



SLIMME LAADPLEINEN

Eindrapportage testen en metingen

RESEARCHING AND
TESTING SMART
AND SUSTAINABLE
CHARGING

Inhoudsopgave

1. Inleiding	4
2. Technische begrippen	5
2.1 Toelichting Smart Charging	5
2.2 Toelichting Vehicle-to-Grid (V2G)	5
2.3 Gebruikte protocollen	5
2.3 Toelichting Power Quality	6
2.3.1 HARMONISCHE VERSTORINGEN.....	6
2.3.2 SUPRAHARMONISCHE VERSTORINGEN.....	7
3. Leerdoelen	8
4. Methode	9
4.1 Laadpaaltesten bij ElaadNL	9
4.2 Lange-termijnmetingen.....	10
4.3 Verdiepende testen en metingen	11
5. Resultaten laadpaaltesten in ElaadNL Testlab	17
5.1 Resultaten.....	17
5.2 Conclusie	18
6. Resultaten lange-termijnmetingen	19
6.1 Resultaten.....	19
6.2 Conclusie	20
7. Resultaten verdiepende testen en metingen	21
7.1 Testplein ElaadNL	21
7.1.1 SMART CHARGING	21
7.1.2 POWER QUALITY METINGEN	21
7.2 Conclusies ElaadNL testplein.....	23
7.3 Test laadplein Zeist.....	23
7.3.1 SMART CHARGING	23
7.3.2 POWER QUALITY	25

7.4 Conclusies test laadplein Zeist	27
7.5 Test laadplein Culemborg.....	28
7.5.1 VEHICLE2VEHICLE (V2V) 3-FASEN VOERTUIG.....	28
7.5.2 VEHICLE2VEHICLE (V2V) 3X1-FASE VOERTUIG	28
7.5.3 V2V VOOR PRIORITY CHARGING.....	30
7.6 Conclusies Culemborg	31
8. Algemene conclusies en aanbevelingen	32
9. Vervolgonderzoek.....	34
9.1 Vervolgonderzoek V2G via 15118-20.....	34
9.2 Vervolgonderzoek inzet KI voor optimalisatie V2V	35
Bijlage I: laadstations ElaadNL Testlab	36
Bijlage II: V2V laadprofielen.....	38

1. INLEIDING

Elektrisch vervoer groeit en daarmee ook de behoefte aan (publiek toegankelijke) laadinfrastructuur. Om de opschaling van laadinfra mogelijk te maken lijken laadpleinen een aantrekkelijk alternatief. Laadpleinen bieden bijvoorbeeld de mogelijkheid om laadpunten in de openbare ruimte te clusteren, het aantal benodigde netaansluitingen te verminderen en slim de beschikbare capaciteit te verdelen. Om de realisatie van laadpleinen op te schalen, in combinatie met slimme laadconcepten (zoals energiebuffering, verdelen van capaciteit) en Vehicle-to-Grid (V2G) oplossingen, is door het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat via de Klimaatvelop 2019 onder de titel Slimme V2G laadpleinen budget beschikbaar gesteld waarmee laadpleinen zijn gerealiseerd. Een aantal van deze laadpleinen zijn door ElaadNL getest op hun werking en op de impact die ze hebben op de elektriciteitsnetten.

Bijgaand document beschrijft de testen en metingen welke door ElaadNL zijn uitgevoerd. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt tussen de labtesten van individuele laders, de lange termijn veldtesten welke een beeld geven van de typische impact op het net en de verdiepende testen en metingen, tijdens welke het laadplein van ElaadNL zelf en later de laadpleinen in Culemborg en Zeist in de vorm van een testevent grondig zijn getest. De verschillende testen en metingen resulteren in conclusies en aanbevelingen voor de huidige en toekomstige laadpleinen.

2. TECHNISCHE BEGRIPPEN

Omdat er in het vervolg van het document een aantal begrippen worden gebruikt welke wellicht toelichting behoeven, volgt hieronder een uitleg van de begrippen Smart Charging, Vehicle to grid, de verschillende protocollen welke hiervoor worden gebruikt en Power Quality.

2.1 TOELICHTING SMART CHARGING

Smart Charging, ofwel slim laden, is het aanpassen van de laadsnelheid aan de hand van een gegeven input. Deze input kan van een centraal systeem komen en, bijvoorbeeld, op basis van energietarieven of de beschikbare netcapaciteit zijn. Indien deze informatie op basis van lokale informatie is, om bijvoorbeeld onder de maximale capaciteit van de hoofdaansluiting te blijven, dan wordt dit ook wel **Local Loadbalancing** genoemd. Wanneer een laadpaal een bericht krijgt om de laadsnelheid aan te passen zal deze middels een communicatieprotocol deze informatie laten weten aan het voertuig. Laadstation en voertuig dienen de maximale toegestane laadstroom te respecteren.

2.2 TOELICHTING VEHICLE-TO-GRID (V2G)

Naast het laden van een voertuig kan deze ook energie leveren aan het net, indien het voertuig en de lader deze mogelijkheid bezitten. Dit noemt men ook wel Vehicle-to-Grid. Het laden is hierbij bidirectioneel, hetgeen betekent dat de energie tijdens een laadsessie zowel in als uit het voertuig kan gaan. Deze techniek maakt het mogelijk om het voertuig te gebruiken als energiebuffer en zodoende bijvoorbeeld zonne-energie op te slaan voor gebruik 's avonds of te laden als de energie goedkoop is en weer terug te leveren aan het net als de prijzen hoog zijn. Soms wordt naast Vehicle-to-Grid ook de term V2X gebruikt. V2X staat voor Vehicle-to-everything en is een generalisatie van V2G. De teruggeleverde energie kan, in plaats van terug te gaan naar het net, bijvoorbeeld ook gebruikt worden in een huishouden (V2H, vehicle to home) of gebruikt worden om een ander voertuig op te laden (V2V, Vehicle to Vehicle). V2X dekt al deze use cases af.

2.3 GEBRUIKTE PROTOCOLLEN

Bovenstaande geavanceerde laadsessies worden mogelijk gemaakt door het gebruik van bepaalde standaard protocollen welke door de verschillende partijen in de EV keten worden geïmplementeerd in hun systemen. Binnen dit project gaat het om de protocollen OCPP, mode 3, ISO 15118-2(0) en CHAdeMO.

- OCPP, of Open Charge Point Protocol, is de wereldwijde de facto standaard voor de communicatie tussen laadinfrastructuur en de laadinfra zelf. In dit protocol wordt, onder meer, beschreven hoe laadprofielen dienen te worden opgebouwd welke naar de laadstations kunnen worden gestuurd om zodoende Smart Charging mogelijk te maken.
- Mode 3 laden is gecontroleerd laden middels communicatie tussen laadstation en elektrisch voertuig (EV). Dit communicatie staat beschreven in de IEC6185651-1 standaard en wordt gebruikt voor het managen van de laadsessie. Bij AC laders wordt dit type communicatie tevens gebruikt voor het aangeven van de maximum laadsnelheid aan het voertuig, zodoende een essentieel onderdeel voor Smart Charging.

- Bij DC laders, waarbij de omvorming van wisselstroom in het net naar gelijkstroom voor de batterij plaatsvindt in de lader zelf, is een vorm van *High Level Communication* nodig. Hiervoor zijn een aantal protocollen beschikbaar, te weten CHAdeMO, DIN SPEC 70121 en ISO 15118-2(0). CHAdeMO is de Japanse DC laadstandaard en ondersteunt bidirectioneel laden, de DIN SPEC 70121 en ISO 15118-2 zijn standaarden voor DC laden met de Europese CCS stekker en missen ondersteuning voor bidirectioneel laden. De opvolger ISO 15118-20 biedt wel deze ondersteuning maar is voor het project slimme laadpleinen te laat uitgebracht. Tijdens dit project is daarom gebruik gemaakt van CHAdeMO laders voor de bidirectionele laadtesten.

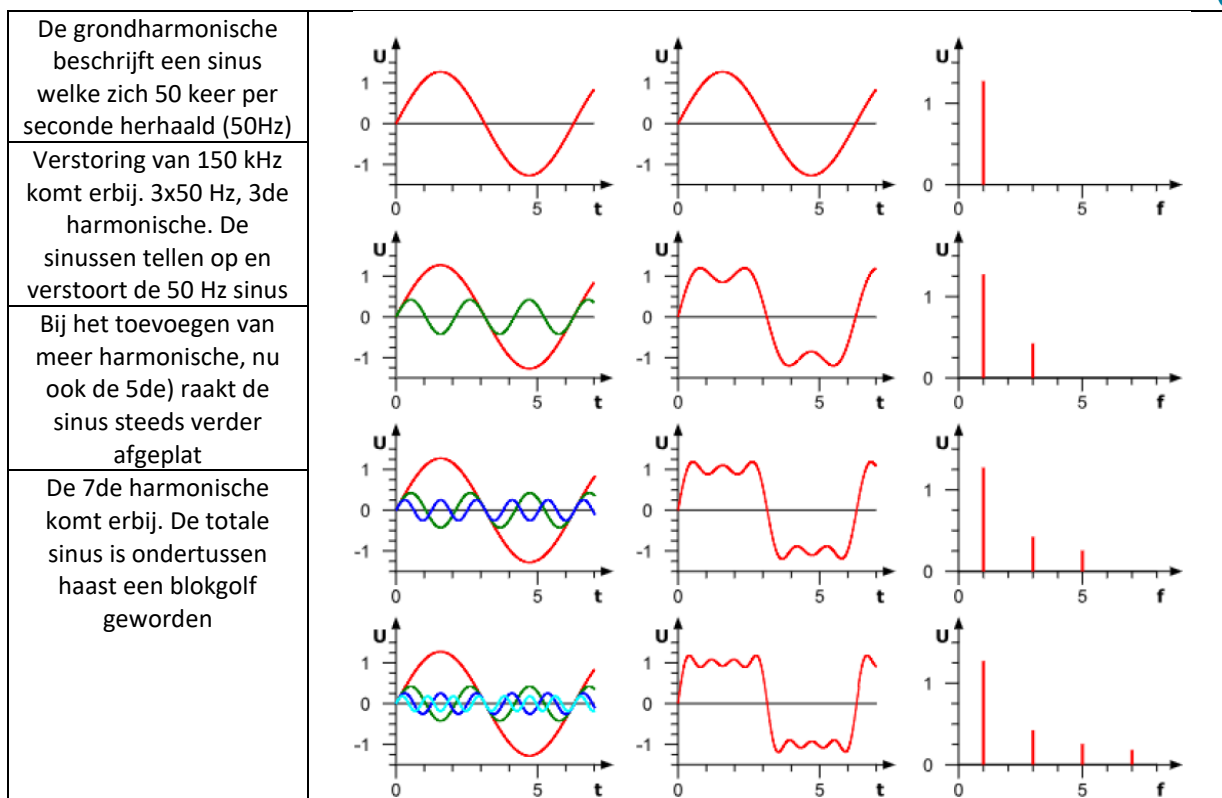
2.3 TOELICHTING POWER QUALITY

Tijdens de omvorming van wisselstroom uit het net naar gelijkstroom voor de batterij van een elektrisch voertuig, kunnen er emissies ontstaan welke een negatieve impact op zowel het net als aangesloten elektronische apparatuur kunnen hebben. Dit geldt zowel voor AC laden (waarbij de AC/DC omvorming in het voertuig plaatsvindt) als tijdens DC laden (waarbij dit in de laadpaal plaatsvindt). Twee type emissies zijn daarbij veelvoorkomend en deze zijn dan ook specifiek bemeten, te weten harmonische (tot 2 kHz) en supraharmonische (2-150 kHz) emissies.

2.3.1 Harmonische verstoringen

Harmonische emissies zijn stromen met een frequentie tot 2 kHz, welke een veelvoud zijn van de grondharmonische van het net, oftewel van de 50 Hz. De 2de harmonische stroom is dan ook 100 Hz, de derde 150 Hz, etc. De aanwezigheid van deze stromen zorgt ervoor dat de stroom geen mooie sinusgolf meer beschrijft, zoals het idealiter hoort, maar juist meer een blokgolf vormt. Zie ook figuur 1 op de volgende pagina. Hierbij wordt steeds een hogere harmonische stroom toegevoegd aan de 50 Hz sinus, waardoor het totaal steeds minder sinusvormig wordt. Dit heeft ook weer invloed op het voltage van het net, welke ook een minder mooie sinus zal gaan beschrijven, waarna alle andere apparaten die dit voltage gebruiken ook last hiervan kunnen krijgen. Dergelijke verstoringen kunnen zorgen voor extra warmteverlies, snellere slijtage, en het defect raken van onderdelen van het elektriciteitsnet en elektronische apparatuur van derden. Voor deze emissies zijn limieten in standaarden beschreven, de ervaring van ElaadNL is echter dat de emissies vooral hoger dan de limieten kunnen zijn als de laadsnelheid wordt verminderd, zoals het geval kan zijn bij slim laden.

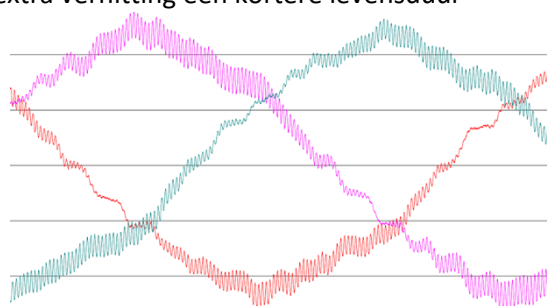
Naast de individuele harmonische zijn er ook twee manieren voor het berekenen van het totaal van de harmonische verstoringen; de Total Harmonic Distortion (THD) en de Total Demand Distortion (TDD). De THD is een optelsom van de verschillende harmonischen ten opzichte van de waarde van de grondharmonische op dat moment. De TDD is een optelsom van de verschillende harmonischen ten opzichte van het maximaal van de grondharmonische van het systeem. In het geval van een harmonische stroommeting kan de THD bij weinig of geen verbruik extreme waardes aannemen welke geen reële impactinschatting geven. Door gebruik te maken van de TDD, waarbij de maximum stroomwaarde wordt gebruikt, blijven de waardes reëel.



Figuur 1: toelichting harmonische verstoringen

2.3.2 Supraharmonische verstoringen

De supraharmonische verstoringen zijn een relatief nieuw begrip en ontstaan door de hoge schakelfrequenties van moderne AC/DC omvormers. Een voorbeeld hiervan is te zien in figuur 2. Zichtbaar zijn drie sinusgolven welke de stroom uit de drie fases op het net beschrijven. Daaroverheen ligt een hoogfrequente stroom, in dit geval met een frequentie van rond de 10 kHz. Een dergelijke verstoring kan, gelijk aan de harmonische, zorgen voor extra warmteverlies, snellere slijtage en het defect raken van onderdelen van het elektriciteitsnet en elektronische apparatuur van derden. Door de relatief hoge frequenties, kunnen supraharmonische verstoringen extra schadelijk zijn. Bijvoorbeeld door het 'skin effect', waarbij hoogfrequente stromen meer in het buitenste deel van de geleider in kabels gaan lopen, kan kabelisolatie sneller verouderen. Ook hebben condensatoren een lage weerstand voor deze frequenties, waardoor deze de emissies absorberen en door extra verhitting een kortere levensduur kunnen hebben of zelfs defect kunnen raken. Daarnaast kunnen slimme meters verstoord raken en aardlekautomaten langzamer reageren door deze verstoringen. Voor deze emissies zijn echter nog geen limieten in standaarden beschreven. De hoeveelheid kennis over deze emissies is nog relatief beperkt en meer kennis is nodig voor de uiteindelijke limieten en standaarden. ElaadNL doet hier daarom actief onderzoek naar in samenwerking met de TU/Eindhoven¹ en ook de tijdens dit project vergaarde meetdata is geanalyseerd op dergelijke verstoringen.



Figuur 2: Supraharmonische emissies bovenop de laadstroom

¹ <https://research.tue.nl/nl/persons/tim-mh-slangen/publications/>

3. LEERDOELEN

Het ElaadNL testlab heeft gedurende het project laadpalen en laadpleinen getest en bemeten. Dit om te leren hoe Smart Charging en V2X (specifiek V2V) werkt op laadpleinen, en wat de invloed is van een laadplein op de Power Quality. Ook was er een leerdoel gericht op de mogelijkheid om Smart Charging in te zetten om de impact van een laadplein op de Power Quality te verminderen.

Uiteindelijk resulteerde dit in de volgende leerdoelen;

- Interoperabiliteit en Smart Charging individuele laadpalen; hoe functioneren de laadpalen op het laadplein *an sich*. Zijn er verbeteringen aan de laadpalen mogelijk welke het (slim) laden robuuster maken?
- Smart Charging: hoe functioneren de laadpleinen op het gebied van Smart Charging? Blijft de maximale stroom altijd onder de aansluitwaarde van het laadplein? Houdt het laadplein rekening met de capaciteit die overblijft op de andere fases bij voertuigen die laden op 1 of 2 fases?
- V2V: hoe werkt het ontladen van het voertuig? Kan het laden van het ene voertuig met het andere voertuig worden afgevangen? In hoeverre komen stroomwaardes en tijden overeen zodat het laden en ontladen elkaar op de hoofdaansluiting opheffen?
- Power Quality: wat is de impact van het laden met meerdere elektrische voertuigen tegelijk op de Power Quality? In hoeverre spelen de gebruikte Smart Charging algoritmes hier een rol?

4. METHODE

Om de leerdoelen te behalen zijn drie soorten testen/metingen uitgevoerd, te weten;

1. Laadpaaltesten bij ElaadNL, ten behoeve van Interoperabiliteit en Smart Charging individuele laadpalen
2. Lange-termijnmetingen op geselecteerde laadpleinen, ten behoeve van het in kaart brengen van de impact op de Power Quality van laadpleinen tijdens verschillende bedrijfsscenario's (week/weekend, vol-/deellast, verschillen tussen seizoenen)
3. Verdiepende testen en metingen tijdens test events; ten behoeve van het in kaart brengen van de Smart Charging functionaliteit van het plein, de Power Quality impact en de mogelijkheden die V2G kan bieden.

Hieronder wordt de testmethode per type test toegelicht.

4.1 LAADPAALTESTEN BIJ ELAADNL

Het merendeel van de mode3 protocol AC laders, welke zijn geïnstalleerd in het slimme laadpleinen project, waren al reeds opgenomen in de proeftuin van ElaadNL. Zie Bijlage I voor een overzicht van de AC laders bij ElaadNL. Aangezien hiermee veelvuldig testen worden uitgevoerd op het gebied van interoperabiliteit met verschillende voertuigen en slim laden, is de gekozen methode om ook de functionaliteit voor de laadpleinen op deze wijze in kaart te brengen.

De laadpalen binnen ElaadNL worden aangestuurd via een laadinfrabeheersysteem waarmee laadprofielen verstuurd kunnen worden middels het OCPP 1.6 protocol. In een dergelijk profiel wordt beschreven wanneer de paal welke maximale stroom toe mag staan. De paal kan dit vervolgens weer communiceren middels het mode3 protocol naar het elektrische voertuig. Het voertuig dient dan de maximale toegestane stroom te respecteren en om te kunnen gaan met laadpauzes. Binnen ElaadNL zijn er reeds zo'n 60 voertuigen getest op de desbetreffende laadpalen.

Gebruikte apparatuur:

ElaadNL maakt gebruik van een Dewetron DEWE-800 meetcomputer in combinatie met LEM IT65-S meetspoelen om de stromen, de spanningen en het mode3 signaal vast te leggen tijdens een laadsessie. Zie afbeelding 3.



Figuur 3: Dewetron DEWE-800 en LEM IT65-S

Deze meetcomputer kan met een snelheid van 1 mega-sample data opslaan in een 16-bit resolutie. In combinatie met de stroommeetspoelen, welke een bandbreedte van 600kHz hebben, kunnen hiermee gedetailleerde metingen worden gedaan welke ook de *Supraharmonische* stroomemissies inzichtelijk maken voor het Power Quality onderzoek door ElaadNL. Tijdens de hierboven beschreven laadpaaltesten maken de metingen inzichtelijk hoe het station precies via mode 3 communiceert met het voertuig, of het

laadprofiel correct wordt uitgevoerd en of het voertuig correct en tijdig reageert. Indien er ergens in deze communicatie iets misloopt kan het zijn dat een laadprofiel niet goed wordt uitgevoerd, waardoor er sneller wordt geladen dan toegestaan of waarbij het laden wordt gestopt door het elektrische voertuig of de lader.

4.2 LANGE-TERMIJNMETINGEN

De lange-termijnmetingen zijn uitgevoerd op een selectie van laadpleinen. Deze laadpleinen zijn geselecteerd op basis van gebruik, diversiteit tussen de laadpleinen zelf en eventuele unieke eigenschappen van de pleinen, met daarbij als voorwaarde voldoende ruimte voor de installatie van meetopstelling. Hieronder volgt een overzicht van de geselecteerde laadpleinen.

Geselecteerde laadpleinen

Locatie	Exploitant / backoffice	Beschrijving laadplein
Utrecht, Van Asch van Wijckskade	Lomboxnet/LMS	Veelgebruikt laadplein bestaande uit 5x double socket laadstation met local loadbalancing
Rotterdam, Nassauhaven	Engie / LMS	Combinatie van ChaDeMo DC lader met 2 AC laders
Zeist, Zinzendorflaan	Total / eNovates	Groot laadplein met 40 laadpunten. 2 aparte delen gezekerd op 125A met 10 AC laders met ieder twee sockets.
Haarlemmermeer, Marktplein	NMCX / Blue marble Charging	12 keer een laadzuil met 1 Connector, maximaal 22kW. Geconfigureerd als 6 laadpalen, die in pair slim werken tot maximaal 22kW per laadzuil. Vermogen van de hoofdaansluiting maximaal 55kW, maximale piek laadplein met batterij is 120kW.
Culemborg, Hendrik Marsmanweg	Vrijstad Energie / Maxem	Combinatie van 11 kW DC lader met Chademo/CCS en 4x Alfen EVE double 22 kW laders onder een zonnepanelen dak

Voor dit experiment zijn deze 5 laadpleinen uitgerust met een PQube 3 Travel, zie het kopje *gebruikte apparatuur* hieronder voor een beschrijving. Er zijn ook extra laadsessie-gegevens van de locaties van Rotterdam, Utrecht en Zeist verkregen. Deze omvatten de duur en de gebruikte energie van alle individuele laadsessies. Deze waarden zijn geanalyseerd met MATLAB.

Gebuurde apparatuur

Voor de lange-termijnmetingen is een inventarisatie gemaakt van Power Quality meetapparatuur met een compact formaat welke op afstand uitleesbaar is en de mogelijkheid heeft om ook Supraharmonische verstoringen ten minste in het voltage, te meten. Uiteindelijk is hierbij gekozen voor de PQube 3 travel, zie figuur 4. Deze meetbox bevat een PQube 3, een compacte PQ-analyzer welke, naast de reguliere PQ-metingen op stroom en voltage, verstoringen tot 150 kHz op het voltage kan meten. De PQube verzamelt gegevens van de eerste 50 spannings- en stroom-harmonischen van alle 3 de fasen elk 10 minuten. De meting bevat o.a. de gemiddelde waarde en de maximale waarde over 10 minuten. De gemiddelde en maximale Supraharmonische spanningen worden ook gemeten elke minuut. De box bevat verder een

modem voor de communicatie en stuurt daarmee elke dag een e-mail naar ElaadNL met de meetdata van de dag.

Voltagemetingen vinden plaats via direct gekoppelde voltage-probes. Stroommetingen vinden plaats via zogenaamde flexibele Rogowski spoelen. Deze spoelen kunnen geopend worden en vervolgens om de stroomkabels heen gelegd worden en zodoende geïnstalleerd worden zonder de installatie te onderbreken.



Figuur 4: PQube 3 Travel

4.3 VERDIEPENDE TESTEN EN METINGEN

Om beter inzicht te krijgen in de werking van slim laden en V2V en de invloed van laden op de spanningskwaliteit, zijn verschillende laadpleinen uitgebreider onderzocht middels het organiseren van een testevent en het installeren van andere, geavanceerdere, meetapparatuur, zie *gebruikte apparatuur*, waarmee supraharmonische verstoringen zowel op voltage als op de stroom gemeten en opgeslagen kunnen worden. De pleinen die hiervoor gekozen zijn, zijn het laadplein van ElaadNL zelf op de vorige locatie (Utrechtseweg 310, Arnhem) en zijn de binnen het project gerealiseerde laadpleinen op de Zinzendorflaan te Zeist en op de Hendrik Marsmanweg 1 te Culemborg.

Laadplein ElaadNL

Het test laadplein op de vorige locatie van ElaadNL (Utrechtseweg 310 te Arnhem) was, naast een parkeerterrein met laadstations voor werknemers en gasten, ook een proeftuin. Hier werden onder meer proeven en demonstraties gedaan met nieuwe type laders, zoals laadlantaarns, en werd bijvoorbeeld de efficiëntie van bidirectioneel laden getest. Met name werden er testen gedaan op het gebied van interoperabiliteit met elektrische voertuigen tijdens regulier en slim laden. Het plein bevatte daarom een groot scala aan verschillende laders, was uitgerust met verschillende meetpunten en communiceerde met een laadinfrabeheersysteem met geavanceerde Smart Charging mogelijkheden.

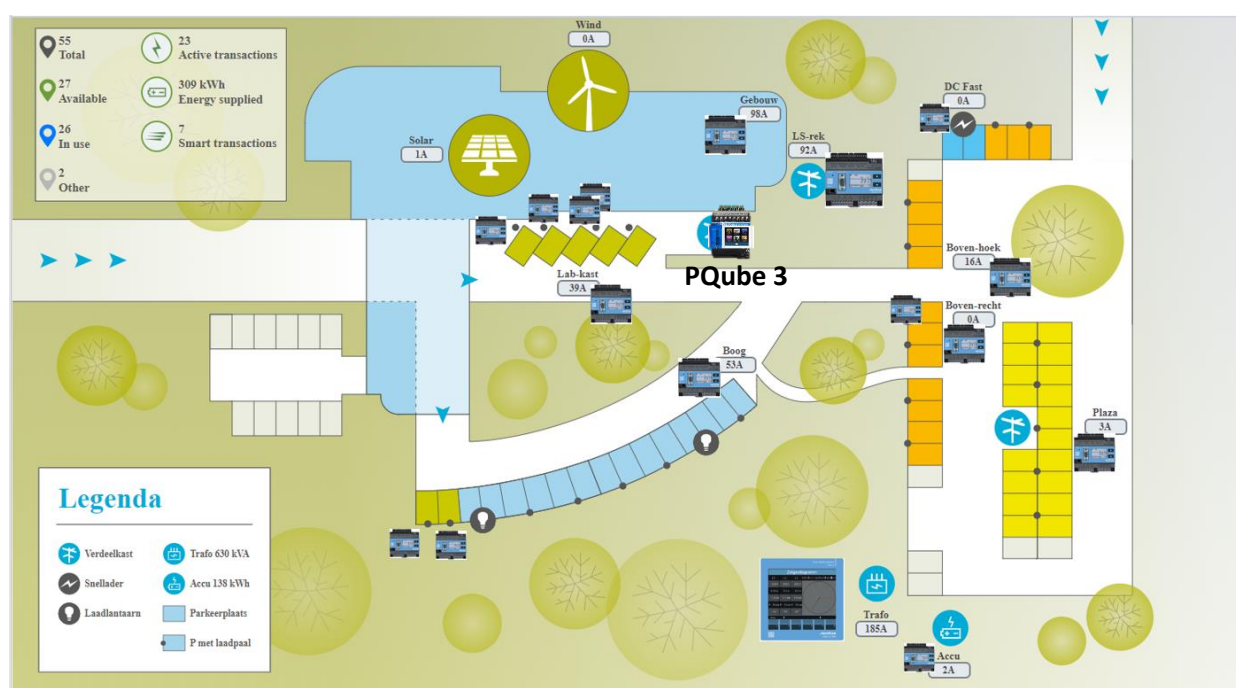
Een aantal hoofdpunten van het laadplein:

- Parkeerplaats met 31 laadstations, waarvan 29 AC en 2 DC laders, met in totaal 55 laadpunten.

- 20 verschillende modellen van 11 verschillende fabrikanten, allen met OCPP 1.6. Zie voor een globale impressie afbeelding 5.
- Belasting van de hoofdaansluiting, van de verschillende afgaande kabels naar clusters van laadstations en op bepaalde stations zelf wordt bemeaten en verstuurd naar het laadinfrabeheersysteem, zie afbeelding 6.
- Smart Charging algoritme in het laadinfrabeheersysteem berekent laadprofielen en stuurt deze via OCPP naar de laadstations.



Figuur 5: Laadplein ElaadNL Utrechtseweg



Figuur 6: laadplein ElaadNL met clusters laadstations (per kleur) en locaties meters aangegeven

Op vrijdag 7 februari 2020 voerde ElaadNL met hulp van de ANWB en Leaseplan een praktijkproef uit op haar eigen testplein in Arnhem waarbij meer dan vijftig elektrische auto's tegelijk werden opgeladen. Gekeken werd naar de laadcapaciteit en er werden technieken getest om slim te laden. Daarnaast was als proef een PQube 3 geïnstalleerd in de verdeler naar cluster "Groen" welke de spanningskwaliteit monitorde op de laders voor het kantoor. De praktijkproef vormt een kijkje in de toekomst waarin een groeiend aantal elektrische auto's gaat laden op laadpleinen en in woonwijken².

² <https://elaad.nl/elaadnl-test-laadplein-van-de-toekomst/>

Laadplein Zeist

Het laadplein in Zeist betreft het grootste laadplein binnen het project met ruimte voor 40 elektrische voertuigen, waarbij de hoofdaansluiting onvoldoende is om tijdens drukke periodes alle voertuigen van het maximale vermogen per laadpunt te voorzien. Er zal zodoende slim geladen moeten worden. In dit geval wordt het beschikbare vermogen via lokale intelligentie verdeeld over de aanwezige voertuigen, zonder enige vorm van prioritering. Deze vorm van slim laden staat ook bekend als *local load balancing*. Een aantal hoofdpunten van het plein:

- Parkeerplaats met 40 laadplekken, zie figuur 7
- 20 AC laders met ieder 2 sockets
- Fasedraaiing toegepast ten behoeve van verspreiding belasting 1-fase ladende voertuigen over de drie fases
- 2x streng 125A, ieder met 10 AC laders
- Smart Charging strategie: 16A per socket, 32A per laadpaal, normaal beschikbaar. Tijdens drukke periodes zal de laadsnelheid worden verlaagd naar 12A per laadpaal (minimum) en zal deze om-en-om op kwartierbasis gebruikt worden om 1 van de 2 aangesloten voertuigen op te laden.



Figuur 7: laadplein Zinzendorflaan Zeist



Figuur 8: test event laadplein Zinzendorflaan Zeist

Als test van de slim laden functionaliteit, en om inzicht te krijgen in de invloed op de Power Quality van een groot aantal simultaan ladende elektrische voertuigen, is voor dit laadplein een test event opgezet waarbij 40 elektrische voertuigen in verschillende opstellingen zijn aangesloten en hebben geladen. Zie ook figuur 8. Het testevent is gehouden op vrijdag 11 maart 2022 tussen 13:00-17:00. ElaadNL heeft hiervoor voldoende vrijwilligers bereid gevonden met hun elektrische voertuigen te komen laden. Deze vrijwilligers werden voorzien van een hapje en drankje door ElaadNL en konden een rondleiding door Slot Zeist

bijwonen. Als afsluiter ontvingen de deelnemers nog een beloning in de vorm van een bol.com cadeaubon. Vervolgens zijn de volgende testen uitgevoerd:

Test	Doel
Toevoegen EV's op streng 1 van 0 tot max	Hoe tellen de (supra)harmonischen op? Werkt het Smart Charging algoritme zoals beschreven? Blijft maximale stroom onder 125A?
Beide strengen stuksgewijs toevoegen om en om	Hoe tellen de (supra)harmonischen op? Werkt het Smart Charging algoritme zoals beschreven? Blijft maximale stroom onder 125A?
Beide strengen maximaal, in begin 1-fase test	Check of SC algoritme rekening houdt met 1-fase belasting of dit als volledige belasting op alle drie de fases van het net beschouwt

Tijdens deze testen zijn in de hoofdaansluitkast metingen uitgevoerd. Hiervoor is tijdelijk speciale meetapparatuur, zie *gebruikte apparatuur*, geïnstalleerd. Middels deze testen en metingen is kennis verkregen over de werking van Smart Charging op het laadplein en de invloed van het laden op de Power Quality, met daarbij de nadruk op de *supraharmonische* emissies.

Laadplein Culemborg

Het laadplein in Culemborg betreft een laadplein bestaande uit 4 Alfen EVE dubbel socket laadpalen van 22 kW en 1 Venema 10 kW DC-lader met CHAdeMO en CCS laadmogelijkheid, waarbij via CHAdeMO bidirectioneel geladen kan worden. Tevens is het laadplein overdekt met zonnepanelen. Zie voor een impressie figuur 9 en een aantal hoofdpunten van het laadplein hieronder:

- 4 Alfen AC laadstations, model EVE, met een totaal van 8 laadpunten.
- 1x Venema 10 kW DC-lader met 2 vaste kabels, niet simultaan te gebruiken;
 - 1x Chademo met V2G, of
 - 1x CCS2 zonder V2G

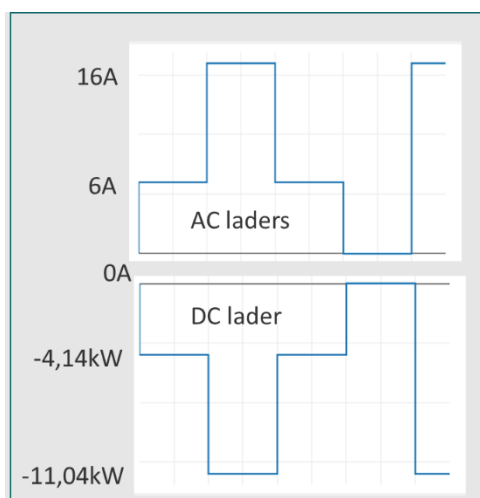


Figuur 9: boven- en onderaanzicht laadplein en zonnedak Culemborg

De aansluiting van dit plein was zwaar genoeg voor alle laders vanwege de grote hoeveelheden zonnepanelen welke op dezelfde aansluiting zijn aangesloten. Deze vereisen een zware aansluiting om het maximale opwekbare vermogen terug te kunnen leveren. Zodoende was Smart Charging op dit plein niet standaard nodig. Wel was er op dit laadplein een DC lader met V2G mogelijkheid aanwezig. Zodoende is op dit plein de werking van bidirectioneel laden getest, met nadruk op de usecase van Vehicle 2 Vehicle laden, waarbij de energie uit het ene voertuig wordt gebruikt om een ander voertuig op te laden. Daarnaast zijn ook hier met de Yokogawa DL350, zie *Gebruikte apparatuur*, gedetailleerde Power Quality metingen verricht, waarbij de combinatie van zonnepaneelomvormers en voertuigladers het interessant maakt. Hierbij zijn de hoofdaansluiting en de aansluiting van de zonnepanelen bemeten, waarna berekend kon worden hoeveel stroom door de laadstations werd verbruikt dan wel terug geleverd. Specifiek zijn de volgende testen uitgevoerd:

Test	Doel
Vehicle2Vehicle (V2V) 3-fasen voertuig	Testen en meten gelijkheid en gelijktijdigheid van energieoverdracht tussen een ontladende en een ladende EV via een laadplein, gebruikmakend van de 3-fasen DC lader en een 3-fasen voertuig
Vehicle2Vehicle (V2V) 3 x 1-fase voertuig	Idem als bovenstaande, maar dan met 3 maal een 1-fase voertuig. Hierbij de 1-fase voertuigen gevoed met ieder een eigen fase.
Prioritized charging	Idem als de V2V 3-fasen test, maar dan ten behoeve van het sneller opladen van een "VIP" voertuig

Hierbij dient te worden aangetekend dat V2G laden niet standaard "aan" stond op het laadplein; voor de gebruiker was er geen mogelijkheid om zijn voertuig naar wens te laden ontladen. Om dit te bewerkstelligen is een test evenement georganiseerd waarbij de laders ter plaatse direct zijn aangestuurd. Het laden en ontladen is aangestuurd via Smart Charging laadprofielen, waarbij conform de standaard instellingen de DC lader een negatief profiel in Watts ontving, en de AC lader(s) een positief profiel in Ampère. De laadprofielen beschrijven de volgende cyclus; langzaam (ont)laden, snel (ont)laden, langzaam (ont)laden, pauze en snel (ont)laden. De starttijden van de verschillende profielen waren gelijk zodat de laders op hetzelfde moment de profielen zouden uitvoeren. In figuur 10 is dit gevisualiseerd. Tevens is het gebruikte laadprofiel voor de AC en de DC lader toegevoegd in bijlage II.



Figuur 10: gevisualiseerde laadprofielen laden en ontladen

Gebruikte apparatuur

Voor de verdiepende metingen binnen het project heeft ElaadNL een Yokogawa DL350 scopecorder aangeschaft, zie figuur 11 voor een afbeelding van dit apparaat. Anders dan reguliere Power Quality meetapparatuur is dit apparaat geschikt voor het meten van supraharmonischen. Dankzij de hoge samplesnelheid (1 MS/s), de hoge bandbreedte (tot 600 kHz) van zowel de voltage als de stroommetingen en de hoge resolutie (16-bits), kan hiermee inzicht worden verkregen in de supraharmonische emissies van de apparaten (supraharmonische stromen) en de invloed hiervan op het voltage van het net (supraharmonische voltageversterking). Om nog beter inzicht te verkrijgen in de beweging van de verstoringen door het net is tevens een tweede Yokogawa DL350 van de TU Eindhoven geleend voor de verdiepende test in Zeist, zodat op meerdere plekken tegelijk gemeten kon worden.



Figuur 11: Yokogawa DL350

Yokogawa DL350

- 8 kanaals analoge input voor voltage of stroommetingen
- 1 MS/s sample snelheid, 1 MHz bandbreedte
- 16-bit analoge resolutie
- Compact formaat, draagbaar en robuust, zie figuur 12



Figuur 12: Yokogawa DL350

5. RESULTATEN LAADPAALTESTEN IN ELAADNL TESTLAB

In het ElaadNL testlab vinden testen plaats van laadpalen en elektrische voertuigen op onderlinge interoperabiliteit tijdens regulier laden en tijdens Smart Charging. ElaadNL beschikt hiervoor over een groot aantal verschillende laadstations welke ook voorkomen op de meeste laadpleinen binnen het project slimme laadpleinen. Na de uitvoer van deze testen worden fabrikanten geadviseerd over verbeteringen welke zij kunnen doorvoeren om het laden, met name tijdens Smart Charging, robuuster te maken. Robuuster in de zin dat voertuigen slim en dus op wisselende snelheden kunnen laden en gepauzeerd kunnen worden zonder dat het laden onderbroken wordt of andere ongewenst gedrag vertoont. Aangezien de resultaten vertrouwelijke informatie betreft, zijn de specifieke testresultaten alleen gedeeld met de fabrikanten zelf. Algemene bevindingen, zonder de fabrikantnaam te noemen, kan ElaadNL wel delen en deze zijn hieronder weergegeven.

5.1 RESULTATEN

Qua gedrag van laadstations zijn de volgende bevindingen gedaan:

- Er is een laadpaal welke het laden altijd heel kort pauzeert tussen het wijzigen van de laadsnelheid. Er zijn vier voertuigen waargenomen die hier niet mee overweg konden en het laden hierdoor niet voortzetten. Volgens het mode3 protocol mag de laadsnelheid direct gewijzigd worden zonder eerst kort te pauzeren. De fabrikant is zodoende aangeraden deze pauzes te verwijderen.
- Er zijn twee laadpalen welke heel kort naar de maximale laadsnelheid gaan voordat het laden gepauzeerd wordt. Er zijn geen voertuigen waargenomen die hier problemen mee hadden, maar volgens het mode3 protocol mag een laadpaal direct vanuit de huidige laadsnelheid pauzeren. Aangezien dit wel tot gevolg kan hebben dat de maximale capaciteit van de aansluiting worden overschreden, is de fabrikant aangeraden direct naar de pauzestand te gaan.

Qua gedrag van elektrische voertuigen op de laadstations zijn er de volgende bevindingen gedaan:

- Bij een tweetal voertuigen is geconstateerd dat het voertuig te laat reageert wanneer het laden wordt gepauzeerd.
- Bij vijf voertuigen werd het laden niet opgestart wanneer deze voor een langere tijd uitgesteld is geweest vanaf de start van de transactie.
- Er is een voertuig geweest welke niet correct reageerde wanneer de laadsnelheid wijzigde van een hoge snelheid naar een lage snelheid. Vice versa was wel correct.
- Bij twee voertuigen is geconstateerd dat het voertuig niet snel genoeg de laadsnelheid aanpast, hierdoor werd de variabele overstrombeveiliging van de laadpaal actief en daarmee het laden gestopt.
- Er was een voertuig welke op de laagste laadsnelheid (6A) standaard een te hoge stroom trok waardoor de overstrombeveiliging van de laadpaal actief werd en hierdoor het laden gestopt werd.

De verschillende voertuigfabrikanten zijn geadviseerd om verbeteringen aan het laadgedrag van de voertuigen door te voeren om problemen met dit afwijkende gedrag te voorkomen.

5.2 CONCLUSIE

- Elektrische voertuigen, en daarmee ook het laden, worden steeds gangbaarder en de protocollen en standaarden welke het laadgedrag beschrijven zijn al ruime tijd beschikbaar. Desondanks zijn er toch nog altijd laadstations en voertuigen welke niet geheel volgens de standaard werken of niet met bepaalde Smart Charging scenario's, zoals het voor langere tijd uitstellen van het laden, overweg kunnen.
- Het blijft dan ook noodzakelijk om het laadgedrag van zowel laders als voertuigen te testen en de opgedane kennis te delen met de verschillende partijen. Om dit structureel te verbeteren moeten slim laden use cases en test scenario's gedefinieerd en vastgelegd worden. Deze dienen vervolgens toegevoegd te worden aan laadcommunicatiestandaarden, specifiek de 61851-1.

6. RESULTATEN LANGE-TERMIJNMETINGEN

Voor dit experiment zijn er 5 laadpleinen uitgerust met een PQube 3, de eerdergenoemde laadpleinen in Culemborg, Hoofddorp, Rotterdam, Utrecht en Zeist. Er zijn ook extra laadsessie-gegevens van de locaties van Rotterdam, Utrecht en Zeist verkregen. Deze omvatten de duur en de geladen energie van alle individuele laadsessies. Deze waarden zijn geanalyseerd met MATLAB. In dit hoofdstuk worden enkele relevante resultaten besproken en een paar metingen als voorbeeld toegelicht. Meer details zijn te vinden in het bijgevoegde onderzoeksrapport *“Power Quality Analysis of Electric Vehicle Charging using Charging Plazas in the Netherlands”*³ door J.D. Visser.

6.1 RESULTATEN

In Tabel 1 zijn de maximale waarden per fase van de Total Harmonic Distortion (THD) en Total Demand Distortion (TDD) van het voltage van de locatie in Rotterdam te zien, samen met de meest relevante voltage harmonische over de meetperiode van 279 dagen. Daarbij is ook de limiet uit EN 50160 te zien. Over de totale meetperiode is geen enkele waarde over de vastgestelde limiet gegaan. Dit geldt voor alle 5 locaties waar de PQubes geplaatst zijn, waarvan Rotterdam de hoogste gemeten waarden had. In Rotterdam viel het wel op dat er veel externe harmonische emissie was. De 3^e harmonische was bijvoorbeeld soms erg hoog terwijl 3-fase systemen, zoals de DC laadpaal ter plaatse, zelf geen triple harmonische creëren.

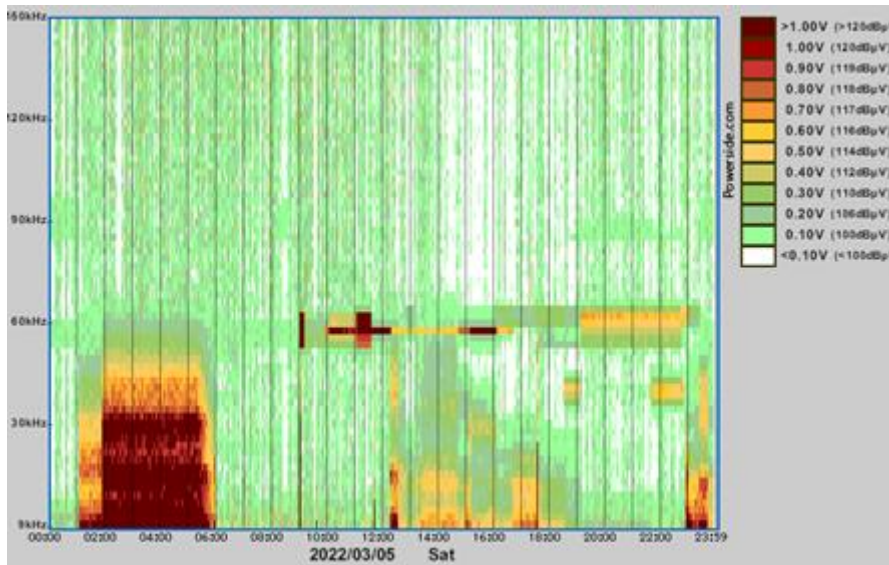
	L1 [%]	L2 [%]	L3 [%]	Limit [%]
THD	4.83	4.62	4.55	8
TDD	1.16	1.50	1.50	8
3rd	1.94	2.17	1.81	5
5th	4.59	4.20	4.30	6
7th	1.83	1.68	1.62	5
9th	1.17	1.17	1.17	1.5
11th	1.07	1.18	1.15	3.5
13th	1.00	0.99	0.89	3

Tabel 1. Maximale waarden van het laadplein in Rotterdam

Ook is er onderzoek gedaan naar de supraharmonischen. Deze waarden zijn gekoppeld aan de laadsessie-data die beschikbaar was bij de locaties in Culemborg, Rotterdam en Utrecht. Bij de eerste 2 locaties was er helaas veel externe supraharmonische verstoring over de volledige 2 tot 150kHz band, ook als er geen laadsessies actief waren. In Culemborg zou dit kunnen worden veroorzaakt door de zonnepaneelomvormers op het laadplein, in Rotterdam is de verstoringsbron onbekend. Dit maakte het

³ J.D. Visser et al, *“Power Quality Analysis of Electric Vehicle Charging using Charging Plazas in the Netherlands”*, Eindhoven University of Technology, 2022

vrijwel onmogelijk om de verstoringen van de elektrische laders te onderscheiden van de externe verstoringen. Gelukkig waren de externe verstoringen bij de locatie in Utrecht relatief laag. In Figuur 1. is de supraharmonische verstoring te zien van een drukke dag in Utrecht. Het is bekend dat de meeste Supraharmonische verstoring van elektrische laders voorkomt tussen de 10 en 60kHz, wat erg goed terug te zien is in de figuur. Ook is het erg interessant om te zien dat verschillende elektrische voertuigen een andere impact hebben op de supraharmonische emissie.



Figuur 13: Supraharmonische voltageverstoringen op een drukke dag in Utrecht

6.2 CONCLUSIE

Geen van de harmonischen en de THD en TDD hebben over een periode van bijna een jaar de harmonische limieten overschreden die genoemd zijn in EN 50160, hetgeen positief nieuws is. Omdat er van de supraharmonischen nog geen geaccepteerde standaarden bestaan kunnen hier geen harde uitspraken over worden gedaan. Echter, gezien de emissies redelijk beperkt zijn gebaseerd op ervaring van ElaadNL, lijken de waarden op de hoofdaansluiting relatief laag. De resultaten dienen opnieuw geëvalueerd te worden zodra er standaarden voor supraharmonischen zijn. Tevens is het niet uitgesloten dat er geen impact is door supraharmonischen, doordat effecten zoals interactie en sommatie niet zijn onderzocht in deze metingen. Het is in de praktijk mogelijk dat een bepaalde combinatie van (dezelfde) voertuigen tot problemen leidt. Zo kan het zijn dat emissies van supraharmonischen worden geabsorbeerd door andere voertuigen op het plein. Deze zijn dan niet meer zichtbaar op de hoofdaansluiting, maar kunnen wel problemen met de voertuigen veroorzaken.

De conclusie voor nu kan dus worden getrokken dat slimme laadpleinen een geschikte oplossing zijn voor de groeiende vraag naar laadmogelijkheden, zonder dat hierbij de harmonische limieten van het elektriciteitsnet worden overschreden en waarbij de supraharmonische verstoringen acceptabel lijken.

Mochten de harmonischen toenemen zodat ze de gestelde limieten zouden kunnen overschrijden dan zijn er een aantal maatregelen die getroffen kunnen worden. Deze zijn te vinden in bijgevoegd rapport waar de resultaten ook uitgebreider worden besproken.

7. RESULTATEN VERDIEPENDE TESTEN EN METINGEN

Het volgende hoofdstuk beschrijft de verdiepende testen en metingen uitgevoerd tijdens de testevents op de het testplein van ElaadNL en de laadpleinen in Zeist en Culemborg.

7.1 TESTPLEIN ELAADNL

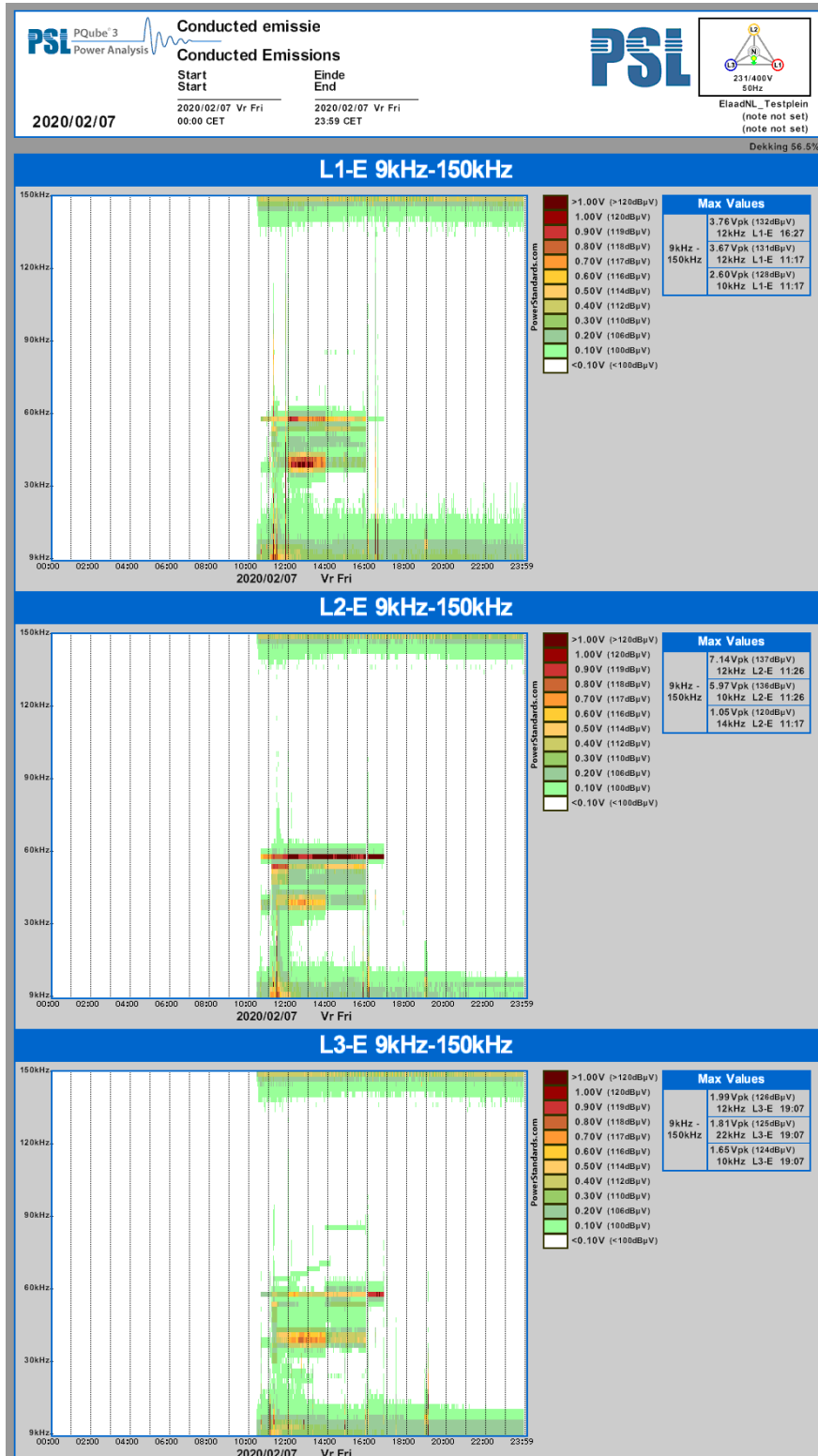
De uitgevoerde testen en metingen geven inzicht in het Smart Charging gedrag van het laadplein en de invloed op de Power Quality, specifiek de supraharmonischen. De resultaten worden dan ook op basis van deze twee onderwerpen besproken.

7.1.1 Smart Charging

De test op het test laadplein van ElaadNL maakte duidelijk dat het Smart Charging systeem op het laadplein goed functioneerde. Tijdens de proef werd, bij het toenemen van het aantal laadsessies, de laadsnelheid van de verschillende voertuigen verlaagd, waardoor er tijdens de test geen overbelasting van de energieaansluiting is ontstaan. Indien alle voertuigen op hun maximale snelheid hadden mogen laden, was er zeker een overbelasting ontstaan. Zowel op de verschillende clusters van laadstations, als van de hoofdaansluiting van het laadplein. Het verlagen van de laadsnelheid werd gedaan door het laadinfra-beheersysteem. Deze gebruikte de meetdata van het laadplein als input voor de belasting van de verschillende clusters en zorgde via het opmaken en uitsturen van OCPP 1.6 Smart Charging laadprofielen naar de verschillende laadstations dat de maximale waarde niet werd overschreden.

7.1.2 Power Quality metingen

Tijdens de proef bij ElaadNL is specifiek getest of de PQube 3 een geschikt meetapparaat is om supraharmonische verstoringen van het voltage in beeld te brengen. Dit apparaat kan het voltage tot 150 kHz meten. Dit laat de effecten van de supraharmonische stromen van de elektrische voertuigen op het voltage van het laadplein zien. Een verstoord voltage leidt ertoe dat alle stromen de verstoring over zullen nemen. In onderstaande plots, zie figuur 14, worden deze per fase weergegeven. Op de X-as de tijd, de Y-as de frequentie en middels kleuren de amplitude van de verstoring.



Figuur 14: Supraharmonische spectrogrammen PQuibe 3

Zichtbaar is dat er op verschillende frequenties verstoringsbronnen aanwezig waren tijdens de proef, met name rond de 40 en 60 kHz. Deze verstoringen corresponderen met eerder gemeten verstoringen tijdens het ElaadNL testproces van elektrische voertuigen. Tijdens de proef leidde dit niet tot laadproblemen.

7.2 CONCLUSIES ELAADNL TESTPLEIN

Op basis van de testen en meetresultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

Smart Charging

- Het gebruikte Smart Charging systeem werd gevoed met de juiste data en kon snel genoeg reageren om de belasting onder de maximale capaciteit van de kabels en de hoofdaansluiting te houden.
- Alle laadstations konden overweg met de OCPP 1.6 laadprofielen, ondanks dat het verschillende modellen van verschillende fabrikanten waren.

Power Quality

- De PQube 3 is goed in staat supraharmonische metingen van het voltage voor langere periodes te doen en deze overzichtelijk weer te geven.
- De metingen laten zien dat het voltage op sommige frequenties significant werd verstoord. De frequenties komen overeen met eerdere metingen binnen het ElaadNL testproces van elektrische voertuigen.
- Tijdens de proef leidde deze verstoringen niet tot laadproblemen of problemen met andere elektronische apparatuur.

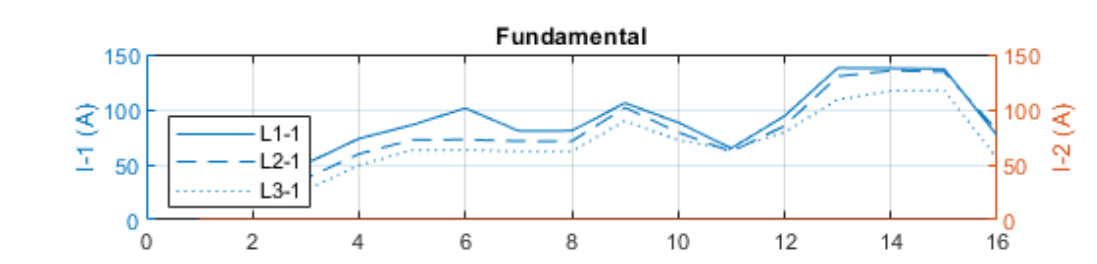
7.3 TEST LAADPLEIN ZEIST

De uitgevoerde testen en metingen geven inzicht in het Smart Charging gedrag van het laadplein en de invloed op de Power Quality. De resultaten worden dan ook op basis van deze twee onderwerpen besproken.

7.3.1 Smart Charging

Tijdens de testen was zichtbaar dat het Smart Charging algoritme ingrijpt om te voorkomen dat het maximum van de netaansluiting wordt overschreden. Dit is zichtbaar gemaakt in onderstaande grafieken. De blauwe lijnen zijn hierbij de stromen op streng 1 van het laadplein voor alle drie de fases, de oranje lijn beschrijft fase 1 van streng 2 van het laadplein. De metingen zijn gedaan tijdens het stuksgewijs toevoegen van elektrische voertuigen.

Toevoegen van EV's op streng 1

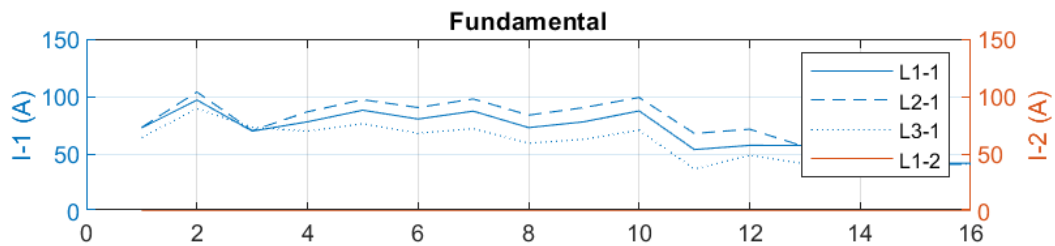


Figuur 15: meetdata stromen streng 1

Te zien is dat de maximale stromen vanaf meetpunt 6 tot 12 op elke fase rond de 100A blijven, terwijl er gedurende de periode tussen de meetpunten wel steeds meer voertuigen werden toegevoegd. Tussen meetpunt 12 en 16 is een piek naar 140A zichtbaar welke binnen 20-30 seconden werd weggeregeld door het algoritme. Het lijkt erop dat het algoritme kortstondige overbelasting toestaat.

Stuksgewijs toevoegen streng 1

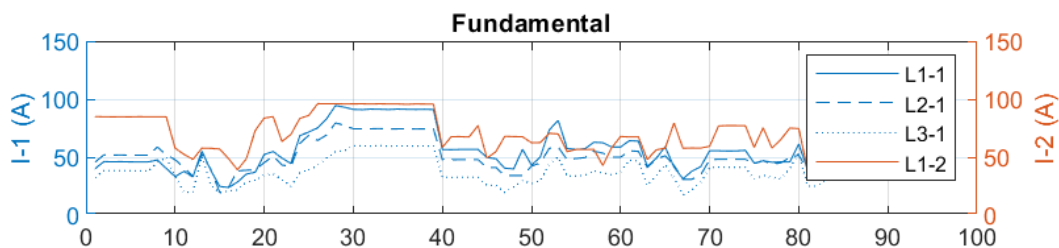
Tijdens deze test werden om en om voertuigen toegevoegd op streng 1 en streng 2. Te zien aan de meetdata van streng 1, zie afbeelding 16 hieronder, blijft de maximale stroom in dit geval onder de 100A en wordt deze lager zodra het plein maximaal vol begint te raken.



Figuur 16: meetdata stromen streng 1 stuksgewijs

Beide strengen maximaal

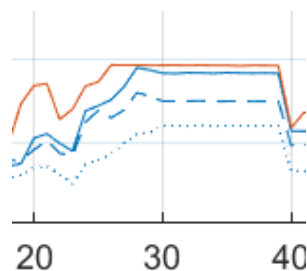
Tijdens deze test werd op beide strengen voor langere tijd maximaal geladen. In figuur 17 is te zien dat de maximale stroom onder de 100A voor beide strengen blijft.



Figuur 17: meetdata streng 1 en 2 tijdens maximale belasting

1-fase belastingen

De grafiek in figuur 17 bevat tevens de 1-fase test. Hierbij werden meerdere 1-fase voertuigen op een selectie van laadstations op streng 1 (blauwe lijnen) aangesloten, zodoende dat de voertuigen op verschillende fases laadde. Hiermee werd bepaald of het laad algoritme rekening houdt met 1-fase belasting. In figuur 18 hieronder wordt op dat moment ingezoomd.



Figuur 18: meetdata 1-fase belastingen

Het is duidelijk zichtbaar dat er een faseonbalans is; fase 1 wordt met bijna 100A belast, terwijl fase 3 rond de 60A belast wordt. Er is dus nog 40A “over” voor de voertuigen welke op de fase 3 laden. De laadsnelheid van de laders waaraan deze voertuigen waren gekoppeld werd echter niet verhoogd.

7.3.2 Power Quality

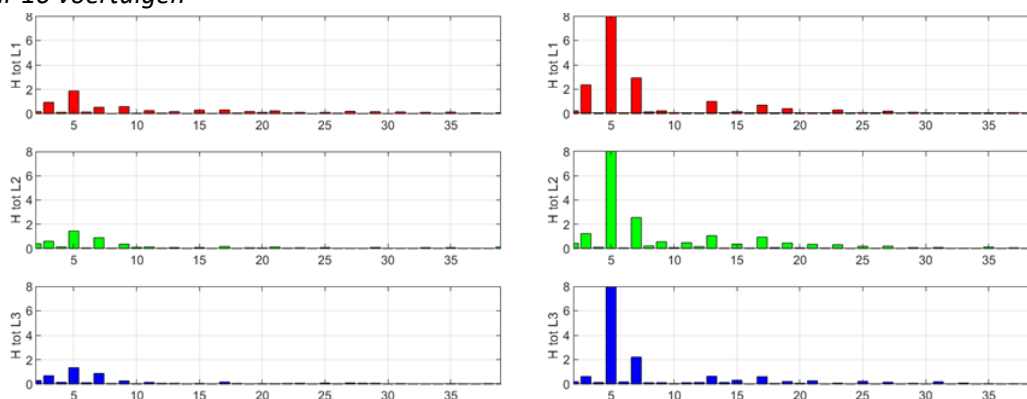
Twee type verstoringen zijn bemeaten; de harmonische en de supraharmonische emissies.

Harmonischen

Tijdens de omvorming van energie van AC in het net naar DC voor de batterij van het voertuig kunnen harmonische emissies ontstaan, welke mogelijk kunnen optellen als er meerdere voertuigen aan het laden zijn. Om een beeld te krijgen van de totale harmonische verstoring van de stroom tijdens het laden van meerdere elektrische voertuigen zijn de harmonische stromen op streng 1 bemeaten en geanalyseerd tijdens het stuksgewijs toevoegen van elektrische voertuigen.

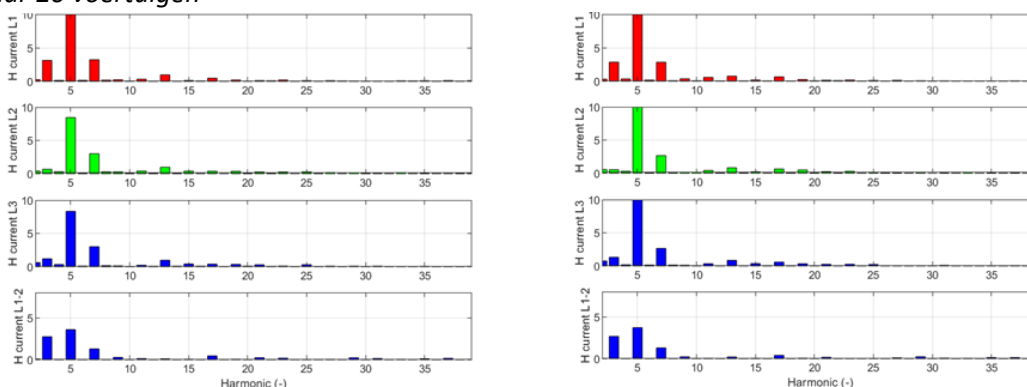
De resultaten zijn hieronder weergegeven, in figuur 19 en 20, middels 4 afbeeldingen met staafdiagrammen welke per fase (kleur) de hoeveelheid harmonische stroom per veelvoud van de grondharmonische (50Hz) (x-as) aangeven. Hierbij is met name zichtbaar dat de 5de harmonische (250Hz) te allen tijde het meest aanwezig is. Deze stijgt ook snel van 2 naar 8 Ampère als er meer voertuigen worden toegevoegd. Daarna blijft de 5de harmonische stabiel op 10A tijdens het verder toevoegen van EV's, hetgeen verklaard kan worden door de wijze waarop het laadplein de totale stroom per streng beneden de maximale waarde (125A) houdt middels om-en-om laden. Het totale aantal ladende elektrische voertuigen, en daarmee het totale aantal potentiële emissiebronnen, blijft gelijk.

Van 0 naar 10 voertuigen



Figuur 19: harmonischen bij 0 en 10 ladende voertuigen

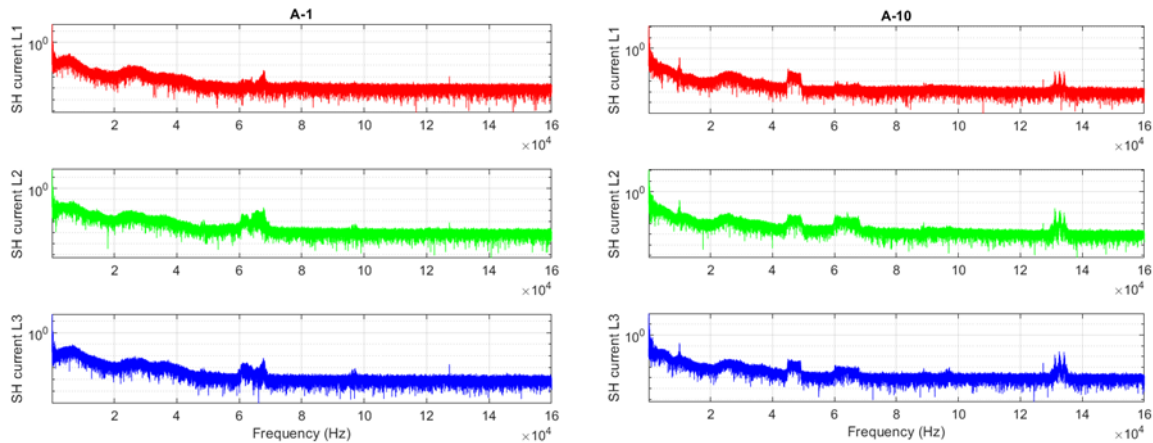
Van 10 naar 20 voertuigen



Figuur 20: harmonischen bij 10 en 20 ladende voertuigen

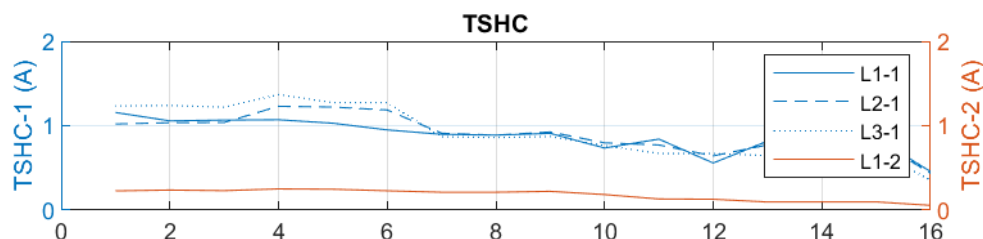
Supraharmonischen

Tijdens het laden van elektrische voertuigen kunnen de omvormers zorgen voor zogenaamde Supraharmonische verstoringen. Deze supraharmonische verstoringen zijn hieronder op twee manieren weergegeven. Ten eerste middels spectrumdiagrammen (FFTs), welke de amplitude van de supraharmonische stromen per frequentie laten zien. De waarden op de horizontale as zijn daarbij per 10.000 Hz. In figuur 21 is zichtbaar dat er tijdens het toevoegen van elektrische voertuigen meer verstoringen worden gemeten. Niet zozeer in amplitude, maar meer verstoringen op verschillende frequenties.



Figuur 21: Supraharmonische verstoringen bij 1 en 10 ladende voertuigen

Ten tweede is de Totale Supraharmonische stroom op de hoofdaansluiting in kaart gebracht, zie afbeelding 22 hieronder. Dit betreft een optelsom van alle stromen in het frequentiegebied van 2-150 kHz. Zichtbaar is dat de totale hoeveelheid Supraharmonische stroom gemeten op de hoofdaansluiting juist zakt als er meer EV's worden toegevoegd, ondanks de toename in het aantal storingsbronnen zoals gezien in de spectrumdiagrammen. Dit is echter in lijn met resultaten van eerdere onderzoeken, waarbij geconcludeerd werd dat elektrische voertuigen ook elkaars verstoringen absorberen. De totale hoeveelheid gegenereerde supraharmonische stroom zal zodoende toenemen, maar de hoeveelheid die de hoofdaansluiting bereikt kan zodoende afnemen. Dit betekent dat het effect op de netaansluiting en eventuele andere strengen op dezelfde laagspanningsaansluiting hierdoor beperkt blijft. Echter kunnen er lokaal wel problemen optreden doordat voertuigen, of andere elektronische apparatuur, de stromen absorberen en hierdoor verstoord kunnen raken.



Figuur 22: Totale Supraharmonische stroom van 1 tot 16 ladende elektrische voertuigen

7.4 CONCLUSIES TEST LAADPLEIN ZEIST

Op basis van de testen en meetresultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

Smart Charging

Laad algoritme is zichtbaar actief, maar heeft nog wel wat verbeterpunten.

- De maximale belasting wordt algemeen rond de 100A gehouden, terwijl de strengen op 125A zijn afgezekerd; hier ligt zodoende nog ruimte.
- Ondanks bovenstaande, lijkt een enkele streng kortstondig overbelast te kunnen worden indien de andere streng niet vol belast is.
- Laad algoritme houdt (nog) geen rekening met verschillende belasting van de fases.
- Verder zorgt laad algoritme er alleen voor dat de aansluitcapaciteit niet wordt overschreden. Er wordt nog niet op een gunstiger moment geprobeerd te laden in termen van geld of netcongestie.

Power Quality

Tijdens de testen zijn de hoeveelheid harmonische en supraharmonische stromen op de hoofdaansluiting bemeaten. Hieruit kunnen voor deze situatie de volgende conclusies worden getrokken:

- Harmonische stromen op de hoofdaansluiting nemen toe met aantal EV's.
- Hoe meer EV's, hoe meer harmonische stromen, maar in dit geval tot een bepaald niveau door het om-en-om laden.
- Bij meer EV's komen Supraharmonische stromen voor op meer frequenties, maar geen zichtbare toename van amplitude.
- Totale Supraharmonische stromen nemen zelfs af op de netaansluiting, vanwege absorptie door de EV's onderling.

Aanbevelingen

Op basis van de conclusies kunnen de volgende algemene aanbevelingen worden gedaan:

- Lokaal slim laden kan werken, maar er ligt nog verbeterpotentieel. Met name op het gebied van 1-fase ladende voertuigen liggen er kansen om de beschikbare energie beter te verdelen door de belasting op de laadpunten per fase te meten en de eventueel extra beschikbare energie toe te kennen aan de op de onderbelaste fase ladende EV's.
- Om-en-om laden (in plaats van tegelijk laden op de helft van het vermogen) op laadpleinen kan een goede methode zijn om problemen met te hoge harmonische stromen op de hoofdaansluiting te voorkomen/mitigeren. Idem indien er laadproblemen ontstaan door supraharmonische verstoringen.
- Indien er echter problemen met supraharmonischen op de netaansluiting ontstaan, of indien het voltage te veel verstoord raakt, dan kan er beter meer gelijktijdig worden geladen om zodoende meer absorptie te laten plaatsvinden.
- Aangezien supraharmonische zowel problemen kunnen veroorzaken op de hoofdaansluiting als op het laadplein zelf, is het belangrijk deze laag te houden. Fabrikanten dienen deze emissies dan ook te voorkomen en er dienen emissie limieten voor deze verstoringen opgesteld en geëist te worden.

7.5 TEST LAADPLEIN CULEMBORG

Op het laadplein in Culemborg is specifiek onderzocht of en hoe bidirectioneel laden kan worden ingezet als methode om direct een ander voertuig op te laden (Vehicle 2 Vehicle, of V2V).

7.5.1 Vehicle2Vehicle (V2V) 3-fasen voertuig

Tijdens deze eerste test werd er op drie fase geladen op 1 van de AC laadpalen, terwijl er op de bidirectionele DC-lader op drie fases werd teruggeleverd. Hiervoor werden transacties gestart waarbij er laadprofielen met een gelijke starttijd werden ingeschoten naar de verschillende laders, de een met positieve en de andere met negatieve waarden.

Het gedrag van de laders werd zichtbaar middels de metingen, zie tabel 2 voor drie opvolgende metingen met elk 10 seconde tussenpose en de toelichting daaronder.

Profielstap	Stroom op fases		
	I1_EV	I2_EV	I3_EV
laadprofiel +/- 6A	2,020	2,235	2,108
laadprofiel +/- 16A start	15,532	15,735	15,456
laadprofiel +/- 16A 10 seconden	3,542	3,266	3,418

Tabel 2: Smart Charging profielstappen V2V 3-fasen

Bij de start van het laadprofiel, op 6A, werd er in totaal nog ongeveer 2A geladen op alle drie de fases. Bij de stap naar 16A laden en ontladen, wordt er kort geladen met 16A. Dit betekent dat het ontladen voor een moment gestopt is. Bij de volgende meting was de DC lader al wel aan het terugleveren en staat er weer minder stroom op de fases van de hoofdaansluiting. Het verschil is echter groter dan tijdens laden op 6A, namelijk rond de 3,5A. Dit kan worden verklaard door meeton nauwkeurigheid, omvormerverliezen en het feit dat de DC lader 10 kW bleek te zijn, in plaats van de verwachte 11 kW. Hierdoor komt de maximale terug geleverde stroom op ~14,5A uit per fase.

7.5.2 Vehicle2Vehicle (V2V) 3x1-fase voertuig

Over het algemeen reageren 3-fasen voertuigen met alle drie de fases tegelijk op een verandering van laadsnelheid. Anders is dat als er wordt geladen op 1-fase door drie verschillende voertuigen van verschillende fabrikanten. Tijdens deze test werden de 1-fase voertuigen op specifieke laadpunten aangesloten zodat ze ieder op een andere fase laadde.

Het gedrag van de laders werd zichtbaar middels de metingen, zie tabel 3 voor de metingen en de beschrijvingen.

De test maakt zichtbaar dat verschillende elektrische voertuigen verschillende responsetijden op het starten en aanpassen van een laadsessie hebben. Ook was hier weer zichtbaar dat de DC lader sneller reageert dan de verschillende AC ladende voertuigen.

Profielstap	I1_EV	I2_EV	I3_EV	Sec.
Start profiel; laden en ontladen op 6A. Stroom richting 0A.				
Mooie match	0,654	0,539	0,929	10
	0,652	0,562	0,946	20
	0,587	0,504	1,077	30
	0,621	0,531	0,965	40
	0,659	0,548	1,011	50
Sprong naar 16A (ont-)laden. 2 van de 3 ladende EV's reageren relatief traag -> mismatch	3,586	-6,403	-5,871	60
Zodra alle EV's aan het (ont-)laden zijn verschil van 3A	3,685	3,254	3,279	70
	3,893	3,426	3,241	80
	3,654	3,316	3,368	90
	3,830	3,368	3,268	100
	3,840	3,369	3,349	110
Terug naar 6A (ont-)laden. AC EV's 2 en 3 reageren weer traag met verlagen. AC EV 1 is al wel aan het verlagen	7,476	10,217	10,318	120
Zodra alle EV's aan het (ont-)laden zijn stroom richting 0A	0,587	0,439	1,139	130
	0,532	0,318	1,041	140
	0,511	0,443	1,123	150
	0,512	0,439	1,155	160
	0,534	0,450	1,099	170
Sprong naar laadpauze (0A). DC lader reageert weer het eerst, gevolgd door AC EV 1	2,744	5,612	3,413	180
	-0,439	-0,179	0,602	190
	-0,446	-0,174	0,540	200
	-0,464	-0,218	0,571	210
	-0,495	-0,352	0,511	220
	-0,509	-0,177	0,762	230
Herstart (ont-)laden op 16A. DC lader reageert het snelst en stroom vloeit terug. Daarna verschil van ongeveer 3A	-12,121	-12,440	-11,416	240
	3,580	3,374	3,489	250
	3,489	3,439	3,394	260
	3,484	3,312	3,349	270

Tabel 3: Smart Charging profielstappen V2V 3x 1-fase EV

7.5.3 V2V voor Priority Charging

Tijdens deze test werd energie ontladen uit het voertuig welke was aangesloten op de V2G DC lader, en werd de laadsnelheid van een 3-fasen voertuig op een AC lader hiermee verhoogd. Bij deze test waren 3 voertuigen betrokken. 1 voertuig op de AC lader, welke continu op 6A laadt, 1 voertuig op een AC lader welke start op 6A en (middels extra energie uit de DC lader) naar 10A gaat en 1 voertuig op de DC lader welke eerst met 12 A wordt ontladen en vervolgens met 16A. Het gedrag van de laders werd zichtbaar middels de metingen, zie tabel 4 voor de metingen en de beschrijvingen.

Profielstap	I1_EV	I2_EV	I3_EV	Sec.
Start profiel. Stromen eerst negatief; DC lader is eerder met terug laden op 12A dan de 2x AC 6A EV's. Uiteindelijk verschil is ~1,5A	-3,908	-4,347	-3,779	10
	1,677	1,443	2,012	20
	1,688	1,338	1,906	30
	1,691	1,394	1,901	40
	1,717	1,491	1,974	50
Prio charging. 1 AC laadsessie verhoogd naar 10A en DC laadsessie naar 16A. DC lader weer iets sneller, zie negatieve waardes	-0,207	-0,644	-0,093	60
	3,359	2,981	3,512	70
Uiteindelijk verschil in laad-/ontlaadsnelheid blijft ~3,5A	3,358	2,951	3,456	80
	3,382	2,990	3,528	90

Tabel 4: Smart Charging profielstappen V2V voor priority charging

Op het moment dat er 4A extra mag worden geladen door het voertuig met priority, is een korte negatieve waarde zichtbaar. Dit betekent dat het DC lader eerder de onlaadsnelheid heeft verhoogd dan het priority voertuig zijn laadsnelheid. Daarna blijft er ongeveer 3 à 3,5A getrokken worden, zoals ook eerder gezien tijdens de voorgaande testen.

7.6 CONCLUSIES CULEMBORG

Uit de testen kan worden geconcludeerd dat laden en ontladen kan worden gematched om de belasting van de aansluiting te verlagen. Het is echter geen 100% match, vanwege:

- Verschillen in inschakeltijd en wijzigen laadsnelheid tussen de EV's op AC laders.
- De DC lader reageert sneller op nieuwe laadprofielen en tijdens wijzigingen in het laadprofiel.
- DC lader lijkt (1x geobserveerd) kortstondig naar 0 te gaan bij een snelheidswijziging.
- Door energieverlies AC/DC omvorming in de DC lader is de terug geleverde stroom lager dan vanuit het profiel opgevraagd. Het omvormen van energie gaat altijd met verliezen gepaard, zoals ook eerder aangetoond tijdens een onderzoek naar V2G efficiëntie bij ElaadNL⁴.
- Alle laders verbruiken ook als er niet geladen wordt energie. Dit stroomgebruik komt nog bij de laadstroom erbij en gaat van de ontladstroom af.

Aanbevelingen voor exacte(re) match

Doordat de stroomwaardes en de responsetijden van de voertuigen en de DC lader niet altijd overeenkwam, ontstonden er (tijdelijke) mismatches in de laad- en ontladstromen waardoor het totaal niet op 0 uitkwam. Met name de verschillen in tijdigheid leiden hierbij tot kortstondige pieken in het stroomverbruik. Mocht V2V worden gebruikt om de stroom onder de waarde van de overstroombeveiliging te houden, dan kan een langere overbelasting, zoals bij een niet ideale match tussen laad- en ontladstroom, ertoe leiden dat de beveiliging ingrijpt. Bij een kortstondige overbelasting door een niet exacte match in tijdigheid zal de overstroombeveiliging waarschijnlijk niet ingrijpen omdat deze tijdelijk overbelast kunnen worden. Mocht dit echter wel het geval zijn, of mocht er nog een andere reden zijn om onder een bepaalde waarde te blijven (zoals een capaciteitstarief), dan kan het exact(er) matchen van de tijdigheid wel van belang zijn. Om het laden en ontladen beter te matchen kunnen de volgende verbeteringen worden doorgevoerd:

- Gebruik op laadpleinen alleen elektrische voertuigen, indien mogelijk, en DC laders met 3-fasen welke gelijktijdig reageren en welke een gelijke belasting per fase hebben.
- Het laadstation dient bij de uitvoer van het Smart Charging laadprofiel deze exact te volgen en geen stappen toe te voegen, zoals het tussentijds naar 0 gaan.
- Houd rekening met de gespecificeerde efficiëntie van de DC lader, en neem dit mee in het Smart Charging algoritme.
- Meet op de hoofdaansluiting en gebruik deze meetdata om laden en ontladen te finetunen, bijvoorbeeld middels de inzet van kunstmatige intelligentie.

⁴ W. Schram et al. "Empirical Evaluation of V2G Round-trip Efficiency" Utrecht University, 2020

8. ALGEMENE CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Het doel van de testen aan de slimme laadpleinen was om kennis te vergaren over de toepasbaarheid van slimme laadpleinen. Algemeen staan hierbij de vragen centraal of laadpalen en voertuigen individueel om kunnen gaan met slim laden, of slimme laadpleinen kunnen zorgen voor een snelle uitrol van veel laders op een enkele, beperkte netaansluiting, wat V2G kan bieden en wat voor een effect een dergelijk laadplein heeft op de spanningskwaliteit van het net. Hieronder volgen de algemene conclusies.

Wat betreft het individuele Smart Charging gedrag van voertuigen en laadstations:

- Er zijn nog altijd laadstations en voertuigen welke niet geheel volgens de standaard werken of niet met bepaalde Smart Charging scenario's, zoals het voor langere tijd uitstellen van het laden, overweg kunnen.
- Het blijft dan ook noodzakelijk om het laadgedrag van zowel laders als voertuigen te testen en de opgedane kennis te delen met de verschillende partijen. Om dit structureel te verbeteren moeten slim laden use cases en test scenario's gedefinieerd en vastgelegd worden. Deze dienen vervolgens toegevoegd te worden aan laadcommunicatiestandaarden, specifiek de 61851-1.

Wat betreft versnellen uitrol laders op beperkte netaansluiting:

- De Smart Charging systemen, welke de totale hoeveelheid afgenomen stroom onder de maximale waarde moeten houden, werken. De gebruikte strategieën zijn hierbij het verlagen van de laadsnelheid en het om-en-om laden. Wel zijn er nog verbeteringen mogelijk, met name op het gebied van rekening houden met 1-fase belastingen. Ook dienen de elektrische voertuigen zelf goed om te kunnen gaan met Smart Charging en hierop getest te worden in het ElaadNL testlab.
- Dit komt overeen met de conclusie in het onderzoeksrapport "Slimmer laden op Laadpleinen" uit dezelfde proeftuin en met het onderzoek van het project Smooth EMS met Gridshield⁵. Bij beide is de conclusie dat het mogelijk is om met Smart Charging, door het beter plannen van sessies, de vermogenspiek lager te houden.
- Het aansturen van de laadsnelheid kan via een lokale controller of via een centraal laadinfrabeheersysteem gedaan worden. In beide gevallen kan hiervoor gebruik gemaakt worden van het Open ChargePoint Protocol (OCPP), de "de facto" wereldwijde standaard voor communicatie met laadstations. De proef bij ElaadNL liet zien dat dit protocol Smart Charging op verschillende laadpalen van verschillende fabrikanten mogelijk maakt. Hierbij is het wel van belang dat laadstations de aan transacties gekoppelde laadprofielen (TxProfile) exact volgen en geen stappen zelfstandig toevoegen.

Wat betreft de inzet van V2G, specifiek V2V:

- V2V kan worden ingezet om de belasting van de netaansluiting te verlagen of zelfs richting 0 te krijgen.
- Om een perfecte match te krijgen dient er wel rekening gehouden te worden met het eigen verbruik van de laders, dienen de voertuigen/DC laders gelijktijdig te reageren en dient er in het

⁵ <https://elaad.nl/projecten/smoothems-met-gridshield/gerelateerd-nieuws/blog-hoe-lang-en-hoe-veel-wilt-u-laden/>

geval van een DC lader rekening gehouden te worden in het laadprofiel met de energieverliezen in de lader.

- Een perfecte match zou ook gemaakt kunnen worden doormiddel van een (zelflerend) algoritme waarbij de hoeveelheid stroom op de hoofdaansluiting en een identificatiemiddel van klant of voertuig als input wordt gebruikt. Meer hierover bij het kopje vervolgonderzoek.

Wat betreft de invloed van laadpleinen op de spanningskwaliteit:

- Qua Power Quality lijken de emissies van supraharmonischen op het net beperkt. Er komen wel meer verstoringbronnen als er meer EV's worden aangesloten, maar de totale hoeveelheid Supraharmonische emissies naar het net verlagen bij meer EV's. De emissies lijken onderling te worden opgenomen.
- De harmonischen nemen echter wel toe. Hoewel er geen overschrijdingen van de voltage harmonische limieten zijn gemeten tijdens de duurtesten, zijn er wel relatief hoge harmonische stromen gemeten tijdens de verdiepende test in Zeist. Deze bleven beperkt doordat er bij een belasting van 10 EV's per streng om-en-om geladen werd, waarbij het aantal ladende voertuigen op elk moment beperkt blijft.
- Om-en-om laden is dan ook een goede strategie om harmonische problemen te mitigeren. Bij laadproblemen dankzij supraharmonischen idem. Indien er echter problemen met supraharmonischen op de netaansluiting ontstaan, of indien het voltage te veel verstoord raakt, dan kan er beter meer gelijktijdig worden geladen om zodoende meer absorptie te laten plaatsvinden.

9. VERVOLGONDERZOEK

Tijdens het testen en meten van de verschillende gerealiseerde laadpleinen binnen het project is geconcludeerd dat er nog een aantal zaken zijn welke meer onderzoek verdienen.

9.1 VERVOLGONDERZOEK V2G VIA 15118-20

Een van de onderzoekspunten was bidirectioneel laden (of V2G). Op de reeds binnen het project uitgevoerde laadpleinen was dit nog beperkt doorgevoerd omdat alleen CHAdeMO DC laders met V2G beschikbaar waren. Deze, van oorsprong Japanse, standaard wordt alleen ondersteund door Japanse voertuigen. In Europa is ondertussen besloten dat voor DC laden CCS2 de standaard wordt. Om op CCS2 V2G mogelijk te maken is een uitbreiding van het communicatieprotocol benodigd geweest, welke in april 2022 officieel is uitgebracht (15118-20) en welke momenteel door de markt geïmplementeerd wordt. Deze ontwikkeling kwam dan ook te laat voor dit project.

Als vervolg hierop heeft ElaadNL, onder andere met behulp van de klimaatvelop subsidie, in 2022 een systeem aangeschaft waarmee het testen van de nieuwe standaard mogelijk is. Zodoende kan ElaadNL V2G gaan testen en de implementatie ervan versnellen. Het betreft het Charge Discovery System van Keysight, gecombineerd met 360 kW aan net-emulators en 360 kW aan bidirectionele DC bronnen, zie figuur 23. Het Charge Discovery System zorgt hierbij voor de communicatie, met de netemulatoren kan een schoon of gecontroleerd verstoord net worden gecreëerd voor Power Quality testen en middels de bidirectionele DC bronnen kan het laden en ontladen op een snellader worden geëmuleerd.



Figuur 23: van links naar rechts: Keysight netemulator, Charge Discovery System, bidirectionele DC bron

Middels deze testopstelling kan ElaadNL elektrische voertuigen en laders gaan testen op bidirectioneel laden. Door adviserende en pre-normatieve testen aan te bieden kan de implementatie van V2G in het veld worden versneld, kunnen problemen met bidirectioneel laden in het veld worden voorkomen en kan ervaring worden opgedaan met de specifieke eigenschappen van bidirectioneel laden, zoals op de spanningskwaliteit, op het gebied van het gebruik van bidirectionele Smart Charging laadprofielen en op het gebied van de totale efficiëntie bij laden en ontladen.

9.2 VERVOLGONDERZOEK OPTIMALISATIE V2V

In de conclusies is genoemd dat bij V2V laden niet altijd een match is in de gelijktijdigheid en de stroomsterkte tijdens het laden van het ene voertuig en het ontladen van het andere voertuig. Zo kan het voertuig, de laadpaal (verschil AC/DC) of het algoritme, een vertraging of stroomverschil introduceren. Door het stroomverschil zal de stroom op de netaansluiting niet 0 zijn. En door het tijdsverschil kan het zijn dat er stroom ontladen wordt terwijl er geen voertuig aan het laden is en zo ongewenst stroom het net opsturen (en vice versa). De inzet van Kunstmatige Intelligentie (KI), via een zelflerend algoritme, kan hierbij een uitkomst bieden. Zo kan een zelflerend algoritme bijsturen op de energieverliezen en ongelijktijdigheden welke hij leert op basis van model en type voertuig en laadpaal. Zodoende kan, na het leren van het gedrag van de laders en voertuigen, het algoritme ervoor zorgen dat het laden en ontladen perfect afgestemd wordt, zowel in stroomsterkte als in tijd, en zorgen voor een “0 op de meter”. Enkele voorbeelden van situaties waarin dit belangrijk is; een gebruiker die betaald voor zijn aansluitcapaciteit op piekvermogen, of in geval van eilandbedrijf (geen netaansluiting) waarbij vraag en aanbod perfect afgestemd moeten zijn. Om dit te bewerkstelligen zijn verdere onderzoeken en testen naar het toepassen van KI bij het matchen en optimaliseren van laadalgoritmen nog nodig.

BIJLAGE I: LAADSTATIONS ELAADNL TESTLAB

Hieronder volgt een lijst van de AC laadstations in het ElaadNL Testlab. Hierbij is een onderscheidt gemaakt tussen de (semi-) publieke laadstations welke in de publieke ruimte staan en wallboxen welke met name worden gebruikt om thuis of op het werk op te laden.

(Semi) Public AC charging stations

Manufacturer	Type	Sockets	Protocols	kW/socket
Alfen	EVE Double Pro-Line	2	Mode3	22 (Max)
Alfen	Tube 2.0 (NG910)	1	Mode3	11
Alfen	Twin XL	2	Mode3	11 (Max)
Alfen	Twin 4XL	2	Mode3	27,6 (Max)
CirControl	eVolve Smart model T	2	Mode3	22
Compleo	Duo	2	Mode3	22 (Max)
Ecotap	Yeris wide 64A	2	Mode3	22 (Max)
eNovates	Pro22	2	Mode3	11
eNovates	Pro11	1	Mode3	11
EV-Box	Business line	1	Mode3	17,2
EV-Box	Elvi	1	Mode3	22
EV-Box	ML zuil 64A	2	Mode3	22 (Max)
GE	Durastation (LMS)	2	Mode3	11 (Max)
Reewoud	Chargepoint P6 V2G (LMS)	2	Mode3	11 (Max)
RWE	Innogy	2	Mode3	11 (Max)
Smappee	EV Base	2	Mode3	22 (Max)
Trialog	AC15118	1	Mode3/15118-2	11 (Max)

AC Wallboxes

Manufacturer	Type	Sockets	Protocols	kW/socket
Alfen	EVE single Pro-line	1	Mode3	22
Autel	MaxiCharger AC Wallbox	1	Mode3	22
CTEK	Chargestorm Connected 2	2	Mode3	22
Easee	Home	1	Mode3	22
EO Charging	Genius 2	1	Mode3	22
Etrell	Inch home	1	Mode3	22
Liteon	EU 32A intelligent charger	1	Mode3	22
Schneider Electric	EVLink smart wallbox	1	Mode3	22
Schneider Electric	EVLink Pro	1	Mode3	7,4
Smappee	EV Wall	1	Mode3	22
Vestel	EVC04	1	Mode3	22
Wallbox	Copper SB	1	Mode3	22
Wallbox	Commander 2	1	Mode3	22

BIJLAGE II: V2V LAADPROFIELEN

Onderstaand zijn de twee laadprofielen gebruikt voor de V2V proef weergegeven. Links staat het laadprofiel verstuurd naar de Alfien AC lader(s), rechts het laadprofiel verstuurd naar de Venema DC lader met V2G functionaliteit. Het profiel begint met enkele eigenschappen van het laadprofiel, waarna de laadsnelheid per periode wordt gedefinieerd. In de regel wordt de laadsnelheid op een AC lader gedefinieerd in stroom, en op een DC lader in Watts. Dat is hier ook het geval. De negatieve limietwaarden tijdens de periodes in het profiel van de DC V2G lader betekenen dat er ontladen mag worden.

AC lader

```

"connectorId" : 1,
"csChargingProfiles" : {
  "chargingProfileId" : 2,
  "stackLevel" : 0,
  "chargingProfilePurpose" : "TxDefaultProfile",
  "chargingProfileKind" : "Absolute",
  "chargingSchedule" : {
    "startSchedule" : "2022-10-27T08:15:00Z",
    "chargingRateUnit" : "A",
    "chargingSchedulePeriod" : [
      {
        "startPeriod" : 0,
        "limit" : 6,
        "numberPhases" : 3
      },
      {
        "startPeriod" : 60,
        "limit" : 16,
        "numberPhases" : 3
      },
      {
        "startPeriod" : 120,
        "limit" : 6,
        "numberPhases" : 3
      },
      {
        "startPeriod" : 180,
        "limit" : 0,
        "numberPhases" : 3
      },
      {
        "startPeriod" : 240,
        "limit" : 16,
        "numberPhases" : 3
      }
    ]
  }
}

```

DC V2G lader

```

"evseId" : 0,
"chargingProfile" : {
  "id" : 2,
  "stackLevel" : 1,
  "chargingProfilePurpose" : "TxDefaultProfile",
  "chargingProfileKind" : "Absolute",
  "chargingSchedule" : [
    {
      "id" : 1,
      "startSchedule" : "2022-10-27T08:15:00Z",
      "chargingRateUnit" : "W",
      "chargingSchedulePeriod" : [
        {
          "startPeriod" : 0,
          "limit" : -4140
        },
        {
          "startPeriod" : 60,
          "limit" : -11040
        },
        {
          "startPeriod" : 120,
          "limit" : -4140
        },
        {
          "startPeriod" : 180,
          "limit" : 0
        },
        {
          "startPeriod" : 240,
          "limit" : -11040
        }
      ]
    }
  ]
}

```

Figuur 24 & 25: laadprofielen voor AC laden en DC ontladen

Elaadnl

