

Eindrapportage TSDCE – van Tractiesysteem naar Slim DC Elektriciteitsnet

Author(s)

van Willigenburg, Pepijn; Warmerdam, J.M.; de Breucker, Sven; Mackay, Laurens; van Berkum, Remi

Publication date

2024

Document Version

Final published version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

van Willigenburg, P., Warmerdam, J. M., de Breucker, S., Mackay, L., & van Berkum, R. (2024). *Eindrapportage TSDCE – van Tractiesysteem naar Slim DC Elektriciteitsnet*.

<https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/van-tractienet-naar-slim-dc-elektriciteitsnet-35983>

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.

1. Gegevens project

- **Projectnummer** 2021502
- **Projecttitel** van Tractiesysteem naar Slim DC Elektriciteitsnet - TSDCE
- Penvoerder en medeaanvragers
 - Stichting Hoger Beroepsonderwijs Haaglanden (De Haagse Hogeschool - penvoerder)
 - Stichting Hogeschool van Amsterdam
 - Witteveen+Bos
 - Dynniq Energy b.v
 - DC Opportunities R&D b.v.
- Projectperiode
 - Oorspronkelijk van 19 oktober 2021 tot en met 30 september 2023
 - Verlenging gevraagd in de tussenrapportage 2023 (bijna 3 maanden) en op 11 juli 2023 schriftelijke bevestiging gekregen van de nieuwe einddatum.
 - Nieuwe einddatum is 31 december 2023
- Regeling
 - “Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.”
- Contactpersoon:
 - De Haagse Hogeschool – Pepijn van Willigenburg – p.vanwilligenburg@hhs.nl

AHM Ho - Tram - TW6000 met LED-verlichting - HTM

NR. 53873881



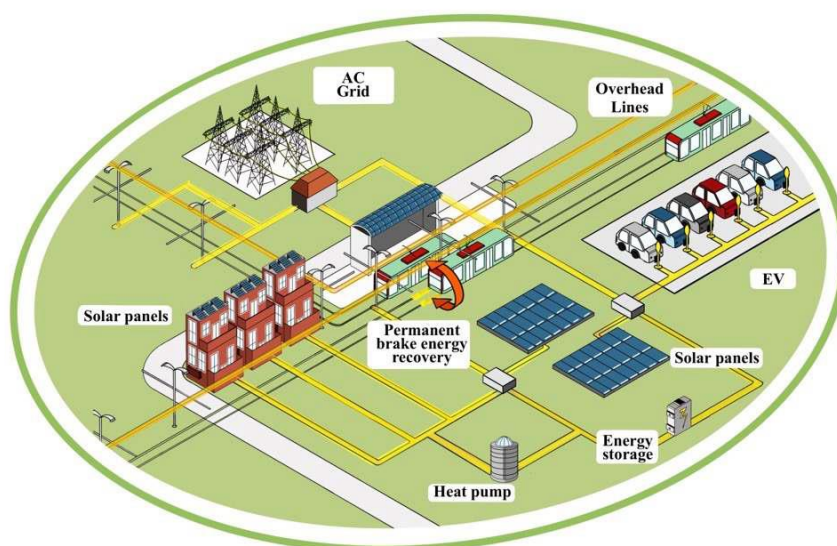
De veiling die je bekijkt is reeds afgelopen

Toon huidige veilingen



Inhoudsopgave

1. Gegevens project	1
2. Inhoudelijk eindrapport	3
2.1 Samenvatting	3
2.2 Kernpunten uit het projectvoorstel	5
2.3 Resultaten van het project zelf	9
Resultaat 1	9
Resultaat 2	11
Resultaat 3	12
Resultaat 4	14
Resultaat 5	14
Resultaat 6	16
Resultaat 7	16
Resultaat 8	19
2.4 mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten	19
2.5 Conclusie en aanbevelingen	19
3. Uitvoering van het project	21
3.1 Organisatorische en/of technische problemen	21
3.2 Toelichting op wijzigingen ten opzichte van het projectplan	21
3.3 Toelichting wijze van kennisverspreiding	21
3.4 Toelichting PR project en verdere PR-mogelijkheden	22



2. Inhoudelijk eindrapport

2.1 Samenvatting

Het project 'van Tractienet naar Slim DC Elektriciteitsnet (TSDCE) is gestart in oktober 2021 en is eind december 2023 afgesloten.

Aanleiding van het project

De toenemende elektrificatie, productie van duurzame energie en elektrische mobiliteit in de gebouwde omgeving is een grote uitdaging. Netten komen onder druk te staan. Verzwaring is kostbaar en de uiteindelijke uitbreiding zal overlast in de stad veroorzaken (graafwerkzaamheden). Biedt bestaande elektrische infrastructuur, specifiek bovenleidingnetten voor lightrail, metro, tram en trolley, mogelijkheden om het huidige distributienet te ontlasten?

Het doel van het project

Het project draagt bij tot elektrificatie van het energiesysteem in de gebouwde omgeving door het beter benutten van bestaande elektrische infrastructuur en versterkt elektrificatie op gebiedsniveau, met name door verbeteren van en nieuwe functionaliteiten voor het huidige lokale elektriciteitssysteem en voor de lokale uitwisseling van elektriciteit (MMIP5).

Conclusie

Het inzetten van tractienetten voor aanvullende energiedistributie fors kan bijdragen aan het verminderen van aansluitcongestie in steden. Op al bestaande aansluitingen kan technisch gezien 20 tot 25% van de huidige technische aansluitcapaciteit ingezet worden voor verbruik naast het aandrijven van het openbaar vervoer. Wel is het relevant dat de contractuele aansluiting van OV-bedrijven al veel kleiner is dan de technische aansluiting.

Het inzetten van gelijkspanningstechnologie is 1) technisch mogelijk, 2) veilig te doen met een combinatie van elektronische en passieve beveiliging en 3) kan gebeuren zonder dat de dienstregeling hinder ondervindt van de extra afname en 4) op een zodanige wijze juridisch en economisch in te richten dat ACM een dergelijke toepassing niet zal beschouwen als een distributienet, waarvan alleen netbeheerders het beheer mogen uitvoeren.

Het vraagt nader onderzoek binnen de tractiebedrijven om deze ruimte exact in kaart te brengen, ook rekening houdend met het voorkomen van extra netbeheerkosten die in rekening worden gebracht als de hoogte piekwaarde van afgenomen vermogens (zogenaamde kW-max). Tegelijkertijd biedt juist het technisch geïnstalleerd vermogen ruimte om lokaal opgewekte energie, dus binnen de tractienetten, in te zetten voor energievoorziening. Met koppeling van deze opwek aan de gelijkspanningszijde van installaties wordt ook voorkomen dat deze extra opwek terug geleverd kan worden en zo extra invoedingscongestie kan veroorzaken.

De volgende resultaten zijn bereikt of behaald in dit project:

Beoogd Resultaat	Behaald resultaat met toelichting
R1 Virtueel schaalmodel voor simulatie	Meerdere virtuele, digitale, schaalmodellen: R1.1: Virtueel schaalmodel Dynniq Energy om laadpleinen te koppelen aan secties bovenleiding-infrastructuur en de invloed van de langsrijdende tram te zien op het afgenomen vermogen (zie ook R6). R1.2: Digitaal schaalmodel HvA om Droop Control algoritme te ontwikkelen en testen <i>Paper EVS36: Droop Rate Controlled DC Bus Charging Plaza, Heath, E., Warmerdam, J., & Schaacke, R. (2023). Droop Rate Controlled DC Bus Charging Plaza. Paper presented at Electric Vehicle Symposium 36, Sacramento, United States</i> R1.3: Digitaal schaalmodel HHS om koppelomvormer tussen 2 secties te modelleren, ontwikkelen en testen. https://ieeexplore.ieee.org/document/10010236 https://caspoc.com/tools/traction/overheadlines/lightrail/
R2: Functionerende fysieke testopstellingen (labs)	R2.1: Testmodel PV omvormer DC Opportuniteiten, die kan invoeden op de bovenleiding (TRL6).

	R2.2: Testmodel koppelomvormer HHS om vermogen uit te wisselen tussen 2 secties en zo energietransport mogelijk te maken, als ook de verschillende evoluties vanaf het begin (TRL4-5). Zie links bij R1.3. R2.3: Testopstelling HvA met programmeerbare voedingen en belastingen om Voltage Droop Control algoritme te ontwikkelen en testen (TRL4-5). Zie referentie bij R1.2.
R3: Functionerende testopstellingen (veldtest)	R3: Veldtest opstelling HvA & DC Opportunities, in maart 2024 gebruikt om onderzoek te doen (Droop Control algoritme kan overweg met echte variatie in DC spanningen) en componenten te testen (PV Omvormer). Deze testopstelling was uiteindelijk maar deels bestand tegen de 'harde' praktijk. Aandachtspunt voor het nieuwe project in deze richting, waarvan HvA de penvoerder is. <i>Zie AD5 (aparte bijlage).</i>
R4: Dataset van het reële dynamische gedrag van een tractienet	R4.1: Dataset vanuit metingen maart 2024 met reëel gedrag van een tractienet, gezien vanuit een netaansluiting van GVB R4.2: Dataset vanuit een HTM voertuig tijdens een testrit, met reële stromen en spanningen, gezien vanuit de tram.
R5: Specificaties voor nieuwe technische componenten en regelsystemen	R5.1: Specificaties voor direct aan de bovenleiding te koppelen toepassingen (publicatie HHS, demo opstelling DC Opportunities) R5.2: specificaties voor het managen, regelen of sturen van gebruikers zijn bekend <i>Zie eerdere publicaties van HvA en HHS, daarnaast ook een posterpresentatie van HvA op het LEVE symposium op 25 september 2023.</i> R5.3: voor een DC laadplein, gekoppeld aan een tractienet, inclusief uitgewerkt bestek (<i>zie ook R6</i>).
R6: Functioneel ontwerp DC Laadplein	R6: Functioneel en technisch ontwerp Dynniq Energy om gekoppelde laadpleinen en secties bovenleiding-infrastructuur te simuleren en de invloed van de langsrijdende tram te zien op het afgenomen vermogen. Dit is gepresenteerd op 29 november 2023, tijdens het ochtendprogramma bij de themamiddag 'Energietransitie op en langs het spoor' georganiseerd door Smart Energy NL in samenwerking met TKI Urban Energy. <i>In het middagprogramma zelf zijn het TSDCE project en de belangrijkste resultaten kort toegelicht. Zie ook de Eindrapportage TSDCE 2024 van Dynniq Energy.</i>
R7: Haalbaarheidsstudie naar technische opschaling van een tramhalte als energiehub.	R7.1: Het functionele ontwerpproces voor Energiehubs bij tractie-infrastructuur ontwikkeld door Witteveen+Bos, gepresenteerd op 29 november tijdens het middagprogramma van de themamiddag 'Energietransitie op en langs het spoor'. R7.2: De presentatie in het ochtendprogramma (zie R6 hierboven) bevat de uitkomsten van het onderzoek naar de technische haalbaarheid van het aansluiten van een laadplein aan een bovenleidingnet, zoals uitgewerkt door Dynniq Energy. <i>Zie ook de Eindrapportage TSDCE 2024 van Dynniq Energy.</i> R7.3: demotafel HHS om het concept van het koppelen van tractiesystemen/secties) onderling en met afnemers en opwekkers te laten zien.
R8: Inzichten in economische, bedrijfskundige en energierechtelijke barrières en kansen	R8.1: er is vastgesteld dat binnenstedelijke capaciteit schaars is en dat het verzwaren van binnenstedelijke netten tijdsintensief, kostbaar en maatschappelijk verstorend is. Aanvullend zijn er, o.a. met onbalans of verkoop van energie nieuwe inkomstenmodellen in het vooruitzicht. R8.2: Extra taak buiten concessie, die mogelijk vraagt om nieuwe of andere assetmodellen voor service providers. R8.3: energierechtelijke barrière: je mag geen distributienet bedrijven. Dat ontstaat als je eigendommen van meerdere eigenaren over meerdere erfgrenzen heen energie laat uitwisselen met elkaar. Het GDS is de meest bekende oplossingsrichting. Er is een tweede aanpak in ontwikkeling, die in juni 2024 door de ACM gepubliceerd zal worden als informele zienswijze. R8.4: Ook op het gebied van mededinging zijn inzichten opgedaan.

De volgende meegestuurdde bijlagen zijn onlosmakelijk verbonden met deze eindrapportage:

- De integrale presentatie die toegelicht is in het ochtendprogramma over TSDCE voorafgaand aan de themamiddag 'Energietransitie op en langs het spoor' georganiseerd door Smart Energy NL ism TKI Urban Energy.
- De verkorte presentatie met aanleiding, doelen en resultaten van TSDCE als één van de workshops in het middagprogramma van de themamiddag 'Energietransitie op en langs het spoor' georganiseerd door Smart Energy NL ism TKI Urban Energy.
- De workshop 'Energiehubs bij tractie-infrastructuur' van Witteveen+Bos als één van de workshops in het middagprogramma van de themamiddag 'Energietransitie op en langs het spoor' georganiseerd door Smart Energy NL ism TKI Urban Energy.
- De eindrapportage van Dynniq Energie met in meer detail hun berekeningen, uitkomsten en conclusies voor het realiseren van laagvermogen DC laadpleinen gekoppeld aan tractienetten.
- Het verslag van de metingen bij GVB van HvA.

2.2 Kernpunten uit het projectvoorstel

De aanleiding (uit het projectvoorstel uit 2021)

De toekomstige binnenstedelijke ontwikkeling in Nederland worden sterk beïnvloed door de energietransitie en het klimaatbeleid. De transities in energieproductie, energiegebruik en mobiliteit in de gebouwde omgeving, die een klimaatneutrale stad mogelijk moeten maken, stellen nieuwe eisen aan het ruimtegebruik, het ontwerp van de energienetwerken en van andere infrastructuur en aan de organisatorische en bestuurlijke kaders.

De toenemende elektrificatie (bijvoorbeeld warmtepompen) en de toenemende productie van duurzame energie en toename van elektrische mobiliteit in de gebouwde omgeving, ook door de intensivering van de dienstregelingen, is een grote uitdaging. Netten komen onder druk te staan. Verzwaring is vaak kostbaar en veroorzaakt veel overlast. Slimme oplossingen en/of combinaties kunnen hier helpende hand bieden, gebruik makend van bestaande infrastructuur. Op termijn kan dan ook regionale oplossingen worden aangeboden door opschaling naar het ProRail net, bijvoorbeeld voor het invoeden van zon-PV weides in het systeem of extra vermogen leveren voor andere energiebehoeftes, zoals de heavy duty laadstations van bussen in de regio. Dit voorstel richt zich daarom op de kansen voor de inpassing van het bestaande DC tractienet van het openbaar vervoer voor distributie en, in een later stadium, in een slim bi-directioneel net. Dit betreft tram, metro en trolleybussen. De toepassingsmogelijkheden worden verder vergroot door de opkomst van laadpleinen voor elektrische bussen, met vergelijkbare (slechte) benutting van aansluitcapaciteit. Tenslotte kan worden opgeschaald naar de infrastructuur van de trein (ProRail), waarvan het potentieel nog vele malen groter is.

Doel van het project (uit het projectvoorstel uit 2021)

De doelstelling van dit project is de bijdrage aan de klimaatdoelstellingen en de energietransitie in de gebouwde omgeving door elektrificatie in de gebouwde omgeving te versnellen door het slim gebruik van OV infrastructuur. Hierdoor wordt de grote overcapaciteit van het huidige tractienet (bijvoorbeeld 80% in de Haagse regio) beschikbaar gemaakt voor nieuwe duurzame opwek en vraag naar elektriciteit in de gebouwde omgeving (zoals elektrisch laden en elektrische warmtepompen. Ook is er meer lokale flexibiliteit mogelijk door de inzet van opslag. In Nederland hebben momenteel 4 steden een tramnet met een totale lengte van zo'n 400 km. Daarnaast overwegen andere steden (Groningen) de aanleg ervan. Twee steden hebben metronetten. Daarnaast heeft Arnhem een trolleybus net.

Verder in de toekomst is opschaling denkbaar naar het treinnet (ProRail), onder andere naar het dichte net rond de grote steden en de beschikbare capaciteit bij stations met kleine dienstregeling. De hoofdvraag is tweeledig: 1) in hoeverre het technisch mogelijk is om PV-opwek in kleine en grote opstellingen via de OV-infrastructuur zelf, zonder gebruik te maken van het distributienet, naar de dicht bebouwde binnenstad te brengen, en 2) in hoeverre het opladen van elektrische auto's voor de OV-infrastructuur andere impact heeft dan het laden van supercaps en/of accu's. Daartoe is er inzicht nodig in technische, economische, juridische, organisatorische en bestuurlijke knelpunten van deze transitie. De oplossing om de huidige overcapaciteit ter beschikking te stellen is de transitie van OV tractienet naar allereerst een distributienet en uiteindelijk naar volwaardig bi-directioneel slim DC-elektriciteitsnet. Daartoe zijn o.a. technische aanpassingen aan het tractienet nodig. Dit project beoogt daarom de eerste stappen van deze transitie te nemen, en tegelijkertijd meer inzicht te geven in het volledige transitietraject.

Korte omschrijving en evaluatie van de activiteiten (gebaseerd op het projectvoorstel)

Het project wordt in 5 werkpakketten opgedeeld. WP1 zal door de simulatie en analyse van het elektrische systeem (vermogenselektronica) de invoergegevens en uitgangspunten genereren voor de andere werkpakketten. In WP2 wordt de fysieke infrastructuur voor de koppeling met het net (omvormers) ontwerpen en getest op laboratoriumschaal. WP3 omvat het onderzoek op locatie: in Den Haag wordt een test opgezet met de koppeling van PV opwek aan de bovenleiding. In Amsterdam wordt het tractienet in hoge tijdsresolutie bemeterd op locatie. WP4 verkent de barrières en oplossingen voor opschaling. Tenslotte onderzoekt WP5 de economische, organisatorische en energierechtelijke kansen en drempels voor de verdere transitie naar een slim DC elektriciteitsnet.

Hieronder wordt per werkpakket de omschrijving van de gepland activiteiten gedeeld (vanuit het projectvoorstel) en per werkpakket is er een korte reflectie op wat is uitgevoerd en gerealiseerd, wat goed ging en wat anders of beter had kunnen verlopen.

WP1. Modelsimulatie van capaciteiten en vermogensstromen

Dit WP dient het ontwerp van de fysieke tests, het opstellen van de specificaties, de opschaling en de economie analyse. De systeemanalyse van hele energiesysteem is gebaseerd op een model van huidige energiestromen en de veranderingen en levert de technische randvoorwaarden. Het model geeft de ruimte aan voor opschaling (vrijkomende capaciteit) en levert parameters voor economische analyse. Het potentieel voor vrijkomende capaciteit wordt in WP4 financieel gewaardeerd als baten en is input voor de verdienmodellen. Hiertoe worden modellen die de vermogenselektronica en regeling kunnen simuleren. Zowel HvA en HHS hebben de tools voor deze modellen in huis (HOMER, Caspoc), die hiertoe snel kunnen worden aangepast en toegepast.

Reflectie: Partners hebben, met hulp van GVB en HTM beschikking gekregen over karakteristieken van het energieverbruik, er is overleg geweest met de (inmiddels gepensioneerde) installatieverantwoordelijke van HTM, Rob Vrolijk. Er is veel overleg geweest met de partners onderling, over het werken naar een gezamenlijk model, uiteindelijk hebben HvA, HHS en Dynniq Energy wel echt hun eigen technische modellen gemaakt voor hun eigen doeleinden, wel gebaseerd op gedeelde uitgangspunten, omdat de inhoudelijke vragen en dus de vereisten voor het model te ver uiteenliepen en ook de beheersbaarheid en beschikbaarheid van het model dan mogelijk minder werden dan ten opzichte van elke partner een eigen model.

WP2 Technische validatie op schaal in laboratorium

De simulatie in WP1 wordt aangevuld met fysieke tests om betrouwbare resultaten over de technische haalbaarheid te verkrijgen. Dit wordt zowel op schaal (WP2) in laboratorium condities als voor een prototype in reële condities (vermogens en stromen) uitgevoerd (WP3). De volgende activiteiten worden uitgevoerd: Testen aan omvormers met beveiligingen en vermogensregeling richting juiste specificaties. De HvA en HHS beschikken al over labs waarin de bestaande testopstellingen kunnen worden uitgebreid. Uit veiligheidsoverwegingen worden schaalmodellen gemaakt met max 1:10 qua spanning en 1:100 qua vermogen.

Reflectie: de vertaling van de modellen en data van tractienetten naar specificaties van componenten naar schaalmodellen is zowel bij HvA als bij HHS als ook bij DC Opportunites naar wens en tevredenheid verlopen. Dit was in retrospectief het relatief makkelijke deel van het project.

WP3 Metingen en veldtest op locatie

Dit werkpakket omvat twee activiteiten.

- In Den Haag wordt op een locatie (beschikbaar gesteld door HTM) een fysieke veld test uitgevoerd naar de inkoppeling van PV in het DC tractienet, met bijhorende regelsystemen. Het ontwerp van de veldtest is gebaseerd op de resultaten van de labtest (WP2) en de simulatie (WP1)
- In Amsterdam worden op locatie (remise of tramhalte) de vermogens en stromen gemonitord. Hierbij gaat het vooral om de dynamiek van veranderingen in belasting (bij remmen en optrekken). Het volgen van deze dynamiek is een belangrijke uitdaging voor het ontwerp van de vermogenselektronica en de regeling. Het monitoren zal daarom in hoge tijdsresolutie gebeuren (minder dan een seconde) gedurende een representatieve periode.

De resultaten van beide activiteiten worden teruggekoppeld naar het simulatiemodel en zijn de input voor de specificaties.

Reflectie: Het werken op locatie, aan installaties die in gebruik zijn, bleek een zeer lastig te nemen horde, om verschillende redenen. In overleg met HTM is relatief snel een beoogde testlocatie

gevonden, om onder meer de zon-PV omvormer van DC Opportunities te testen. Daarbij werd de verbinding gezocht met het HTM interne project 'Zonnespinn' (ook bekend vanuit de rapportage van Stevin). Daarbij bleek de beveiliging wel een kritisch punt; naast de ontwikkelde elektronische beveiliging van DC Opportunities werd vanuit HTM ook een reguliere passieve beveiliging van een bekende leverancier geëist om veiligheid te waarborgen, zeker in een testfase. Initieel werd gestreefd om tot een test te komen met deze leverancier (Elektroline) in een integratie met de zonnespinn. Helaas, maar wel begrijpelijk, is HTM van dit pad afgeweken, omdat de commerciële prijzen van de initieel beoogde DC-DC omvormer sterk stegen na een eerste demonstratie in 2022. Met daarna veel gedoe over 'hekjes' langs het spoor met de welstand in Zoetermeer, heeft HTM uiteindelijk een andere weg in geslagen, om meer aandacht te hebben voor de opstellingen van de zonnespinn en voor de eerste serie zonnespinnen te kiezen voor (veel goedkopere) AC aansluitingen in bestaande onderstations, om het totale concept te testen. Zodoende is de beveiliging van DC Opportunities niet in Den Haag getest.

Later, meer richting het einde van het project, is de samenwerking met het GVB opgezocht, omdat ook HvA metingen wilden doen aan het bovenleidingnet. Dit is najaar 2023 in voorbereiding gegaan. De doorlooptijd (test- en meetplan, testopstelling, goedkeuring, inplannen uitschakeling onderstation etc) was uiteindelijk meerdere maanden, waardoor de veldtesten pas in maart 2024 hebben plaatsgevonden. Een belangrijke les is (naast meer rekening houden met de doorlooptijd) dat de testbox/meetbox zelf beter voorbereid moet worden, omdat deze niet de volledige beoogde meetsessie is meegegaan. Mogelijk is een specifieke rimpelspanning (die niet vooraf bekend was) de boosdoener. Een volgende versie moet hier beter tegen kunnen.

WP4 Opschaling richting tramhalte als energiehub

WP4 gebruikt de in WP1 tot 3 geworven inzichten over de specificaties en technische haalbaarheid in de volgende activiteiten:

- Functioneel ontwerp voor een DC laadplein gekoppeld aan OV-DC-net, inclusief stationaire energieopslag en rem-recuperatie. Het ontwerp omvat een parallel net dat met een enkele verbinding (DC-DC omvormer) is verbonden aan het voedende tramnet.
- Voorontwerp van testopstelling afgestemd op de situatie bij het GvB. Dit dient om aan te tonen dat het functioneel ontwerp principieel kan gerealiseerd worden.
- Praktische omgevingsstudie. Een selectie wordt gemaakt van potentiële locaties voor de tramhalte als energiehub in verschillende omgevingen met verschillende randvoorwaarden (zowel Amsterdam als regio Den Haag).
- Onderzoek technische regelgeving.

Reflectie: dit werkpakket is zowel door HTM (regelgeving), als door Dynniq Energy (laadplein) als door W+B (omgevingsstudie en ontwerpaanpak E-OV hubs) uitgevoerd, met goede resultaten. Een fysieke testopstelling voorbereid op een GVB locatie bleek, ook ivm onduidelijkheid over kosten, een brug te ver voor dit project. Dit project heeft er echter wel voor gezorgd, dat in een nieuw project (HvA penvoerder, DC-EHub (2321501)) wel het commitment van de directie van het GVB is geborgd om tot een pilot op terrein van het GVB te komen.

Vanuit Witteveen+Bos is een model opgesteld voor het inrichten van E-hubs afhankelijk van verschillende omgevingsfactoren. Dit model houdt rekening met de grootte van de hub en de complexiteit van de omgeving. Op basis van deze factoren schetst het model verschillende mogelijkheden voor de integratie van gebruiksfuncties in de E-hub, zoals koppelingen van PV-opwek met elektrisch laden. Het ontwikkelde model is in verschillende casussen toegepast, waarmee de praktische haalbaarheid van E-hubs in verschillende omgevingen is aangetoond.

WP5. Economische, organisatorische en energierechtelijke aspecten

WP5 verkent de opschaling op groter schaal, met name economisch, organisatorisch en energierechtelijke randvoorwaarden. Groter schaal van 1 net aansluiting naar meer en zwaardere aansluiting. Van 1 stuk sectie naar meerdere secties. WP5 gebruikt daartoe de resultaten van WP1, WP3 en WP4 als input (technische en niet-technische kansen en barrières).

WP5 is opgebouwd uit de volgende activiteiten:

1. Opstellen van verschillende assetmodellen (wie is eigenaar, wie financiert en wie onderhoud het systeem). Voor ieder model wordt de business case bepaald. Is hier behoefte aan of ligt alles bij HTM?
2. Onderzoek naar organisatorische en institutionele veranderingen ten gevolge van de transities, inclusief naar de belemmeringen en kansen van de huidige energiemarkt wetgeving. Dit is gebaseerd

op een markt- en stakeholderonderzoek rond de tramhalte als energiehubs (zie WP4). De raakvlakken en de eisen en wensen worden in kaart gebracht. Deze zijn afhankelijk van de locatie.

3. Opstellen routekaart en aanbevelingen. Wat zijn de stappen beginnend met tram, metro en trolley tot inpassing laadinfra van bussen tot vrijmaken netcapaciteit, tot uiteindelijk de ProRail infra?

4. Raadpleging/consultaties met de klankbordgroep, die de mogelijke toekomstige economische partijen vertegenwoordigen (inclusief ProRail).

Reflectie: in de uitvoering van dit WP, waar W+B aanjager is geweest en HTM het voortouw heeft overgenomen, heeft de focus gelegen op de het in kaart brengen van energierechtelijke aspecten en op mededingen/vrije concurrentie. HTM heeft, in samenwerking met de gemeente Den Haag en later ook met Pels Rijcken advocaten gewerkt aan het in kaart brengen van de barrières en belemmeringen. Dit heeft er in geresulteerd dat 1) de barrières zeer helder zijn opgeschreven in een interne memo/presentatie (HTM), dat 2) de gemeente Den Haag en HTM vervolgstappen (een pilot en het onderzoeken van opschaling) aan het voorbereiden zijn en dat 3) de ACM een informele zienswijze gaat uitbrengen op basis van deze casus. Deze informele zienswijze wordt naar verwachting in juni 2024 gepubliceerd (geanonimiseerd).

In de uitkomst hiervan is ook duidelijk hoe eigendom geregeld moet zijn (economisch en juridisch) om te voldoen aan de regelgeving. Het onderwerp 'impact op assetmodellen is maar heel beperkt uitgewerkt. Uit de informele zienswijze volgt dat de assets (laadinfrastructuur in dit geval, maar breder van toepassing, in dezelfde juridische entiteit moet vallen als waar de tractie-infrastructuur ('het bovenleidingnet') onderdeel van is en dat juridisch en economisch eigendom ook aantoonbaar bij deze entiteit ligt (en niet bij een derde).

Verdere activiteiten in dit WP zijn beperkt gebleven tot het leveren van input voor onderzoek van Stevin naar medegebruik van tractie-infrastructuur. Er is in januari 2023 een 'halverwege' bijeenkomst georganiseerd, waar in beperkte mate ook het werkveld (middels externen) vertegenwoordigd is geweest. De veel grotere aandacht tijdens de bijeenkomst op 29 november 2023 toont deels ook aan hoe snel het onderwerp is opgepakt, waarbij het wel heel duidelijk is dat veel partijen in de tractiewereld al veel langer met dit idee aan de gang zijn (ProRail, RET). Ook is er een actieve community onder 'pervoerderschap' van Robert Galjaard die actief met het onderwerp aan de slag is, vooral richting activiteiten 3 en 4 uit de omschrijving van WP5.

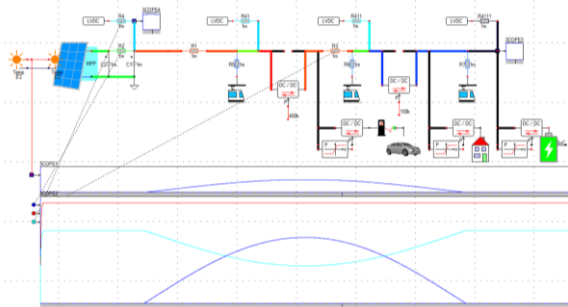
2.3 Resultaten van het project zelf

Beoogde resultaten conform het projectvoorstel (2021)

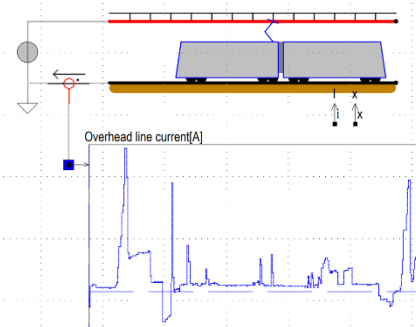
Resultaat 1. Virtueel schaalmodel voor simulatie van het energy systeem (vermogens en stromen) als basis voor het ontwerp van de labtests (resultaat 2), het ontwerp van de fysieke testopstelling in Den Haag (resultaat 3), de specificaties (resultaat 5) en het functioneel ontwerp (resultaat 6), met bijhorende verslaglegging. Dit model levert inzicht in de energiestromen en de benutting van het tractienet en hiermee de besparing op verzwaring van het distributienet.

HHS

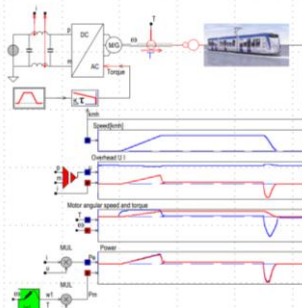
Invoeden zonne-energie reduceert invoeding door onderstation



Simulatie van een gemeten stroomprofiel in de simulatie van een bovenleiding



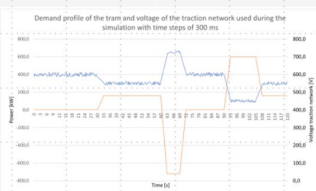
Typische acceleratie (van 10 naar 30 seconden), cruisen (van 30 naar 80 seconden) en remmen (van 80 naar 87 seconden) van een Avenio.



HvA (afstudeeronderzoek Lious Veerkamp, die hiermee de 2^{de} prijs heeft gewonnen bij de Royal Smit afstudeerprijzen van Stichting 3^E in 2022).

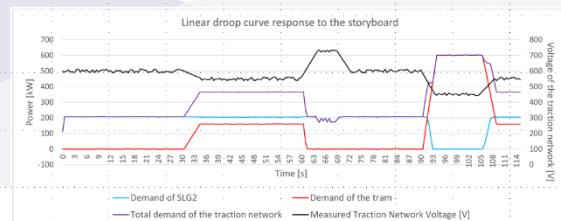
DC-LAADPLEIN AANSLUITEN OP BOVENLEIDING

- Simulaties in Energielab van HvA
- Bidirectionele DC power supplies
- Python scripts
- Vraagprofiel van tram:
 - 0-30 sec: geen tram
 - 30-60 sec: tram rijdt voorbij constante snelheid
 - 60-90: tram remt
 - 90-120: tram trekt op

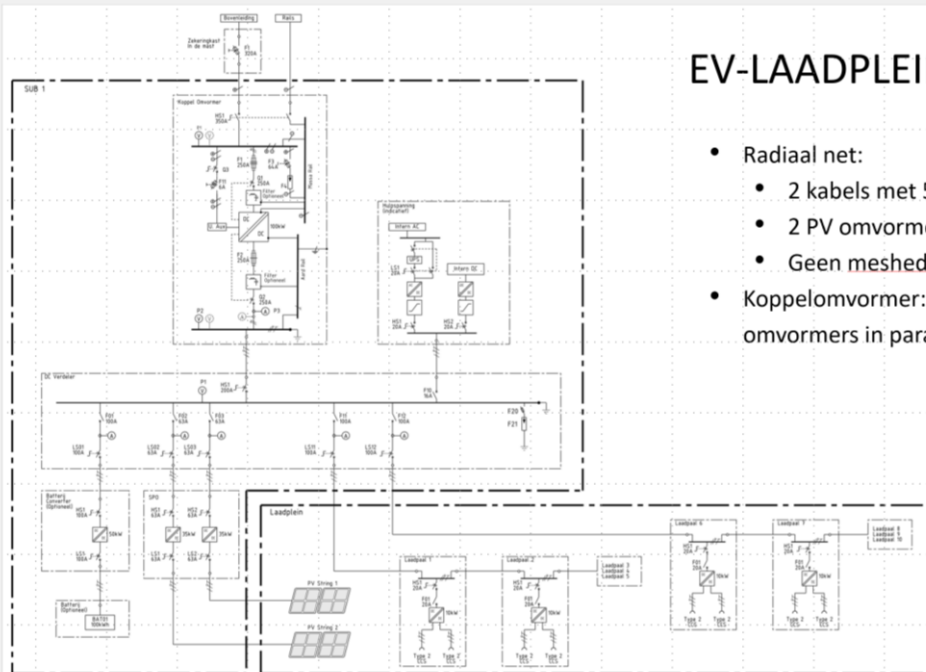


SIMULATIE DC LAADPLEIN AAN BOVENLEIDING

- Resultaat van simulatie (4 segmenten)
- Nu DC-laadplein verbonden (SLG2)
- Met droop rate control: als gezamenlijke energievraag te hoog is, gaat vermogen DC-laadplein tijdelijk naar 0.



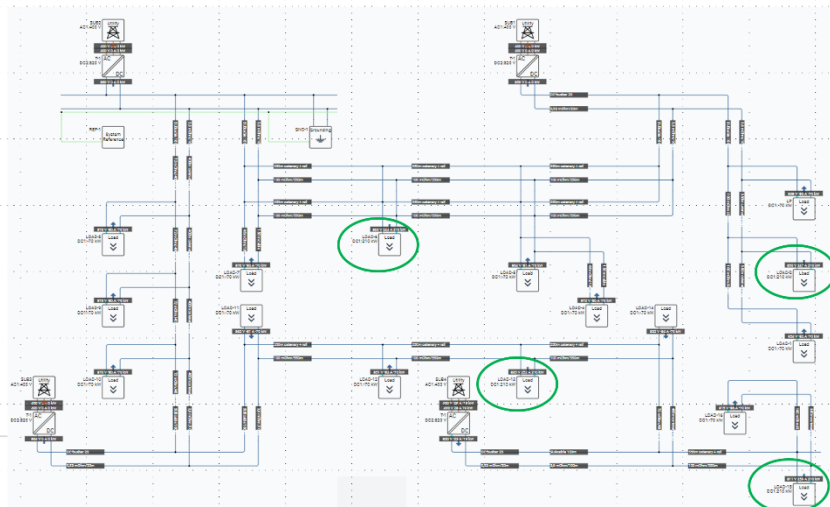
EV-LAADPLEIN IN OV-NET



- Radiaal net:
 - 2 kabels met 5 laadpalen
 - 2 PV omvormers met 2/3 strings
 - Geen meshed grid
- Koppelomvormer: 5*20 of 4*25 kW omvormers in parallel

IMPACT EV-LAADPLEIN OP OV-NET

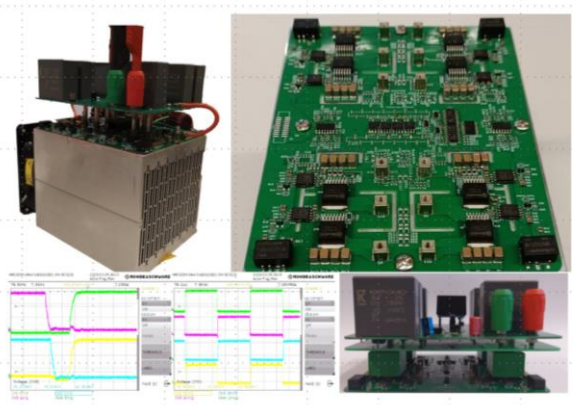
- Terugleververmogen Laadpleinen van 10 nr 80 kW
- 4 Trams van 40 naar 320 kW
- 4 EVLPs matchen exact vermogen van 4 trams
- SUBs: Enkel voor compensatie verliezen



Resultaat 2. Functionerende fysieke testopstellingen op laboratorium schaal van de vermogenselectronica en regelsystemen bij de HHS, de HvA, DC Opportunities, met bijhorende verslaglegging.

HHS

Laboratorium opstelling voor het concept van de Interlink



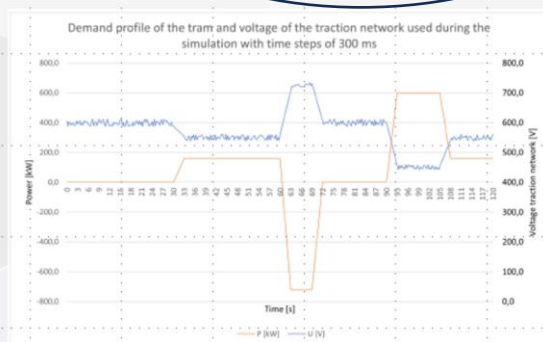
DE HAAGSE
HOGESCHOOL

30

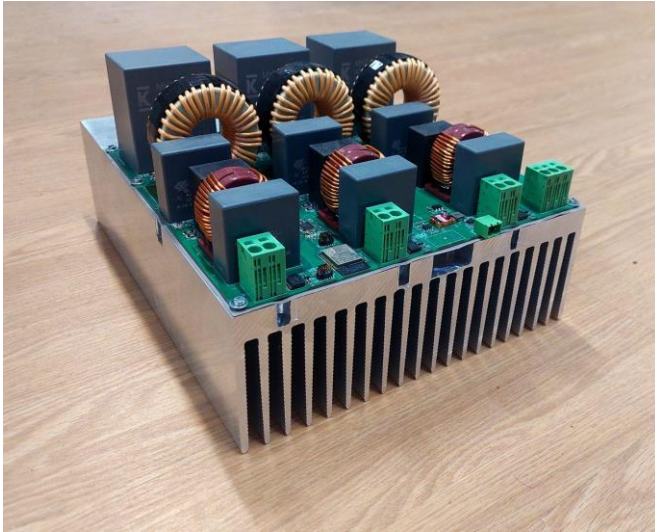
HvA

DC-LAADPLEIN AANSLUITEN OP BOVENLEIDING

- Simulaties in Energielab van HvA
- Bidirectionele DC power supplies
- Python scripts
- Vraagprofiel van tram:
 - 0-30 sec: geen tram
 - 30-60 sec: tram rijdt voorbij constante snelheid
 - 60-90: tram remt
 - 90-120: tram trekt op



DC Opportunities



18 kW Solar power
electronics
converter



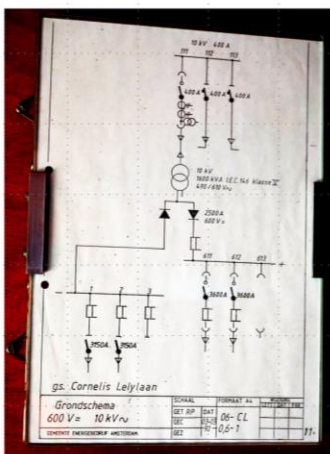
Solid State Protection

The testing of the first series of prototypes in the lab showed the potential of the proposed solid state technology (fast clearing of the fault, with low short-circuit currents) and how compact the size of the converter becomes when SiC technology is combined with DC. These prototypes can be classified as TRL 5 after the testing in the lab. A second series of prototypes is needed to reach TRL 6, correcting typical hardware mistakes and optimizing the thermal capability of the converter. In terms of power output, these prototypes already qualify for field testing (WP3).

Resultaat 3. Functionerende testopstelling voor koppeling PV bij realistisch vermogens en spanningsniveaus gekoppeld aan de OV tractienetten op een door HTM aangewezen locatie in Den Haag. Met rapportage met ontwerp en testresultaten.

De koppeling met de opstelling van DC Opportunities heeft plaatsgevonden op een locatie van het GVB in Amsterdam, zie toelichting bij WP3 hiervoor.

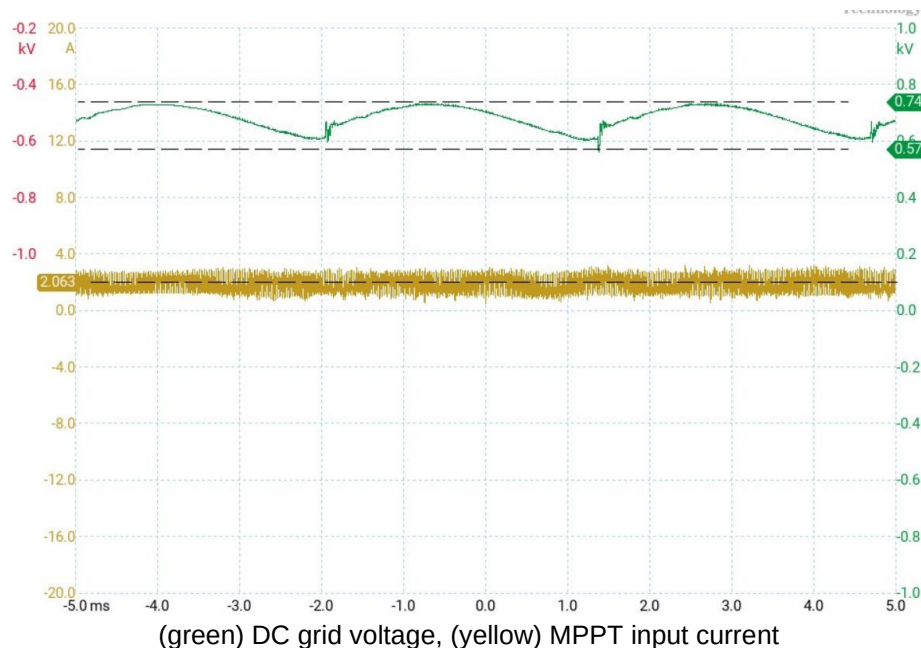
Test on Traction Grid in Rectifier Station Amsterdam



Brief recap of testing results DC Opp

For testing, close collaboration between DC Opportunities and GVB was necessary to understand the DC grid voltage profile and to ensure the developed MPPT power converter meets these requirements, as well as to ensure the PV installation and MPPT power converter meet the safety requirements of the DC grid over a range of scenarios including short-circuit protection, lighting strike on the overhead lines and shut-down due to maintenance.

The converter was designed and tested in the lab of DC Opportunities before being tested in the field with a PV emulator (provided by HvA, see also their findings below) at a tram network rectifier station. Below are the results of the in-field testing of the MPPT power converter. As can be observed in the figure directly below, the MPPT converter supplied power to the GVB tram network which fluctuated in voltage due to it being fed by an unregulated rectifier with no DC link capacitors.



HvA: conclusies testen HvA

4. Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

- Het is gelukt om het verloop van de bovenleidingspanning in kaart te brengen. In het Energielab van de HvA is met de gemeten spanningen een simulatie gedaan. De 2 voedingen werden DC-zijdig verbonden, waarbij op de ene voeding de gemeten spanningspatronen werden gezet. Op de andere voeding draaide onze Droop Rate software van een DC laadplein, en de test was nu om te zien hoe snel het DC laadplein de bovenspanning kan volgen, stabiel blijft, en vermogen kan opnemen en afgeven.
- Meten in praktijksituatie is wat anders dan meten onder lab-omstandigheden. De meetbox heeft het voortijdig begeven en moet robuuster worden uitgevoerd.
- Aarding is een cruciaal aspect bij het aansluiten van meetapparatuur en voedingen. Omdat het tractienet min of meer zwevend is, is dit een extra uitdaging.
- De Deltavoeding was instabiel door een rimpel op de bovenleidingspanning, waardoor het niet is gelukt stromen terug te leveren aan het tractienet.
- Met de solar converter is wel stroom geleverd aan het tractienet.

Aanbevelingen

- Uitzoeken hoe de instabiliteit van de Delta voeding kan worden verholpen
- Robuustere meetbox maken.
- Uitzoeken waarom de Fluke niet wilde loggen, en alternatieven maken.

Resultaat 4. Dataset van de reële dynamische gedrag tractienet (vermogens, stromen) in hoge resolutie gebaseerd op monitoring op locatie in Amsterdam (GvB) en Den Haag (HTM). Database en rapportages

Zowel van HTM als van GVB zijn datasets uit te praktijk ontvangen, die gebruikt zijn om de opgestelde systeemmodellen van HvA, HHS en Dynniq te valideren. Deze datasets bevatten data die gemeten zijn op trams op specifieke lijnen, waarmee mogelijk ook te herleiden is, wie de tramchauffeurs zijn geweest op het moment van meten. Daarom worden de datasets zelf niet gedeeld.

Publicatie HHS:

P. J. van Duijsen and D. C. Zuidervliet, "Distribution Of Renewable Energy In Light-Rail Traction Grids," 2022 International Symposium on Electronics and Telecommunications (ISETC), Timisoara, Romania, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISETC56213.2022.10010236.

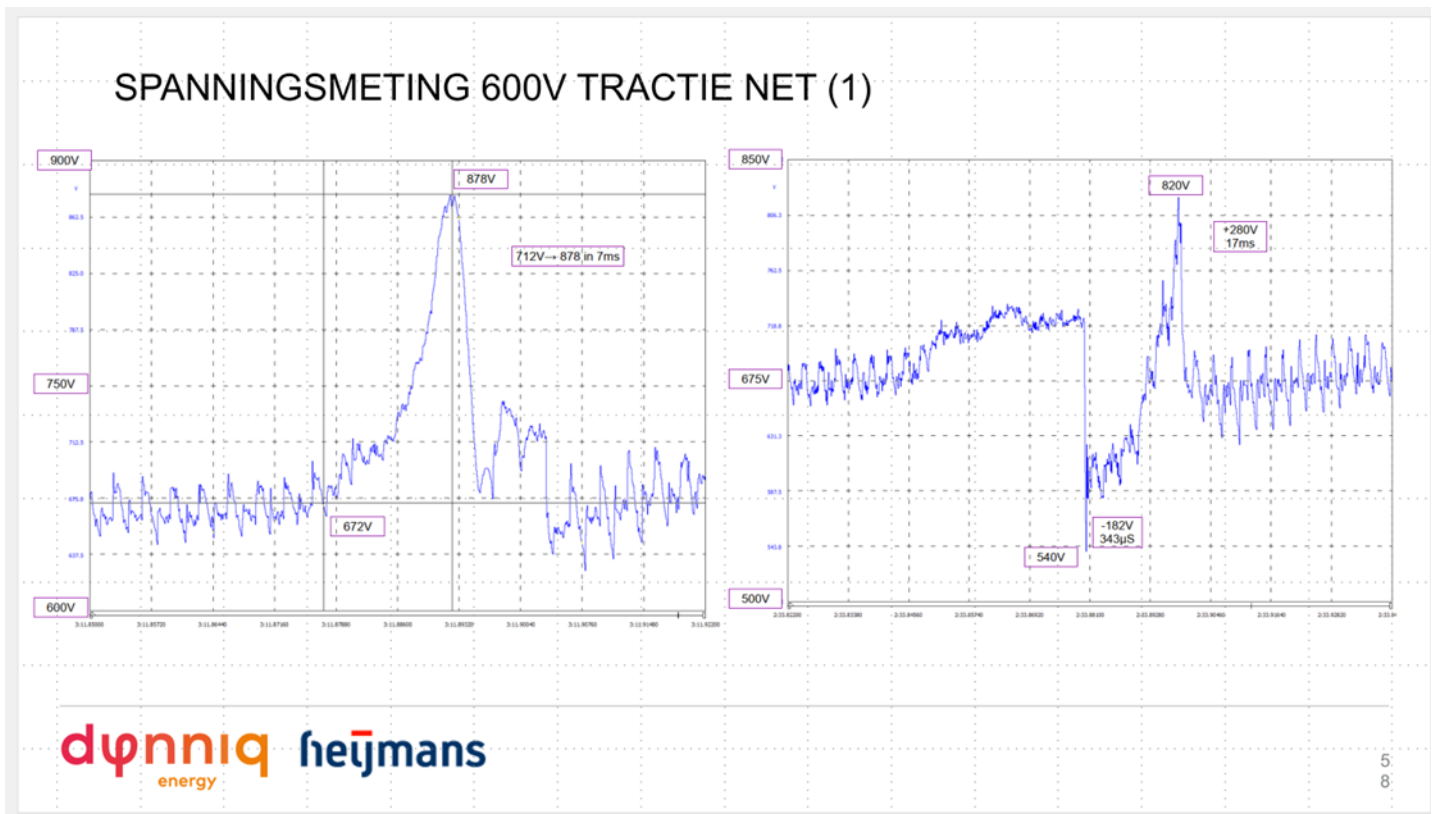
<https://ieeexplore.ieee.org/document/10010236>

Data:

Simulaties en modellen om spanningen en stromen in de bovenleiding (ook weerstand en inductiviteit – samen impedantie) te meten/voorspellen. Link website Caspoc:

<https://caspoc.com/tools/traction/overheadlines/lightrail/>

Model Dynniq



hieruit volgt onder meer hoe snel, respectievelijk 7 mS links en 17 mS rechts, de bovenleidingspanning met enorme waarde kan veranderen door remmen van een tram (links) en een optrekkende en weer remmende tram (rechts).

Resultaat 5. Specificaties van de technische componenten (vermogenselectronica) en de bijhorende regelsystemen t.b.v. toekomstige productie. Deze zijn opgesteld op basis van het model en gevalideerd op basis van de fysieke testen. Het regelsysteem is gecreëerd door middel van Model Based Design op basis van de simulatie (resultaat 1). Met rapportage.

PV omvormer met regeling en beveiliging DC Opportunities

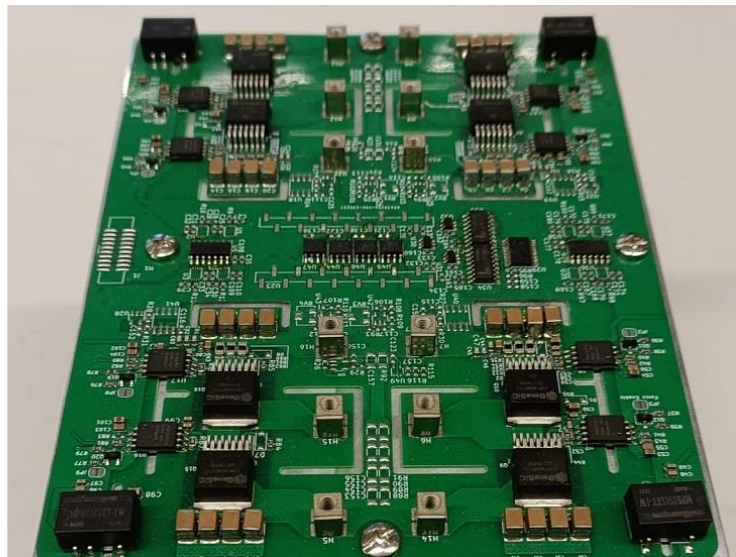
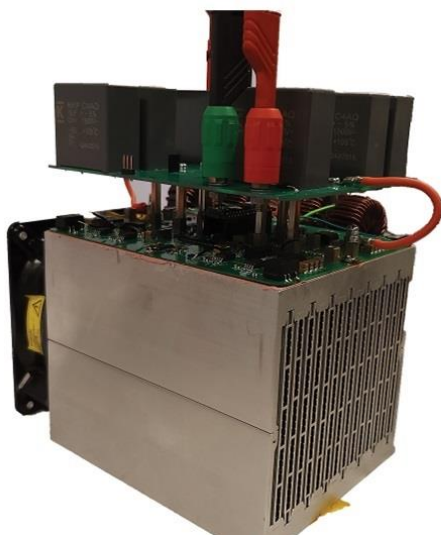
De ontwikkelde MPPT omvormer heeft een nominale input spanningsrange tussen 450 en 750 Vdc en een nominale output-range tussen 650 en 900 Vdc (de range van de spanning van de bovenleiding, zeker bij een bovenleidingspanning van 750 Volt, die in de tratie- en lightrail

The developed MPPT power converter has a nominal input (PV) voltage range of 450-750 Vdc and a nominal output (DC grid) voltage range of 650-900 Vdc. It utilizes a boost converter topology. Three such boost converters, connected in parallel at the output, comprise the whole MPPT power converter. Each boost converter input can be connected to a string of 18 PV panels and has a nominal power rating of 6 kW. Thus, the MPPT power converter can nominally provide up to 18 kW total power.

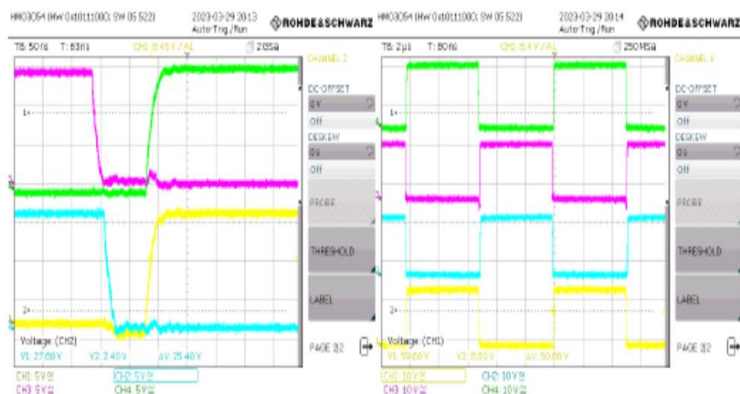
Voor afbeeldingen: zie de foto's van de omvormer bij resultaat 2.

HHS - Interlink Omvormer / koppelomvormer

Dit is, na voorwerk van de docent-onderzoekers en student Casper Grootes, vooral uitgewerkt in het afstudeerwerk van Floris Kevelam (9). Dit concept wordt nu (ook in 2024) verder uitgewerkt door oud-student Fedor Boendermaker, nu in dienst bij HTM bij het ingenieursbureau (IB). Met deze omvormer kunnen niet gekoppelde secties met een (galvanisch gescheiden) omvormer worden gekoppeld, waardoor pieken én dalen (remmen, optrekken) over meerdere secties (en soms ook meerdere onderstations) uitgesmeerd worden, zonder dat dit impact heeft op de elektrische veiligheid.



Het prototype van de Interlink is getest in het dc-Lab.org van de HHS. Hier zijn bij 1500 Vdc vermogens tot 5kW door de Interlink doorgegeven (bij nominale spanning van 750 Volt de helft). Hier is de gebruikte inductiviteit tijdens de metingen vervangen door een groter exemplaar, om het vermogen te verhogen. Tijdens de metingen zijn de eerste ideeën verzameld om een verbeterde inductiviteit te bereiken. Resultaten en werking worden gepubliceerd op de PCIM-2024 conferentie (<https://pcim.mesago.com/nuernberg/en/exhibition/Focus-topic/stages.html>). Het parallel zetten ('clusteren') van deze omvormers resulteert in de beoogde vermogensrange van meer dan 100 kW.



De regeling zal werken via droop control welke in de volgende publicaties in het HHS-DC-lab onderzocht en beschreven is.

- <https://doi.org/10.1109/CoDIT55151.2022.9804126>

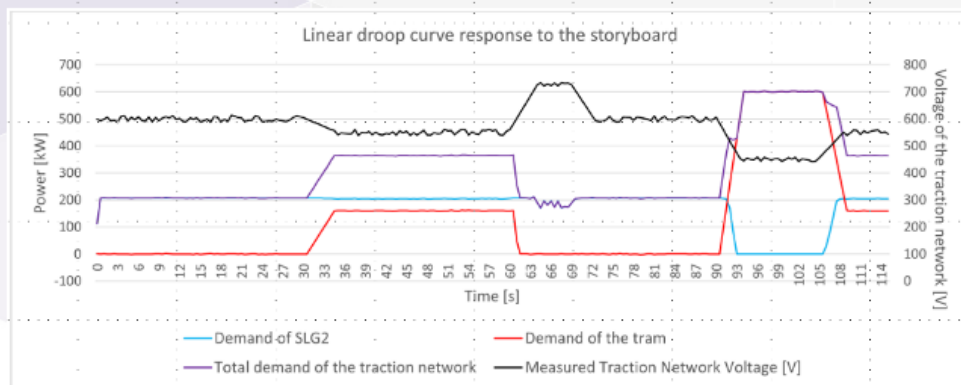
- <https://doi.org/10.23919/MIPRO52101.2021.9596738>

Droop Control algoritme HvA,

HvA toont de werking van het algoritme globaal in de onderstaande afbeelding. Ook wordt het algoritme toegelicht in de paper tijdens het 'Electric Vehicle Symposium 36'. Zie resultaat R1.2 in de tabel op pagina 3.

SIMULATIE DC LAADPLEIN AAN BOVENLEIDING

- Resultaat van simulatie (4 segmenten)
- Nu DC-laadplein verbonden (SLG2)
- Met droop rate control: als gezamenlijke energievraag te hoog is, gaat vermogen DC-laadplein tijdelijk naar 0.



aan
het tractienet. Op basis hiervan wordt ook een voorontwerp van een testopstelling gemaakt.
Rapportage en materiaal voor kennisoverdracht.

Dit resultaat is integraal opgenomen in de presentatie van Dynniq Energy tijdens ochtendprogramma 29 november. Deze is opgenomen in de integrale presentatie over TSDCE, die voorafgaand aan de themamiddag 'Energietransitie op en langs het spoor' georganiseerd door Smart Energy NL ism TKI Urban Energy, is gepresenteerd door alle partners.

Resultaat 7. Haalbaarheidsstudie naar technische opschaling naar een tramhalte als energiehub op kansrijke locaties in de gebouwde omgeving (parallel DC net), waarbij twee technische hoofdrichtingen worden verkend: a) Bovenleiding wordt zelf bi-directioneel, en b) Parallel net fysieke interface tussen andere bronnen en belastingen en tractienet. Rapportage, presentaties, en materiaal voor kennisoverdracht.

Witteveen+Bos heeft een ruimtelijke en functionele aanpak ontwikkeld om in samenwerking met beleidsmakers en andere stakeholders 'energy hubs' langs tractienetten met te ontwikkelen en ontwerpen. Deze uitwerking is door W+B gepresenteerd in het middagprogramma 29 november. Deze bijlage is, zoals ook eerder is benoemd, integraal onderdeel van deze eindrapportage. Hieronder staat een korte samenvatting van deze resultaten.

Toelichting model (matrix)

- Inschatting van grootte en omgeving van een locatie via matrix

Omgeving \ grootte	Klein	Middel	Groot
Rustig / eenvoudig	1 functie in rustig / eenvoudige context <i>PV-opwek langs de rand van de stad</i>	2 functies in rustig / eenvoudige context <i>Energieopslag en E-laden bij een buitenwijk</i>	3 functies in rustig / eenvoudige context <i>Opwek + opslag + E-laden bij P+R langs de rand van de stad</i>
Gemiddeld druk	1 functie in gemiddeld drukke context <i>E-laden op parkeergarage bij halte rond centrum</i>	2 functies in gemiddeld drukke context <i>PV-opwek en E-laden op knooppunt van lijnen</i>	3 functies in gemiddeld drukke context <i>Opwek + opslag + E-laden bij parkeergarage op knooppunt</i>
Druk / complex	1 functie in drukke / complexe context <i>Energieopslag voor onbalans in centrum</i>	2 functies in drukke / complexe context <i>PV-opwek op daken met energieopslag bij station</i>	3 functies in drukke / complexe context <i>Opwek + opslag + E-laden bij druk station</i>

Een modulaire aanpak geeft inzicht in hoe een tramhalte als energiehub kan fungeren, op basis van de grootte en omgeving van de locatie. Hieruit volgt een matrix met verschillende scenario's voor gebruiksfuncties in de E-hub, met onderscheid in de complexiteit van de omgeving (rustig, gemiddeld druk, of druk) en de functionele complexiteit (kleine, middel en groot). De complexiteit is afhankelijk van vier variabelen: beschikbare ruimte, frequentie van passerende trams, verbinding met andere vervoersmodaliteiten en aanwezigheid van stakeholders en belanghebbenden.

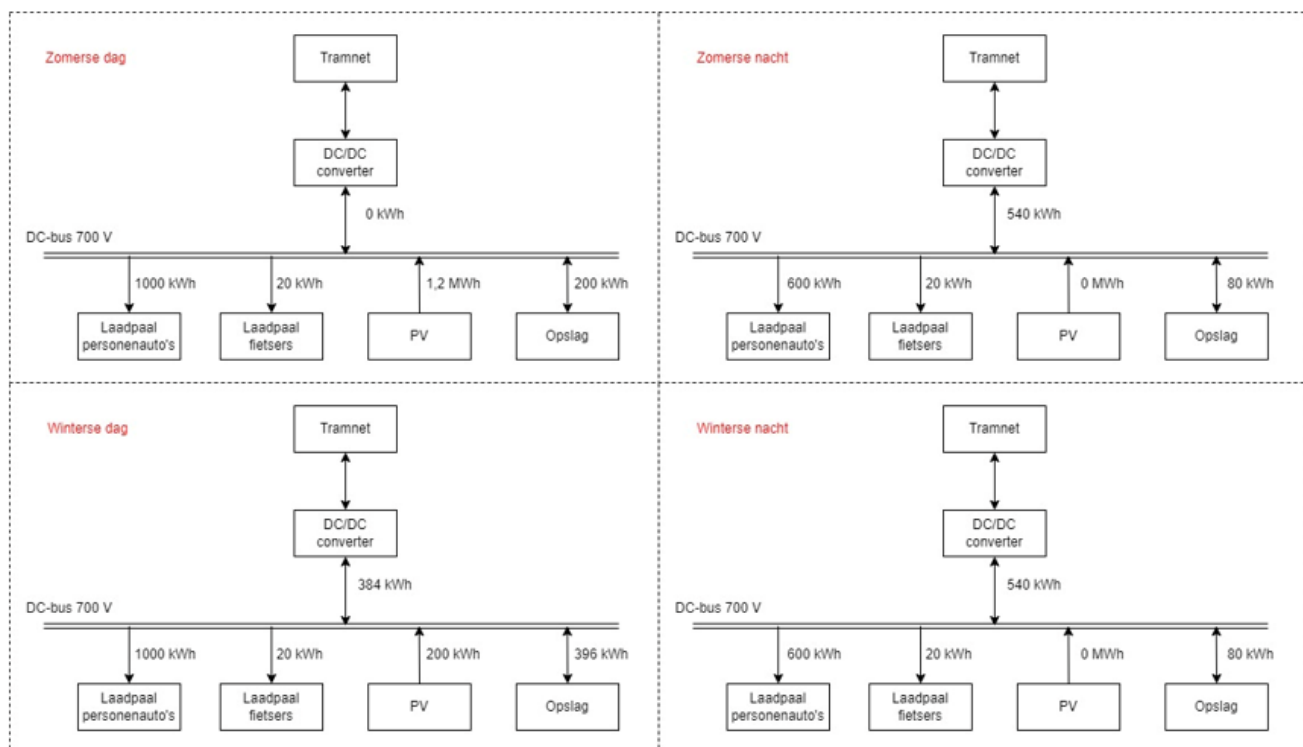
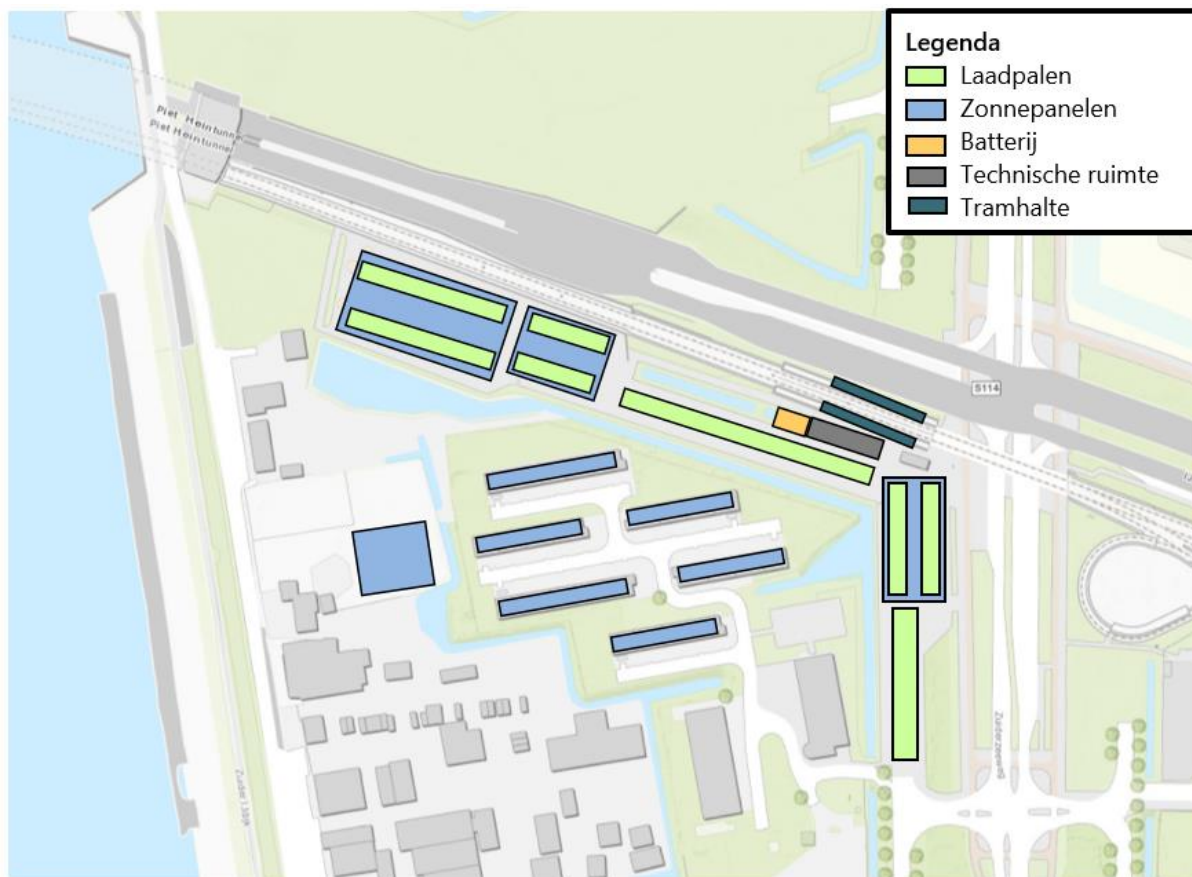
Hierin zijn discussies met het projectteam als ook resultaten van het project verwerkt. Voor drie scenario's in de bovenstaande matrix is een schetsontwerp en blokschema gemaakt en zijn de benodigde componenten benoemd. Door deze functies te combineren met de beschikbare energie van het tramnet is het mogelijk om van een tramnet een energie hub te maken.

Afhankelijk van de omgeving van de locatie kan gekozen worden uit de 3 verschillende functies. Het model van Witteveen+Bos geeft verschillende componenten die nodig zijn om de E-hub uit op te bouwen. Daarbij zijn de benodigde vermogens van de betreffende componenten in beeld gebracht. Op basis van deze vermogens zijn energievoorzieningen uitgewerkt voor verschillende scenario's, en zijn de daaruit volgende energiestromen inzichtelijk gemaakt.

Het ontwikkelde model is in verschillende casussen toegepast, waarmee de praktische haalbaarheid van E-hubs in verschillende omgevingen is aangetoond. Een voorbeeld is het scenario van de tramhalte Zuiderzeeweg in Amsterdam, het eerste plaatje op de volgende pagina. Dit is een rustige locatie met veel ruimte. Op basis van het model is gekozen om hier meerdere functies te combineren:

- laadplein waar 100 auto's elektrisch geladen kunnen worden;
- overdekte parkeerplaats met zonnepanelen op overkapping;
- realisatie van batterij voor energieopslag.

Rekening houdend met de passerende trams is bepaald hoeveel energie uit het tramnet gehaald kan worden. Het tramnet kan overdag 384 kWh en in de nacht 540 kWh leveren, zoals ook toegelicht in de tweede afbeelding op de volgende pagina. De totale energiehoeveelheid die de laadpalen voor de auto's kunnen afnemen is 1 MWh. Voor het laden van fietsen is 35 kWh voorzien. Voor het opwekken van energie door zonnepanelen is er 6.125 m² beschikbaar, dit komt neer op 1,5 MWp maximaal te installeren vermogen. Een opslag van 300 kWh wordt geplaatst om vraag en aanbod op elkaar af te stemmen. In onderstaande afbeelding staan de resulterende energiestromen in de scenario's zomerse dag, zomerse nacht, winterse dag en winterse nacht.



Resultaat 8. *Inzichten in economische, bedrijfskundige en energierechtelijke barrières en kansen in de transitie van tractienetten naar distributienetten naar bi-directionele slim elektriciteitsnet, en aanbevelingen voor beleidsmakers en regelgevers (in de vorm van een rapportage). Rapportage, presentaties en andere materiaal voor kennisoverdracht.*

De eindpresentatie van het TSDCE project, zoals verzorgd tijdens zowel het voorprogramma als in een workshop in het middagprogramma van de themamiddag 'Energie en het OV' 29 november biedt economische en bedrijfskundige inzichten, als ook inzicht in energierechtelijke barrières (voor zover op dat moment te delen gezien de gesprekken van HTM en ACM).

De voorziene activiteiten zijn deels bijgehaald door het parallel onderzoek van Stevin Technology Consultants in opdracht TKI UE dat heeft geresulteerd in de 'Kennis- en Innovatieagenda 'Energie op Lokaal Spoor'. In de managementsamenvatting: 'Deze agenda dient richting te geven aan zowel Lokaal Spoor partijen als partijen in de sector om met innovatie aan de slag te gaan.' In het TSDCE project is vooral (maar niet uitsluitend) onderzoek gedaan naar technische innovatie, in de KIA worden ook organisatorische en institutionele innovaties genoemd en worden deze veel verder uitgewerkt, met input vanuit TSDCE-partners HTM, GVB en Dynniq Energy hebben bijdragen geleverd aan de KIA.



Juridisch/energie

Verbruikers koppelen aan tractienetten wordt snel gezien als een distributienet. De oplossingsrichting van RET is om de ACM te vragen een ontheffing te verlenen om een eigen distributienet te beheren als een zogenaamd 'Gesloten Distributie Systeem', kortweg GDS. De oplossingsrichting van HTM en Gemeente Den Haag (anders dan RET geen GDS oplossing) wordt in juni 2024 gepubliceerd als 'informele zienswijze' voor het delen van dit soort a-typische infrastructuur. De aanpak zoals uitgelegd in de informele zienswijze geldt ook voor solo-netten voor Openbare Verlichting (OVL) en bijvoorbeeld voor voedingen van pompen, gemalen en waterzuiveringen.

2.4 mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten

- gesprekken met bus-concessiehouders (idee-fase, nog niet gerealiseerd) om met deze groep te bespreken wat de waarde is van medegebruik van laadinfrastructuur van nieuw te kopen bussen en hoe deze infrastructuur dan opgezet moet worden om dit delen goed mogelijk te maken.
- SSEB voorstel emissie loos laden bouwmaterieel o.a. uit bovenleidingnet (is gehonoreerd)
- nieuw PPS voorstel HvA met grote overlap in partners (is gehonoreerd)
- informele zienswijze ACM over medegebruik tractienetten, ook te vertalen naar OVL
- Mede door TSDCE is het onderwerp opgenomen in de actieagenda netcongestie laagspanningsnetten, zeker ook door inzet TKI Urban Energy, paragraaf 4.3.2.

2.5 Conclusie en aanbevelingen

De doelstelling van het project luidde: Het project draagt bij tot elektrificatie van het energiesysteem in de gebouwde omgeving door het beter benutten van bestaande elektrische infrastructuur en versterkt elektrificatie op gebiedsniveau, met name door verbeteren van en nieuwe functionaliteiten voor het huidige lokale elektriciteitssysteem en voor de lokale uitwisseling van elektriciteit (MMIP5).

Partners concluderen dat:

- het inzetten van tractienetten voor aanvullende energiedistributie fors kan bijdragen aan het verminderen van aansluitcongestie in steden. Op al bestaande aansluitingen kan technisch gezien 20 tot 25% van de huidige technische aansluitcapaciteit ingezet worden voor verbruik naast het aandrijven van het openbaar vervoer. Wel is het relevant dat de contractuele aansluiting van OV-bedrijven al veel kleiner is dan de technische aansluiting.
- het inzetten van gelijkspanningstechnologie 1) technisch mogelijk is, 2) veilig uit te voeren is met een combinatie van elektronische en passieve beveiliging en 3) kan gebeuren zonder dat de dienstregeling hinder ondervindt van de extra afname en 4) op een zodanige wijze juridisch en economisch in te richten dat ACM een dergelijke toepassing niet zal beschouwen als een distributienet, waarvan alleen netbeheerders het beheer mogen uitvoeren.
- partners concluderen dat dit onderwerp in 2021, ten tijde van het uitwerken van het voorstel, echt bij lange na niet zo in de aandacht staat als nu. De oplossingsrichting wordt inmiddels breed gedragen. Echt breed toepasbare oplossingen zijn er echter nog nauwelijks. Partners adviseren wel om deze oplossingen goed objectief te vergelijken en monitoren, ook om te voorkomen dat te veel dezelfde wielen worden uitgevonden. Normering over koppeling van verschillende installaties is onbekend, maar voor wat betreft de gelijkspanningssystemen wel deels aanwezig en uitgewerkt in NPR 9090.

Partners bevelen aan om nader onderzoek binnen de tractiebedrijven te doen om deze ruimte exact in kaart te brengen. Hierbij is het ook van belang om rekening te houden met het voorkomen van extra netbeheerkosten die in rekening worden gebracht als de hoogte piekwaarde van afgenomen vermogens (zogenaamde kW-max). Ook bevelen partners aan om in technische zin verdere stappen te zetten. Vooral het beheersen en sturen van grote vermogens (bijna op MW-niveau) in honderdsten van seconden of sneller, om tractienetten in balans te houden, de dienstregelingen uit te voeren en veiligheid continu te waarborgen kent nog veel vraagstukken, waarbij ook de praktijk mogelijk weerbarstiger kan zijn dan een laboratorium. De modellen gaan uit van een 'standaard' sectie, een 'standaard' rijgedrag, zonder specifieke omstandigheden goed in beeld te hebben. De temperatuur beïnvloedt bijvoorbeeld al uitkomsten van modellen fors, via de klimaatregeling in de tram (verwarmen én koelen) en de impact van de omgevingstemperatuur op de temperatuur van de bovenleiding, die deels ook weer af hangt van de intensiteit van de dienstregeling en die varieert in secties. In werkelijkheid zijn deze variabelen dus precies dat; variabel. Het conservatieve werkveld (veiligheid terechtop boven alles) moet in samenwerking met onderzoek en bedrijfsleven komen tot geaccepteerde oplossingen die er voor zorgen dat de corebusiness altijd doorgang kan blijven vinden.

Partners merken op dat het aanwezige technisch geïnstalleerde vermogen juist veel ruimte biedt om lokaal opgewekte energie al dan niet in combinatie met opslag binnen de tractienetten in te zetten voor energievoorziening van tractiesystemen als daar aan gekoppelde systemen. Met koppeling van deze opwek aan de gelijkspanningszijde van installaties wordt ook voorkomen dat deze extra opwek terug geleverd kan worden en zo extra invoedingscongestie kan veroorzaken.

Partners wensen dat adviezen en aanpakken van het rapport van Stevin worden overgenomen om de potentie die dit project ook bevestigd te kunnen waarmaken.

Discussie

De samenwerking met alle partners, inclusief HTM en GVB (zij ontvingen geen subsidie) is altijd zeer constructief verlopen. Er is goed samengewerkt, in fijne sfeer. Het overgrote deel van de voorziene activiteiten is uitgevoerd, vrijwel alle beoogde resultaten zijn deels of volledig behaald. De resultaten zijn zeer toepasbaar en erg in aansluiting met de recent sterk toegenomen aandacht voor parallel gebruik van OV-infrastructuur. In het project is veel voordeel ervaren met de samenwerking met HTM en GVB. Ook de stappen die RET zet op dit vlak (parallel gebruik) als ook de onderzoeken en pilot bij het trolley-net in Arnhem dragen bij aan veel positieve reacties. Het onderzoek van Stevin, het evenement op 29 november en ook de link naar de actieagenda netcongestie laagspanningsnetten hebben zeker baat gehad van deze brede ontwikkeling.

3. Uitvoering van het project

3.1 Organisatorische en/of technische problemen

Echte technische problemen zijn er, terugkijkend niet geweest. De onzekerheid rondom een fysieke test- en meetplek (een organisatorisch vraagstuk) heeft de voortgang maar beperkt in de weg gestaan. Wel is het zo dat meer of betere praktijktests zouden helpen om meer voor te sorteren voor en/of uitspraken te doen over opschaling naar praktijkschaal.

De partners hebben ervaren dat schaalnadelen (in het geval van de ontwikkeling van de zonnepin van HTM) er voor zorgen dat initieel voor de praktijk het koppelen van andere gebruikers via AC vooralsnog eenvoudiger en qua investeringen ook goedkoper is.

Met het project en de discussies over testen is ook het besef gekomen dat zo'n test in de praktijk wel behoorlijk wat vraagt van een OV-bedrijf.

Testen op locatie HTM/GVB duurde lang qua voorbereiding, van uitstel is deels ook afstel gekomen. Testen op locatie HTM is wel gepland en voorbereid, maar uiteindelijk niet doorgegaan, omdat enerzijds beoogde DC/DC koppelomvormer van externe partij (Linked-In bericht!) te veel in prijs is verhoogd en anderzijds een oplossing voor HTM initiatief de zonnepin met AC initieel beter uit te leggen is qua lagere kosten (hoge kosten bijzondere DC oplossingen..). Daarna gewerkt aan meetplan, meettoestel en aanvragen metingen bij GVB met een doorlooptijd van meer dan 6 maanden.

3.2 Toelichting op wijzigingen ten opzichte van het projectplan

Het project kent geen formele inhoudelijke wijzigingen. Wel hebben de partners om 3 maanden uitstel gevraagd om ervoor te zorgen dat het evenement 'Energie en het OV' van Smart Energy NL en TKI Urban Energy in de looptijd zou vallen en de tijd besteedt aan voorbereidingen (ook van het eigen ochtendprogramma) subsidiabel zou zijn.

3.3 Toelichting wijze van kennisverspreiding

Website en nieuwsberichten

- o <https://www.hva.nl/kc-techniek/gedeelde-content/projecten/energy-transition/van-tractienet-naar-slim-dc-elektriciteitsnet-tdce.html>
- o HvA: bericht over 2^{de} prijs voor Louis Veerkamp voor zijn afstudeeronderzoek naar de droop-regeling van HvA (<https://stichting3e.nl/finales-en-prijsuitreiking-bsc-competitie-2022/>) Louis heeft een zwart-wit gestippeld overhemd aan, beetje links van het midden).
- o <https://www.dehaagsehogeschool.nl/onderzoek/kenniscentra/van-tractienet-naar-slim-dc-elektriciteitsnet>

Events

- o Een bijdrage in een parallele track bij het afscheidssymposium van lector Aart-Jan de Graaf (<https://www.han.nl/agenda/2022/08/het-energiesysteem-van-2050-zijn-we-dr-klaar-voor/>)
- o Posterpresentatie HvA op LEVE symposium 25 september 2023
- o <https://www.smartenergynl.nl/themamiddagen/energietransitie-spoor/> (middagprogramma)
- o De informatie over het ochtendprogramma (ook gedeeld door Smart Energy NL) is niet meer te vinden in de links van TKI en Smart Energy NL (en ook niet meer via de inschrijflink van de HHS).

Publicaties IEEE/conferenties

- o <https://ieeexplore.ieee.org/document/10010236>
- o Paper EVS36: Droop Rate Controlled DC Bus Charging Plaza, Heath, E., Warmerdam, J., & Schaacke, R. (2023). Droop Rate Controlled DC Bus Charging Plaza. Paper presented at Electric Vehicle Symposium 36, Sacramento, United States
- o https://hbo-kennisbank.nl/details/amsterdam_pure:oai:pure.hva.nl:publications%2F2cd126b7-dc9c-4439-a463-7de3db5c9acc?q=versnelling&p=0

Publiciteit en Overig

- o SSEB project toegekend door RVO (RVO referentie SSEB23067)
- o Actieagenda netcongestie LS netten paragraaf 4.3.2 (<https://open.overheid.nl/documenten/61058b9c-a3ea-424b-ab03-d7843a635d86/file>)

- (https://www.linkedin.com/posts/energie-in-het-ov_een-oproep-aan-vivianne-heijnen-staatssecretaris-ugcPost-7184555893361930240-wD-K?utm_source=share&utm_medium=member_android).
- <https://www.spoorpro.nl/lightrail/2024/04/11/stad-den-haag-gaat-energie-in-het-ov-en-ret-achterna/?gdpr=deny>
- Toekenning vervolgproject HvA 'DC-EHub in de PPS regeling van TKI Urban Energy (2321501) waarin concreet een DC-laadplein wordt gerealiseerd dat wordt gekoppeld aan tractie-infrastructuur.
- Vertaling naar onderwijs: Practicum met droop rate control voor Power minor studenten, en studenten van vak Smart Energy (2e jaars Engineering HvA)

Intellectueel Eigendom

- Ondanks dat er in dit project nieuwe technologie en nieuwe software/firmware is ontwikkeld en getest, is er geen IPR aangevraagd in de looptijd van dit project.
- Voor de rapportage en bijlage gelden de voorwaarden die horen bij 'CC BY-SA'

3.4 Toelichting PR project en verdere PR-mogelijkheden

In samenspraak met TKI Urban Energy, waarvan Maarten de Vries en Jasmijn Klei regelmatig zijn aangesloten en geïnformeerd, is vastgesteld dat het externe evenement dat TKI een heel goed podium zou zijn om de resultaten van ons project te delen met de sector en buitenwereld. De themamiddag 'Energietransitie op en langs het spoor'. De organisatie (ook buiten TKI UE) heeft dit ook zo gewaardeerd, getuige de 2 (van de 4) workshops die vanuit het TSDCE project zijn aangeboden. Het bereik van TKI Urban Energy zelf plus het onderzoek van Stevin in de sector zorgt voor veel meer bereik dan (met name) HHS en HvA zelf kunnen realiseren vanuit hun technische onderzoeksgroepen.

De ad-hoc werkgroep 'Energie in het OV' (o.a. Robert Galjaard) werkt aan voorbereidingen voor pilots en financiering en zoekt (zie ook het Linked-In bericht in paragraaf 3.3) veelvuldig de aandacht, deels via de eigen website (<https://energieinhetov.nl/home/>) en vooral via sociale media.

Ook de vervolgprojecten (SSEB – Heijmans en PPS – HvA) zullen via eigen kanalen hun omgevingen informeren over de nieuwe ontwikkelingen en resultaten van het onderzoek.