



Flexpower3:

meer laden op een vol
elektriciteitsnet



Inhoudsopgave

	Begrippenlijst	4
2	Managementsamenvatting	5
3	Inleiding	9
	3.1 Smart Charging	10
	3.1.1 Techniek	11
	3.1.2 Proportionalere tarifiering voor netgebruik	11
	3.1.3 Smart Charging als totaaloplossing	11
	3.1.3.1 Praktijkervaring 2017-2020 in Amsterdam, Gelderland en Overijssel	12
4	Smart Charging in Flexpower3	14
5	Pilotgebied en aanpak	16
6	Resultaten	20
	6.1 Fase 1: Alleen basiscapaciteit	20
	6.1.1 Alleen basiscapaciteit: Impact op de gebruiker en CPO business case	21
	6.1.2 Alleen basiscapaciteit: Impact op het elektriciteitsnet en het inpassen van publieke laadpalen	22
	6.2 Fase 2: Toevoegen vrije netcapaciteit	24
	6.2.1 Impact op de gebruiker en CPO business case	25
	6.2.2 Impact op elektriciteitsnet en het inpassen van publieke laadpalen	29
	6.2.3 Impact op de middenspanningsruimte	30
	6.3 Gebruikerservaringen	33
7	Conclusies	35
8	Aanbevelingen	36
	8.1 Conceptontwikkeling Proposities	36
	8.2 Potentie voor vermeden werk en kosten van de netbeheerder	37
	8.3 Offline scenario's	37
	8.4 Capaciteitsverdeling op basis van fasen	37
9	Vervolg	38
	Bijlage: Onderzoeksvragen	40
	Duurzame energie/Maatschappelijke impacts	40
	Netbeheer	40
	Financieel	41



Partners



Begrippenlijst

A	Ampère (Coulomb per seconde); eenheid voor stroom
CPO	Charge point operator. Beheert en onderhoudt laadinfra en verzorgt de facturatie voor afgenomen energie.
DSO	Distribution Service Operator; de regionale netbeheerder
EV	Elektrisch voertuig
kWh	Kilowattuur (kilojoules per seconde in één uur); eenheid voor energie
Laadpaal	Locatie waar elektrische auto's kunnen worden opgeladen, doorgaans voorzien van twee laadsockets
Laadsocket	Aansluitpunt voor het opladen van één elektrisch voertuig
Middenspanningsruimte	(MSR); ruimte waarin middenspanning (overwegend 10.000 tot 20.000V) wordt omgezet naar laagspanning (400V)
OpenADR	Open Automated Demand Response. Datacommunicatieprotocol dat gebruikt wordt voor tweerichtings informatie-uitwisseling tussen utiliteitsbedrijven en eindgebruikers. In tegenstelling tot OSCP is OpenADR inzetbaar voor alle vormen van verbruikers en opslag en niet alleen voor elektrische auto's.
OSCP	Open Smart Charging protocol, versie 2.0. Datacommunicatieprotocol dat in de aansturing van laadsessies van elektrische voertuigen gebruikt wordt voor communicatie van een derde partij naar de CPO.
Smart Charging	Het laden van EVs aansturen op basis van prijsprikkels en/of benutting van duurzame energie en/of beschikbare netcapaciteit.
V	Volt (Joules per Coulomb); eenheid voor spanning
W	Watt (Joules per seconde); eenheid voor vermogen

Auteurs:

Marius Groen, Tim Hoogvliet, Hugo Niesing, Rick Wolbertus, Wim van Zalingen, Marisca Zweistra

Colofon:

Dit verslag is een uitgave van Flexpower/Elaad.nl. Er kunnen geen rechten aan de inhoud van dit document worden ontleend.
© Copyright 2022

Afbeeldingen: Chris Karthaus, deanimator.nl; Henk Oudijn, spankrachtontwerpers.nl; istockphoto.com
Vormgeving: Spankracht Ontwerpers

2 Managementsamenvatting

De energietransitie leidt ertoe dat er een steeds zwaardere belasting ontstaat op de in het land aanwezige elektriciteitskabels en transformatoren, door de komst van lokale opwek, warmtepompen en elektrische voertuigen. Zonnepanelen en elektrische voertuigen hebben daarbij het kenmerk dat hun vermogensvraag plaatsvindt op specifieke tijdstippen van de dag: als de zon schijnt, of wanneer automobilisten op hun bestemming aankomen. In het geval van een laadpaal voor elektrische auto's is de gemiddelde vermogensvraag van een ladend voertuig gelijk aan de gemiddelde vermogensvraag van tien huishoudens. Doordat de ruimte op een kabel of transformator niet oneindig is, ontstaat wanneer het laden van elektrische voertuigen niet slim wordt aangestuurd in de nabije toekomst de situatie waarin de optelsom van de vermogensreservering voor huishoudens en laadpalen betekent dat er geen ruimte meer is om aansluitingen toe te voegen. Dit leidt tot grote investeringen voor netverzwaringen en daarmee hogere vaste lasten voor alle huishoudens. Ook betekent dit, vanwege de doorlooptijd van netverzwaringen, een vertraging in de transitie naar duurzame mobiliteit. Door het laden van elektrische voertuigen slim in te plannen, kunnen netverzwaringen uitgesteld of zelfs vermeden worden. In Flexpower3 is, voortbouwend op inzichten uit eerdere projecten, een oplossing onderzocht die ten opzichte van eerdere slim laden concepten veel meer potentie creëert voor het elektrificeren van onze mobiliteit.

Wanneer op de traditionele wijze wordt geladen, moet de netbeheerder per laadpaal 24 uur per dag rekening houden met de mogelijke aanwezigheid van een elektrische auto met de daarbij behorende hoge vermogensvraag. Bij het huidige aantal laadpalen per woonwijk wordt gerekend met ruim 11 kW gemiddeld piekvermogen per laadpaal. Dit is iets minder dan de technische capaciteit van de aansluiting (17,25 kW), omdat rekening gehouden kan worden met de statistische bezettingsgraad. Evengoed is het vermogen per laadpaal behoorlijk hoog. Ter vergelijking: voor een ouderwets huis wordt rekening gehouden met 1 tot 1,5 kW gemiddeld piekvermogen, terwijl deze aansluitingen dezelfde technische capaciteit hebben als een laadpaal.

De ervaring leert dat de laadvraag zich vooral concentreert op de vroege avond, wat ongunstig is omdat op dat moment ook de huishoudelijke (inflexibele) vermogensvraag op zijn hoogst is. Wanneer echter alleen in de avonduren ingegrepen wordt op het laden, zoals gedaan werd in de voorlopers van Flexpower3, ontstaan nieuwe belastingsvraagstukken wanneer de laadbepanking wordt opgeheven. Dit komt doordat alle auto's die nog niet volgeladen zijn na afloop van de laadbepanking tegelijkertijd veel vermogen gaan vragen. Bovendien wordt met een statisch laadprofiel op rustige dagen onnodig sterk ingegrepen op het laden. Tenslotte verandert het variëren van de laadvermogens op bepaalde momenten van de dag niets aan de reservering die de netbeheerder veiligheidshalve moet maken voor de impact van een laadpaal op het net, op wijkniveau. Deze inzichten vormen gezamenlijk de basis van het laadconcept uit dit project. In het in dit project onderzochte laadconcept vindt het laden van elektrische voertuigen plaats binnen een op wijkniveau vastgesteld gezamenlijk maximaal vermogen, in plaats van met een per laadpaal gedefinieerd vermogen.

In het project Flexpower3 is de vermogensvraag van het laden van elektrische voertuigen, in tegenstelling tot de situatie in de voorgaande projecten, voor de netbeheerder 100% beheersbaar gemaakt. Elke laadpaal krijgt een basisvermogen toegewezen die gebaseerd is op de gemiddelde vermogensvraag van de groep laadpalen waar de laadpaal bij hoort. De maximale basisvermogensvraag van een groep laadpalen die op dezelfde transformator is aangesloten is op deze manier altijd gelijk aan het aantal laadpalen maal het basisvermogen per laadpaal. Dit groepsvermogen wordt door de charge point operator (CPO) verdeeld over alleen die laadpalen waar een actieve laadsessie op aanwezig is. Onder een actieve laadsessie verstaan we een sessie waar de batterij van het voertuig nog niet volledig opgeladen is. Als er veel auto's tegelijk willen laden krijgen ze allemaal relatief weinig vermogen, maar als er maar enkele auto's aanwezig zijn zullen deze net zo snel kunnen laden als bij de traditionele manier van laden.

De resultaten van het project laten zien dat het concept goed werkt. De piekvermogens die zonder aansturing zouden ontstaan door het laden kunnen bijna geheel worden vermeden door te laden op een lage basiscapaciteit per laadpaal. Ook is er logischerwijs geen sprake meer van een tweede laadpiek zoals ontstond in Flexpower1 en Flexpower2, aangezien er gedurende de dag een constant maximaal vermogen is voor het cluster. De auto's die op Flexpowerlaadpalen zijn geladen blijken over het geheel genomen even volgeladen te worden als op de traditionele manier. Het laden duurt wel langer doordat de meeste sessies, zoals verwacht, tegelijkertijd starten en het beschikbare vermogen dus in de eerste uren van de laadsessies gedeeld moet worden met relatief veel voertuigen. Het effectief geladen vermogen per auto is daarom tijdens piekuren verlaagd. Doordat de parkeertijd van de meeste voertuigen nog altijd veel langer is dan de benodigde tijd om te laden, merken alleen de auto's die slechts kort parkeren iets van het slim laden. Dit betreft 13% van de laadsessies. Zij krijgen ten opzichte van een laadsessie zónder slim laden aansturing 4,8% minder energie.

Door op deze manier te laden hoeft de netbeheerder niet langer 11 kW per laadpaal te reserveren, wat nu de gangbare rekenwaarde is, maar kan volstaan worden met 3,5 kW per laadpaal of zelfs nog minder. Er wordt geen gereserveerd vermogen meer "verspild". Op deze manier ontstaat op middenspanningsruimteniveau 3,2 keer meer ruimte voor nieuwe laadpalen, zonder dat door de extra laadpalen de belasting op het net hoger wordt.

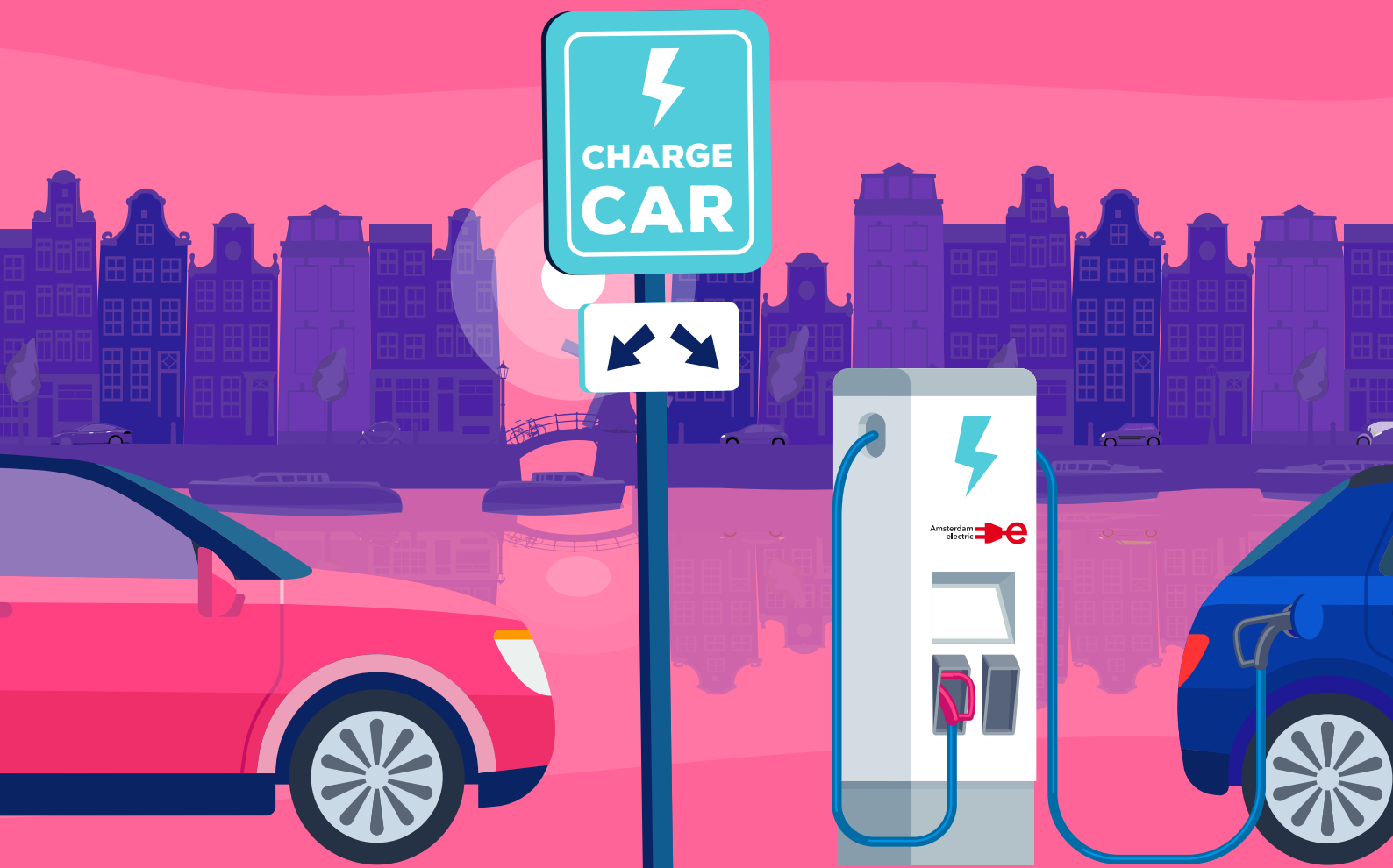
Er is nog extra toegevoegde waarde gecreëerd door op momenten dat er extra ruimte beschikbaar is op het elektriciteitsnet deze ruimte toe te voegen aan het basisvermogen. Om dit mogelijk te maken is communicatie tot stand gebracht tussen de netbeheerder en de charge point operator (CPO). De CPO blijkt de aangeboden extra capaciteit goed te kunnen verwerken. Doordat er buiten de piektijden extra vermogen beschikbaar is die op deze manier gebruikt kan worden, verbetert de benutting van de netcapaciteit. Auto's die al vroeg aanwezig zijn worden niet onnodig beperkt in hun laadsessie. Het wordt door het toestaan van vrije netcapaciteit automatisch mogelijk om de opname van duurzame opwek te verbeteren, doordat veel vrije netcapaciteit aanwezig is op momenten dat er veel lokale opwek is. Wanneer vrije netcapaciteit wordt toegevoegd aan de laadsessies zijn de auto's die buiten de piektijden al aanwezig zijn eerder volgeladen, waardoor zij op een later tijdstip geen aanspraak meer maken op capaciteit. Dit is positief voor de voertuigen die later beginnen met laden: zij kunnen eerder een grotere portie van de clustercapaciteit krijgen. Bijkomend voordeel is dat de voertuigen die vroeg parkeren doorgaans veel korter parkeren dan voertuigen die tijdens de spits arriveren. Door het toevoegen van vrije netcapaciteit kan de basiscapaciteit verder omlaag én verbetert het percentage volledig geladen sessies. Met deze uitbreiding van het laadprofiel ontstaat ruimte voor 4 keer meer laadpalen op hetzelfde elektriciteitsnet (op middenspanningsruimteniveau).

Samengevat wordt het door het laden te clusteren en aan te sturen binnen volledig voorspelbare vermogensgrenzen mogelijk om op eenzelfde netdeel afgerond tussen de drie en vier keer meer laadpunten te plaatsen, zonder dat er een risico ontstaat op overbelasting van het net door het laden van de elektrische voertuigen. Het toevoegen van vrije netcapaciteit verbetert de benutting van het net, maar ook in situaties waarin dit niet mogelijk is ontstaat een significante verbetering ten opzichte van een statisch laadprofiel, aangezien het niet langer nodig is exact te weten tussen welke tijden het gewenst is het laden te beperken.

Het concept is dermate succesvol dat het vervolg zal krijgen in het nationale opschalingsprogramma "Slim Laden voor Iedereen". In dit programma zal de aansturing verder geoptimaliseerd worden en zal een grote uitrol van het laadconcept plaatsvinden.

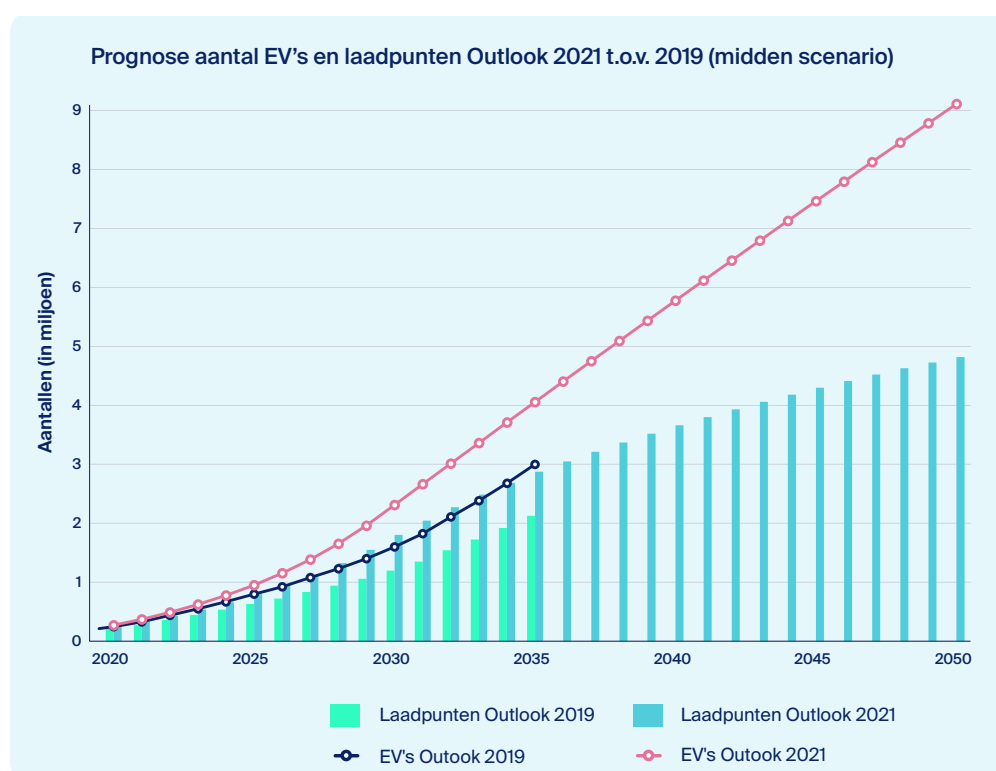


“Elke laadpaal krijgt een basisvermogen toegewezen dat gebaseerd is op de gemiddelde vermogensvraag van de groep laadpalen waar de laadpaal bij hoort.”



3 Inleiding

Sinds 2019 zien we een verdere versnelling in de elektrificatie van vervoer. Het aandeel elektrische personenauto's (EV's), bussen en zwaardere voertuigen neemt nog altijd sterk toe. Dit wordt veroorzaakt door een samenspel van beleid en marktonwikkelingen. Hieronder vallen de doelstellingen uit het Klimaatakkoord, fiscaal beleid, de opkomst van milieuzones en strengere EU-normen. Belangrijke marktontwikkelingen zijn het toenemende aanbod van elektrische voertuigen als gevolg van de afnemende batterijprijzen en investeringen in elektrische mobiliteit.



Figuur 1: Deze update van de prognose van het totaal aantal elektrische voertuigen en laadpunten, ten opzichte van de prognose van 2019, geeft aan dat de groei nog sneller gaat dan verwacht. (bron: ElaadNL Outlook 2021)

Voor de nabije toekomst wordt verwacht dat in eerste instantie vooral het aandeel elektrische personenauto's sterk zal toenemen. Uit de prognoses van ElaadNL volgt dat Nederland in 2030 rond de 2,25 miljoen volledig elektrische personenvoertuigen telt (figuur 1). Er wordt verwacht dat dan ongeveer 1,8 miljoen laadpunten nodig zullen zijn. Deze 1,8 miljoen laadpunten zullen niet in gelijke mate verdeeld over het land geplaatst zijn. De adoptie van elektrisch rijden gaat namelijk niet overal even snel. ElaadNL heeft met hulp van een spreidingsmodel in kaart gebracht op welke locaties de komende jaren elektrische auto's worden verwacht. Mede op basis hiervan is het verwachte aantal laadpunten locatiespecifiek in kaart gebracht. Er is hierbij onderscheid gemaakt in thuislaadpunten, werklaadpunten, publieke laadpunten en laadpleinen.

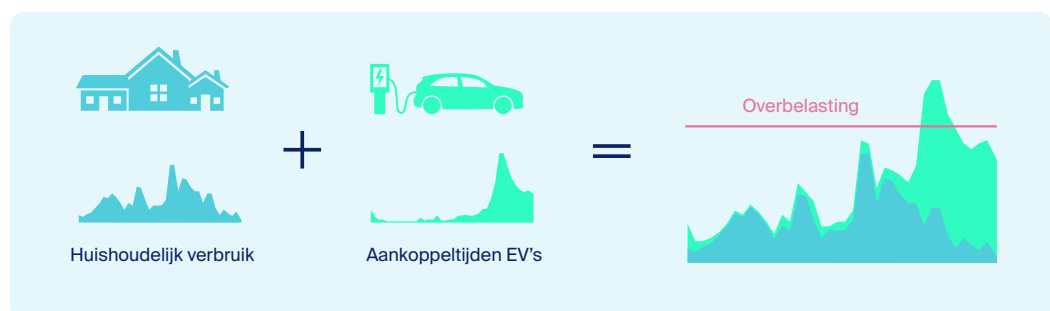
3.1.1 Techniek

De meest beproefde manieren van Smart Charging zijn uitgesteld laden, laden met een variabele capaciteit en combinaties daarvan. Ook zijn er proeven geweest waarbij het laden op basis van prijsprikkels werd beïnvloed. Binnen de proeven die al gedaan zijn, is in de afgelopen jaren de focus uitgebreid van louter het technisch mogelijk maken van het Smart Charging schema (denk aan het opstellen van protocollen, controleren van de responstijd, voorspelbaarheid van de laadbehoefte) naar een totaalbeschouwing van zowel de technische werking, impactbepaling (netmetingen, opschaling, toepassen van clustering van laadpunten) en de gedragscomponent (uitlegbaarheid, acceptatie, impact op de geladen kWh en prijs voor de EV-rijder).

3.1.2 Proportionalere tarifiering voor netgebruik

Naast de ontwikkelingen binnen het elektrisch vervoer wordt er door de netbeheerders al enige jaren gewerkt aan de ontwikkeling van een nieuw tariefmodel. De wens voor een nieuw tariefmodel komt voort uit de, ten gevolge van de energietransitie, steeds diverser wordende populatie “kleinverbruikers”. In het huidige tariefmodel vallen alle verbruikers tot en met een aansluitcategorie van 3*25A onder dezelfde tariefcategorie. In een “traditioneel” energiesysteem waarin grote verbruikers (zoals elektrische auto's) en productie-eenheden op particulier niveau ontbraken was dit een afdoende indeling: in de praktijk werden alle aansluitingen in deze categorie min of meer op dezelfde wijze gebruikt door de klanten.

In het nieuwe energiesysteem, waarin elektrische voertuigen zoals gezegd een (langdurige) tien keer hogere vermogensvraag hebben dan het (kortstondige) piekvermogen dat voor huishoudens zonder EV gebruikt wordt, zou een hogere tariefgroep een oplossing kunnen zijn om de grote aanspraak die EVs op het elektriciteitsnet doen te vertalen naar een kostendoorrekening. Immers, voor een laadpaal houdt de netbeheerder nu per laadpaal (in een cluster van de omvang zoals gebruikt in deze proef) rekening met een vermogen van 11,1 kW terwijl de rekenwaarde voor de piekvraag van een huishouden onder de 2 kW ligt. De technische mogelijkheden én de kosten voor de aansluitingen van beiden zijn echter gelijk. Wanneer ál het laden standaard rekening houdt met de beschikbare netcapaciteit zou de oplossing echter ook binnen de huidige tarifiering kunnen passen.



Figuur 3: Verschuiven van de overlap tussen aankoppeltijd EV en piekvermogen op huishoudniveau, door invoeren van een laadprofiel.

3.1.3 Smart Charging als totaaloplossing

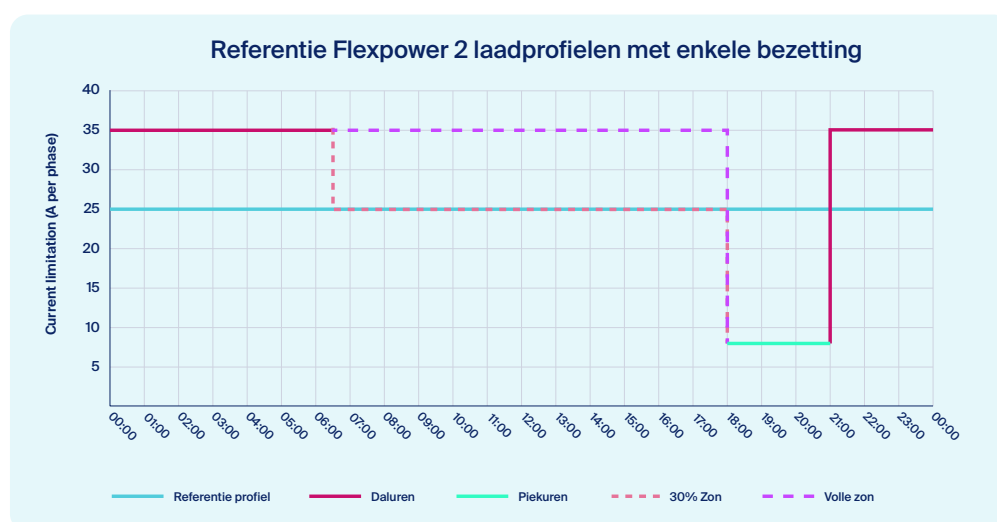
Doelstelling van Smart Charging is, samengevat: Het realiseren van slimme, toekomstbestendige laadinfrastructuur voor alle gebruikers van elektrisch vervoer met als doel flexibele inpassing van groene elektriciteit in het systeem, waarin de belangen van alle stakeholders in de keten gefaciliteerd worden.

Dit uit zich in een gebruikersvriendelijke en kostenefficiënte dienstverlening aan de berijder binnen het kader van een vrije markt voor laadinfrastructuur. De prikkel om het laden aan te passen kan technisch zijn of via tariefafspraken worden gerealiseerd.

Als voetnoot moet worden gesteld dat op termijn, door toenemende aantallen EV's én toenemende aantallen opwekinstallaties, netverzwaringen waarschijnlijk ondanks het toepassen van Smart Charging deels onvermijdelijk zullen zijn. In een deel van de gevallen zal dat nog steeds op een moment zijn dat eerder valt dan de bij de aanleg gehanteerde vervangingstermijn van het betreffende stuk van het elektriciteitsnet.

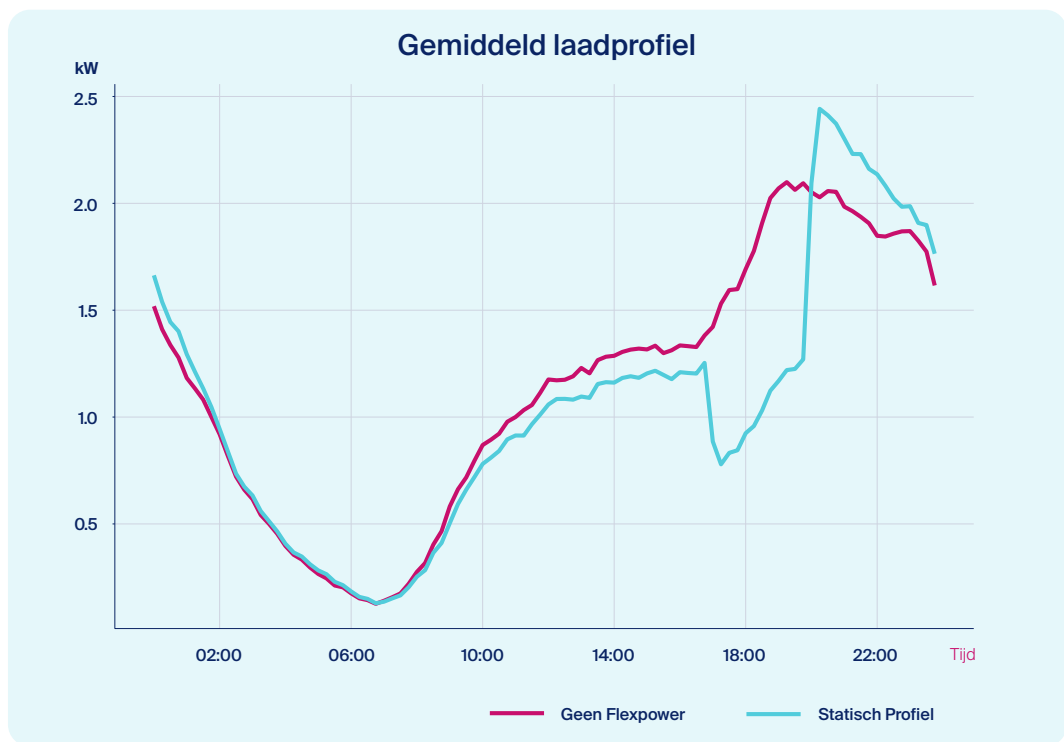
3.1.3.1 Praktijkervaring 2017-2020 in Amsterdam, Gelderland en Overijssel

In Amsterdam (project Flexpower1 en project Flexpower2) en in Gelderland en Overijssel (project variabele netcapaciteit Gelderland/Overijssel) is de afgelopen jaren ervaring opgedaan met het toepassen van een technisch afgedwongen variabel capaciteitsprofiel op publiek laden. In Amsterdam vond dit plaats zonder gebruikersinteractie (figuur 4), in Gelderland/Overijssel werd de EV-rijder de mogelijkheid geboden het Smart Chargingprofiel te weigeren.



Figuur 4: Het profiel zoals dat gebruikt is in Flexpower2: een beperking tijdens de vroege avond en de mogelijkheid om op zonnige dagen met extra vermogen te laden tijdens de zonproductieuren.

De ervaring uit beide proeven is dat het beperken van de laadsnelheid tijdens piekuren voor alle betrokken stakeholders acceptabel is: de laadpaalexploitant (CPO) verhandelt nagenoeg evenveel kWh doordat op andere momenten geladen kan worden, de netbeheerder ervaart minder druk tijdens de uren van huishoudelijke piekbelasting en de EV-rijder heeft maar beperkt de behoefte het profiel te overrulen (3% van de sessies in de proef Gelderland/Overijssel maakte hier gebruik van, waarvan slechts een gedeelte daadwerkelijk kort parkeerde én de overgrote meerderheid van de gebruikers deze functionaliteit slechts één keer gebruikte (vermoedelijk om deze te testen)).



Figuur 5: Het laden met een statische laadbeperking tijdens de piekuren leidt, na opheffing van de beperking, tot een tweede piek in de vermogensvraag. Bij hoge aantallen auto's kan deze tweede piek op zichzelf tot overbelasting gaan leiden.

Een nadeel van een dergelijk opgelegd statisch capaciteitsprofiel is dat de natuurlijke spreiding van aankoppeltijden ontbreekt op het moment waarop de beperkte laadsnelheid wordt opgeheven. Hierdoor ontstaat een abrupte extra vermogenspiek in de late avond (figuur 5), die op zichzelf tot problemen kan leiden voor de netbeheerder, ook al is de huishoudelijke vermogensvraag op dat moment gering ([verslag Gelderland/Overijssel](#); [verslag Flexpower2](#)). Daarnaast is de ervaring dat de individuele wijze van aansturing de aanwezige netcapaciteit niet optimaal benut: het is op rustige dagen een vorm van “overkill” om het profiel toe te passen op alle laadpunten in een gebied, terwijl er nauwelijks laadvraag is. Er kan met een statisch profiel namelijk geen rekening gehouden worden met de daadwerkelijke benuttingsgraad van het net.

De leerervaringen uit bovengenoemde proeven vormden direct de aanleiding voor de variant van Smart Charging die in Flexpower3 is onderzocht en waarvan de resultaten hier beschreven worden.

4 Smart Charging in Flexpower3

In het Strategisch Plan voor Laadinfrastructuur van de gemeente Amsterdam staat als doelstelling opgenomen:

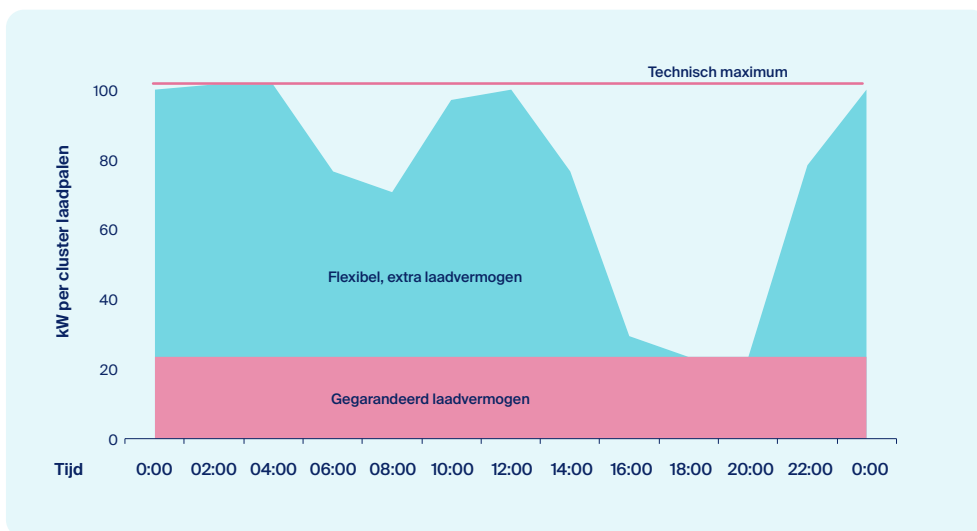
“Met name personenvoertuigen die 's avonds langer parkeren dan dat ze laden, kunnen flexibel laden: langzaam of niet laden als het druk is op het elektriciteitsnet en sneller laden als het rustiger is op het net óf als er veel duurzame energie beschikbaar is die lokaal is opgewekt (door bijvoorbeeld zonnepanelen op het eigen dak). Door in het laadproces rekening te houden met de belasting van het elektriciteitsnetwerk, kan dat netwerk méér laadpunten aan, wordt de betrouwbaarheid van het net vergroot en zijn minder investeringen in het net nodig.”

Daarnaast heeft Amsterdam de wens opgenomen om het beschikbare laadvermogen te kunnen verdelen over aanwezige auto's en zo dus dynamisch te laden.

Om het ontstaan van een “tweede vermogenspiek”, zoals beschreven in de inleiding, na een capaciteitsbegrenzing zoveel mogelijk te voorkomen, het net optimaal te benutten en tot een eerlijke tariefstelling te komen die recht doet aan de eerste twee doelen, is voor Flexpower3 het volgende profiel ontwikkeld:

- 1) Alle laadpunten die achter dezelfde transformator/middenspanningsruimte geschakeld zijn worden als groep geclusterd in de aansturing van het laden.
- 2) De laadpunten krijgen als cluster een basiscapaciteit (lager dan de technische aansluitwaarde) die gegarandeerd is. De Charge Point Operator betaalt hiervoor (bij invoering als regulier product) een daarbij passend nettatarief.
 - Een laadsessie kan meer vermogen dan het basisvermogen krijgen als niet alle laadsockets binnen een cluster bezet zijn, of wanneer een sessie binnen hetzelfde cluster ten einde komt. Vice versa kan het vermogen beperkt worden zodra een nieuwe sessie elders start; echter nooit onder de gecontracteerde vermogenswaarde.
- 3) Op de momenten waarop (lokaal) meer capaciteit in het stroomnet beschikbaar is, kunnen laadclusters, op aanwijzing van de DSO, kosteloos meer vermogen gebruiken dan de basiscapaciteit, tot aan het technische maximum van de aansluiting.
- 4) Om te bepalen of er voldoende netcapaciteit beschikbaar is wordt in eerste instantie gekeken naar het aantal laadpunten achter één transformator. We onderscheiden hierbij in de uiteindelijke productontwikkeling na een succesvolle pilot 2 situaties:
 - Zolang het aantal laadpunten de transformator niet kan overbelasten, zelfs niet wanneer alle sockets maximaal bezet zijn, is er altijd extra netcapaciteit beschikbaar. Er is dan geen communicatie tussen de DSO en de CPO nodig.
 - Zodra het aantal laadpunten theoretisch de transformator kan overbelasten, worden real-time metingen gebruikt en worden dynamische profielen per cluster ingevoerd. Voor dit laatste is een real-time koppeling tussen de netbeheerder en CPO vereist (bijvoorbeeld via IEC 62746-10-1 ED1 (OpenADR of OSCP))
- 5) In de pilot Flexpower3 is gewerkt met een fictieve transformatorbegrenzing, waardoor altijd sprake is van de onder 4b genoemde situatie. Daardoor kunnen we daadwerkelijk zien hoe de profielen het laadvermogen sturen.

Figuur 6 geeft een voorbeeld van het basisprofiel en de vrije netcapaciteit zoals die van toepassing kan zijn op een cluster van laadpalen.



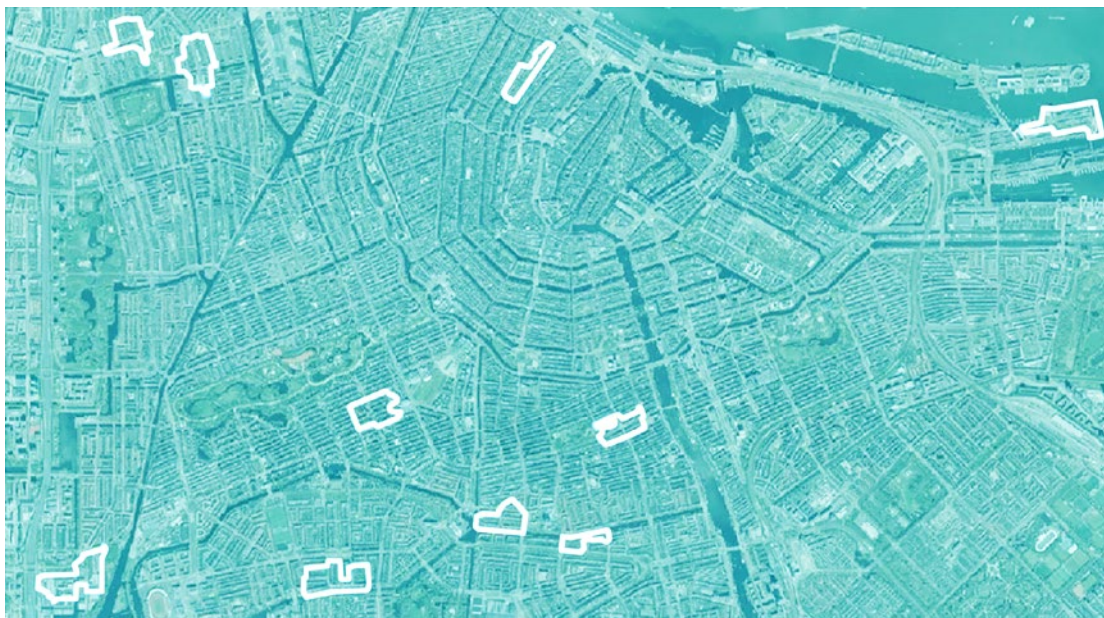
Figuur 6: voorbeeldweergave van het voorgestelde capaciteitsmodel in Flexpower3 op een cluster van laadpalen. De omvang van het toegestane vermogen per laadpunt wordt bepaald door de ruimte op het net in combinatie met het aantal ladende voertuigen op hetzelfde netdeel.

In het project werd ten eerste het aansturen op een (steeds lagere) basiscapaciteit onderzocht. Vervolgens is op basis van daadwerkelijke metingen uit de middenspanningsruimtes waarop de laadpalen waren aangesloten vrije netcapaciteit toegevoegd. Tenslotte is een analyse uitgevoerd van de mogelijkheden om binnen het toekennen van de capaciteit onderscheid te maken op basis van statistische inschattingen van de parkeertijd per voertuig en is de potentie van deze vorm van Smart Charging op de toekomstbestendigheid van de elektriciteitsnetten berekend.

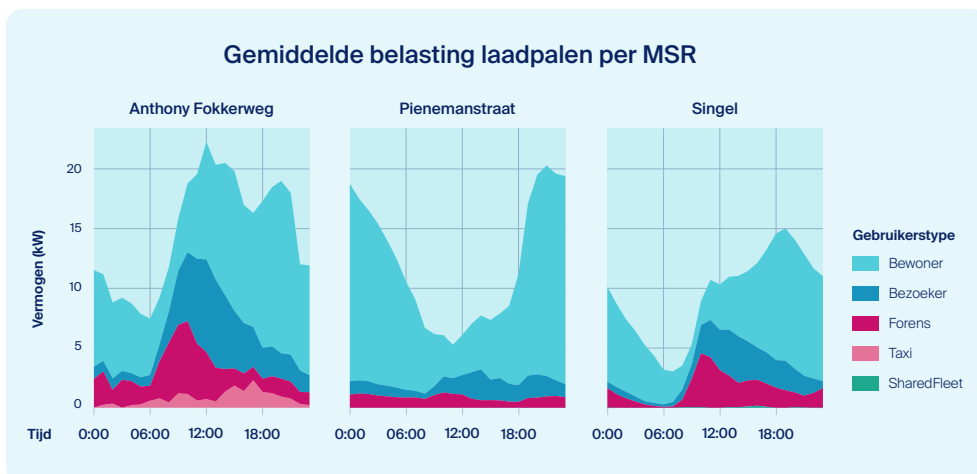
5 Pilotgebied en aanpak

Door Liander zijn bij aanvang van het project tien gebieden geïdentificeerd waar zes of meer laadpalen (twaalf of meer laadsockets) op één transformator aanwezig waren. Het betrof hierbij zowel situaties waarin alle laadobjecten op dezelfde kabel waren aangesloten als situaties waarin de transformator meerdere kabels met laadobjecten voedde. Voorafgaand aan het starten van het slim laden op basis van clustering zijn alle middenspanningsruimtes voorzien van meetapparatuur op zowel de transformator als op de kabel(s) waarop het laden plaatsvond.

Figuur 7 laat de locatie van de tien gebieden zien en figuur 8 geeft voor alle tien gebieden het geïdentificeerde verbruik in de periode 2019-2020 weer. De gebieden zijn divers in type EV-rijders dat er laadt.

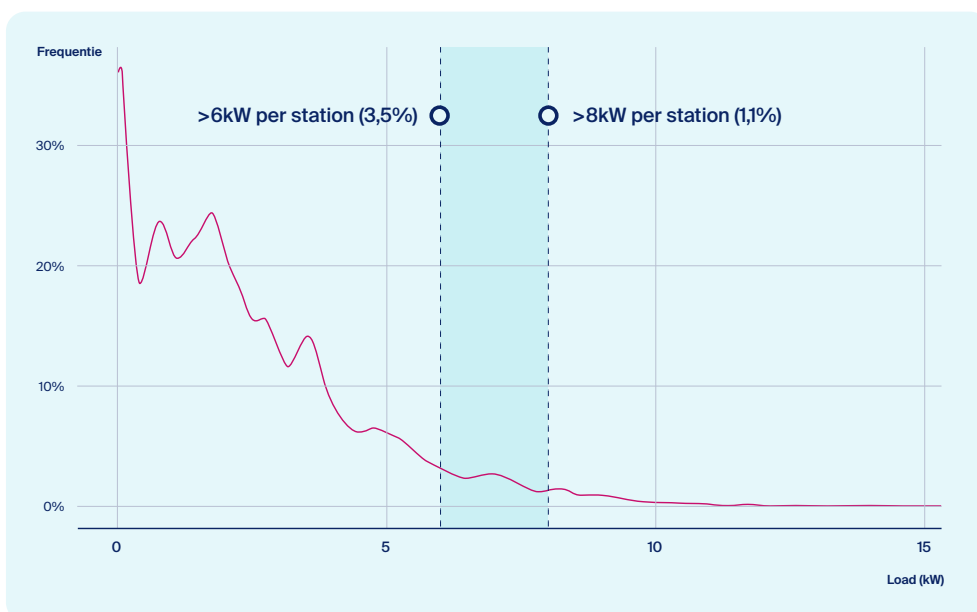


Figuur 7: de tien gebieden, allen in het centrum van Amsterdam, waarin de proef Flexpower3 werd uitgevoerd.



Figuur 8: distributie van het laadvermogen en het type gebruikers voor drie van de tien clusters. Een aantal clusters wordt intensiever gebruikt dan gemiddeld en bij een aantal is de impact van forensen of bezoekers groter dan gemiddeld. Over het geheel genomen vormen de tien gebieden een diverse basis voor de proef.

Om te bepalen wat de range van geschikte basiscapaciteiten voor de clusters zou kunnen zijn, is de frequentie van alle binnen een cluster gelijktijdige vermogens geanalyseerd. Bij 100% bezetting in combinatie met een optimaal laadvermogen van de aangekoppelde auto's zou het geleverde vermogen per laadpaal maximaal 25 Ampère x 3 fasen x 230 Volt, oftewel 17,2 kW per laadpaal zijn. De frequentiestaat in figuur 9 geeft een indruk van de gemiddelde bezettingsgraad van de laadclusters. Een gemiddeld laadvermogen per laadpaal onder 5 kW vormt het grootste aandeel van de sessies. 5 kW geleverd vermogen komt, uitgaande van een op 3 fasen ladende auto, neer op een instelwaarde van 7 Ampère per fase. Veiligheidshalve is gekozen om te starten met 10 A per fase (bij deze instelwaarde werd geen impact van het clusteren verwacht).



Figuur 9: verdeling van de maximale vermogensvraag voor laadpalen met een technische capaciteit van 3x25A, oftewel 17,25kW. Bij dubbele bezetting van een laadpaal krijgen beide aangesloten auto's elk 11 Ampère (maal 3 fasen).

In de aanpak werd bepaald dat elke instelwaarde van de basiscapaciteit gedurende ongeveer twee weken operationeel zou zijn, waarna geëvalueerd zou worden of er impact op de laadervaring (geladen kWh en aandeel laadsessies waarvan het laden nog niet afgelopen was ten tijde van het verbreken van de connectie met de laadpaal) was. Dit werd vervolgd tot de situatie was bereikt waarop aannemelijk was dat EV-rijders iets gingen merken van de laadsturing. Vanaf dit moment werd gestart met het toevoegen van vrije netcapaciteit.

Om de EV-rijders te informeren over de proef werden alle deelnemende laadpalen voorzien van stickers (figuur 10). Ook werd in de beginperiode van het project door de Hogeschool van Amsterdam een enquête gehouden onder aanwezige EV-rijders in alle tien deelnemende gebieden.



Figuur 10: één van de deelnemende laadpalen, voorzien van een sticker met korte toelichting over het project en een QR-code die verwijst naar de website.

“Een gemiddeld laadvermogen per laadpaal onder 5 kW vormt het grootste aandeel van de sessies, als er níet slim geladen wordt.”



6 Resultaten

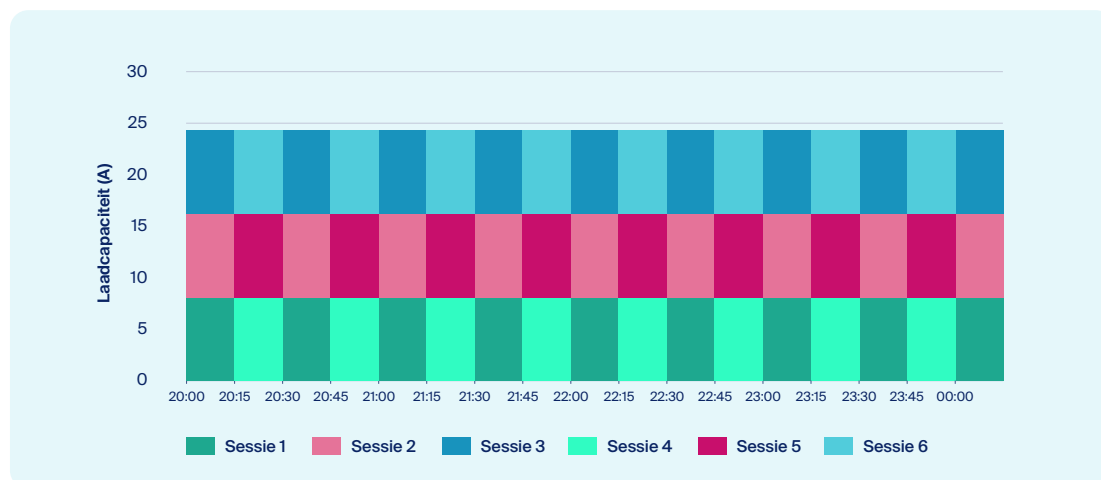
6.1 Fase 1 – Alleen basiscapaciteit

Gekozen is om vanaf 10 Ampère per fase stapsgewijs de basiscapaciteit te verlagen. De aanwezige auto's verdelen per cluster de vastgestelde basiscapaciteit, mits zij een laadbehoefte hebben. Hierbij worden als criterium voor het hebben van een laadbehoefte de statussen "Charging" en "Suspended EVSE" gehanteerd.

Bij weinig auto's zal het laden van de aanwezige auto's niet of nauwelijks afwijken van het normale laadgedrag. Naarmate er meer auto's tegelijkertijd laden gaat van alle ladende voertuigen het laadvermogen omlaag. Om auto's te kunnen laden is echter, conform de hiervoor internationaal geldende normen IEC 61851-1 en ISO 15118:3:2017 en de nationale afspraken in de NAL Smart Charging Requirements 1.9 en 1.10, een minimale stroom nodig van 6 Ampère. Dit betekent dat in een systeem waarin we een beperkte basiscapaciteit beschikbaar stellen de situatie kan ontstaan waarin auto's het laden staken vanwege te lage stroom. Om dit op te lossen is een wachtrijsysteem ontwikkeld, dat ervoor zorgt dat auto's gecontroleerd in én uit de "slaapmodus" gezet worden, voordat alle auto's ongecontroleerd hun laadsessie stoppen. Bij inwerkingtreding van het wachtrijsysteem wordt de auto die als eerste gestart is met laden ook als eerste in de pauzestand gezet. Na 15 minuten wordt de eerstvolgende auto een kwartier in pauze gezet. Bij een erg hoge bezetting kunnen ook twee auto's tegelijkertijd in pauzestand staan. Het wachtrijsysteem wordt opgeheven wanneer een auto de ladende populatie verlaat (vanwege het bereiken van de 100% State of Charge of daadwerkelijk vertrek).

Om er zeker van te zijn dat het wachtrijsysteem goed werkt is in november 2021 een stresstest uitgevoerd. Tijdens deze test werden in één MSR-gebied alle nog vrije laadsockets bezet met auto's van het projectteam. De testpopulatie bestond voor een groot deel uit voertuigen waarvan in eerdere proeven gebleken was dat ze niet voldoen aan de normwaarde van 6A. Op basis van de stresstest is besloten een drempelwaarde van 8A per ladende auto in te stellen. Door ruim boven de normwaarde van 6A te blijven konden we er zeker van zijn dat auto's die niet voldoen aan de norm niet in een ongecontroleerde slaapmodus komen.

De werking van het wachtrijsysteem is in onderstaande figuur middels kleuren weergegeven.

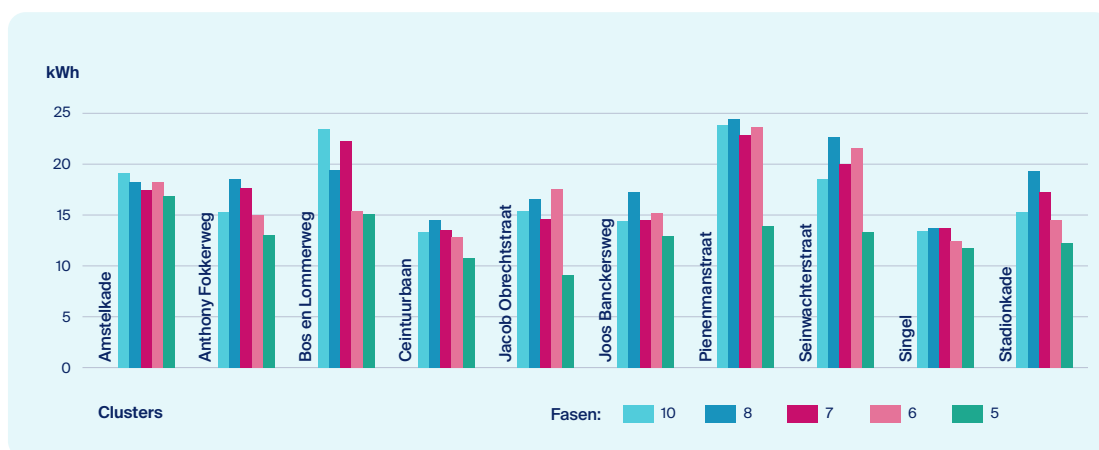


Figuur 11: Illustratie van het wachtrijsysteem. De figuur laat zien hoe de basiscapaciteit verdeeld wordt over de actieve laadsessies (die elk een eigen kleur hebben; zie de legenda).

6.1.1 Alleen basiscapaciteit: Impact op de gebruiker en CPO business case

Een belangrijk aandachtspunt in het verlagen van de basiscapaciteit was het monitoren van de impact op de gebruiker. Hiertoe heeft de HvA een dashboard ontwikkeld waarin het geladen vermogen per middenspanningsruimte (MSR) inzichtelijk is. Vattenfall monitorde de hoeveelheid geladen kWh per sessie, in relatie tot de referentiepopulatie en ElaadNL analyseerde het verloop van de hoeveelheid geladen kWh per sessie, uitgesplitst naar MSR.

Doordat er in de projectperiode een aantal afwijkende periodes waren vanwege enerzijds de covid-19 pandemie en anderzijds de feestdagen was het goed om de impact van de verschillende instelwaarden vanuit meerdere perspectieven te kunnen bekijken. De analyse van Vattenfall, waarin effecten van externe factoren buiten beschouwing waren omdat een vergelijking gemaakt werd met alle andere laadsessies in Amsterdam leek aan te geven dat bij 5A per fase de ondergrens bereikt was voor het laden op alleen basiscapaciteit. De analyse van ElaadNL bevestigde deze aanname (figuur 13). Alhoewel het gedrag per MSR afwijkend is, geeft een visuele interpretatie van het laden per instelwaarde de indruk dat 5A het kantelpunt is.



Figuur 12: gemiddeld geladen kWh per sessie, uitgesplitst naar de tien MSR's en per MSR weergegeven voor de geteste basiscapaciteiten (10, 8, 7, 6 en 5A per fase).

Een beschouwing van het percentage geladen kWh per sessie, gemaakt door de Hogeschool van Amsterdam (tabel 1), liet tenslotte zien dat er vanaf 5A inderdaad sprake was van minder geladen kWh per sessie dan in de Flexpower2 situatie was gerealiseerd.

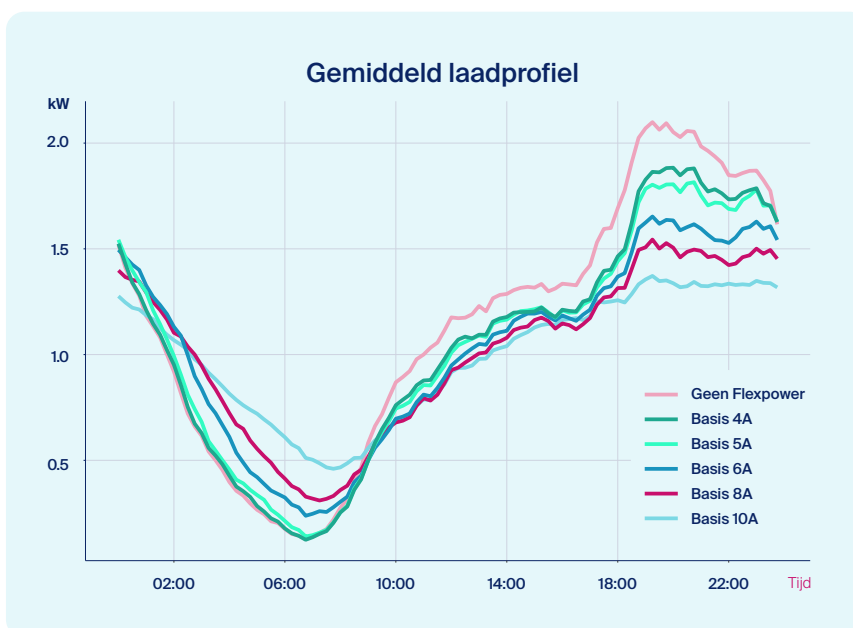
	Flexpower3 Basiscapaciteit 5A	Flexpower2 Statisch profiel	Geen limiet
Maximale percentage reductie piekbelasting	67%	44%	0%
Energie/Sessie (kWh)	16,1 kWh	16,4 kWh	16,9 kWh
Aandeel sessies met zelfde energie t.o.v. geen limiet geladen	87%	94%	100%
Percentage Energie geladen t.o.v. geen limiet geladen	95,2%	97,0%	100%

Tabel 1: vergelijking van de bereikte piekreductie (zie paragraaf 6.1.2) en impact op de hoeveelheid geladen kWh per sessie voor Flexpower3, Flexpower2 en het laden zonder slimme aansturing.

Alhoewel de hoeveelheid geladen kWh met de instelwaarde van 5A per fase nog altijd redelijk hoog was en er geen klachten van consumenten waren ontvangen door Vattenfall en Heijmans, werd geconcludeerd dat een verdere verlaging van de basiscapaciteit zónder de toevoeging van vrije netcapaciteit waarschijnlijk zou gaan leiden tot verminderde klanttevredenheid.

6.1.2 Alleen basiscapaciteit: Impact op het elektriciteitsnet en het inpassen van publieke laadpalen

In onderstaand figuur (figuur 13) is de impact van de sturing uit fase 1 op het gemiddelde laadprofiel te zien. Naar mate de limiet lager wordt, vermindert dit de impact van ladende auto's op het elektriciteitsnet, met name in de avond. De laadsessies lopen daardoor langer door in de nacht, waarmee het totale profiel dus vlakker wordt en het beschikbare vermogen voor de laadpalen effectiever wordt ingezet dan wanneer geen laadsturing zou worden toegepast.

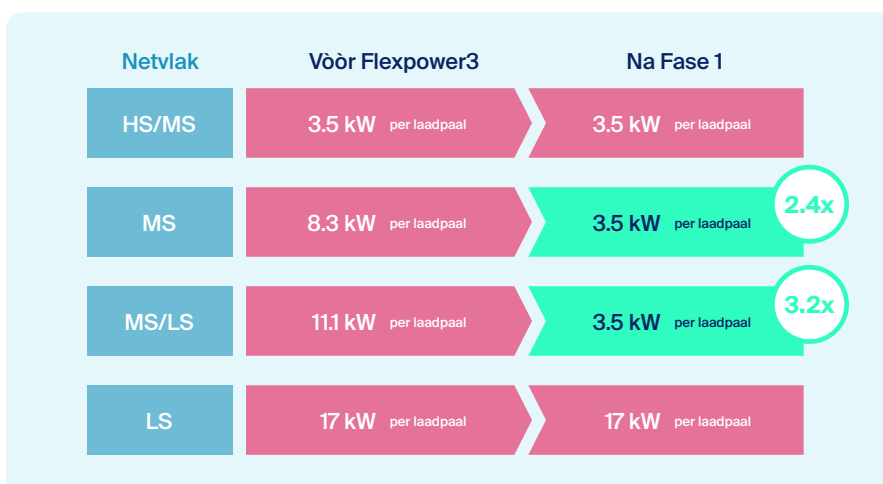


Figuur 13: Dempend effect op het laden tijdens piektijd. Het laden vindt overdag op nagenoeg dezelfde snelheid plaats voor alle situaties. Het laden gaat bij een beperkte basiscapaciteit, wat effectief resulteert in een verlaging van het vermogen tussen 15:00 en 22:00, in de nacht langer door.

Voor het inpassen van publieke laadpalen gaat Liander uit van de verwachte gelijktijdige piekvraag van de laadpalen in eenzelfde gebied. Deze gelijktijdige piekvraag per laadpaal hangt in belangrijke mate af van het aantal laadpalen binnen het gebied dat door één transformator van vermogen wordt voorzien. In het beleid van Liander zijn hiervoor netontwerpregels opgenomen en deze worden met een bepaalde regelmaat herzien. Volgens de geldende netontwerpregels moet voor laadpalen zoals gebruikt zijn in dit project per laadpaal rekening gehouden worden met een gelijktijdige piekvraag van 11,1 kW.

Doordat de piekvraag van de groep publieke laadpalen vermindert door ze een vast vermogen toe te kennen als cluster, biedt dit potentie voor het inpassen van meer publieke laadpalen in het elektriciteitsnet. Daarbij moet onderscheid gemaakt worden in het lokale net en het bovenliggende net. De laadpalen zijn via de laagspanningskabels van het laagspanningsnet (LS-net) aangesloten op het bovenliggende net van Liander in de volgorde middenspanningsruimte (MSR), het middenspanningsnet en stations. De stations worden gevoed door het hoogspanningsnet van TenneT. In de opzet van het project is gekozen om te clusteren op het niveau van de MSR. Dit heeft als consequentie dat de potentie met name ligt in het bovenliggende net (MSR en hoger) en minder bij het lokale net (het LS-net).

Figuur 14 geeft voor de populatie laadpalen van Flexpower3 een vergelijking met het vermogen waarmee Liander deze publieke laadpalen normaal gesproken inpast volgens de netontwerpregels. Op MSR-niveau betekent dat er binnen dezelfde piekvraag 3.2 keer zoveel laadpalen ingepast kunnen worden als voor de proef. Deze resultaten gelden voor de specifieke netsituatie van de deelnemende middenspanningsruimtes en laadpalen aan de proef.

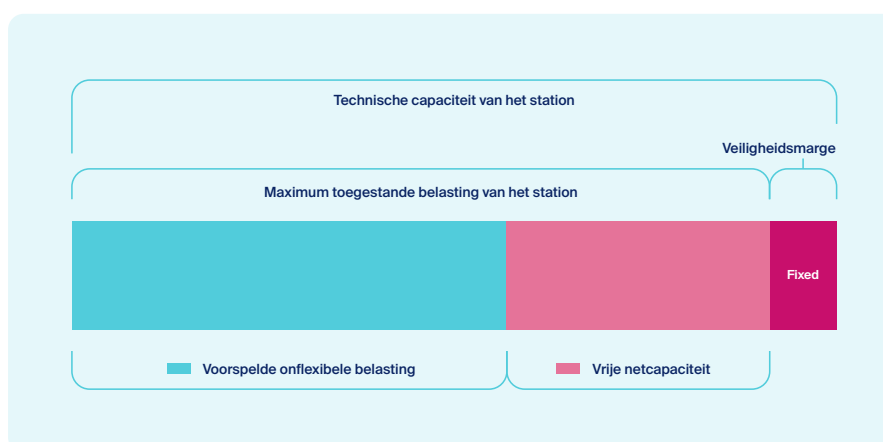


Figuur 14: impact van het vastzetten van de netontwerpregels voor te plaatsen en reeds aanwezige publieke laadpalen door toepassing van Flexpower3 op het laden.

6.2 Fase 2: Toevoegen vrije netcapaciteit

In de tweede fase van het project wordt op basis van metingen in de middenspanningsruimte additionele capaciteit aan de laadpalen toebedeeld indien daarvoor ruimte is. De netbeheerder doet op basis van historische gegevens en verwachtingen een voorspelling van het afgenomen vermogen, exclusief het vermogen van de laadpalen. Daarmee wordt berekend welke ongebruikte ruimte er beschikbaar is. Vervolgens wordt deze voorspelling day-ahead naar de CPO gestuurd middels een OSCP-verbinding. Door te kiezen voor een day-ahead profiel krijgt de CPO de gelegenheid de verwachte laadactiviteiten van tevoren te matchen met de beschikbare vermogens.

In figuur 15 staat schematisch weergegeven hoe de toekenning van vrije netcapaciteit in een uiteindelijke situatie voorzien is. De verwachting is dat uiteindelijk een veiligheidsmarge nodig zal zijn om eventuele onvoorziene omstandigheden op te vangen. Binnen de proef gebeurt het toekennen van vrije netcapaciteit nog zonder gebruik te maken van de veiligheidsmarge, die in onderstaande figuur is weergegeven. Dit wordt in de volgende paragraaf nader toegelicht.



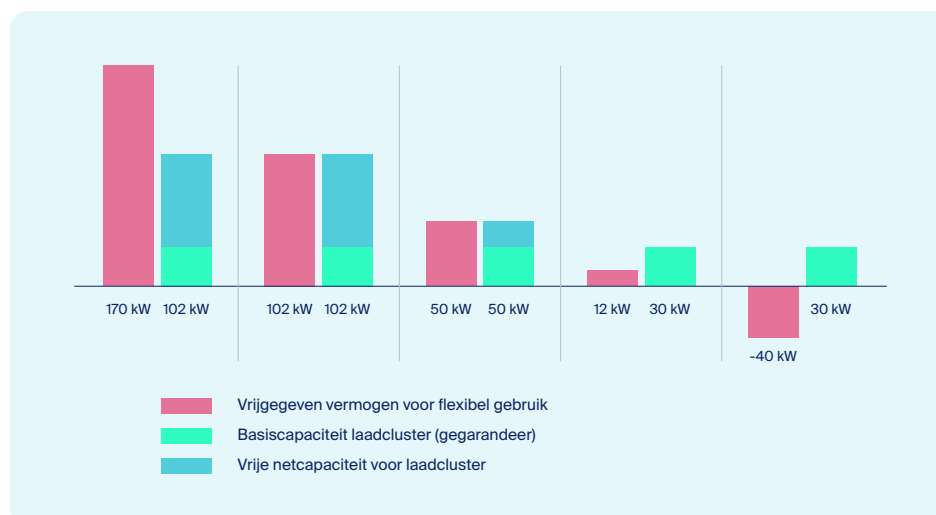
Figuur 15: Schematische weergave van de bepaling van vrije netcapaciteit, per kwartier. De veiligheidsmarge is in het project niet toegepast.

Na analyse van de meetresultaten uit de MSRs bleek dat er in de meeste MSRs momenteel nog ruim voldoende ruimte is om meer laadpalen toe te voegen. Toevoegen van vrije netcapaciteit op basis van de daadwerkelijke metingen zou hier betekenen dat het laden de gehele dag op vol vermogen zou kunnen plaatsvinden, wat ongewenst is gezien de onderzoeksvragen van het project (bijlage 1). Er is in deze proef daarom gekozen om met een virtuele limiet te werken die veel lager was dan de daadwerkelijke fysieke limiet. Op deze manier kon toch het effect van het laadconcept worden onderzocht voor toekomstige situaties waarin er daadwerkelijk sprake is van congestie. Doordat er in deze situatie geen stress op het net ontstaat wanneer de gebruikte limiet onverhoopt wordt overschreden kon worden besloten om geen veiligheidsmarge te gebruiken.

Er kunnen er zich op basis van de beschikbare netcapaciteit 4 situaties voordoen, weergegeven in figuur 16.

- 1) Het kan zijn dat er meer beschikbare ruimte is (in het voorbeeld 170kW) dan de laadpalen fysiek aankunnen (102kW). In dat geval wordt alleen de 102 kW toegewezen.
- 2) Dit zal ook zo zijn indien de vrije ruimte overeenkomt met deze waarde.
- 3) Indien er minder ruimte beschikbaar is (voorbeeld 50kW) maar nog steeds meer dan basiscapaciteit, zal deze ruimte worden toegewezen aan de laadpalen.
- 4) Is er echter minder ruimte dan de basiscapaciteit beschikbaar (30kW) of zelfs helemaal geen ruimte, dan blijft de basiscapaciteit nog steeds mogelijk voor de laadpalen, zelfs als er een tijdelijke overvraging is van het elektriciteitsnet.

Ook in een uiteindelijke grootschalige uitrol van het concept geclusterd laden met toevoeging van vrije netcapaciteit zal de basiscapaciteit altijd gegarandeerd moeten blijven, aangezien de CPO hier dan een contract voor zal hebben. Dit is de reden waarom voorzien wordt dat op termijn een veiligheidsmarge op het toekennen van vrije netcapaciteit noodzakelijk zou kunnen zijn.

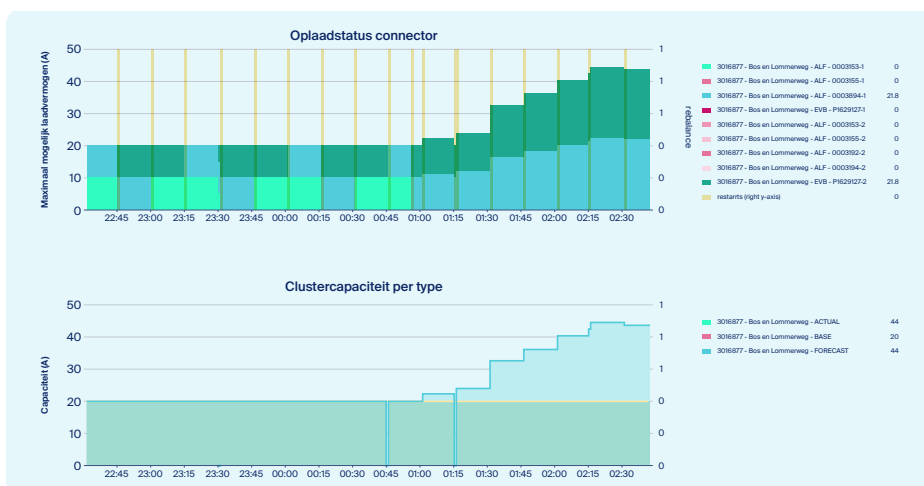


Figuur 16: effect op de daadwerkelijk bruikbare clustercapaciteit bij toekennen van vrije netcapaciteit.

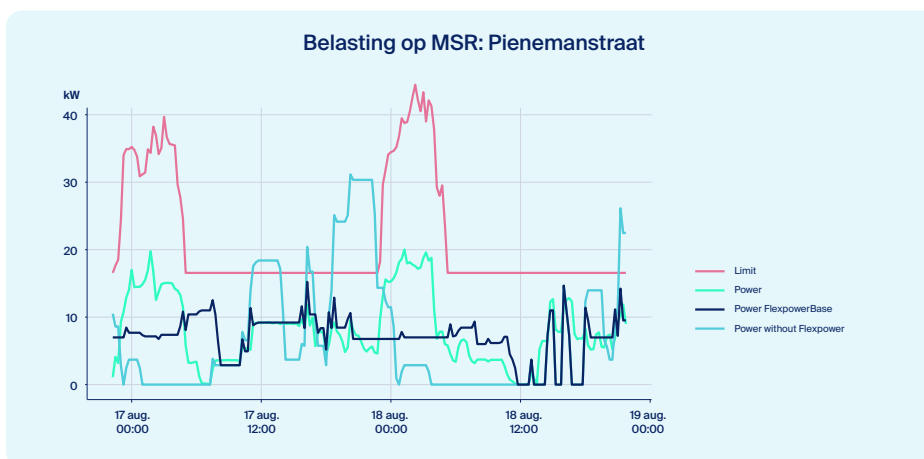
6.2.1 Impact op de gebruiker en CPO business case

De door de netbeheerder vrijgegeven extra netcapaciteit, die bepaald is op basis van de metingen uit de transformator in combinatie met de logica zoals hierboven beschreven, wordt door de CPO via OSCP2.0 ontvangen en toegevoegd aan het basisvermogen van het laadcluster.

In figuur 17 is goed te zien hoe het laden van de elektrische voertuigen direct profiteert van het extra vermogen. In de figuur is ook duidelijk te zien dat het laadcluster op de gewenste manier reageert op twee kleine fouten in het profiel dat de netbeheerder verstuurde: het toegestane vermogen blijft op deze twee momenten het basisvermogen.



Figuur 17: door de toevoeging van vrije netcapaciteit vanaf 1 uur 's nachts krijgen de dan actieve laadsessies meer vermogen beschikbaar om mee te laden.



Figuur 18: verschuiving van het laden door het toekennen van geclusterde basiscapaciteit, inclusief de respons op vrijgekomen extra netcapaciteit.

Bovenstaande figuur laat zien wat de impact van de verschillende profielen (geen slim laadprofiel, Flexpower3 met alleen basiscapaciteit en Flexpower3 inclusief vrije netcapaciteit) is op het afgenomen vermogen in het geval van de MSR Pienemanstraat op 18 augustus. De profielen van het vermogen zonder Flexpower (PowerWithoutFlexpower (Paars)) en Flexpower met alleen basis vermogen (PowerFlexpowerBase (Blauw)) zijn in deze figuur tot stand gekomen op basis van simulaties. De groene lijn (Power) geeft het daadwerkelijke laadgedrag van de laadpalen in dit gebied weer. Duidelijk is dat er gedurende de eerste periode van de dag een grotere laadvraag is dan de limiet (Rood) die door Liander is gesteld. Het vermogen zonder het Flexpower3 algoritme zou deze limiet ruimschoot overschrijden. Het vermogen van Flexpower3 basis en Flexpower limiet is gelijk, omdat de uitgestuurde limiet van Liander op het minimum zit. Later op de dag is er meer ruimte beschikbaar, waardoor er met meer

vermogen kan worden geladen. Op bepaalde momenten van de dag is het laadvermogen in de laadsessies met alleen basisvermogen hoger dan in de laadsessies waarin ook vrije netcapaciteit beschikbaar was, omdat er dan langer auto's overblijven die nog niet volgeladen zijn. Samengevat kan gesteld worden dat het gevraagde vermogen zowel in de variant met als zonder vrije netcapaciteit in de tijd verschoven wordt, meer naar de nachtelijke uren.

Het beschikbaar stellen van een basisvermogen, al dan niet met vrije netcapaciteit er aan toegevoegd, zou mogelijk niet alleen resulteren in langere laadtijden, maar ook kunnen leiden tot minder opgeladen energie tijdens de individuele oplaadsessie. Dit is niet wenselijk voor de gebruiker en evenmin voor de business case van de CPO. In het project is om dit te controleren gemeten hoe vaak en hoe veel energie er minder zou zijn geladen door toepassen van het Flexpower3 profiel. Daartoe zijn simulaties gedaan van dezelfde laadsessies die in werkelijkheid zijn uitgevoerd met het Flexpowerprofiel, maar dan in een situatie waarin de volledige netcapaciteit (3 x 25A per laadpaal) wél continu beschikbaar was.¹ Deze impactanalyse is gedaan in augustus 2022.

In tabel 2 is zichtbaar wat de impact van Flexpower3 is. Het aandeel negatief beïnvloede laadsessies in het basis profiel (4A) is 22%. Als er gekeken wordt naar de hoeveelheid energie die in deze sessies minder wordt geladen, dan is dit 6,7% minder ten opzichte van de geladen energie zonder Slim Laden. Dit zou verbeterd kunnen worden door de basiscapaciteit iets te verruimen naar 5A (13% van de sessies heeft dan 4,8% minder kWh geladen), maar dit gaat ten koste van de maximale reductie in piekbelasting. De grootste winst kan behaald worden door het toevoegen van de vrije capaciteit waardoor de impact het kleinst is (3,8% minder geladen) en het elektriciteitsnet toch wordt ontzien. 3,8% minder geladen energie is in de praktijk 0,6 kWh, goed voor gemiddeld 3km reikwijdte (verbruik 20kWh/100km). In vergelijking met het statische profiel dat in Flexpower2 werd gebruikt zien we dat daar de impact op de gebruiker minder was, maar vergelijkbaar met 4A + vrije capaciteit, terwijl de reductie in piekbelasting flink minder was.

	Flexpower3 Basis (4A)	Flexpower3 Basis (5A)	Flexpower3 (4A) + Vrije Capaciteit	Flexpower2 Statisch profiel	Geen limiet
Maximale percentage reductie piekbelasting	74%	67%	74%	44%	0%
Energie/Sessie (kWh)	15,8 kWh	16,1 kWh	16,3 kWh	16,4 kWh	16,9 kWh
Aandeel sessies met zelfde energie t.o.v. geen limiet geladen	78%	87%	89%	94%	100%
Percentage Energie geladen t.o.v. geen limiet geladen	93,3%	95,2%	96,2%	97,0%	100%

Tabel 2: vergelijking van de prestaties van het toevoegen van vrije netcapaciteit binnen de Flexpower3 methodiek ten opzichte van andere vormen van laadsturing en de situatie zonder laadsturing.

¹ Tijdens deze simulatie wordt onderscheid gemaakt tussen laadsessies die ondanks het Flexpower profiel toch al volledig waren opgeladen en laadsessies die bij het beëindigen van de laadsessies nog bezig waren met opladen. Deze laatste groep had in potentie meer kunnen opladen (hoeveel is echter onbekend, omdat de State of Charge van de accu niet beschikbaar is). Gedurende de simulatie is de energie die additioneel opgeladen kon worden gemaximeerd op 25% van de daadwerkelijk geladen energie. Hierdoor werden onmogelijke oplaadsessies met veel energie voorkomen.



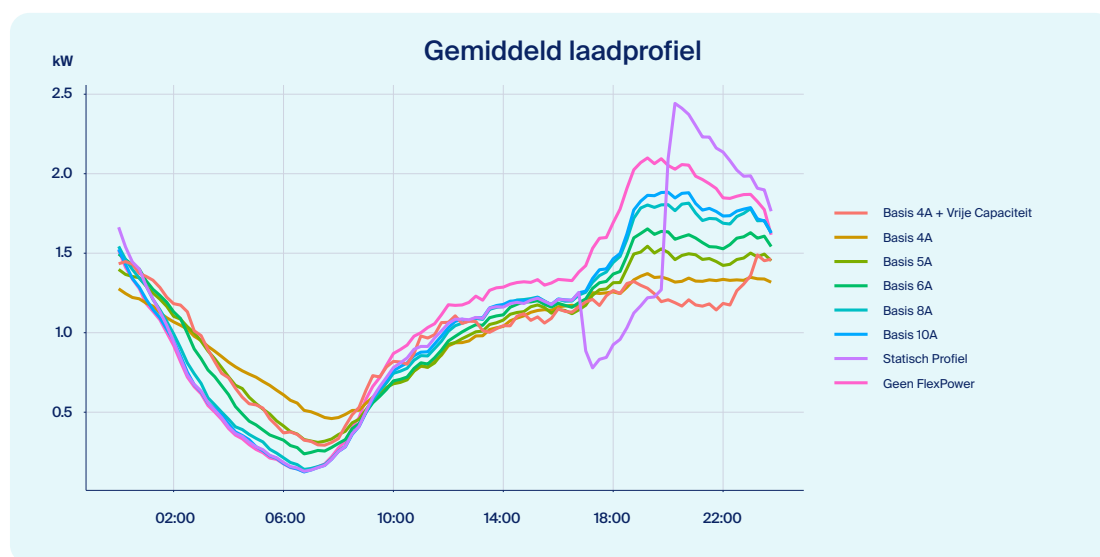
“Slim laden volgens deze insteek betekent dat er ruimte ontstaat voor 3 tot 4 keer meer laadpalen, binnen dezelfde netimpact”

Onder alle Flexpower profielen wordt het gemiddeld geladen vermogen per kwartier lager dan in de ongestuurde situatie en daardoor wordt logischerwijs de laadtijd iets langer. Zonder Flexpower zouden sessies slechts 2:36 uur gebruiken om op te laden (tegenover gemiddeld gezien 12 uur connectietijd), met Flexpower3 (4A+ vrije capaciteitsprofiel) is dit 3:48 uur. Onder het profiel zonder vrije capaciteit is dit 4:18 uur.

Nadere inspectie van de laadsessies waarbij minder wordt opgeladen laat zien dat met name korte laadsessies (minder dan 5 uur) minder laden door het Flexpower3 profiel. Het minder beschikbare vermogen op deze momenten valt binnen de marge die een elektrische rijder zou kunnen verwachten op basis van andere vergelijkbare situaties, zoals wanneer een 2e auto aan de laadpaal staat (22% minder vermogen beschikbaar) of laadpleinen. Echter geven de resultaten wel aan dat de CPO business case nadelig beïnvloed wordt ten faveure van het reduceren van de piekbelasting. Toekomstige aansluitcontracten zouden hier rekening mee kunnen houden door de gecontracteerde CPO hiervoor te compenseren, bijvoorbeeld met een tariefstructuur op basis van basiscapaciteit en vrije capaciteit.

6.2.2 Impact op elektriciteitsnet en het inpassen van publieke laadpalen

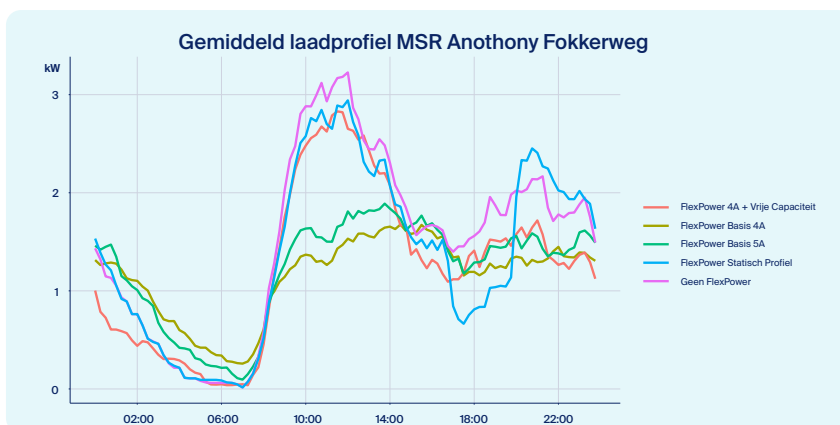
In figuur 19 worden de verschillende laadprofielen over de dag weer gegeven bij MSR Pienemanstraat.



Figuur 19: Depend effect op het laden tijdens piektijd voor de verschillende instelwaarden van het Flexpower3 concept (4 t/m 10A per fase). Het effect van het toevoegen van vrije netcapaciteit is duidelijk te zien. Deze sessies laden overdag met meer vermogen en zijn daarom 's avonds eerder klaar met laden.

De figuur laat duidelijk zien dat de nieuwe Flexpower profielen (Flexpower3 én het statische Flexpowerprofiel uit de twee eerdere projecten) allen een significante reductie in de vermogensvraag in de avonduren laten te zien t.o.v. geen Flexpower profiel (Roze). Het statische Flexpower profiel (Paars) geeft reductie tijdens de piekuren (17:00-20:00u) maar daarna een significante rebound piek. Bij de Flexpower3 profielen wordt de vermogensvraag naar de nachtelijke uren verschoven, waarbij opvalt dat de vrije capaciteit (Rood) ervoor zorgt dat dit wat vroeger in de nacht plaatsvindt. Gedurende de middag liggen de profielen ongeveer gelijk en kan bijna altijd worden voldaan aan de maximum gevraagde vermogens.

De laadprofielen variëren significant tussen de verschillende MSRs. Onderstaand figuur geeft het profiel van de MSR Anthony Fokkerweg weer. Dit is een MSR die behalve woningen ook kantoren van elektriciteit voorziet. Het profiel laat duidelijk zien dat er in de ochtend veel auto's aanwezig waren, op een moment dat er ook vrije capaciteit beschikbaar was. In de avonduren is een kleinere piek zichtbaar. Een statisch profiel rondom de avondpiektijden heeft in deze casus weinig impact en zorgt alleen voor mogelijke overlast bij de elektrische rijders. Een kleinere mismatch met statische profielen was ook al zichtbaar bij MSR Pienemanstraat (figuur 19) waarbij de hogere vermogensvraag pas wat later op de avond intreedt en niet gedurende de doorgaans als piektijd bekende periode van 17:00 tot 20:00.

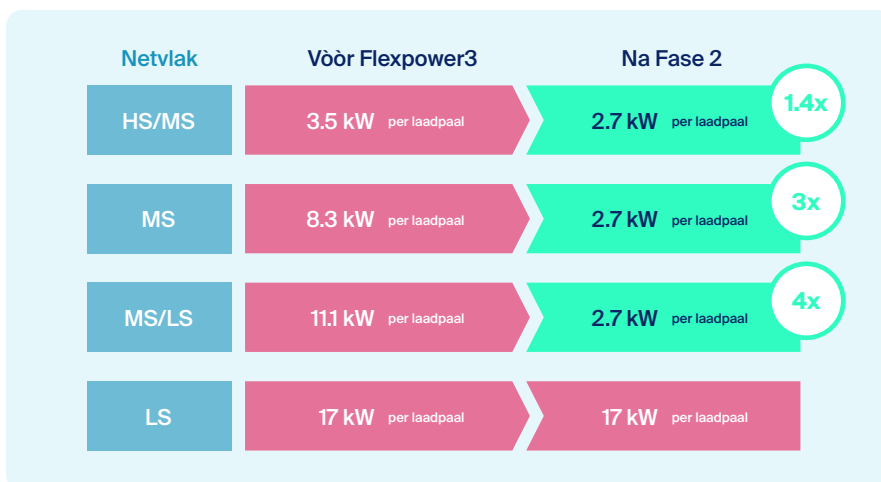


Figuur 20: dezelfde situatie als in figuur 21, maar voor een wijk met een andere vermogensvraag, veroorzaakt door de aanwezigheid van kantoorpanden.

Het piekvermogen wordt door de basiscapaciteit (4A) gereduceerd met 56 tot 74%, afhankelijk van de locatie. Gemiddeld gezien is er een reductie van 26% van het vermogen.

6.2.3 Impact op de middenspanningsruimte

Omdat de basiscapaciteit verder verlaagd is naar 4A per laadpaal per fase, is ook de potentie voor het inpassen van publieke laadpalen in het elektriciteitsnet van Liander verhoogd. In het figuur 21 is aan de linkerkant voor de populatie laadpalen binnen het project het vermogen waarmee Liander deze publieke laadpalen inpast volgens de huidige netontwerpregels weergegeven. Met de kennis vanuit het project Flexpower3 is nu bekend dat Liander dezelfde laadpalen zonder noemenswaardig verlies aan laadcomfort met een veel lagere gelijktijdige piekvraag per laadpaal in het netontwerp kan opnemen. Op MSR-niveau betekent dit dat er binnen dezelfde piekvraag 4 keer zoveel laadpalen ingepast kunnen worden als voor het project. Voor het inpassen van de laadpalen hoeft met de toegevoegde vrije netcapaciteit geen rekening gehouden te worden, omdat deze zich aanpast aan de ruimte die er op de dag zelf nog beschikbaar is.

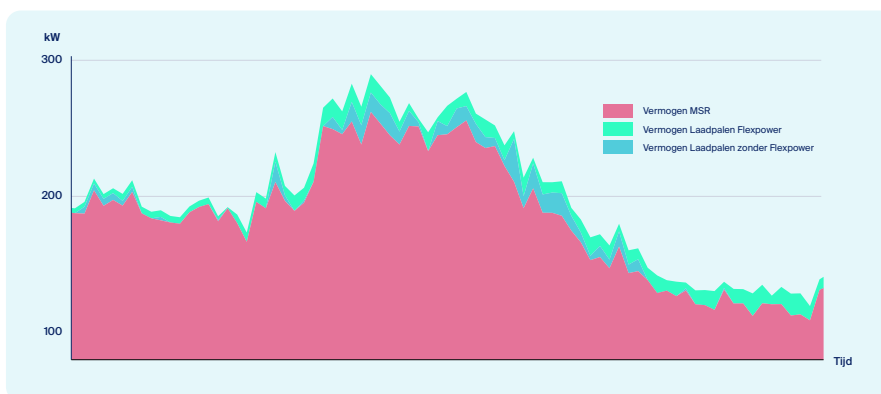


Figuur 21: impact van het vastzetten van de netontwerpregels voor te plaatsen en reeds aanwezige publieke laadpalen door toepassing van Flexpower3 op het laden, inclusief toegevoegde vrije netcapaciteit.

Het doel van Flexpower3 is, behalve het beter faciliteren van de transitie naar duurzame mobiliteit, om overbelasting op de middenspanningsruimte te voorkomen en/of uitbreidingsinvesteringen te kunnen uitstellen. Daarvoor is belangrijk om in te schatten welk aandeel laadpalen in de totale belasting hebben en in welke mate het Flexpower3 algoritme daarin kan bijdragen.

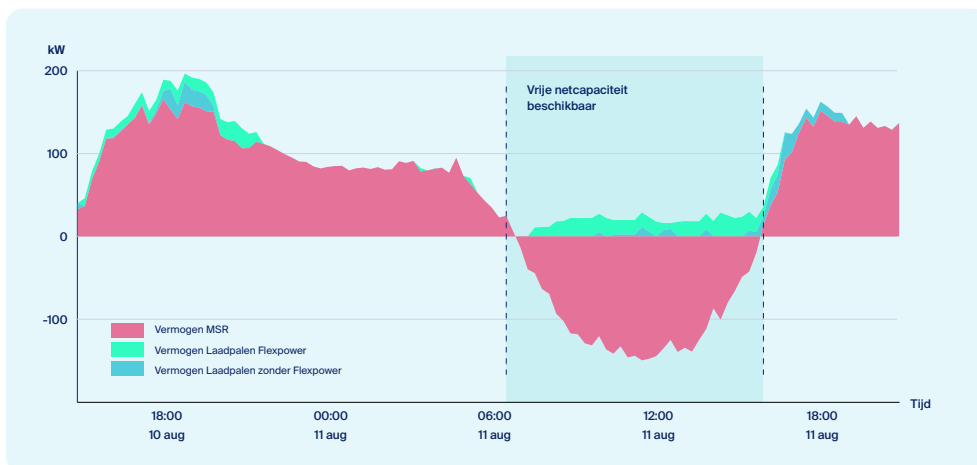
Een visuele bijdrage van Flexpower3 is in onderstaande figuur (figuur 22) weergegeven. Het blauwe vlak geeft weer welk additioneel vermogen gevraagd zou worden indien Flexpower niet in gebruik was. Het groene vlak geeft het aandeel aan van de laadpalen met Flexpower.

Op piekbelastingmomenten van de middenspanningsruimte zijn laadpalen zonder Flexpower3 verantwoordelijk voor tussen de 5 en 21% van het totale piekvermogen afhankelijk de gekozen middenspanningsruimtes. Met een Flexpower3 profiel is dit tussen de 3 en 10%. Gezien de groei van het aantal laadpalen (naar verwachting in Amsterdam tot 3,6 keer meer in 2025 en 5 keer meer in 2030), zou het aandeel in de belasting door laadpalen zeer significant kunnen worden. Deze resultaten laten zien dat dit aandeel sterk gereduceerd kan worden.



Figuur 22: De impact van het laden van de 6 laadpalen is duidelijk zichtbaar ten opzichte van de standaard vermogensvraag van de huishoudens. Ook is goed zichtbaar hoe het laden onder aansturing van Flexpower3 verschoven is in de tijd.

Niet alleen de toename van het aantal elektrische auto's is een uitdaging. Ook het naar verwachting steeds grotere aandeel van lokale duurzame opwek is een uitdaging waar Flexpower3 een oplossing voor biedt. Op momenten dat er overschot door zonproductie is op de middenspanningsruimte, wordt het profiel zo gestuurd dat de laadpalen op maximaal vermogen kunnen draaien. Een voorbeeld is in onderstaande grafiek te zien. Flexpower3 vormt dan geen limiet om juist lokaal opgewekte zonne-energie te consumeren.



Figuur 23: huidige situatie; in 2025 zijn er al 3,6 keer meer laadpalen in Amsterdam (bron: Locatieplan openbare laadpalen)

Theoretisch is het mogelijk om in de aansturing rekening te houden met een knelpunt hoger in het net; daarvan bestaan nu alleen nog geen praktijksituaties.

6.3 Gebruikerservaringen

Meldingen per voertuigtype	Aantal van _fd_id	Meldingen per gebruiker	Aantal van _fd_id	Meldingen per type klacht	Aantal van _fd_id
Flex auto	2	Flex auto	2	Flex auto	2
Overig (merk en type in opmerking vermijden)	1	Dhr b***	1	Sessie start niet	2
Volkswagen ID 3	1	van H***	1	load balancing	13
load balancing	13	load balancing	13	Auto laadt niet (volledig)	9
Hyundai Ioniq - volledig elektrisch	2	Sm***	1	Sessie start niet	4
Mercedes Benz C350 - hybride	1	K***	1	flex instellingen	1
Mercedes Benz GLC350 - hybride	1	Mevr. Dies*****	1	Auto laadt niet (volledig)	1
Mini Electric - volledig elektrisch	1	Van t W***	1	Eindtotaal	16
Opel Ampera-e - volledig elektrisch	2	Se**	1		
Opel Corsa-e - volledig elektrisch	1	Dam***	1	Meldingen per maand	Aantal van _fd_id
Overig (merk en type in opmerking vermijden)	3	Dhr. Meer****	2	januari	4
Toyota Prius - hybride	1	Be****	1	Flex auto	1
Move city car	1	Sie****	1	load balancing	3
flex instellingen	1	Mi****	1	februari	7
Overig (merk en type in opmerking vermijden)	1	Mvr. de H****	1	Flex auto	1
Eindtotaal	16	Schouw****	1	flex instellingen	1
		flex instellingen	1	load balancing	5
		Dhr. Cole*****	1	maart	1
		Eindtotaal	16	load balancing	1
				april	1
				load balancing	1
				juni	2
				load balancing	2
				augustus	1
				load balancing	1
				Eindtotaal	16

Figuur 24: Overzicht van de klantcontacten bij Heijmans storingsdienst op Flexpower3 palen in de periode 01-01-2022 t/m 31-08-2022.

Heijmans heeft gedurende de hele projectperiode de meldingen over laadpalen die deelnamen aan de proef nauwlettend gemonitord. In figuur 24 is het totaaloverzicht van alle meldingen in de periode januari tot en met augustus 2022 weergegeven. Slechts één melding betrof een mogelijk probleem met de aansturing vanuit de gebruikte software. Het is, gezien het ontbreken van verdere meldingen, onwaarschijnlijk dat er daadwerkelijk een probleem was in de aansturing. Voor alle overige meldingen geldt dat het feitelijk klantbelevingen zijn en geen echte storingen. De klant gaf bijvoorbeeld aan dat het laden van de auto werd onderbroken. Dit is onderdeel van de inwerkingtreding van het roulatiesysteem dat bij hoge bezettingsgraad noodzakelijk is. De weergegeven meldingen zijn van verschillende gebruikers, de dubbele meldingen zijn uit de resultaten gefilterd.

Naast de klachtencontrole is er tweemaal een enquête gedaan onder gebruikers van de Flexpower3 palen. Daartoe is er op meerdere momenten geflyerd bij de auto's die stonden te laden aan Flexpower3 palen.

Ongeveer de helft van de gebruikers was in de beginfase niet bewust dat er actief gestuurd werd op de laadpaal middels Flexpower3, ondanks dat dit middels een sticker stond aangegeven. Ook hebben veel respondenten niet gemerkt dat het laadgedrag van hun auto werd gestuurd door het Flexpower3 project. Slechts 5 respondenten merkten dat de auto sneller of langzamer werd opgeladen.

Van diegenen die hebben gemerkt dat de auto langzamer is opgeladen geeft 60% aan dat de auto minder is opgeladen dan gewenst. Anderen hebben alleen gemerkt dat er iets is gebeurd met het opladen, maar de auto is wel volledig opgeladen. Dit gaat dus om 16% van alle respondenten van de enquête, dit komt aardig overeen met de gegevens die gemeten zijn.

Over het algemeen werd er positief gereageerd op de doelstelling van Flexpower3 om meer laadpalen in de omgeving mogelijk te maken. Aandachtspunten van de gebruikers waren de laadzekerheid, zodat men zeker wist dat de volgende dag de auto vol was en andere aspecten van het laden, zoals het tegen- gaan van laadpaalkleven.

“Mensen hebben over het algemeen niets gemerkt van het slimme laadprofiel”



7 Conclusies

Ten opzichte van een statisch capaciteitsprofiel levert Smart Charging volgens het Flexpower3 principe een goede demping van de avondpiek op, zónder later in de avond tot een ongecontroleerde tweede piek te kunnen leiden.

Flexpower3 laat zien dat groepen laadpalen in staat zijn om een geaggregeerd capaciteitsprofiel te volgen en dat het goed mogelijk is dit te monitoren. Dit kan door te kijken naar het toegekende vermogen per cluster en dit vervolgens naast de daadwerkelijke belasting van de clusters te leggen.

Een basiscapaciteit van 5 Ampère per fase lijkt de ondergrens te zijn waarop het laden plaats kan vinden binnen de in het project aanwezige cluster grootte (6 tot 7 laadpalen per cluster), zonder dat dit tot noemenswaardige nadelen voor de EV-rijder leidt. Wel resulteert dit in een daling van het door de CPO afgezette aantal kilowatturen van $\pm 5\%$ per laadpaal. Met een basiscapaciteit van 5 Ampère per fase ontstaat anderzijds, wanneer een net overboekt is, tóch ruimte voor 3,2 keer zoveel laadpalen. Dit is een grote winst voor de energietransitie en voor het gebruik van publieke ruimte.

Het toevoegen van vrije netcapaciteit is met voldoende betrouwbaarheid mogelijk vanuit de netbeheerder en uitvoerbaar vanuit de CPO. Dit leidt tot een verbetering van de laadefficiëntie (van 3,2 naar 4 keer meer laadpalen mogelijk binnen dezelfde netimpact), waardoor het net nog beter benut wordt. Ook verbetert het percentage niet-geleverde energie naar 4%. Het toevoegen van vrije netcapaciteit vergt wel een wat hogere investering dan alleen laden op basiscapaciteit, wanneer op basis van realtime metingen laadcapaciteit vrijgegeven wordt.

De kostenbesparing voor de maatschappij is aanzienlijk (vermijden of uitstellen van het verzwaren van middenspanningsruimtes) terwijl de investering aan zowel de zijde van de DSO als bij de CPO beperkt blijkt te zijn. Bovendien zijn de te maken kosten grotendeels eenmalig. Het betreft kosten voor het inrichten en up to date houden van de clusters, voor het maken van het roulatieschema en voor het bepalen en versturen van de vrije netcapaciteitsprofielen.

8 Aanbevelingen

Er is duidelijk toegevoegde waarde van het vrijgeven van beschikbare netcapaciteit. Niet in alle situaties zal deze echter voorhanden zijn. Een veilige keuze is in die gevallen om alleen op basiscapaciteit te laden en daarbij de basiscapaciteit niet té laag te kiezen.

Als we de basisnetcapaciteit, dankzij het vaak genoeg beschikbaar zijn van vrije netcapaciteit, nog wat naar beneden kunnen brengen ontstaat er op hetzelfde elektriciteitsnet nog meer ruimte voor laadpalen.

Er is potentie voor verdere verbetering van het laden, door rekening te houden met karakteristieken die we vanuit historische laadsessies kunnen achterhalen.

8.1 Conceptontwikkeling Proposities

In dit project hebben de projectpartners de potentie aangetoond van het slim ladenconcept zoals getest in Flexpower3. Een belangrijke volgende stap is te komen tot een werkende propositie waarmee dit product aantrekkelijk wordt voor de CPO, zodat deze dienst ingezet wordt ter voorkoming van congestie. Hiervoor zijn in brede zin meerdere opties mogelijk:

- Capaciteitsbeperkende contracten en/of redispatch-contracten binnen congestiemanagement
- Capaciteitsbeperkende contracten en/of redispatch-contracten binnen verzwaren tenzij
- Een lager tarief binnen de transportdienst die de netbeheerder levert aan klanten

Hierbij gaat de voorkeur uit naar een lager tarief, omdat dit een goede prikkel is om in te zetten ter voorkoming van congestie en omdat dit de CPO een langjarige zekerheid geeft dat de prikkel in stand blijft. Verder vallen de opties binnen congestiemanagement af doordat deze pas ingezet kunnen worden als er al sprake is van fysieke congestie. De opties binnen verzwaren tenzij verdienen een lagere voorkeur vanwege de vaak tijdelijke aard van deze contracten (totdat de verzwaring gereed is) en vanwege het effect op de operationele kosten van de netbeheerder, waarbij een tariefoplossing ziet op een andere verdeling van de toegestane inkomsten van de netbeheerder. Hierbij is het goed uitlegbaar dat klanten die kiezen voor andere transportrechten een lager aandeel veroorzaken in de kosten van het elektriciteitsnet dan klanten met vaste transportrechten doen. Bovendien zal dit een dempend effect hebben op de tarieven van alle aangeslotenen doordat het bestaande net door meer klanten benut kan worden.

Een tariefoplossing dient verder uitgewerkt te worden in sectorverband. De gesprekken hierover worden reeds binnen de netbeheerders gevoerd en sluiten voor wat betreft dit werk dat op laagspanningsniveau gericht is aan bij lopende initiatieven rondom alternatieve transportrechten en de uitwerking van de non-firm aansluit- en transportovereenkomst (non-firm ATO). Ook heeft het raakvlakken met de gesprekken in sectorverband over de kleinverbruik- en grootverbruikstarieven in het algemeen en in hoeverre de energietransitie vraagt om andere uitgangspunten. Hierbij dient de complicatie zich aan dat laadpalen in de publieke ruimte nu worden gezien als kleinverbruikersaansluitingen waarbij een capaciteitstarief geldt, net als bijvoorbeeld woningen. Dit kleinverbruikerstarief leent zich momenteel slecht voor differentiatie naar daadwerkelijk gebruik van het elektriciteitsnet. Daarom bevelen we een aparte tariefcategorie aan voor het laden van elektrische auto's in de publieke ruimte met ruimte om te differentiëren.

8.2 Potentie voor vermeden werk en kosten van de netbeheerder

Het is in de tijdspanne van het project niet gelukt om een potentie-inschatting af te ronden over de situatie waarin het slim ladenconcept over het gehele verzorgingsgebied van Liander uitgerold wordt en wat dit betekent in termen van vermeden werk en kosten voor de netbeheerder. Het onderzoek hiernaar loopt en omvat onder andere de aanpassing van het kleinverbruikerstarief voor netbeheerkosten.

8.3 Offline scenario's

Het kan voorkomen dat de verbinding tussen DSO en CPO of de verbinding tussen CPO en laadpunt wordt verbroken. Een verbroken verbinding tussen DSO en CPO levert in Flexpower3 geen probleem op aangezien er op day-ahead basiscapaciteit gecommuniceerd wordt. Bij een verbroken verbinding zou de CPO voor de resterende tijd de vrije netcapaciteit uit de voorspelling kunnen gebruiken om daarna terug te vallen naar de basiscapaciteit. Indien de sturing intraday plaats gaat vinden zou overwogen moeten worden om de palen terug te laten vallen naar basiscapaciteit op het moment dat de verbinding tussen DSO en CPO wegvalt.

Een verbroken verbinding tussen CPO en laadpunt leverde binnen Flexpower3 wel een risico op. Immers, als een laadpunt een profiel krijgt en de verbinding vervolgens wegvalt, dan volgt het laadpunt het laatst ontvangen profiel. Als door een verandering van de bezetting er minder capaciteit voor deze sessie beschikbaar wordt zal het laadpunt daar niet op aangestuurd kunnen worden. Een mogelijke mitigatie hierop is het opbreken van de aansturing in profielen die, bijvoorbeeld, elk kwartier gestuurd worden en een duur van een kwartier hebben. Als in zulke gevallen de verbinding wegvalt én er minder capaciteit beschikbaar komt voor de laadsessie, dan zal het laadpunt maximaal 15 minuten in overtreding zijn. Na deze periode valt een station dan terug op een vooraf op het station zelf ingesteld "veilig profiel" dat binnen de basiscapaciteit blijft.

8.4 Capaciteitsverdeling op basis van fasen

Het huidige algoritme verdeelt de capaciteit uitgaande van 3 belaste fasen. Hierdoor worden 1-fase laders verder beperkt in hun laadvermogen dan nodig. Er valt dus nog winst te behalen door, bij de capaciteitsverdeling, rekening te houden met het aantal fasen dat door het voertuig gebruikt wordt. Hierbij wordt mogelijke faseonbalans niet voorkomen, maar de verwachting is dat dit op het niveau van een laagspanningsnet geen nadelige invloed heeft. Hier moet wel bij opgemerkt worden dat de trend in de markt momenteel neigt naar 3 fase laders en dat het derhalve aannemelijk is dat dit in de toekomst de dominante groep wordt.

Aanvullend hierop is tijdens de projectperiode gezien dat sommige voertuigen volgens onze aansturing nooit "vol" raakten. Dit betreft voertuigen die het verbruik van de onboard computer blijven compenseren zolang de auto aangekoppeld is aan de laadsessie. Er wordt hiervoor een minimale hoeveelheid energie gevraagd van het laadpunt. Deze voertuigen zouden, bij hoge bezetting, onnodig een plaats in kunnen nemen in het roulatieschema. Dit is eenvoudig op te lossen door binnen de selectiecriteria voor "actieve sessies" een controle op het gevraagde vermogen toe te voegen, met een drempelwaarde waardoor dergelijke voertuigen niet meegenomen worden in de roulatie.

9 Vervolg

Het concept dat in Flexpower3 is ontwikkeld en beproefd is dermate succesvol dat de gemeente Amsterdam deze manier van Slim Laden heeft opgenomen als vereiste in de nieuwe concessie voor laadpalen. Deze concessie wordt momenteel (november 2022) afgerond.

Momenteel wordt in een vervolgproject waaraan Vattenfall samen met Enexis werkt bestudeerd of geclusterd laden verbeterd kan worden in situaties waarin geen bemeten MSR aanwezig is, door gebruik te maken van een generiek totaalprofiel (met een lage basis van 4A) per laadpaal, waarin het inflexibele verbruik van de locatie weerspiegeld wordt.

Een grotere uitrol van het concept zal in het programma Slim Laden voor Iedereen worden uitgevoerd. In Slim Laden voor Iedereen zal het Flexpowerconcept, naar aanleiding van een externe stakeholderconsultatie, met een minder lage basiscapaciteit worden uitgevoerd dan in Flexpower3. Er wordt hier een gegarandeerde lading van 30kWh bij een parkeertijd van 6 uur beloofd. In het programma Slim Laden voor Iedereen zullen de nog openstaande onderzoeksvragen uit het project Flexpower3 (1f, 3 en 5), die betrekking hebben op de monetaire waarde van het laadconcept, de juridische barrières en de impact van de groei van het aantal elektrische voertuigen, worden overgenomen.

“Flexpower3 gaat een vervolg krijgen in
het nationale opschalingsprogramma
‘Slim Laden voor Iedereen’.”



Bijlage: Onderzoeksvragen

In het projectplan zijn de volgende onderzoeksvragen opgenomen. In het verslag zijn nagenoeg alle vragen beantwoord. Omwille van de leesbaarheid is besloten in de verslaglegging niet aan de letterlijke vragen te refereren.

1. Wat is de impact van de verschillende sturingsmechanismen die binnen Flexpower3 getest worden op:
 - a. Gebruikers (acceptatiegraad; interactie (NB een overrule is expliciet geen onderdeel van het onderzoek));
 - Welke voor- en nadelen ervaart de EV-rijder?
 - Is er een aantoonbaar verschil in impact tussen verschillende gebruikersgroepen/autotypen, en zo ja welke?
 - Wat voor impact heeft dit op de lange termijn als het wagenpark van samenstelling verandert?
 - b. Totale netbelasting (dus inclusief huishoudens) op kabel/transformator/MSR, met uitsplitsing naar aandeel EV
 - c. Geladen volume per sessie en per laadpunt
 - d. Laadtijd (laadtijd vs. totale connectietijd)
 - e. Aandeel afgebroken laadsessies in populatie en verschil in geladen kWh in deze sessies met en zonder sturing; Hoe verhoudt het verschil in geladen kWh zich tot het volume dat wel geladen is?
 - f. Wat is de impact op de monetaire waarde en inzetbaarheid van flexibiliteit op diverse niveaus/markten?
 - Inclusief juridische barrières

Duurzame energie/Maatschappelijke impacts

2. Bij welke verdeling van basiscapaciteit en vrije netcapaciteit verbetert de benutting van lokaal opgewekte zonnestroom op lokaal niveau (het meest)?
3. Welke maatschappelijke impacts veroorzaakt de groei in elektrisch vervoer in de huidige situatie vs. met de stuurmechanismen in de verschillende fasen van het project?

Netbeheer

4. Met welke proposities/contractvormen kan de netbeheerder deze sturingsmechanismen ondersteunen?
5. Hoe kan bij het toepassen van een variabel capaciteitsprofiel op een cluster van laadpalen rekening gehouden worden met meerdere knelpunten tegelijk in het net (denk aan LS-kabel, transformator, MS-ring en onderstation)?
6. Hoe vertalen de impacts van de sturingsmechanismen zich naar vermeden werk voor de netbeheerder, en hoe is deze waarde te kwantificeren?
7. Hoe kan het gebruiken van een logische clustering van laadpalen (op laagspanningskabel-/midden-spanningsruimte-/middenspanningskabel-/onderstations-niveau) leiden tot eenzelfde gunstig effect op het vermijden van de piekbelasting en tegelijk een verbetering voor laadsessies, en wat is de meerwaarde t.o.v. het per individuele laadpaal toewijzen van een capaciteitsprofiel?
 - a. Opsplitsing in verschillende groepen/niveaus
 - b. Onderzoek naar verschillende indicatoren voor gebruik (bezetting laadpunt/ status aangesloten voertuig/ meetwaarde)

- c. Impact op faseverdeling
- 8. Verbeteren statisch profiel (ten opzichte van het Flexpower2-profiel)
 - a. Wat is de meerwaarde van het toepassen van één statisch basiscapaciteitsprofiel op een cluster van laadpalen, en welke uitdagingen qua uitvoerbaarheid komen naar voren?
- 9. Dynamisch capaciteitsprofiel (op basis van vrije netcapaciteit)
 - a. Wat is de meerwaarde van het toepassen van de combinatie van basis- en vrije capaciteit met clustering t.o.v. een statisch capaciteitsprofiel (zoals gebruikt in Flexpower2) voor de CPO, de EV-rijder, de gemeente, en de netbeheerder?
 - b. Wat zijn in de praktijk de voor- en nadelen van het toepassen van day-ahead vs. intraday voor de bepaling van de vrije netcapaciteit?
 - c. Welke uitdagingen zijn er qua uitvoerbaarheid waar bij grootschalige invoering rekening mee moet worden gehouden (b.v. de benodigde processen/ administratie / data vergaring)?
- 10. Is het met dezelfde nauwkeurigheid mogelijk om te valideren of een cluster van laadpalen zich aan het profiel houdt, als het is voor een individuele sessie?
- 11. Reactie op congestiesignaal
 - a. In welke mate is het mogelijk voor een CPO om snel te reageren op een congestiesignaal?
 - b. Kan er binnen een virtueel cluster van laadpalen zowel op LS als MSR-niveau zo geschakeld worden dat de impact geminimaliseerd wordt?

Financieel

- 12. Hoe vertalen de impacts van de sturingsmechanismen zich naar vermeden/verlaagde netkosten (zowel in arbeidsuren als geld)?
- 13. Onder welke voorwaarden kan/wil de netbeheerder dit type aansluiting aanbieden/uitvoeren en wat is ervoor nodig om dit mogelijk te maken?
- 14. Wat is de impact op CPO business case indien deze proposities toegepast worden? Dit is een combinatie van de impact op het geladen volume, de benodigde handelingen om de slim laden profielen uit te voeren en het tarief voor de capaciteit.
- 15. Welke mogelijkheden/beperkingen worden zichtbaar wanneer er zowel wordt geladen o.b.v.de propositie uit dit onderzoek als op de onbalansmarkt? Versterken deze elkaar of juist niet?



www.elaad.nl Flexpower Amsterdam

www.flexpower020.nl

