

De geleerde lessen van de Haalbaarheidsstudie DC-Laadplein

Een oplossing met hoge potentie voor het laden van elektrische voertuigen in netcongestiegebieden

Author(s)

Warmerdam, J.M.; Schaacke, Rob

Publication date

2022

Document Version

Final published version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Warmerdam, J. M., & Schaacke, R. (2022). *De geleerde lessen van de Haalbaarheidsstudie DC-Laadplein: Een oplossing met hoge potentie voor het laden van elektrische voertuigen in netcongestiegebieden*. (Versie 0.1 ed.) Hogeschool van Amsterdam.

General rights

It is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), other than for strictly personal, individual use, unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Disclaimer/Complaints regulations

If you believe that digital publication of certain material infringes any of your rights or (privacy) interests, please let the Library know, stating your reasons. In case of a legitimate complaint, the Library will make the material inaccessible and/or remove it from the website. Please contact the library: <https://www.amsterdamuas.com/library/contact>, or send a letter to: University Library (Library of the University of Amsterdam and Amsterdam University of Applied Sciences), Secretariat, Singel 425, 1012 WP Amsterdam, The Netherlands. You will be contacted as soon as possible.

De geleerde lessen van de Haalbaarheidsstudie DC-Laadplein



Een oplossing met hoge potentie voor
het laden van elektrische voertuigen
in netcongestiegebieden



TKI Urban Energy
2019 – 2022
Versie 0.1

© 2022 Copyright Hogeschool Amsterdam

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door print-outs, kopieën, of op welke manier dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de Hogeschool Amsterdam.

Inhoudsopgave

1.	Inleiding	3
2.	Het DC-Laadplein	6
2.1	Inleiding	6
2.2	Netwerkbeschrijving	6
2.3	Active Front End	8
2.4	Batterij	8
2.5	DC-DC Lader	8
2.6	Droop rate control & Smart Charging	8
2.7	Labtests	10
2.8	Wetgeving en standaardisering	10
3.	Kansen van het DC Laadplein	12
3.1	Inleiding	12
3.2	Business modellen	12
3.2.1	Marktontwikkelingen	12
3.2.2	Voordelen van DC Laadpleinen	13
3.2.3	Toepassing van DC laadpleinen	14
3.2.4	Doelgroepen voor het DC Laadplein	14
3.2.5	Potentiële business case	15
4.	Conclusie	18
4.1	Opschalen is kansrijk onder bepaalde voorwaarden	18
4.2	Geleerde lessen	18
4.3	Vervolgonderzoek	19

1. Inleiding

In 2019 hebben de Hogeschool van Amsterdam, Time Shift Energy Storage, Ecotap en Allego de TKI Urban Energy subsidie gekregen om een haalbaarheidsstudie uit te voeren naar het DC Laadplein 2.0. Het DC Laadplein wordt gezien als een mogelijke vervanger van AC laadpleinen, waarbij de potentie van de netaansluiting optimaal benut kan worden en meerdere voertuigen effectief kunnen worden opgeladen.

Het DC-Laadplein

DC laadpleinen worden gevoed door gelijkstroom (DC), terwijl AC laadpleinen zijn aangesloten door middel van AC-infrastructuur. AC is sinds begin van de vorige eeuw de norm en daardoor verder uitontwikkeld. Alle transport en distributie, maar ook wet- en regelgeving is hierop gebaseerd. DC is daardoor een relatief nieuwe techniek waar minder ervaring mee is en wet- en regelgeving nog niet voor is opgesteld.

Een DC-Laadplein krijgt zijn stroom geleverd via een batterijopslagsysteem die vervolgens weer is aangesloten op een AC-aansluitpunt (meestal een netaansluiting). Het voordeel van een DC-Laadplein is de betere regelbaarheid, minder transport-verliezen en de schaalbaarheid naar meerdere laadsessies tegelijkertijd. In principe zouden er 20 (of meer) elektrische auto's tegelijkertijd geladen moeten kunnen worden op een constante hoge stroomwaarde voor enkele uren. Dit heeft geen beperkende werking tot gevolg van het AC-aansluitpunt. Een vergelijkbaar AC-Laadplein kan dit in veel mindere mate met minder snelle stroomtoevoer in vergelijking tot een DC-Laadplein.

Definitie DC Laadplein

Er bestaan verschillende definities van een laadplein, o.a. vanuit het RVO en het Nationaal Kennisplatform voor Laadinfrastructuur (NKL). Samengevat geven deze definities aan dat er sprake is van een laadplein als er meerdere laadpunten gebruik maken van één netaansluiting. Hierbij wordt niets gezegd over de achter- of tussenliggende infrastructuur. Daarom definiëren we het DC Laadplein als volgt:

“Een DC Laadplein is een DC-netwerk waar een Active Front End, een batterij en één of meerdere DC-laadpunten op zijn aangesloten.”

Op het moment van schrijven rijden er in Nederland ca. 500.000 elektrische personen-voertuigen op de weg (Bron: RVO¹). De verwachting is dat het aantal elektrische voertuigen tot 2030 verder toeneemt naar ca. 26% van het totale wagenpark, wat neerkomt op meer dan twee miljoen elektrische voertuigen. Daarnaast zien we dat ook andere modaliteiten steeds vaker en sneller overgaan naar een elektrische aandrijving op met een batterij. OV-bussen, bestelvoertuigen en trucks maken naar verwachting de komende jaren een spectaculaire groei door.

Voor het opladen van personenvoertuigen is de laatste jaren een uitgebreide laad-infrastructuur aangelegd van ca. 14.000 publieke laadpunten, 15.000 semi-publieke laadpunten, 750 snelladers en naar schatting 70.000 private laders (thuis en werk)². Hiermee is Nederland één van de koplopers in het aandeel elektrische voertuigen in Europa (na Noorwegen) en heeft het één van de meest uitgebreide en geavanceerde laadinfrastructuren wereldwijd. Het laadnetwerk voor trucks en OV-bussen is in veel mindere mate ontwikkeld, maar zal een exponentiele groei kennen, met name op bedrijventerreinen.

Modaliteit	Huidig aandeel e-voertuigen	Prognose aandeel e-voertuigen		Prognose aantal e-voertuigen	
		2035	2050	2035	2050
Personenauto's	3,4%	44,5%	98,6%	4.058.800	9.112.800
OV-bussen	25%	95%		4.700	
Bestelvoertuigen	0,7%	61%		618.600	
Trucks-stadslogistiek	0,6%	83%		25.000	
Trucks (inter)nationaal	0%	42%		48.500	
Binnenvaart/containervaart	0%	51%		97	
Bouwmaterieel	0%	42%		24.600	

Figuur 1 - Prognose ElaadNL Outlook³

¹ onderwerpen/elektrisch-rijden/cijfers

² onderwerpen/elektrisch-rijden/cijfers

³ <https://elaad.nl/stroomvraag-op-bedrijventerreinen-voor-opladen-elektrische-voertuigen-gaat-fors-toenemen/>

Diverse drijfveren zorgen in toenemende mate voor problemen op het elektriciteitsnet, zoals de toename van duurzame energie, elektrificatie van onze warmtevoorziening én de groei van laadinfrastructuur en elektrische voertuigen. De ervaring leert dat een elektrische voertuig het energiegebruik van een huishouden bijna verdubbelt, hebben we het over de vermogensvraag dat neemt deze toe met een factor 4 tot 5. Bovendien wordt veelal aan het begin van de avond (bij thuiskomst) gestart met laden, zodat de piek in huishoudelijke energievraag aanzienlijk wordt verhoogd.

Hetzelfde zien we terug bij bedrijven. Wagenparkbeheerders en locatie-eigenaren die grootschalig willen overstappen naar elektrisch rijden lopen tegen de grenzen van hun elektriciteitsaansluitingen aan. Het uitbreiden van de netaansluiting is kostbaar én kent doorlooptijden van soms meer dan vijf jaar omdat er eerst net-investeringen moeten plaatsvinden. Om voorbereid te zijn op de verwachte groei én om deze groei mogelijk te maken, is het cruciaal om ervaring op te doen met slimme oplossingen zoals slim laden (Smart Charging).

Om problemen met de beschikbaarheid van netcapaciteit het hoofd te bieden en kennis op te bouwen over Slim Laden, heeft de Hogeschool van Amsterdam in samenwerking met Time Shift (bouwer/exploitant van batterijsystemen) gewerkt aan de ontwikkeling van een DC-Laadplein. Een DC-Laadplein, ofwel een mogelijkheid om meerdere laadpalen en laadsessies tegelijkertijd te faciliteren via een combinatie van batterijopslagsysteem. Hiermee kunnen minimaal tien 20 kW elektrische voertuigen tegelijkertijd geladen worden op een constante hoge stroomwaarde voor enkele uren. Hierbij zijn de volgende doelen gesteld:

- **Nieuwe bouwstenen** ontwikkelen op basis van vermogenselektronica en regeltechniek.
- **Nieuwe besturingstechnieken** ontwerpen en ontwikkelen waarmee een DC-Laadplein aangestuurd kan worden voor min. 4 e-auto's tegelijkertijd.
- **Nieuwe verdienmodellen** ontwikkelen voor exploitanten van laadpleinen waarmee een investering in een DC-Laadplein zichzelf snel heeft terugverdiend.
- **Workshops** met in ieder geval (i) fleetowners, (ii) hele keten (over simulaties)
- **Fieldlab:** Faciliteren van delen van kentallen laadgedrag via bijvoorbeeld API's aan commerciële partijen die hiermee hun (smart charging) dienstverlening kunnen verbeteren.
- **Event:** Organisatie van een congres of evenement over slim laden en laadgedrag.

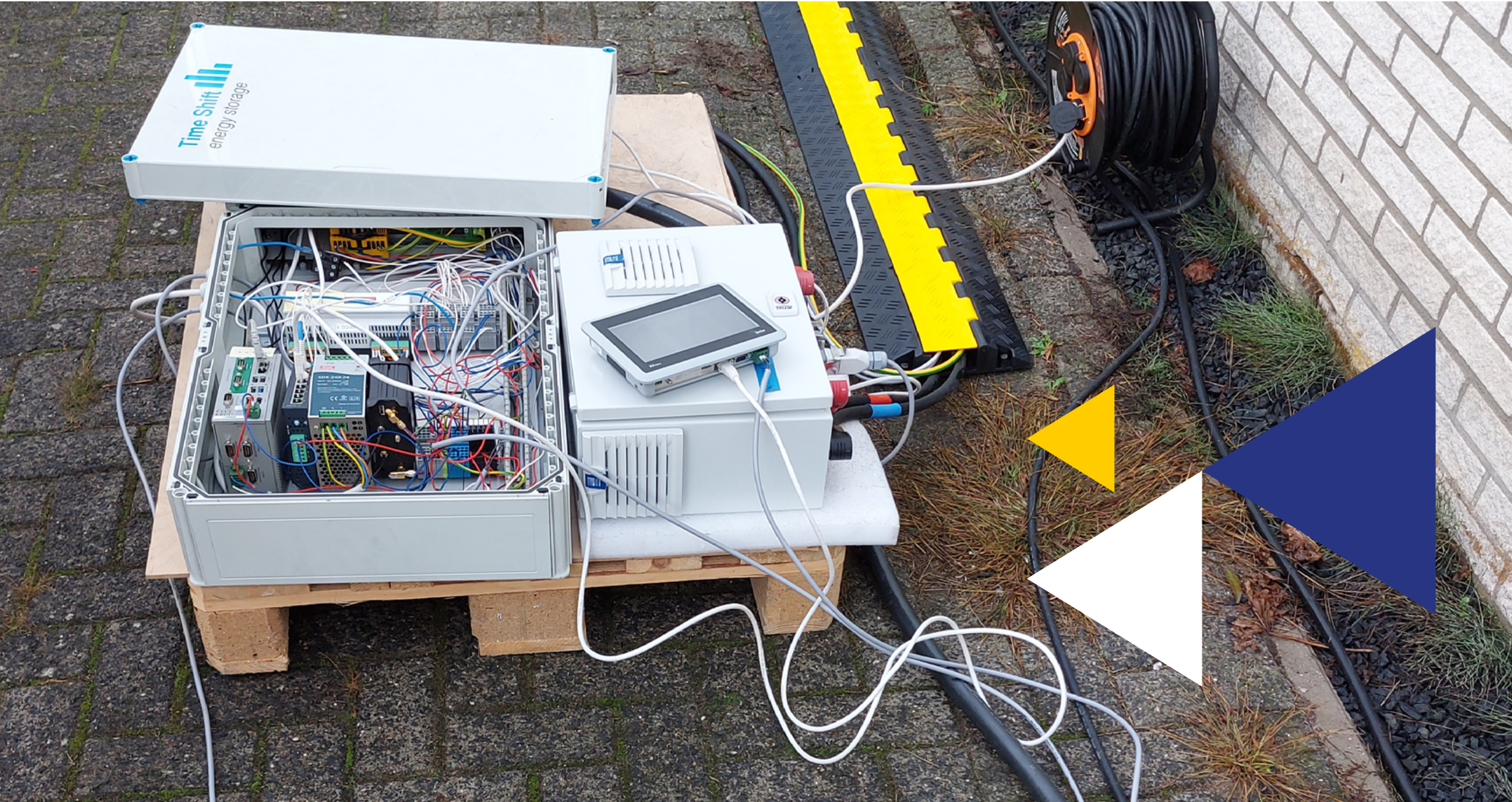
We presenteren de resultaten en geleerde lessen m.b.t. het ontwikkelen van nieuwe bouwstenen, besturingstechnieken en verdienmodellen. De Hogeschool van Amsterdam heeft als projectcoördinator deze eindrapportage voor de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (hierna: RVO) opgesteld, met bijdragen van deelnemende partijen.

Verloop van het project

Bij aanvang zijn de Hogeschool van Amsterdam, Ecotap, Allego en Time Shift Energy Storage gestart met het project. Zij zijn allen betrokken geweest bij een groot deel van de aanvankelijke ontwikkeling en workshops. In maart 2020 is Allego uit het project gestapt vanwege een gewijzigde bedrijfsstrategie. Gezamenlijk is besloten om de werkzaamheden van Allego te beleggen bij Ecotap en Time Shift. Later dat jaar bleek dat Ecotap niet in staat was om aan haar verplichtingen te voldoen. Als gevolg hebben Time Shift en de HvA het DC laadplein ontwikkeld en heeft Time Shift parallel een eigen DC-laadpaal ontwikkeld. Daarnaast heeft de COVID-19 pandemie gezorgd voor een hoog verzuim en het in bepaalde periodes onmogelijk gemaakt om fysiek samen te komen en test te kunnen uitvoeren. Tot slot waren door o.a. chiptekorten onderdelen slecht leverbaar.

Ondanks deze tegenslagen hebben we het project succesvol kunnen afronden en waardevolle resultaten behaald. Hiervoor willen we de partners bedanken!





2. Het DC-Laadplein

2.1 Inleiding

Elektrische auto's gebruiken batterijen met gelijkstroom (Direct current - DC) in plaats van wisselstroom (Alternating Current - AC). Duurzame energiebronnen zoals wind- en zonne-energie leveren energie in DC. Het omzetten van DC naar AC en vice versa om de stroom te kunnen transporteren resulteert in energieverlies.

Op dit moment leveren de meeste reguliere laadpalen voor elektrische auto's energie in AC. Deze stroom wordt in de auto omgezet naar DC. De vraag naar DC laadinfrastructuur neemt echter toe, onder andere doordat er op hoger vermogen geladen kan worden doordat de omzetting van stroom niet door de omvormer in de auto gebeurt, maar in de laadpaal.

Door de toenemende vraag naar laadpunten op één locatie worden steeds vaker laadpleinen ingezet. Dit kan zowel bij bedrijven als in de openbare ruimte voor bijvoorbeeld bewoners en bezoekers. Laadpleinen worden palen doorgaans verbonden met AC infrastructuur, ook als er sprake is van enkel DC laders zoals op verzorgingsplaatsen langs de snelweg. Door dit te doen met een micro DC-energie-net optimaal gebruik worden gemaakt van het beschikbare vermogen.

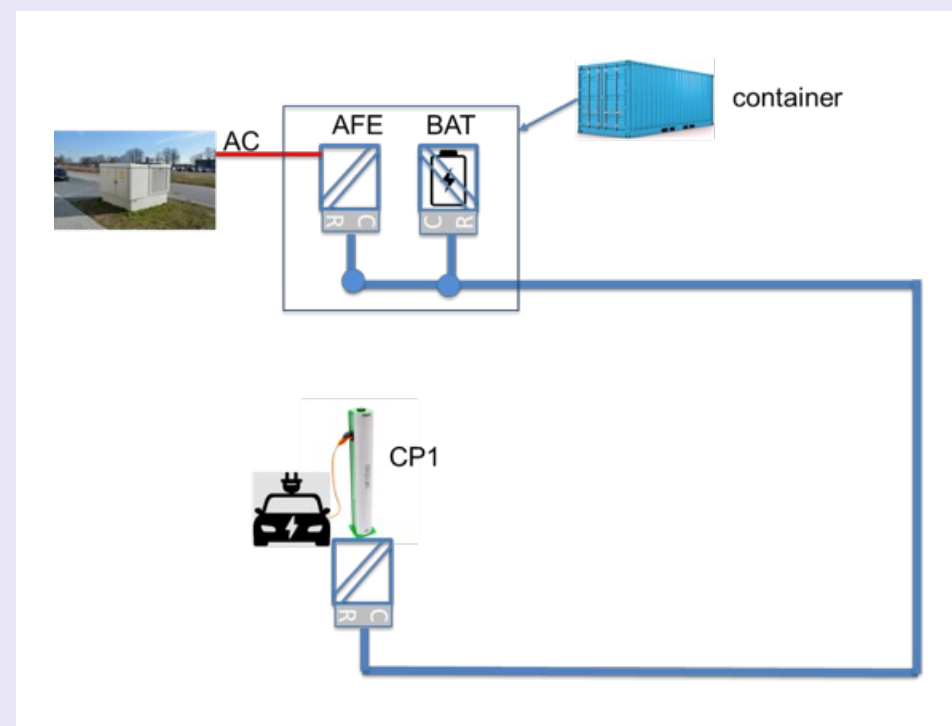
Een voordeel van een micro DC-net is dat andere duurzame bronnen die ook gebruik maken van DC-stroom eenvoudiger gekoppeld kunnen worden en er minder omzetting van energie nodig is, wat weer leidt tot minder omzetverliezen. Denk bijvoorbeeld aan bronnen zoals zonnepanelen en batterijen. Daarnaast is DC infrastructuur beter en sneller regelbaar, waardoor er slimmer kan worden opgeladen.

Dit hoofdstuk beschrijft de technische haalbaarheid en de technische componenten van het micro DC-grid zoals het DC Laadplein is opgebouwd. Het netwerk en de componenten zijn met behulp van simulaties in het laboratorium van de HvA onderzocht en in de praktijk getest bij Time Shift Energy Storage.

2.2 Netwerkbeschrijving

Het DC Laadplein bestaat uit een aantal componenten die aan elkaar verbonden zijn met DC-infrastructuur. Gezamenlijk vormen deze een DC-netwerk. Deze componenten zijn:

- Een Active Front End: Deze zet de AC Stroom vanuit de netaansluiting om naar een DC Spanning;
- Een batterijsysteem: Voor het opslaan van energie en het leveren van extra vermogen;
- Een laadpaal: Voor het communiceren met en het laden van het voertuig.



Figuur 2 - Blokschema van het netwerk van het DC Laadplein zoals uitgevoerd bij Time Shift

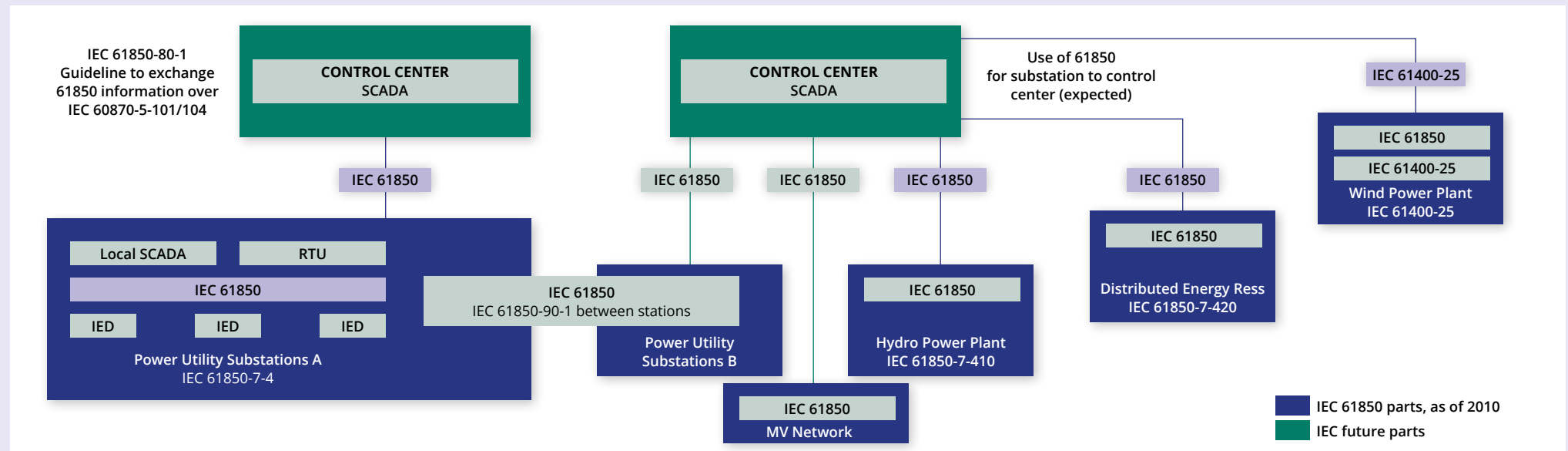
DC kan in twee vormen voorkomen (statisch of dynamisch). Een DC-net gedraagt zich als een condensator. Dat wil zeggen dat bij geen afname van het net een statische spanning blijft staan, wachtend op afname. Dit kost nauwelijks energie. Bij AC-netten zijn deze verliezen er wel, zogenaamde nullastverliezen. Er moet op een AC-net altijd voldoende vermogen aanwezig zijn om de inschakelstroom te leveren. Voor een DC-net geldt dit niet. Een AC-net moet altijd voldoende vermogen om in geval van kortsluiting de zekering te laten “springen”. DC-netten beschermen het systeem elektronisch in termen van spanning, stroom en stijgtijd. DC is daarom ideaal voor bronnen met een wisselend vermogen zoals wind en zon. Er is hier geen sprake van altijd aanwezige mogelijke vrij hoge nullast inrush/blackstart of te weinig kortsluit vermogen.

Smart Grid communicatie

Om met apparaten te communiceren die zijn aangesloten op een AC-net zijn een groot aantal afspraken in regelgeving gemaakt vastgelegd in Europese en Nederlandse normen. Belangrijk is de regelsnelheid van de diverse bronnen. De meeste zijn terug te vinden in de IEC61850 norm.

Gebruikers, opwekkers, transport, distributie en regelcentra's voor elektrisch energie maken gebruik van de Smart Grid protocollen. Dit zijn communicatie en -regelaafspraken waarin ook de gegarandeerde response tijd van alle systeem onderdelen is vastgelegd. Het DC-laadplein werkt op dit moment op eigen protocollen van Time Shift, die zijn gebaseerd op IEC61850. Om tot aan te sluiten op andere slimme netten moet er een interface ontwikkeld worden.

Figuur 3 - Toepassing van de IEC 61850 norm in Smart Grids⁴



⁴ IEC TR 61850-90-13 Deterministic Networking in Power Automation (Mike Seewald)

2.3 Active Front End

De Active Front End (AFE) kan naar twee kanten vermogen omzetten naar DC en omgekeerd. Aan de AC zijde wordt netsynchroon (50 Hz) vermogen geleverd aan het net of afgenomen. Hoeveel vermogen er teruggeleverd mag worden bepaalt de netbeheerder. Ook kan de netbeheerder de 50 Hz iets verschuiven ter indicatie dat het (micro) grid/net overbelast wordt.

De AFE is in Nederland altijd een “slave” in het net en mag geen eiland bedrijf starten. Dit houdt in dat een terugleverende EV op AC kan niet zomaar op elk AC net kan worden aangesloten. DC is altijd plug-and-play omdat het een zelfregelend netwerk betreft.

De bouwblokken van de AFE kunnen parallel geschakeld worden voor meer vermogen. Het DC laadplein kent een omvormer van 190 kW.

2.4 Batterij

De batterijen zijn Second life batterijen, LI-ion types met DC/DC omvormer. De batterijen hebben een ingebouwd Battery Management System (BMS).

Dit batterijsysteem heeft drie hoofdfuncties:

- Het verbeteren van de kwaliteit (PQ) van het AC-net.
- Het verhogen van het te leveren vermogen van het AC-net.
- Het laden van de EV zonder of met (gedeeltelijke) gebruikmaking van het AC-net.



2.5 DC-DC Lader

De productieversie van de DC-DC lader heeft een vermogen van 375 kW en twee stekkers. In de testopstelling is getest met één stekker.

Het doel van deze module is het laden van de batterij in de EV. Nadat er een communicatie slag geweest is met de EV dan weet de lader hoeveel er maximaal geladen mag worden. Tevens zorgt dit blok voor de beveiliging en lekstromen naar aarde via de EV of stekker.

2.6 Droop rate control & Smart Charging

Om de beschikbare stroom te verdelen is Droop rate control is een belangrijke techniek in een DC-net. Droop rate control is een regelalgoritme wat wordt gebruikt om te compenseren voor de verschillen in het gebruik en de productie van energie van de diverse DC-bronnen en -gebruikers. Kort gezegd geldt hierbij: Hoe hoger de spanning hoe meer vermogen gebruikers mogen gebruiken. Met Droop rate control kan het netwerk autonoom werken met een wisselende vraag en aanbod. Dit is ideaal voor duurzame energiebronnen, die doorgaans wisselend van aard zijn.

Droop rate control vanuit het netwerk

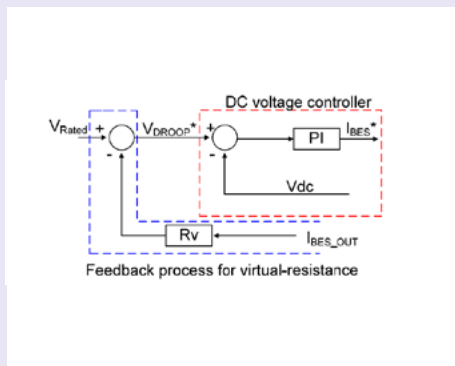
Er kan binnen Smart Grids onderscheid gemaakt worden tussen een actief en een passief netwerk. In een passief netwerk heeft ieder aangesloten apparaat een eigen regelinstrument, waarbij zij hun eigen functionaliteiten bepalen, bijvoorbeeld meer of minder energieverbruik. We spreken dan over slimme apparaten. Een actief net wordt centraal bestuurd door een controller, bijvoorbeeld een Energy Management System (EMS). De apparaten zijn in dit geval ‘dom’.

Een passief DC-netwerk heeft geen communicatie nodig om veilig te werken als bron of afnemer. Doordat slimme apparaten zich aanpassen aan de hoeveelheid energie of vermogen op het netwerk, kan het netwerk zich verbeteren. Hierdoor wordt het netwerk bijvoorbeeld stabiel. Een passief DC-netwerk kan makkelijk wisselende bronnen absorberen, zoals duurzame opwekkers als zon en wind. Voor een actief netwerk moet de opwek van dergelijke duurzame bronnen worden voorspeld, zodat het netwerk hier op kan reageren.

Droop rate control vanuit de apparaten

Ieder apparaat heeft een standaardspecificatie zodat het op een standaard 700 Volt DC net kan worden aangesloten. Dit kan d.m.v. software aangepast worden zodat het gedrag van deze apparaten veranderd. Het kan de prioriteit van vermogensafname instellen zodat het vermogen naar gelang verdeeld wordt. Ter illustratie, als er twee voertuigen staan te laden en ieder een ander vermogen vragen, verdeelt het netwerk het beschikbare vermogen automatisch tussen de voertuigen.

Alle apparaten hebben zogenoemde droop rate parameters. Deze parameters bepalen per apparaat het maximale afgenomen vermogen bij een bepaalde spanning. Door de droop rate parameters van de apparaten vanuit een EMS te wijzigen creëer je een actief netwerk. Alle aangesloten apparatuur gaat naar de passieve stand als ze worden aangevallen met verkeerde parameters.



Figuur 4 - Voorbeeld regeling

De **droop rate regeling** zit in in alle apparaten, dus in de batterij, de laadpaal en de AFE. De bedoeling van het netwerk is het leveren van vermogen ($P = \text{Spanning (V)} \times \text{stroom (I)}$). De regeling in het rode vak zorgt ervoor dat er voldoende stroom wordt geleverd om de spanning stabiel te houden. De regeling in het blauwe vak zorgt ervoor dat de spanning kan variëren afhankelijk van de stroom (droop rate). Bijvoorbeeld, rood zet de netspanning op 700V dc en blauw zorgt voor plus of min 50V dc.

Een 'Bus', is de locatie waar vermogen het energiesysteem instroomt of wordt verbruikt (de energiebron of de elektrische belasting). Deze bevindt zich meestal in de behuizing. Vermogen wordt bepaald door de stroomsterkte en elektrische spanning. Het is van belang dat als het vermogen veranderd (bijvoorbeeld door een ladend voertuig), de standaard elektrische spanning kan worden aangepast.

Droop rate control kan worden gebruikt in een DC-netwerk zoals een DC laadplein om de elektrische spanning aan te passen aan de gevraagde ladingen vermogen op de bus locaties. Een 'controller' kan worden ingevoerd om o.a. stroom om te zetten van DC naar AC en vice versa. Hoe een controller zich gedraagt hangt af van hoe regelbaar de bron en het verbruik is (de belasting).

Waar een controller snelle aanpassingen doet in het energiesysteem, kunnen aan de hand van het Energie Management Systeem de overkoepelde parameters worden aangepast zoals de minimale hoeveelheid belasting, hoeveel vermogen wordt geleverd door de energiebron en wat de minimale elektrische spanning dient te zijn. Droop rate control is een manier van de stroom controleren. Door middel van Droop rate control wordt een autonoom werkend netwerk gecreëerd en is er geen master control nodig zoals in AC-netten.

De haalbaarheidsstudie laat zien dat het mogelijk is om een DC (micro) energienet te creëren zonder een wisselstroom, waarmee conversie tussen directe en wisselstroom kan worden voorkomen door middel van controllers. De simulaties en resultaten zijn beschreven in het White Paper Droop Rate Control⁵, dat op aanvraag beschikbaar is bij de HvA.

Smart Charging

Het beschikbare vermogen binnen het net wordt binnen huidige AC laadpleinen vaak verdeeld door middel van Smart Charging of Load Balancing. Dit kan gezien worden als actieve sturing vanuit bijvoorbeeld een EMS of backoffice, waarbij het systeem een laadprofiel stuurt naar de laadpaal en daarmee de laadpaal aanstuurt om sneller of langzamer te laden. In een passief DC-net met Droop rate control is dit niet nodig omdat het zelfsturend is vanuit het beschikbare vermogen.

⁵ Bron: DC-Laadplein, implementation of 700 V DC grid droop rate controller, Buatios, A., Schaacke, R., Warmerdam, J. (2021)

2.7 Labtests

In het lab zijn diverse simulaties uitgevoerd. Hierbij is gestart met een literatuurstudie naar droop rate control, welke types er bestaan en welke algoritmes hiervoor gebruikt worden. Op basis hiervan zijn algoritmes en parameters opgesteld die zijn getest.

In het lab van de HvA zijn 4 instelbare bi-directionele voedingen op één bus aangesloten. De bus-spanning is ingesteld op 700V dc. Door een communicatie-bus worden de parameters van de voedingen-belastingen ingesteld op max. 15kW per voeding. Het besturingsprogramma is geschreven in Python. Een simpele lineaire droop rate bleek te voldoen voor een langzame verandering in de stroom. Voor snelle veranderingen is de Piece wise lineair getest.

Toepassing van Droop rate control in de praktijk

De simulaties in het laboratorium van de HvA tonen aan dat Droop rate control technisch mogelijk is. Door diverse tegenslagen in het project is het helaas niet gelukt Droop rate control in de praktijk te implementeren. Voornaamste reden is dat Allego uit het project is gestapt, waar zij verantwoordelijk waren voor de implementatie van het netwerk en dus ook voor de Droop rate control. Daarnaast is de laadpaal van Ecotap niet geleverd. In de laadpaal zou de techniek om Droop rate control toe te passen ingepast zijn. Time Shift heeft beide verantwoordelijkheden overgenomen, maar de ontwikkelkosten voor droop rate control bleken te hoog om nog binnen dit project te implementeren. Vanuit praktische overwegingen is daarom gekozen voor een actief netwerk met een EMS, dus met een master control.



2.8 Wetgeving en standaardisering

Zowel in de praktijk als bij de labopstellingen is het raadzaam om de richtlijnen voor veiligheid toe te passen. De richtlijnen die hierbij van het grootste belang zijn, zijn als volgt:

- NEN1010: AC (1000) V en (1500) DC laagspanning installatie
- NPR 9090: is een handleiding voor de installateur die met DC gaat werken. De NPR is geschreven om de elektrotechnicus die nu nog niet dagelijks met DC te maken heeft, te doordringen van het feit dat DC-installaties specifieke kennis en vaardigheden vereisen.
- NEN/EN/IEC 61000 voor EMC

Tijdens het project is gewerkt met deze wet- en regelgeving op het gebied van DC-netwerken. In de praktijk bleek de wetgeving vaak niet voldoende of dekkend te zijn. Met name op het gebied van veiligheid en besturingsregels is het nog onvoldoende. Zo wordt droop rate control wel benoemd, zijn er nog geen definities of richtlijnen opgenomen.

Ook op het gebied van standaardisering zijn we tegen drempels opgelopen. Voor de communicatie tussen het voertuigen en de laadpaal is de ISO standaard ISO 15118-20 opgesteld. Deze standaard maakt ook het bidirectioneel laden mogelijk. Echter zijn nog de meeste voertuigen nog niet uitgerust met deze standaard waardoor dit in de praktijk niet is getest.

Wetgeving in de praktijk

Bij het samenstellen en testen van het prototype is geen rekening gehouden met de letter van de voorschriften, maar is de opstelling gebaseerd op "good engineering practice". Het productiemodel zal gekeurd worden door een externe inspecteur.

Bij het opladen van een voertuig is een Electro Magnetische Emissie (EMC) scan uitgevoerd. Bij 50 ampère door de kabel is met een spectrum analyzer een meting uitgevoerd. Dit gaf geen aanleiding tot ongerustheid. Ook de thermische camera gaf bij deze omstandigheden geen bijzonderheden aan.



3. Kansen van het DC Laadplein

3.1 Inleiding

De haalbaarheid van een DC laadplein wordt niet alleen bepaald door de technische haalbaarheid, maar ook door de marktkansen die het biedt. Diverse workshops en gesprekken met potentiële klanten tonen aan dat diverse business modellen kansen bieden voor opschaling.

DC Laadpleinen moeten concurreren met regulieren AC-laadpleinen en snellaad-infrastructuur. In deze haalbaarheidsstudie is onderzocht welke kansen DC laadpleinen bieden ten opzichte van deze bestaande infrastructuur en welke business modellen hieraan verbonden zijn.

3.2 Business modellen

3.2.1 Markontwikkelingen

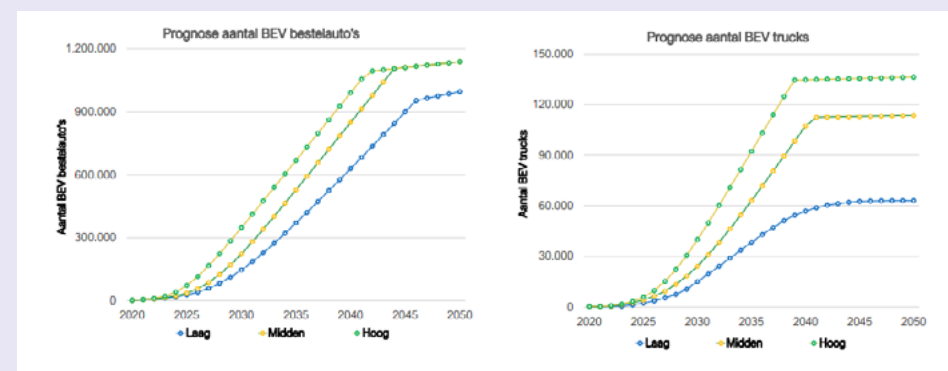
De markt voor elektrisch rijden en laden is vol in ontwikkeling. Gedurende het project zijn de marktomstandigheden fors gewijzigd ten opzichte van de start. Alleen al het aantal reguliere en snellaadlaadpunten is van 2019 tot 2022 bijna verdubbeld (Bron: RVO), maar is ook de verhouding tussen volledig en plug-in hybride voertuigen gewijzigd in het voordeel van volledig elektrische voertuigen. Deze markontwikkelingen hebben in mindere of grotere mate invloed op de haalbaarheid van DC laadpleinen. Onderstaand worden de belangrijkste markontwikkelingen omschreven.

De groeiende vraag naar opslag van energie

De behoefte naar opslag en oplaadmogelijkheden neemt toe. Er wordt meer duurzame energie opgewekt. In zo'n hoedanigheid dat niet alle duurzame energie direct kan worden gebruikt en ergens moet worden opgeslagen. Het DC laadplein biedt de mogelijkheid om lokaal (duurzame) energie op te slaan en later te gebruiken om elektrische voertuigen op te laden. Daarnaast kunnen elektrische voertuigen worden ingezet om duurzame energie op te slaan en later te gebruiken om te kunnen rijden of terug te leveren.

De snelle groei van elektrische voertuigen in Nederland

Het aantal elektrische voertuigen in Nederland neemt toe en daarmee ook de laad-behoefte. Mede door het stimuleringsbeleid van de overheid was het marktaandeel van nieuw verkochte elektrische auto's in augustus 2022 ca. 25%, ten opzichte van 10% een jaar eerder. Er rijden inmiddels meer dan 500.000 elektrische auto's op de Nederlandse wegen. We zien deze ontwikkeling overslaan op andere markten, zoals de OV- en logistieke sector. Het grootste verschil tussen deze verschillende sectoren is het gevraagde vermogen. Doordat logistieke voertuigen, met name trucks, groter en zwaarder zijn hebben deze een grotere batterijcapaciteit. Om een efficiënte bedrijfsvoering te kunnen draaien is het voor deze doelgroepen niet mogelijk om lang stil te staan en te kunnen laden. Zowel voor de depots 's nachts als overdag is er een vraag naar een hoger vermogen om op te laden.



Figuur 5 - Prognose ontwikkeling elektrische bestelauto's en trucks⁶

⁶ Elaad Outlook Bedrijventerreinen (2022)

De toename van snellaadcapaciteiten in elektrische voertuigen

Elektrische voertuigen kunnen steeds sneller laden. Dit geldt voor zowel AC als DC. In het verleden waren met name Aziatische elektrische personenauto's zoals Hyundai en Nissan uitgerust met een 1-fase lader, waardoor deze een laadsnelheid van maximaal 3,7 kW konden laden. Tegenwoordig is het de standaard dat dit met 3-fase kan. Dit betekent dat nagenoeg alle nieuwe elektrische voertuigen bij een AC laadpaal met 11 kW kunnen opladen⁷.

Op DC-snellaadinfrastructuur nemen de capaciteiten ook toe. In 2019 was een 50 kW laadsnelheid op DC de standaard, enkele uitzonderingen daargelaten. Tegenwoordig zijn vrijwel alle auto's uitgerust met een DC-laadsnelheid van 100 kW of hoger, in combinatie met een CCS-stekker. Snelladen gaat heirdoor tenminste een keer zo snel.

Voor trucks en bussen geldt dat zij enkel op DC kunnen laden⁸. Voor depotladen in de nacht wordt maximale een laadsnelheid van 50 kW aangehouden. Voor snelladen is de verwachting dat dit oploopt tot 1,5 MegaWatt.

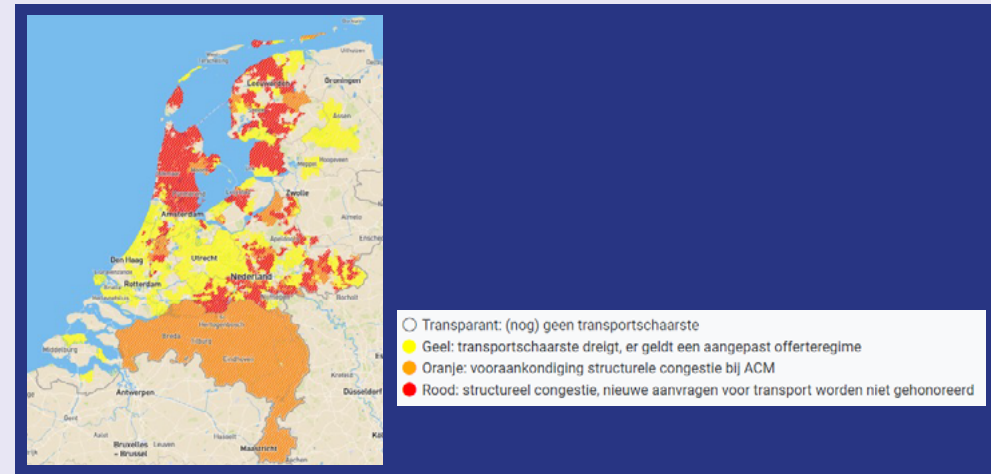
De toenemende mate van netcongestie;

In steeds meer gebieden in Nederland geldt transportschaarste⁹. Dit houdt in dat het niet mogelijk is om een nieuwe zware netaansluiting (>3x80A) aan te vragen of een bestaande aansluiting te verzwaren. Voor veel bedrijven die willen overstappen op elektrisch vervoer betekent dit een probleem, omdat voertuigen vaak een veelvoud aan vermogen vragen ten opzichte van de huidige aansluiting.

⁷ Informatie van EV-database.nl

⁸ Zie bijvoorbeeld Volvo op: <https://www.volvotrucks.nl/nl-nl/news/kennisbank/uitstoot-verminderen/hoe-gaat-het-opladen-en-bijladen-van-een-elektrische-truck.html>

⁹ <https://www.rvo.nl/onderwerpen/zonne-energie/netcapaciteit>



Figuur 6 - Netcongestiekaart Netbeheer Nederland (afname)¹⁰

3.2.2 Voordelen van DC Laadpleinen

Huidige snelladers en reguliere laadpalen worden direct gevoed door het elektriciteitsnet op AC. Zowel een AC- als een DC-laadplein heeft een aansluiting nodig op het AC-stroomnet. In die zijn de laadpleinen gelijk. Achter de meter is het net verschillend, te beginnen met de wijze van stroomdistributie. Daarnaast is het DC laadplein aangesloten op een batterij. Hierdoor kan het laadplein autonoom functioneren als er geen capaciteit beschikbaar is vanuit het net. Dit is slechts één van de voordelen, wat theoretisch ook behaald kan worden als een AC-laadplein wordt aangesloten op een batterij. Specifieke voordelen een een DC Laadplein zijn:

- DC laadpleinen vereisen minder bekabeling en materialen en kleinere componenten. Doordat er minder componenten nodig zijn kan bijvoorbeeld de laadinfrastructuur kleiner worden uitgevoerd en beter worden ingepast in de (openbare) ruimte. Dit biedt ook kansen op plekken waar ruimte schaars is, zoals in parkeergarages.
- Het aansturen van DC laadpleinen is eenvoudiger en directer met technieken zoals Door Rate Control. Hiervoor is geen aanvullend EMS benodigd.

¹⁰ <https://capaciteitskaart.netbeheernederland.nl/>

- In het geval van AC infrastructuur vinden er gemiddeld gesproken enkele conversies plaats tussen de netaansluiting en een laadpaal. Normaliter vindt er dan conversie plaats van 500 kW AC naar 20 kW DC. In deze keten zitten een aantal omvormers en transformatoren die zorgen voor energieverliezen tijdens deze omzetting. Ook is het lastig om fijnmaziger (gradueler) vermogens te sturen op AC-niveau. Door het plaatsen van een batterijopslagsysteem in deze keten vinden er minder conversieverlies plaats, omdat het vermogen dan omgezet wordt van 500 kW AC naar 500 kW DC. Er kunnen dan DC-laadpalen aangesloten worden op het batterijopslagsysteem. Bovendien kan gradueler geschakeld worden tussen het minimale en maximale vermogen van 20 kW per laadpaal.

3.2.3 Toepassing van DC laadpleinen

De verschillende marktontwikkelingen in combinatie met de voor- en nadelen van DC Laadpleinen maken dat er diverse toepassingen zijn waar een DC Laadplein haalbaar is.

Een kleinere netaansluiting en toch hoog vermogen leveren

Charge Point Operators nemen vermogen af bij een netbeheerder voor het aantal auto's dat ze gelijktijdig opladen, mogelijk in combinatie met het vermogen wat het gebouw en apparatuur vraagt. Auto's laden over het algemeen nooit allemaal tegelijk op vol vermogen op. Gelijktijdigheid speelt hierin een grote rol. De grote piek is daardoor vaak maar van relatief korte duur.

Door het toepassen van een batterij in het DC Laadplein kan een piek makkelijker worden opgevangen. In het geval van een 3x160A netaansluiting is er ca. 110 kW vermogen beschikbaar, wat gelijk staat aan het gelijktijdig opladen van ca. 22 auto's met 5 kW. De batterij in het DC Laadplein is in staat om een vermogen te leveren van 275 kW (55 auto's). Opgeteld kan er een vermogen geleverd worden aan de laadpalen van 385 kW, waardoor 77 auto's opgeladen kunnen worden. In deze oplossing kan een groter aantal auto's worden opgeladen zonder de netaansluiting te verzwaken.

Financieel gezien levert de inzet van een kleinere netaansluiting een financieel voordeel op. De capaciteitstarieven van de netbeheerder zijn bepaald aan de hand van de grootte van de netaansluiting en het gecontracteerd vermogen. Een kleinere netaansluiting levert dus een besparing op. Tegelijkertijd is het verzwaken van de netaansluiting niet altijd mogelijk door netcongestie.

De doorlooptijden voor het verzwaken kunnen oplopen tot enkele jaren omdat er eerst een netinvestering moet worden uitgevoerd. Hierdoor lopen steeds meer bedrijven aan de maximale capaciteit van het aantal auto's dat ze kunnen opladen.

Tot slot kan het verzwaken van een netaansluiting leiden tot een investering van een eigen transformator bij een gevraagd vermogen van meer van 173 kW. Een transformator neemt veel ruimte in beslag en kan niet altijd worden ingepast in de bestaande bebouwing. De batterijen die worden gebruikt in het DC Laadplein zijn flexibeler en makkelijk te plaatsen buiten het gebouw en kunnen daarmee een oplossing zijn voor dit probleem.

Aansluiten op DC netten

Hoewel DC-netten nog volop in ontwikkeling zijn, is het de verwachting dat deze steeds meer toenemen. Dit wordt gedreven door de toenemende mate van duurzame opwek. Bijvoorbeeld zonnepanelen produceren DC-stroom en kunnen makkelijker worden aangesloten op DC-netten. Daar waar reeds DC-netten liggen kan een DC laadplein makkelijker worden ingepast zonder tussenkomst van een AC-omvormer of transformator.

Sneller laden voor 1-fase ladende auto's

Diverse modellen op de Nederlandse markt zijn uitgerust met een 1-fase lader. Deze auto's komen uit Azië waar ze een 1-fase net gebruiken. In Nederland kunnen auto's opladen via een 3-fase net. Een externe omvormer zet de stroom om van AC naar DC. Met een DC laadpaal kan er sneller geladen worden dan een AC laadpaal, omdat de stroom buiten de auto wordt omgezet in DC. Hierdoor kan er een hoger vermogen worden bereikt en is er minder laadtijd. Een CPO kan op deze manier meer stroom verkopen in dezelfde tijd, omdat er sneller geladen wordt. Bovendien kan een CPO bij hogere vermogens ook een ander bedrag rekenen.

3.2.4 Doelgroepen voor het DC Laadplein

Om het DC laadplein op te kunnen schalen en te bepalen waar de vraag zit is een doelgroep analyse uitgevoerd. Hierbij is gekeken naar evaluatiecriteria zoals parkeerduur, aantal geparkeerde voertuigen, beschikbaarheid van een netaansluiting en netcongestie en kosten voor de gebruikers.

Vlooteigenaren

Vlooteigenaren zoals grote corporates, taxibedrijven of stadslogistieke dienstverleners zijn bedrijven met een vloot van meer dan 25 personen- of bestelvoertuigen. Daarnaast onderscheiden we vlooteigenaren met een wagenpark bestaande uit zwaar vervoer, zoals trucks (bakwagens en met oplegger en OV-bussen). Bij de elektrificatie van deze wagenparken zijn grote vermogens benodigd om de voertuigen tijdig te kunnen laden. Bij personen- en bestelvoertuigen is sprake van een vraag van ca. 5 kW per laadpunt (vaak overdag) en bij zwaarder vervoer ca. 50 kW in de nacht tot 1,5 MW voor snelladen overdag.

Dergelijke bedrijven zijn vaak gevestigd op bedrijventerreinen of kantorenparken waar de energievraag hoog is en netcongestie verder toeneemt door een toenemende vraag door bijvoorbeeld elektrificatie van de warmtevoorziening. Dergelijke bedrijven hebben vaak een bestaande netaansluiting om het gebouw en bijbehorende installaties te voorzien van energie. Doorgaans is er nog wel enkele ruimte binnen de bestaande aansluiting, maar onvoldoende om vloten voertuigen op te laden. Een verzwaring van de netaansluiting is dan nodig, of zelfs een upgrade van de netaansluiting tot een eigen transformator. In netcongestiegebieden is dit op dit moment niet mogelijk, waardoor de stap naar een elektrisch wagenpark wordt bemoeilijkt. Vanwege deze problematiek is het inpassen van een DC Laadplein zeer kansrijk voor deze doelgroepen. Een DC Laadplein maakt het niet alleen mogelijk om meer vermogen te leveren als dit niet vanuit het net niet beschikbaar is, maar ook om meerdere voertuigen slim en gelijktijdig op te laden. Door de verschillende laadmomenten en hoge vermogensvraag voor zwaar vervoer is dit extra kansrijk, omdat piekmoment door de batterij opgevangen kunnen worden en op momenten met minder laadvraag de batterij volgeladen kan worden en kan worden ingezet voor onbalansmarkten. Hierdoor kunnen de kosten voor de gebruikers lager worden gehouden.

Tot slot biedt het verbinden van een DC Laadplein aan overige DC infrastructuur mogelijk kansen bij bedrijven. Denk bijvoorbeeld aan een PV-installatie waarmee de batterij kan worden opgeladen of de laadinfrastructuur kan worden gevoed.

Private parkeerterreinen

Private parkeerterreinen zijn een mogelijke doelgroep voor DC laadpleinen. Dergelijke parkeerterreinen, bij bijvoorbeeld bedrijven of bij parkeergarages zijn voornamelijk kansrijk als aan een aantal voorwaarden wordt voldaan:

- Er is een grote concentratie van laadvraag, bij voorkeur meer dan 20 voertuigen;
- De parkeertijd is relatief kort, waardoor er vraag is naar een hoger vermogen dan op reguliere laadinfrastructuur;
- Het verzwaren of upgraden van de netaansluiting niet mogelijk, bijvoorbeeld door ruimtegebruik of netcongestie.

Binnen deze voorwaarden kan een DC Laadplein ervoor zorgen dat een groot aantal voertuigen snel en slim kan worden opgeladen zonder dat de netaansluiting moet worden verwaard of geupgrade. Omdat vermogens bij personenvoertuigen die doorgaans op dergelijke parkeerterreinen laden minder vermogen hebben en pieken niet altijd erg verschillen, is moeilijker om de business case rond te krijgen. Dit vertaalt zich mogelijk in hogere kosten voor de gebruikers.

Openbare ruimte

In de openbare ruimte zien we weinig potentie voor een DC Laadplein. Het aantal plekken waar grote concentratie laadvraag zich voordoet is relatief beperkt. Enkel nabij bijvoorbeeld stadscentra zou een dergelijke vraag kunnen ontstaan. We zien in de praktijk dat deze laadvraag zich verspreid over een groter gebied waardoor er met meerdere (kleinere) netaansluitingen gewerkt kan worden. Een DC Laadplein zou in deze casus leiden tot hoge kosten voor gebruikers en is daarom niet competitief.

3.2.5 Potentiële business case

Op basis van de doelgroepen analyse kan worden gezegd dat een grote concentratie van laadvraag, in combinatie met een variatie aan pieken en dalen een belangrijk uitgangspunt zijn voor de business case.

Een ander belangrijk uitgangspunt is de netaansluiting die beschikbaar is. In de business case kan worden gerekend met vermeden investeringen in een verzwaring en een besparing van capaciteitstarief. Daarin is niet alles in euro's uit te drukken, want het veel gevallen is het simpelweg niet mogelijk om een netaansluiting te verzwaren. Een DC Laadplein biedt dan uitkomst.

Op basis van een aantal aannames is een doorrekening uitgevoerd van het DC laadplein. Er wordt uitgegaan van een laadplein met **1 of 10 laadpalen met elk twee stekkers**. Gezamenlijk zijn de batterij en AFE in staat om een piekvermogen van 375 kW te leveren. Dit is voldoende voor het opladen van bijvoorbeeld twee auto's in ca. 30 min of 10 trucks gedurende de nacht. De bijbehorende investeringen zijn als volgt:

Componenten	Investering (Capex)	Operationele kosten (Opex)	TCO 5 jaar
Laadpaal (max. 375 kW)	€ 34.000	€ 10.000	€ 84.000
Batterij (275 kW)	€ 117.000	€ -	€ 117.000
AFE (100 kW)	€ 38.000	€ 11.000	€ 93.000
Netaansluiting (100 kW)	€ 4.665	€ 7.600	€ 42.665
Totaal DC Laadplein	€ 193.665	€ 28.600	€ 336.665

In dit scenario ligt het voor de hand dat een CPO een dergelijk snellaadplein exploiteert t.b.v het opladen van personenvoertuigen op een privé parkeerterrein bij bijvoorbeeld een restaurant of hotel. De inkomsten worden bepaald door de verkoop van stroom (€ 0,49 - € 0,79 / kWh). Kosten zijn de operationele kosten (zie tabel) en de inkoop van stroom. De inkoop van stroom varieert op het moment van schrijven enorm door onzekere energiemarkten. We gaan daarom uit van een marge van € 0,50 / kWh, wat onder de huidige omstandigheden haalbaar is. Uitgaande van deze marge zou dat betekenen dat er ca.135.000 kWh per jaar verkocht moet worden voor break-even punt binnen 5 jaar. Op basis van de laatste prognoses voor snelladen is dit haalbaar¹¹. Uiteraard bepaalt de locatie of dit ook daadwerkelijk haalbaar is. Eventuele opbrengsten vanuit Hernieuwbare Brandstof Eenheden (HBE's), energiemarkten en/of onbalansmarkt die behaalt kunnen worden door het inzetten van de batterij zijn hier nog niet in meegenomen, wat potentieel extra opbrengsten betekenen.

Een laadplein met **10 laadpalen en 20 stekkers** kent een andere doelgroep en kan bijvoorbeeld worden toegepast op een depot voor trucks. Op deze manier kan er overdag snel worden geladen met 375 kW en in de nacht met meerdere trucks op een lager vermogen worden geladen. In dit scenario ligt een externe exploitant niet voor de hand en zal een logistiek dienstverlener zelf investeren in het systeem. Dit wordt ook bevestigd vanuit de marktvragen die Time Shift nu krijgt. De business case is daarbij vooral gebaseerd op het vermijden van een investering in een eigen transformator, die sterk afhankelijk zijn van situatie zoals de afstand tot het net en graafwerkzaamheden. Indicatieve kosten voor een dergelijke investering zijn € 150.000 voor het realiseren van een compactstation incl. netaansluiting.

Componenten	Investering (Capex)	Operationele kosten (Opex)	TCO 5 jaar
Laadpaal (max. 375 kW) (10x)	€ 340.000	€ 10.000	€ 390.000
Batterij (275 kW)	€ 117.000	€ -	€ 117.000
AFE (100 kW)	€ 38.000	€ 11.000	€ 93.000
Netaansluiting (100 kW)	€ 4.665	€ 7.600	€ 42.665
Totaal DC Laadplein	€ 499.665	€ 28.600	€ 642.665

Time Shift levert batterijen aan klanten onder voorwaarde van een haalbare business case. Op dit moment gebeurt dit al en is deze, afhankelijk van onder andere de grootte, ca. vijf tot zeg jaar. De business case van het DC Laadplein kan hier niet los van gezien worden. Het DC laadplein zal in de praktijk niet enkel ingezet worden om voertuigen op te laden, maar buiten die tijden om ook te handelen op energiemarkten.

¹¹ <https://experience.arcgis.com/experience/298ce66c9694478c906a929cc4a64032/>



4. Conclusie

4.1 Opscalen is kansrijk onder bepaalde voorwaarden

Gedurende het project heeft de markt zich gunstig ontwikkeld. Niet alleen is de ontwikkeling van elektrisch personenvervoer in een stroomversnelling gekomen, maar ondertussen hebben ook nieuwe doelgroepen zoals zwaardere vervoer zich aangediend. Nu al wordt er vanuit de markt interesse getoond in het DC Laadplein als oplossing.

Vanuit de analyses, workshops en marktgesprekken zijn er diverse markten en doelgroepen naar voren gekomen waarin het DC Laadplein een waardevolle oplossing kan zijn. Hierbij gelden een tweetal voorwaarden waar DC Laadpleinen het beste renderen en ook leiden tot een positieve business case.

- De eerste voorwaarde is een concentratie van laadvraag van meer dan 10 voertuigen, waarbij een vraag naar hoger vermogen voor bijvoorbeeld snelladen (>50 kW – 1,5 MW) de haalbaarheid vergroot. Dit geldt voornamelijk voor zwaardere vervoer, maar ook op locaties waar personenvoertuigen kort parkeren en snelladen (<1 tot 2 uur).
- De tweede voorwaarde is de onmogelijkheid van het verkrijgen van een zwaardere netaansluiting, door bijvoorbeeld netcongestie of ruimtegebrek. In het geval van ruimtegebrek is sprake van een upgrade van de netaansluiting tot een eigen transformator. Dit speelt bij een aansluiting van >3x250A.

Op plekken waar DC-netten al van toepassing zijn vergroot een DC laadplein de haalbaarheid omdat daar op kan worden aangesloten. DC-netten staan nu nog in de kinderschoenen maar de verwachting is dat dit komende jaren gaat toenemen.

Op technisch gebied zijn er nog stappen te zetten. Zo moet Droop Rate Control, waarbij autonoom gestuurd kan worden binnen het net, nog verder ontwikkeld worden in de praktijk. Dit is wenselijk in verband met robuustheid van het systeem en om meerdere voertuigen voor langere tijd op verschillende vermogens te kunnen opladen. Daarnaast moet de wetgeving verder ontwikkeld worden. Hoewel de

NEN1010 zowel de laagspanningsrichtlijn is voor AC (1000 Volt max) en DC (1500 Volt max) is er afgelopen 80 jaar gefocust op AC. Kortom de vele mogelijkheden met vermogenselektronica zijn slechts met mate mogelijk door de wetgeving uit het “mechanische schakelende tijdperk”.

Als we terugkijken op de gestelde doelen kunnen we stellen dat het project geslaagd is en de doelen in min of meerdere mate zijn bereikt. Zo zijn er:

- Nieuwe bouwstenen ontwikkeld op basis van vermogenselektronica en regeltechniek in de vorm van praktijktest en simulaties in het lab, in de vorm van een Active Front End, Batterijsysteem en DC-DC laadpaal.
- Nieuwe besturingstechnieken ontworpen in de vorm van Droop Rate Control en Energie Management Systeem.
- Nieuwe verdienmodellen ontwikkeld voor diverse markten, waarbij specifiek is gemaakt waar DC Laadpleinen een haalbare casus zijn.
- Workshops geweest met diverse stakeholders om potentiële verdienmodellen te verkennen en te toetsen.

4.2 Geleerde lessen

Dit project heeft ons veel lessen geleerd op diverse vlakken zoals commercieel, technisch en procesmatig.

Commercieel

Bij aanvang werd voornamelijk ingezet op vlooteigenaren. Dit project heeft ons geleerd dat een dergelijk innovatief project altijd in nauwe samenwerking met de markt moet worden ontwikkeld. De marktontwikkelingen gaan zo snel dat nieuwe doelgroepen zich aandienen en nieuwe commerciële kansen zich gedurende het project ontwikkelen. Zo is achteraf gebleken dat de markt voor personenvervoer minder kansen biedt en de markt voor zwaardere vervoer commercieel zeer kansrijk is.

Gedurende het project ontwikkelde de energiemarkt zich. Netcongestie is inmiddels een groot probleem waardoor nieuwe aansluitingen niet kunnen worden gemaakt en bestaande aansluitingen niet kunnen worden verzwakt. Aan de andere kant worden bedrijven door middel van beleidsmaatregelen zoals Zero Emissie zones gedwongen de overstap te maken naar elektrisch vervoer. Slimme oplossingen zoals een DC Laadplein zijn nodig om deze problemen het hoofd te bieden en de overstap te kunnen maken naar een elektrisch wagenpark. Dit is niet persé in geld uit te drukken, maar een essentiële voorwaarde om een bedrijf te kunnen voortzetten.

Technisch

De protocolontwikkeling loopt nog achter op de vraag. Bidirectionele laadinfrastructuur zou wenselijk zijn om voertuigen ook terug te kunnen laten leveren aan het DC-net en zo de business case verder te optimaliseren. Echter is dit nog niet mogelijk omdat veel voertuigen nog niet voorzien zijn van een eenduidige versie van ISO15118-20.

Proces

Op het gebied van proces hebben we diverse tegenslagen gehad. Twee van de vier partners zijn uit het project gestapt en hebben niet kunnen leveren wat aanvankelijk is afgesproken. De COVID-19 pandemie heeft een fikse vertraging opgeleverd doordat fysiek samenkomen en testen op een aantal momenten niet mogelijk was. Daarnaast is het projectleiderschap is gewisseld aan de kant van de penvoerder HvA. Een dergelijk innovatieproject vraagt commitment en continuïteit om voortgang te behouden en resultaten te boeken, dat is niet altijd gelukt in dit project.

4.3 Vervolgonderzoek

Dit project biedt een goede basis voor verder onderzoek op diverse gebieden. Een aantal daarvan lichten we uit.

Droop Rate Control in de praktijk

Het toepassen van Droop Rate control is in dit project nog niet in de praktijk gebracht en enkel gesimuleerd in het lab van de HvA. Time Shift gaat dit verder ontwikkelen en toepassen op de productieveersies van het DC Laadplein, maar het huidige product is nog niet zo ver.

Droop rate controlled netwerken hebben een neiging tot oscilleren, het slingeren tussen hoog en laag. Het mooiste is als dit met Artificial Intelligence (lerend, met variabele regels) kan worden opgelost maar zou ook kunnen met zelf-adaptieve PID regelingen. Dit behoeft nog verdere uitwerking.

Opschalen van DC-net

Binnen dit project is een DC-net ontwikkeld met DC-infrastructuur zoals laadinfrastructuur en een batterij. Een volgende stap is om dit op te schalen met bijvoorbeeld opwek zoals een PV-installatie om zo de batterij en de andere infrastructuur te kunnen voeden.

Vehicle-to-Grid

Binnen dit project was het nog niet mogelijk om de voertuigen terug te laten leveren aan het net. De protocolontwikkeling tussen het voertuig en de laadpaal is nog niet zo ver en het aantal voertuigen die dit protocol kunnen ontvangen is nog zeer beperkt. Vehicle-to-grid kan een extra verdienmodel en daarmee een toevoeging aan de business case zijn. Hier kan mogelijk de voorwaarde van hogere pieken in het vermogen verwaarloosbaar zijn doordat stroom uit voertuigen ingezet worden voor het opladen van andere voertuigen en energie- of onbalanshandel.

Veiligheid

Niet aan alle voorschriften (NEN1010/9090) wordt voldaan. Een hoge spanning is een uitdaging voor de vonkvorming en een hoge stroom zorgt voor temperatuurverhoging. Ook het snel en zeker spanningsloos maken van het systeem met meerdere bronnen is een technische uitdaging.

Voor met DC-netwerken moet rekening gehouden worden met aarding, zwerfstromen en corrosie. Dit is te complex voor dit project omdat de definitieve producten met bijbehorende galvanische scheiding nog niet gekozen zijn.

