Pioneers* geeft dit concept gemiddeld een 7,42, en is hiermee positiever dan de *Potential early mainstream* (6,99) en *Late mainstream* (6,43) groep.

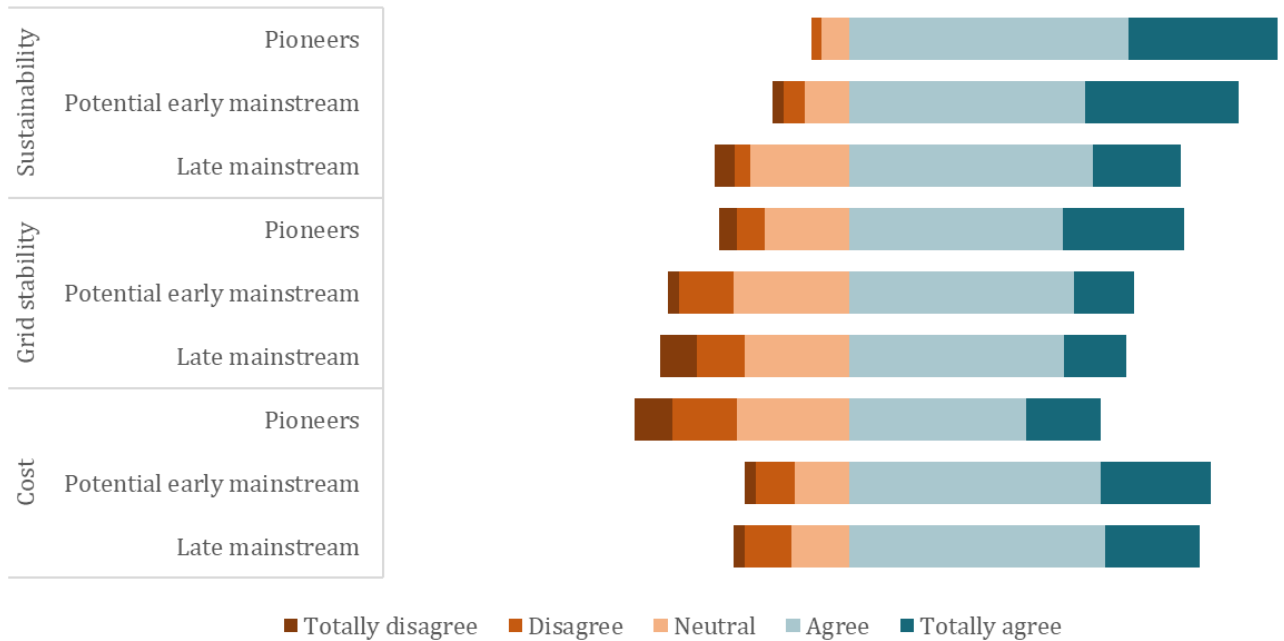


Figuur 12 - Verdeling van de gegeven cijfers voor het concept *slim laden* voor de verschillende onderscheiden groepen

Andere enquêtevragen richtten zich meer op de kijk van de respondenten op de verschillende mogelijke toepassingen van *slim laden*. In één van de vragen werd hen voor de volgende drie toepassingen gevraagd of dit een reden kan zijn om *slim laden* toe te passen bij hun eigen voertuig:

- Verminderen laadkosten
- Bijdragen aan netstabiliteit
- Vergroten duurzaamheidsimpact

Figuur 13 laat de verdeling in de antwoorden op deze vraag zien voor de verschillende groepen. Op basis van de gebruikers die 'agree' of 'totally agree' hebben ingevuld, is het te zien dat gebruikers *slim laden* met name graag toegepast zien worden voor duurzaamheidsdoeleinden. Bij de *Pioneers* en *Potential early mainstream* groep is te zien dat zij dit belangrijker vinden dan het toepassen van *slim laden* voor kostenbesparing. Bij de *Late mainstream* groep zou kostenbesparing de grootste drijfveer zijn voor het toepassen van *slim laden*.



Figuur 13 - Kijk van de verschillende groepen respondenten op verschillende toepassingen van slim laden

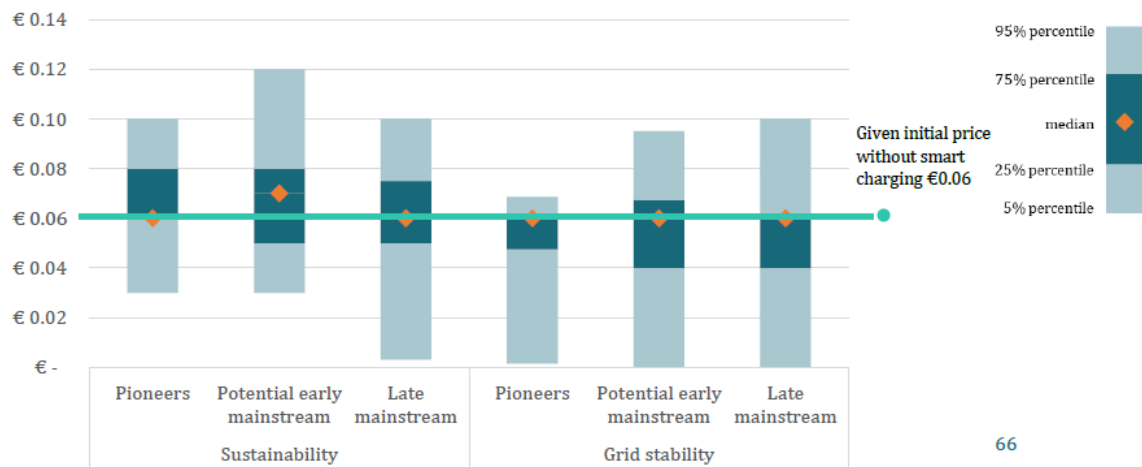
Figuur 14 laat zien wat de grootste barrières zijn in de ogen van de gebruikers bij het toepassen van *slim laden*. Dit laat zien dat gebruikers met name het verlies van controle en verlies aan flexibiliteit wanneer er langzamer wordt geladen als belangrijke barrières zien.



Figuur 14 - Verdeling van de scores op de verschillende barrières van slim laden door verschillende gebruikersgroepen. Likertschaal van 1 tot 5, waarbij een hogere score duidt op een grotere barrière.

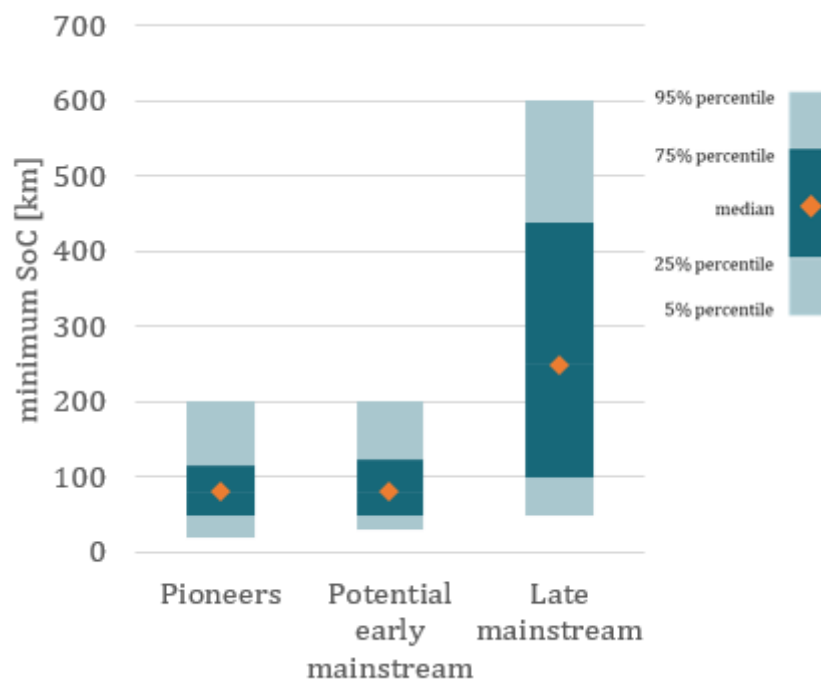
De resultaten in Figuur 15 geven inzicht in de betalingsbereidheid van gebruikers is bij verschillende toepassingen van slim laden. De respondenten in deze studie werd een referentiescenario van 6 cent per km voor ongecontroleerd laden voorgespiegeld. Aan hen werd vervolgens gevraagd hoeveel zij bereid zouden zijn om te betalen bij

verschillende toepassingen van slim laden. Hieruit blijkt dat een deel van de gebruikers bereid is om meer te betalen dan met ongecontroleerd laden, specifiek wanneer slim laden wordt toegepast om de duurzaamheidsimpact te vergroten.



Figuur 15 - Betalingsbereidheid van de verschillende groepen respondenten is bij verschillende toepassingen van slim laden

Tot slot geeft Figuur 16 inzicht in het minimale rijbereik dat gebruikers ten alle tijden in hun batterij willen. Gemiddeld willen huidige EV-rijders iets minder dan 100 km rijbereik hebben. Bij de *Late mainstream* groep ligt dit veel hoger. Indien dit zich in de praktijk uit, betekent dit dat *slim laden* hier minder effectief kan worden toegepast, aangezien er ongecontroleerd moet worden geladen totdat het minimum rijbereik in de batterij zit.



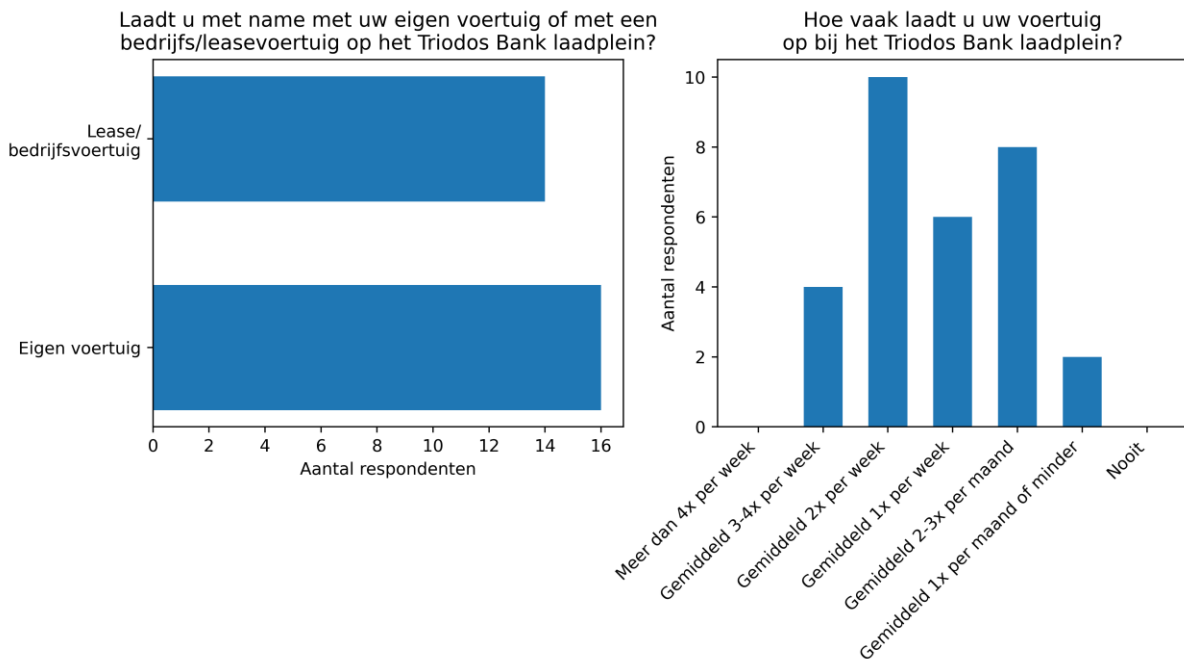
Figuur 16 - Verdeling van het minimaal gewenste rijbereik van verschillende groepen respondenten.

5.2. ENQUÊTESTUDIE 2: ERVARINGEN MET *SLIM LADEN* OP HET TRIODOS BANK LAADPLEIN

Om inzicht te krijgen in de ervaringen van gebruikers van laadpalen waar *slim laden* is toegepast, is er een enquête opgesteld om dit te onderzoeken. Er is gekozen om deze enquête uit te voeren bij de gebruikers van het Triodos Bank laadplein, in plaats van bij de gebruikers van publieke laadpalen in de stad Utrecht. Dit aangezien het lastig was om een grote groep respondenten van gebruikers van publieke laadpalen in de stad Utrecht te krijgen, omdat emailadressen van gebruikers niet standaard bekend zijn bij We Drive Solar. Op het laadplein van de Triodos Bank zijn meer dan 60 laadpalen actief en op deze laadpalen wordt sinds begin 2022 *slim laden* toegepast. Deze enquête onderzoekt hoe het personeel van de Triodos Bank het *slim laden* heeft ervaren.

Eigenschappen van de responsgroep

De enquête is ingevuld door 30 respondenten, waarvan 6 de enquête niet volledig hebben ingevuld. De verdeling tussen leaserijders en private autobezitters in de responsgroep was nagenoeg gelijk, zoals te zien in Figuur 17. Figuur 17 laat ook de verdeling in de frequentie van laden op het Triodos Bank laadplein binnen de responsgroep zien.



Figuur 17 - Laadeigenschappen van de respondentengroep

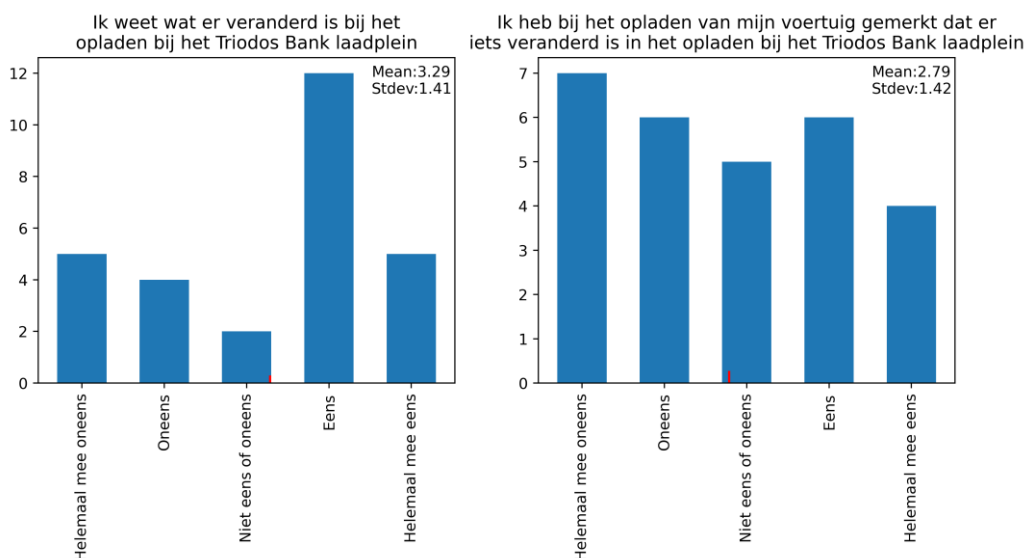
Ervaringen met *slim laden*

Om te toetsen in hoeverre de gebruikers gemerkt hebben dat er *slim laden* is ingevoerd op het Triodos Bank laadplein, werd er aan het begin van de enquête alleen verteld dat er iets veranderd is met het opladen van elektrische voertuigen op het Triodos Bank laadplein, zonder te specificeren wat er precies veranderd is. Uit Figuur 18 blijkt dat een

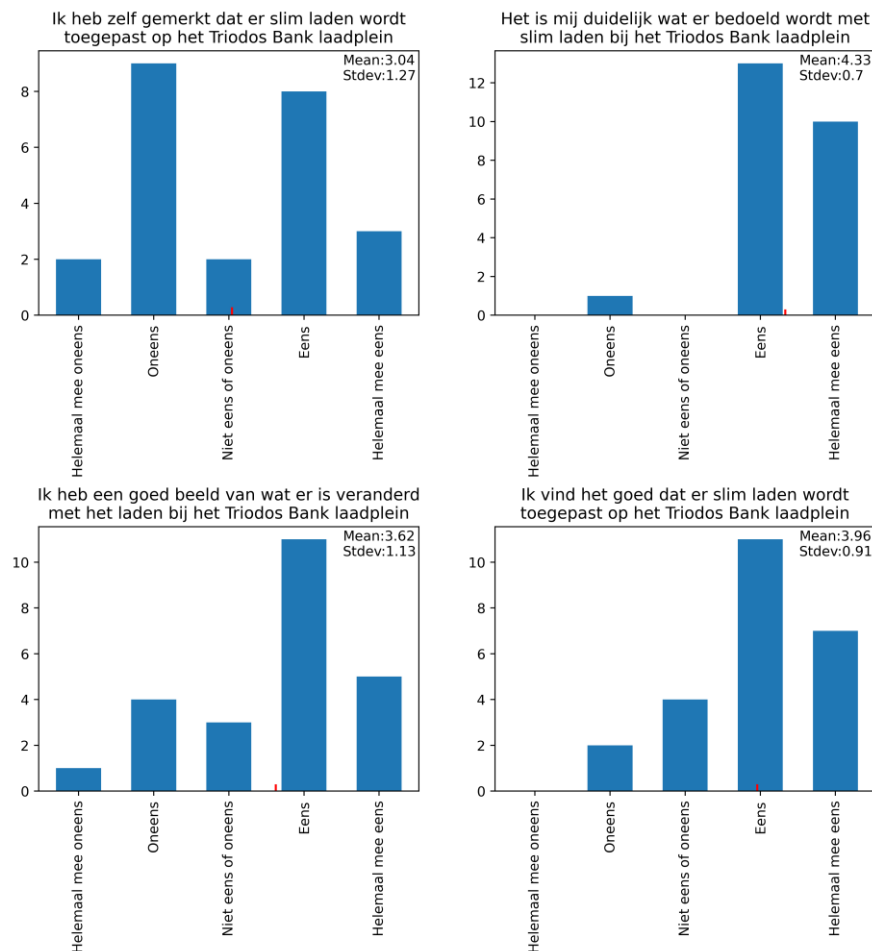
groot deel van de respondenten aangeeft te weten wat er veranderd is. Echter heeft niet iedereen deze verandering gemerkt bij het opladen van zijn of haar voertuig. In een open vraag werd bevestigd wat deze verandering volgens de gebruikers is. Ongeveer de helft van de gebruikers die aangeeft te weten wat de verandering inhoudt, noemt de invoering van *slim laden* als verandering. De recente prijsverhoging van laadkosten wordt door de andere helft van de respondenten als verandering genoemd. Ook wordt er aan de gebruikers gevraagd hoe zij deze veranderingen gemerkt hebben. Hier geeft een deel van de gebruikers aan dat het voor kwam dat zijn/haar auto niet volledig was volgeladen bij vertrek.

Kijk van gebruikers op slim laden

Vervolgens werd in de enquête uitgelegd dat er *slim laden* wordt toegepast op het Triodos Bank laadplein. Er is toen nogmaals bevestigd of gebruikers dit gemerkt hebben. Zoals te zien in Figuur 19, heeft ongeveer de helft van de gebruikers dit gemerkt. Ook is te zien in Figuur 19 dat gebruikers aangeven een goed beeld te hebben van de inhoud van deze proef, en dat zij hier in het algemeen positief tegenover staan. Wanneer er in een open vraag naar de mening van de gebruikers over deze proef wordt gevraagd, dan is de helft uitsluitend positief. De andere helft van de gebruikers geeft aan zorgen te hebben over de langzamere laadsnelheid, en dat dit het rijbereik kan beperken. Een deel van de gebruikers geeft hierbij ook aan specifiek te gaan laden op laadpalen op het laadplein waarop *slim laden* niet specifiek wordt toegepast. Bij een open vraag waarin gevraagd wordt of er nog onduidelijkheden zijn, geeft een deel van de respondenten aan dat zij graag beter geïnformeerd willen worden over de overrulfunctie op de laadpalen en dat deze functie voor hen belangrijk is.



Figuur 18 - Resultaten van enquêtevragen over de ervaringen en kennis over de *slim laden* proef



Figuur 19 - Resultaten van verschillende enquêtevragen over de ervaringen en mening over de slim laden proef bij Triodos Bank

5.3. INTERVIEWS

De interviews met gebruikers van de We Drive Solar laadpalen hadden als doel om inzicht te krijgen in de ervaringen van gebruikers met deze proef en met EV-laden in het algemeen. In alle interviews kwamen een aantal vaste thema's naar voren. In deze sectie worden de reacties van deze gebruikers op deze verschillende thema's besproken.

Keuze laadlocatie

Alle geïnterviewde gebruikers hebben ooit bij een We Drive Solar laadpaal geladen, omdat zij zich via de QR-code op deze laadpalen zich hebben aangemeld als vaste gebruiker. Echter zijn de We Drive Solar laadpalen niet voor elke gebruiker de standaard locatie waar zij hun voertuig opladen. Dit heeft verschillende grondslagen. Bij sommige gebruikers heeft dit voornamelijk te maken met praktische redenen; de laadpaal van een andere aanbieder is net iets dichterbij huis, of de gebruiker laadt zijn/haar voertuig het liefst bij werk op, waar geen We Drive Solar laadpaal aanwezig is.

Bij veel gebruikers lijken de laadkosten ook een grote rol te spelen in het kiezen van een laadlocatie. Ten tijde van de interviews waren de laadkosten flink gestegen, veroorzaakt

door de hoge elektriciteitsprijzen ten tijde van de Russische invasie in Oekraïne. Bij veel gebruikers leidde dit tot een verandering in de manier waarop zij hun voertuig oplaadden. Zo gaven twee geïnterviewde gebruikers aan dat zij zijn overgestapt van het laden op publieke laadpalen naar thuisladen, via een stekker over de stoep. Een van deze gebruikers verwoordt dit als volgt:

“Tegenwoordig laad ik mijn auto thuis op. Dit doe ik niet helemaal op legale wijze, want ik heb geen oprijlaan. [...] Ik heb een stopcontact gemaakt in de muur van mijn huis, en dan leg ik het snoer over de stoep, en als ik een plekje voor de deur heb doe ik daar zo'n brug overheen zodat niemand zijn nek daar over breekt. [...] De reden dat ik ben overgestapt is omdat het veel goedkoper is. En omdat ik zonnepanelen heb.” – Respondent 5

Andere gebruikers laden bewust hun voertuig meer op werk op, aangezien de laadtarieven daar lager waren:

“Ik laadde eerst thuis op en op werk. En dat is nu alleen op werk, want ik ga dat thuis niet doen – dat is veel te duur.” – Respondent 3

Bekendheid met de proef

Zonder de gebruikers te vertellen over de slimme sturing die werd toegepast, werd er aan de gebruikers gevraagd of zij enig idee hadden welke proef er plaatsvond op de laadpalen van We Drive Solar. Ongeveer driekwart van de gebruikers gaf aan een idee te hebben van de proef die plaatsvond. Echter had niet iedereen het juiste beeld van deze proef. Zo dacht een gebruiker dat er juist 's nachts langzamer werd geladen, terwijl de laadvraag in de praktijk juist naar de nachtelijke uren wordt verschoven:

“Wat ik heb onthouden toen ik over de proef heb gelezen is dat het volgens mij een proef is dat er op de momenten dat duurzame energie beter beschikbaar is, overdag wanneer de zon schijnt, dat je op die momenten sneller laadt dan 's avonds, 's nachts waar dit minder beschikbaar is.” – Respondent 4

Andere gebruikers dachten dat er variabele tarieven werden doorberekend aan klanten, terwijl zij in praktijk een vast tarief betalen, ongeacht het moment van laden:

“Volgens mij gaat de proef over goedkoper laden op momenten dat er een overschot is aan duurzame energie. Dus goedkoper laden voor de klant.” – Respondent 7

De gebruikers die bekend waren met de proef kwamen onder andere door de sticker op de laadpaal hiermee in aanraking. Ook hadden enkele gebruikers dit door omdat de mobiele applicatie van het automerk van de gebruiker inzicht gaf in de live laadsnelheid:

“Volgens mij reduceren jullie de aanvoer op piekmomenten. [...] Je ziet op de Tesla app hoe snel de auto aan het laden is. Normaal gesproken is dat 16 ampère, en dan schakelt hij hem terug naar 12 of zelfs 7 ampère ofzo.” – Respondent 8

Ervaringen met de proef

Hierna werd de proef aan de geïnterviewde gebruikers uitgelegd en werd hen gevraagd of zij iets gemerkt hebben van deze proef. Drie gebruikers die regelmatig bij We Drive Solar laadpalen laden gaven aan helemaal niets gemerkt te hebben bij het laden. Een

aantal van de gebruikers merkte het toepassen van *slim laden* via hun laadapp, maar had verder geen problemen met het rijbereik na het opladen van hun voertuig.

Een aantal gebruikers heeft het toepassen van *slim laden* wel gemerkt. Zo merkte een gebruiker met een 1-fase EV het volgende op:

“In ieder geval is de auto niet altijd vol als ik verwacht dat hij vol is, al is er meestal wel genoeg bijgekomen hoor. Ik heb een keer gehad dat ik weg wilde en dat ik niet op bestemming kwam en bij een snellaadpaal moest opladen. [...] Bij een langzame paal is hij meestal na 8 uur vol, maar dat was nu niet zo.” – Respondent 2

Een andere gebruiker heeft een enkele keer gemerkt dat er minder was geladen dan verwacht. Twee andere gebruikers vertelden dat zij laadproblemen ervoeren bij We Drive Solar laadpalen, met een langzamere laadsnelheid dan verwacht. Aangezien dit altijd voorkwam, is het de vraag of dit te maken had met de proef die werd toegepast.

Mening over de proef

Alle geïnterviewde gebruikers geven aan het terecht te vinden dat de laadsnelheid van elektrische auto's beperkt wordt op piekmomenten. Zo verwoordt een van de gebruikers het als volgt:

“Ik vind het top dat eraan gewerkt wordt, dat het te doen blijft als iedereen elektrisch gaat rijden. Goed dat hier oplossingen voor worden bedacht.” – Respondent 7

Een aantal gebruikers geeft hierbij wel specifiek aan dat het een rol is dat de meeste elektrische voertuigen lang genoeg aan de laadpaal staan om vol te raken. Ook geeft een gebruiker aan dat de overrulfunctie een rol speelt in het feit dat de gebruiker positief is over het toepassen van deze proef:

“Ik zou denken dat dat heel slim is. Zeker omdat de meeste keren dat ik, en andere gebruikers, geen haast hebben als we aan de laadpaal staan. En wat ik ook wel slim vond is dat er een soort van bypass inzat, waar je het langzamer laden uit kan zetten.” – Respondent 9

Aanpassing gedrag door de proef

De meeste geïnterviewde gebruikers gaven aan dat ze hun gedrag niet aanpassen door het toepassen van deze proef. Zo geeft een van de gebruikers het volgende aan:

“Je timet het toch een beetje waar je oplaadt. [...] Als het kritiek wordt, dan houd je er rekening mee dat je langs de snellader moet. Als het echt kritiek wordt, dan heb je het sowieso verkeerd ingeschat. Dan heb je het laden ergens overgeslagen waar het wel moest, en dan heb je niet goed rekening gehouden met lange ritten die je bijvoorbeeld in het weekend moet maken.” – Respondent 6

Andere gebruikers passen hun gedrag wel aan. Zo laadt een van de gebruikers bewust op bij een andere laadpaal wanneer deze gebruiker weet dat hij/zij snel weer vertrekt:

“De gemeentelaadpaal laadt heel snel, en ik zet hem nog weleens daar weg [...] Het zit in die momentjes dat je hem twee uurtjes stilzet om thuis wat op te halen, en daarna weer weggaat. [...] Op dat soort momenten zet ik hem aan de gemeentelaadpaal. – Respondent 2

Een andere gebruiker had door dat *slim laden* alleen wordt toegepast bij gebruikers die vaak opladen. Deze gebruiker hield een andere laadpas voor de laadpaal (van werk) toen deze gebruiker snel weg moest gaan.

Verder geeft een aantal gebruikers aan dat zij hun gedrag verder zouden aanpassen indien dynamisch afrekenen zou worden toegepast:

“Als het [de proef] impact zou hebben op mij, en bijvoorbeeld op de laadkosten naar mij als klant toe, dan zou ik er met een andere blik naar kijken. [...] Ik zou anders gaan laden. Ook omdat de laadkosten erg hoog liggen nu, zou ik daar zeker op gaan letten. – Respondent 10

Overrulefunctie

De gebruikers werd ook gevraagd of zij weten hoe zij toch snel kunnen laden op een We Drive Solar laadpaal, indien zij snel zouden moeten vertrekken. De helft gaf aan van de overrulefunctie gehoord te hebben, al wist niet iedereen specifiek hoe zij deze overrulefunctie moeten activeren. De andere helft wist niet van het bestaan van de overrulefunctie.

Geen van de geïnterviewde gebruikers heeft de overrulefunctie ooit gebruikt. Bij de vraag of zij situaties zien waarin zij de overrulefunctie zouden gebruiken, verschilt de respons van gebruikers. Een van de gebruikers geeft aan zo nu en dan te zullen gebruiken:

“Ik zou deze functie eens in de twee maanden ongeveer gebruiken.” – Respondent 2

Een andere gebruiker geeft aan de overrulefunctie nu niet te gebruiken, omdat hij een hybride elektrische auto heeft met kleine batterij. Bij een volledig elektrische auto zou hij de overrulefunctie wel vaker gebruiken:

“Met deze auto [hybride] heb ik de noodzaak niet om de overrulefunctie te gebruiken. [...] Maar als ik volledig elektrisch zou rijden, dan wel. – Respondent 9

Bijna alle andere gebruikers geven aan deze overrulefunctie niet of zelden te zullen gebruiken.

De meeste gebruikers vinden de QR-code een goede manier om de overrulefunctie in te richten, al geven twee gebruikers aan dit het liefst via een app te doen:

“Ik vond de bypassoptie niet heel toegankelijk. Ik heb het zelf niet gebruikt, maar als ik het vaker zou gebruiken zou ik dat liever via een app doen” – Respondent 9

Tot slot geven veel gebruikers aan dat ze het wel belangrijk vinden dat de overrulefunctie er is, ondanks dat ze deze zelf niet snel zullen gebruiken:

“Ik heb nog niet echt dat probleem zo gehad, dat ik haast had met laden bij de laadpaal bij mij thuis [...] ik vond het toen ik mij ervoor inschrijf fijn dat het [de overrulefunctie] er was, maar ik heb het in praktijk nooit gebruikt. – Respondent 7

Communicatie

Een aantal gebruikers gaf aan dat er de communicatie over de proef uitgebreider kon zijn. Zo stelde een gebruiker het volgende:

“Ik vind het fijn en goed dat deze proef er is, en ik vind sowieso dat laadpalen achtergesteld moeten worden op het net, maar het zou fijn zijn als er meer over gecommuniceerd wordt. Bijvoorbeeld via een app” – Respondent 2

Een gebruiker stelt het volgende voor:

“Ik zou dit via het ontwerp van de laadpaal aangeven. Dus niet een saaie grijze, maar bijvoorbeeld een hele groene waarop iets staat geschreven van ‘echt groene stroom’. – Respondent 3

Andere gebruikers geven juist aan dat er niet te veel over gecommuniceerd moet worden. Een gebruiker zou graag een nieuwsbrief over de proef ontvangen, maar maximaal twee tot vier keer per jaar. Een andere gebruiker zegt het volgende:

“Uitgebreide informatie op een laadpaal zorgt denk ik juist voor onduidelijkheid, terwijl je nu gewoon je kabel aan het laadstation doet en het werkt. Misschien roept het alleen maar meer vragen op als je daar nog extra informatie op een laadpaal zou plakken. Misschien zou ik het gewoon laten zoals het is. – Respondent 10

Aan de gebruikers werd ook nog gevraagd of zij behoefte hadden aan meer informatie over de toekomstige laadsnelheid, om te zien op welke momenten de laadsnelheid laag zou zijn. Sommige gebruikers gaven aan dat ze dit interessant zouden vinden:

“Ik vind het wel interessant, ik zou het [de laadsnelheid] wel willen zien ja” – Respondent 3

Andere gebruikers gaven aan dit niet noodzakelijk te vinden:

“Ik zou uit interesse hier een enkele keer naar kijken, om een beetje de statistieken te zien. Hetzelfde als mijn zonnepanelen app. Maar ik denk wel dat het meer een ‘nice to know’ is en niet een ‘need to know” – Respondent 9

Tot slot gaven enkele gebruikers aan dat ze het op dit moment lastig vinden om te bepalen wat de gunstige momenten zijn om te laden:

“Ik weet ook niet precies wat nu de goede uren zijn om te laden. Ik weet het als de zon schijnt, maar wat als de zon niet schijnt? Wanneer is er nauwelijks een stroomprobleem en wanneer wel? Daar moet je de burger ook goed over informeren. Ik weet het niet, heb er een idee over: ’s ochtends vroeg en eind van de middag zal wel een piek zijn, maar ik weet het niet. [...] ik denk dat er zat mensen zijn die zich daaraan aan willen passen – Respondent 5

5.4. CONTEXT

Om de resultaten van het gebruikersonderzoek dat is uitgevoerd binnen het FLEET-project in een bredere context te plaatsen worden de bevindingen binnen dit project vergeleken met de bevindingen binnen het *Nationaal Laadonderzoek 2023*⁹. Dit is het grootste landelijke onderzoek naar de meningen en ervaringen van EV-rijders. In dit

⁹ Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, ElaadNL, de Vereniging Elektrische Rijders en Rijksuniversiteit Groningen. Nationaal Laadonderzoek 2023 - Laden van elektrische auto's in Nederland Ervaringen en meningen van EV-rijders. <https://elaad.nl/elektrische-rijder-wil-bi-directioneel-kunnen-laden/>

onderzoek wordt de huidige populatie van EV-rijders ondervraagd over verschillende zaken, waaronder hun huidige laadkeuzes en laadervaringen.

Een groot deel van het onderzoek binnen het *Nationaal Laadonderzoek* richt zich ook op de kijk van EV-rijders op *slim laden*. Respondenten binnen het *Nationaal Laadonderzoek* hebben een positief beeld van *slim laden* - 72% van de EV-rijders zou 'laden op duurzame opwek' te gebruiken of willen gebruiken. De respondenten binnen het uitgevoerde gebruikersonderzoek in het FLEET-project schetsen eenzelfde beeld; gebruikers geven een hoog cijfer aan het concept *slim laden* (Figuur 12) en geven in de interviews aan positief te kijken naar dit concept.

Opvallenderwijs geven de respondenten binnen het *Nationaal Laadonderzoek* aan een lichte voorkeur te hebben voor *slim laden* op basis van prijzen ten opzichte van *slim laden* op basis van duurzame opwek. Dit is tegenstrijdig met de resultaten van de enquêtstudie dat is uitgevoerd binnen het FLEET-project, waarin de respondenten een lichte voorkeur uitspreken voor *slim laden* op basis van duurzame opwek (Figuur 13).

In lijn met de resultaten van het gebruikersonderzoek binnen het FLEET-project, geven respondenten binnen het *Nationaal Laadonderzoek* aan dat zij een overrulefunctie belangrijk vinden (gemiddeld 3,8 op een 5-punts schaal). Tot slot werd binnen dit project *slim laden* toegepast vanuit de laadpaalexploitant, zonder dat de gebruiker hier expliciet toestemming voor diende te geven. Deze aanpak leidde tot een zeer laag aantal klachten. In het *Nationaal Laadonderzoek* geeft echter maar 19% van de respondenten aan het acceptabel te vinden wanneer 'het laadbedrijf' bepaalt of je slim laadt bij de openbare laadpaal. Dit onderzoeksproject laat zien dat het draagvlak hiervoor hoger ligt wanneer dit in praktijk wordt toegepast.

6. DISCUSSIE, IMPACT EN VERVOLGSTAPPEN

Binnen deze sectie worden de resultaten uit het FLEET-project in breder perspectief geplaatst. Ook geven we inzicht in de bredere impact van het FLEET-project en geven we inzicht in de stappen die volgen na afronding van dit project.

6.1. DISCUSSIE

Bij het interpreteren van de resultaten van het FLEET-project moeten een aantal zaken in het achterhoofd gehouden worden.

De resultaten in hoofdstuk 4 lieten zien dat de theoretische effectiviteit van de FLEET-sturing in het voorkomen van netcongestie niet wezenlijk verschilt met de theoretische effectiviteit van sturing alleen op basis van de prijzen in de day-ahead markt. Dit geeft de indruk dat het toepassen van flexibele nettarieven nauwelijks toegevoegde waarde heeft. Er zijn echter een aantal redenen waarom dit niet het geval is. Allereerst is het niet zeker dat de hoge simultaneïteit tussen hoge lokale netbelasting in woonwijken en de hoge prijzen in de day-ahead markt zal standhouden in de toekomst. Bij verdere opschaling van windenergie op zee kan het gebeuren dat de prijzen in de day-ahead markt in de piekmomenten toch laag zijn door grootschalige windopwek op deze momenten. Het invoeren van dynamische nettarieven kan partijen ervan weerhouden om op maximaal vermogen te laden op deze momenten en kunnen hierdoor als vangnet dienen indien er een mismatch is tussen de day-ahead prijs en netbelasting. Bij bedrijventerreinen zal de simultaneïteit van de netbelasting en de day-ahead prijzen al kleiner zijn. Hier zullen flexibele nettarieven dus meer effect hebben. Daarnaast heeft een aantal laadpaaloperators momenteel geen dynamisch energiecontract, maar een contract met vaste leveringstarieven voor elektriciteit. Bij deze partijen is er momenteel dus geen financiële prikkel om *slim laden* toe te passen. Bij het invoeren van dynamische nettarieven krijgen deze partijen wel een financiële prikkel om dit te doen.

Binnen dit project is er een specifieke nettariestructuur getoetst in de praktijk. Binnen de wetenschappelijke literatuur worden er meer toekomstige nettariestructuren voorgesteld^{10,11}. Daarnaast wordt er ook gekeken naar alternatieve contractvormen om netcongestie tegen te gaan. Deze zijn niet toegepast binnen dit project, en het is onduidelijk of de binnen dit project geteste nettariestructuur de optimale nettariestructuur voor de toekomst is. Dit is iets wat vervolgonderzoek moet uitwijzen. Verder heeft dit onderzoek zich gericht op elektrische personenauto's, waar andere technologieën (warmtepompen, elektrische bussen, etc.) ook flexibiliteit zouden kunnen leveren om congestieproblemen op te lossen. Verder onderzoek moet uitwijzen of flexibele nettarieven ook een gepaste oplossing zijn voor het ontsluiten van de flexibiliteit voor deze technologieën.

¹⁰ Hennig, R. J., Ribó-Pérez, D., de Vries, L. J., & Tindemans, S. H. (2022). What is a good distribution network tariff?—Developing indicators for performance assessment. *Applied Energy*, 318, 119186.

¹¹ Vaughan, J., Doumen, S. C., & Kok, K. (2023). Empowering tomorrow, controlling today: A multi-criteria assessment of distribution grid tariff designs. *Applied Energy*, 341, 121053.

Daarnaast wordt er bij de keuze voor een nieuwe nettariestructuur niet alleen gekeken naar de effectiviteit in het oplossen van congestie, maar is deze keuze ook gebaseerd op een aantal andere principes¹². Zo werd de flexibele nettariestructuur binnen dit project alleen toegepast op netaansluitingen van laadpalen. Momenteel wordt er geen onderscheid gemaakt tussen netaansluitingen van laadpalen en andere aansluitingen (bijvoorbeeld huishoudens) en geldt dezelfde nettariestructuur voor al deze aansluitingen. Het is dus mogelijk dat er geen onderscheid tussen deze aansluitingen mag worden gemaakt bij het invoeren van een dynamisch nettariestelsel en dat deze dan ook zou gelden voor huishoudens. Het is de vraag of dit gewenst is.

Bovendien worden de totale netkosten bij de getoetste nettariestructuur binnen het FLEET-project geaggregeerd voor verschillende aansluitingen; er wordt voor het lage, midden en hoge tarief een capaciteit toegewezen voor alle aansluitingen van een laadpaaloperator binnen één laagspanningsnet. Het is onduidelijk of deze aggregatie toegestaan wordt, of dat de afrekening voor elke individuele aansluiting plaats moet gaan vinden bij het invoeren van een dynamische nettariestructuur.

Bij het toepassen van de getoetste nettariestructuur vindt het risico plaats dat laadpaaloperators in laagspanningsnetten met een hoge belasting meer betalen aan nettarieven dan laadpaaloperators met aansluitingen in netten met een lagere belasting. Het is onduidelijk of dergelijke discriminatie op basis van locatie toegestaan wordt en wenselijk is.

Bij het interpreteren van de resultaten uit het gebruikersonderzoek dient er rekening gehouden te worden met het feit dat er een bias kan zijn in de gebruikers die de moeite heeft genomen om deel te nemen aan interviews en/of enquêtes: de gebruikers die heel enthousiast zijn over *slim laden* of de gebruikers die hier fel tegen zijn zullen eerder geneigd zijn om hieraan deel te nemen. De resultaten van dit gebruikersonderzoek kunnen daardoor niet direct gegeneraliseerd worden.

6.2. IMPACT

De ontwikkelingen binnen dit project hebben op verschillende manieren bredere impact gehad. Allereerst heeft Stedin gedurende dit project besloten om het systeem dat getest is binnen dit project op te schalen naar Rotterdam, in samenwerking met EQUANS. In deze proef worden de voorspelalgoritmes van Stedin die binnen dit project heeft ontwikkeld gebruikt om capaciteitslimieten te bepalen voor de EQUANS-laadpalen. Hierin wordt de beschikbare laadcapaciteit teruggeschoefd op piekmomenten. Daarnaast heeft Stedin gedurende het project besloten om een groter deel van haar transformatoren te bemeten, waardoor systemen zoals getest in deze proef op grotere schaal toegepast kunnen worden.

Een groot succes van het FLEET-project is dat de mogelijkheid voor toepassen van flexibele nettarieven of capaciteitsprofielen is opgenomen in de concessies voor nieuwe

¹² CEER. (2017). Electricity Distribution Network Tariffs: CEER Guidelines of Good Practice.

laadpalen in verschillende gemeentes, waaronder Utrecht¹³. Dit houdt in dat het systeem dat binnen dit project voorzien is wordt opgeschaald naar verschillende gemeentes.

Daarnaast heeft er harmonisatie plaatsgevonden in de plannen van verschillende netbeheerders voor het tegengaan van netcongestie door EV-laden. Verschillende netbeheerders toetsten voorheen verschillende oplossingen om netcongestie tegen te gaan. Deze zijn in de *Nationale Agenda Laadinfrastructuur* geharmoniseerd tot de oplossingsrichting *netbewust laden* binnen het actieplan *Slim laden voor iedereen*¹⁴. Netbewust laden lijkt qua technische inrichting in grote lijnen op de inrichting binnen FLEET. Het grootste verschil is dat er bij deze oplossingsrichting niet met flexibele nettarieven gewerkt wordt, maar dat de laadpaaloperators een maximaal laadvermogen voor elk moment van de dag toegewezen kregen. Door deze landelijke harmonisatie kan er worden toegewerkt naar een toekomstbestendige oplossing die uiteindelijk landelijk de standaard kan worden.

Tot slot heeft het project veel media-aandacht gekregen, zelfs internationaal, zoals te zien in de lijst met publicaties (zie appendix B). Hierdoor kan het project dienen als inspiratiebron en motivator voor het uitrollen van soortgelijke projecten elders.

6.3. VERVOLGSTAPPEN

Het toepassen van de FLEET-sturing werd door alle partijen binnen dit project als een succes ervaren. Om deze reden is er besloten om deze sturing door te zetten na afloop van het project. Dit zal gebeuren in kader van het ROBUST-project¹⁵. De sturing zal te zijner tijd omgezet worden naar de *netbewust laden* sturing (zie beschrijving hierboven), in lijn met de plannen om de oplossingsrichting voor het tegengaan van netcongestie veroorzaakt door EV-laden te harmoniseren tussen netbeheerders.

Daarnaast zal deze sturing binnen het ROBUST-project uitgebreid worden met het GOPACS-platform¹⁶. Op het GOPACS-platform kunnen partijen flexibiliteit aanbieden, en netbeheerders kunnen deze flexibiliteit afroepen om netcongestie tegen te gaan. Dit wordt gezien als middel om de congestieproblemen die niet voorkomen kunnen worden met het toepassen van flexibele nettarieven of capaciteitsbeperkingen tegen te gaan. De focus van het GOPACS-platform ligt echter op het oplossen van congestieproblemen in het hoog- en middenspanningsnet. Door ook het GOPACS-platform te integreren in deze sturing wordt er toegewerkt naar een systeem dat alle lagen van het voorziene toekomstige netcongestiepreventiesysteem toepast.

¹³ Gemeente Utrecht – Vooraankondiging Overname en plaatsing publieke laadinfrastructuur gemeente Utrecht <https://www.tenderned.nl/aankondigingen/overzicht/292258/publicatie>

¹⁴ Nationale Agenda Laadinfrastructuur. Slim laden voor iedereen 2022-2025 <https://agendalaadinfrastructuur.nl/ondersteuning+gemeenten/documenten+en+links/documenten+in+bibliotheek/handlerdownloadfiles.ashx?idnv=2297386>

¹⁵ ROBUST-project <https://tki-robust.nl/>

¹⁶ GOPACS <https://www.gopacs.eu/>

Verder is de verdere uitrol van het ISO-15118¹⁷ laadprotocol in EV's en laadpalen van groot belang. Zoals te lezen in de resultatensectie heeft de onzekerheid over de laadvraag en vertrektijd van EV's grote impact op de effectiviteit van het toepassen van *slim laden*. In dit nieuwe laadprotocol wordt er meer informatie tussen de laadpaal en het voertuig uitgewisseld, zoals de state-of-charge van de batterij. Hierdoor is de onzekerheid lager bij het bepalen van de optimale laadprofielen en hoeft er minder voorzichtig geladen te worden.

Tot slot zal het onder de aandacht brengen van de problemen die het benodigd minimumamperage voor EV-laden veroorzaakt van de belangrijkste pijlers zijn in de nabije toekomst. Idealiter wordt er toegewerkt naar een systeem waarin dit minimumamperage stap voor stap uitgefaseerd wordt, zodat het potentieel van *slim laden* ten volle wordt benut.

¹⁷ ISO 15118-20:2022 Road vehicles – Vehicle to grid communication interface – Part 20: 2nd generation network layer and application layer requirements <https://www.iso.org/standard/77845.html>

7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Binnen het FLEET-project is er een *slim laden* systeem op basis van flexibele nettarieven in combinatie met day-ahead elektriciteitsstarieven ontwikkeld. Deze sturing is toegepast op 380 publieke laadpalen binnen de stad Utrecht en deze sturing heeft voor van 2,5 jaar aangestaan. De volgende zaken kunnen uit de resultaten van dit project geconcludeerd worden:

- Dit project heeft laten zien dat het mogelijk is om een goed-functionerend *slim laden* systeem uit te rollen op een grote schaal. De invoering van dit systeem was succesvol en heeft nauwelijks tot klachten en problemen geleid. Het systeem laat zien dat het inrichten van een systeem waarin er informatie wordt gedeeld tussen een netbeheerder en een CPO kansen biedt.
- Het toepassen van *slim laden* op basis van flexibele nettarieven vermindert de hoeveelheid congestie die plaatsvindt door EV-laden. Hierdoor kunnen netverzwaringen en netinvesteringen voorkomen worden en wordt tijd gekocht om netverzwaringen uit te kunnen voeren. De resultaten lieten zien dat de hoeveelheid virtuele congestie met 20% lager lag, en dat het laadvermogen van EV's in piekuren met iets minder dan de helft afnam. Het is daarom aan te raden dat dit systeem of een soortgelijk systeem op grotere schaal uitgerold wordt. De resultaten laten wel zien dat niet alle netcongestie met dit systeem voorkomen kan worden. Het is daarom ook belangrijk om in de toekomst onderzoek te doen naar andere flexibele nettariëfsystemen. Het gebruik van additionele opties om een groter deel van de netcongestieproblemen te voorkomen, bijvoorbeeld het GOPACS-platform, is daarom ook noodzakelijk in de toekomst. Daarnaast blijven netverzwaringen of -uitbreidingen noodzakelijk en moeten deze sneller gerealiseerd worden. Tot slot is het vergroten van de flexibele capaciteit, bijvoorbeeld door middel van publiek-private samenwerkingen, een mogelijke manier voor netbeheerders om congestieproblemen te voorkomen.
- Gebruikers merken maar beperkt dat er *slim laden* wordt toegepast en het merendeel van de gebruikers is in beginsel positief over het toepassen van *slim laden*. Ondanks dat het *slim laden* is uitgerold op een grote schaal, was het aantal klachten en vragen zeer laag (gemiddeld 1 à 2 per week op enkele duizenden laadsessies per week). Uit gebruikersonderzoek blijkt echter wel dat een deel van de gebruikers nog last heeft van *range anxiety*. Het is dus aan te raden om de gebruikers de mogelijkheid te blijven geven om te overrulen, ondanks dat deze functie binnen het FLEET-project nauwelijks gebruikt is.
- Het benodigde minimumamperage van 6 ampère bij het opladen van EV's heeft grote invloed op de effectiviteit van het toepassen van *slim laden*. Het is daarom van groot belang om dit benodigd minimumamperage uit te faseren. Hiervoor zijn het invoeren van normen en standaardisatie belangrijk. Het is belangrijk om te blijven testen op interoperabiliteit om toe te werken naar een goed functionerend *slim laden* ecosysteem.

COLOFON

Dit verslag rapporteert de resultaten van het onderzoeksproject *Slim laden met flexibele nettarieven in Utrecht (FLEET)*. Zie ook de website www.ssc-fleet.nl. Dit project is gefinancierd door de Topsector Energiesubsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, regeling TKI Urban Energy, met referentienummer TEUE519004.

Aan dit verslag is bijgedragen door Nico Brinkel, Bart van der Ree, Peter Markotić, Henk Fidder, Leon Kuiper, Robin Berg, Nazir Refa en Seléne van der Poel. Bij vragen kan er contact worden opgenomen met Nico Brinkel (n.b.g.brinkel@uu.nl).

APPENDIX

A. INTERVIEWSCHEMA VOOR GEBRUIKERSINTERVIEWS

Algemene informatie

- Hoe lang rijdt u al elektrisch?
- Welk type EV rijdt u? Aantal km per jaar?
- Lease/privé?
- Waar laadt u voornamelijk op? Werk/thuis? Hoe kiest u uw laadpaal?
- Laadt u altijd bij een We Drive Solar laadpaal op? In welke wijk?

Slim laden

- De laadpalen van We Drive Solar waar u weleens laadt zijn onderdeel van een proef. Heeft u een idee over de invulling van de proef?
- In hoeverre bent u ervan bewust dat er slim wordt geladen op de laadpalen van We Drive Solar?
- Hoe heeft u dit gemerkt?
- Wat vindt u ervan dat deze proef plaatsvindt/wat vindt u ervan dat er slim geladen wordt op de laadpalen van We Drive Solar?
- Hoe past u hier uw gedrag op aan?
- Voor welke toepassingen moet *slim laden* worden ingezet?
- In hoeverre vindt u het rechtvaardig dat er langzamer wordt geladen op momenten dat het druk is op het net?

Overrulen

- Stel dat u vindt dat u auto op een bepaald moment te langzaam laadt, bijvoorbeeld omdat u snel daarna weg moet, weet u hoe u dit kan oplossen?
- Ja:
 - o Hoe vaak gebruik van gemaakt?
 - o Tevreden over de functie?
 - o Hoe belangrijk dat deze functie er is?
 - o Hoe zou u dit het liefst inrichten?
- Nee:
 - o Hoe zou u dan hierover geïnformeerd willen worden?
 - o En nu u ervan af weet: zou u er dan gebruik van willen maken?
 - o Hoe belangrijk is deze functie voor u en hoe zou u dit het liefst inrichten?

Communicatie

- Hoe kijkt u naar de communicatie over de proeven met *slim laden* die plaats vinden bij de laadpalen van We Drive Solar?
- In hoeverre en op welke manier wilt u inzicht in de specifieke laadsnelheid over tijd?

B. LIJST MET PUBLICATIES

Wetenschappelijke publicaties

1. Brinkel, N., Markotić, P., Kuiper, L., Warmerdam, S., Baeten, B., Meersmans, J., ... & ALSkaif, T. (2023, June). Dynamic Grid Tariffs for Electric Vehicle Charging: Results from a Real-World Experiment. In *2023 IEEE Belgrade PowerTech* (pp. 1-6). IEEE.
2. Brinkel, N. B. G., Schram, W. L., ALSkaif, T. A., Lampropoulos, I., & Van Sark, W. G. J. H. M. (2020). Should we reinforce the grid? Cost and emission optimization of electric vehicle charging under different transformer limits. *Applied Energy*, 276, 115285.
3. Brinkel, N., Zijlstra, M., van Bezu, R., van Twuijver, T., Lampropoulos, I., & van Sark, W. (2023). A comparative analysis of charging strategies for battery electric buses in wholesale electricity and ancillary services markets. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 172, 103085.
4. Brinkel, N., ALSkaif, T., & van Sark, W. (2022). Grid congestion mitigation in the era of shared electric vehicles. *Journal of Energy Storage*, 48, 103806.
5. Schram, W., Brinkel, N., Smink, G., van Wijk, T., & van Sark, W. (2020, September). Empirical evaluation of V2G round-trip efficiency. In *2020 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)* (pp. 1-6). IEEE.
6. Brinkel, N., Hu, J., Visser, L., van Sark, W., & ALSkaif, T. (2022, October). Scheduling Electric Vehicle Fleets as a Virtual Battery under Uncertainty using Quantile Forecasts. In *2022 IEEE International Conference on Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grids (SmartGridComm)* (pp. 334-339). IEEE.
7. Brinkel, N., Schram, W., ALSkaif, T., & Van Sark, W. (2021, September). A quantitative analysis of the short-term and structural impact of COVID-19 measures on electric vehicle charging patterns. In *2021 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)* (pp. 1-6). IEEE.
8. Brinkel, N., Visser, L., ALSkaif, T., & van Sark, W. (2021, September). Avoiding low-voltage grid congestion using smart charging of electric vehicles based on day-ahead probabilistic photovoltaic forecasts. In *2021 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)* (pp. 1-6). IEEE.
9. Brinkel, N., Visser, L., van Sark, W., & ALSkaif, T. (2023). A novel forecasting approach to schedule aggregated electric vehicle charging. *Energy and AI*, 100297.

Perspublicaties

1. Dumiak, M. (2022). A Road Test for Vehicle-to-Grid Tech: Utrecht leads the world in using EVs for grid storage. *IEEE Spectrum*, 59(8), 20-25.
2. Energieia (27-10-2020). In Utrecht laden auto's voortaan op goedkoopste elektriciteitstarief.
3. Solar Magazine (6-11-2020). Gemeente Utrecht neemt 300e Smart Solar Charging in gebruik.
4. Algemeen Dagblad (5-1-2020). Dit is de man die 300 slimme laadpalen voor elektrische auto's in Utrecht plaatst

5. Algemeen Dagblad (28-5-2021). 250 elektrische auto's tegelijk opladen: Utrecht krijgt de grootste, slimme laadgarage ter wereld.
6. Solar Magazine (23-8-2021). We Drive Solar: 'Batterij elektrische auto is het goud van de energietransitie'
7. Algemeen Dagblad (23-09-2021). Honderd euro per maand verdienen? 'Auto wordt de batterij voor je zonnestroom'
8. Nu.nl (20-1-2022). Je elektrische auto kan straks ook een kleine elektriciteitscentrale worden
9. Tweakers.net. (21-5-2022). De auto als mobiele energiecentrale - Vehicle-to-home/grid lijkt nu echt in zicht
10. Trouw. (04-09-2020). 'Vehicle-to-grid': Hoe de elektrische auto echt impact krijgt.

Media

1. NOS Journaal (26-4-2022). Item vanaf minuut 17.
2. NTR Atlas (televisieprogramma van de NPO) (17-2-2021). Kan ons stroomnet de explosieve groei van elektrisch rijden wel aan?
3. EenVandaag (26-02-2020). Niet genoeg stroom voor het aantal elektrische auto's.
4. Podcast BNR de Nieuwsdag (26-1-2022). Je moet ellende niet met theelepeltjes opdielen.
5. Fully Charged (Youtubekanaal) (9-12-2021). Largest Vehicle-To-Grid Charging Project On The Planet? https://youtu.be/L_BYDKz3_Jg
6. Fully Charged (Youtubekanaal) (16-12-2021). Gas-Free Houses & Solar Powered Electric Car Sharing. <https://youtu.be/chDi85uDy1k>
7. Youtubekanaal ElaadNL (18-3-2023). ElaadNL Webtalk #49 - Wat leren we van Utrechtse *slim laden* proef met flexibele nettarieven. <https://youtu.be/3qjRBchZlIA?si=MShwNLJWGnxAvxJI>