

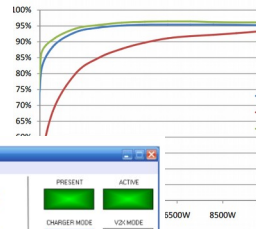
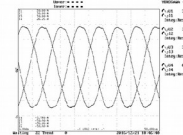
Eindrapportage – Topsector Energie

Inhoudelijk eindrapport

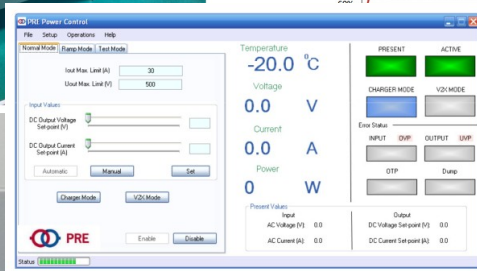
Electric Vehicle supported PV smart grid (EV-PV)



- Peak Efficiency Grid \leftrightarrow EV : 95.4%
- Peak Efficiency PV \rightarrow Grid : 96.4%
- Peak Efficiency PV \rightarrow EV : 95.2%
- Max. Power : 10kW bidirectional
- Current THD : <3%
- Low weight : 13.5kg



PLL	UI	Dr	I1A1	IME1A1	Dr	I1A1	IME1A1	UI	Yield	PL1	PL2	PL3	PL4	PL5	PL6	PL7	PL8	PL9	PL10	PL11	PL12	PL13	PL14	PL15	PL16	PL17	PL18	PL19	PL20		
50.011	Hz	1	14.185	100.00	2	0.042	0.05																								
11	14.208	0	3	0.311	2.175	4	0.291	9.13																							
UI1	229.57	0	5	0.067	0.47	6	0.036	0.25																							
P1	-3.217	W	7	0.198	1.28	8	0.022	0.16																							
UI1	14.208	0	9	0.029	0.21	10	0.020	0.14																							
P1	-3.217	W	11	0.061	0.35	12	0.039	0.14																							
UI1	14.208	0	13	0.003	0.29	14	0.019	0.13																							
P1	-3.217	W	15	0.031	0.22	16	0.012	0.09																							
UI1	14.208	0	17	0.004	0.41	18	0.006	0.08																							
P1	-3.217	W	19	0.025	0.17	20	0.010	0.13																							
UI1	14.208	0	21	0.004	0.03	22	0.002	0.05																							
P1	-3.217	W	23	0.018	0.07	24	0.024	0.17																							
UI1	14.208	0	25	0.020	0.14	26	0.020	0.14																							
P1	-3.217	W	27	0.007	0.05	28	0.012	0.08																							
UI1	14.208	0	29	0.014	0.10	30	0.009	0.06																							
P1	-3.217	W	31	0.021	0.15	32	0.013	0.09																							
UI1	14.208	0	33	0.014	0.10	34	0.005	0.07																							
P1	-3.217	W	35	0.002	0.01	36	0.015	0.10																							
UI1	14.208	0	37	0.007	0.19	38	0.013	0.09																							
P1	-3.217	W	39	0.011	0.00	40	0.013	0.09																							
UI1	14.208	0	41	0.007	0.12	42	0.005	0.03																							
P1	-3.217	W	43	0.003	0.02	44	0.000	0.00																							
UI1	14.208	0	45	0.011	0.09	46	0.006	0.04																							



Projectnummer:
Projecttitel:
Penvoerder:
Medeaanvragers
Projectperiode:
Datum:

TKISG02019
Electrical Vehical Supported PV Grid
Power Research Electronics B.V.,
TUD, ABB B.V.
1 januari 2013 t/m 30 september 2016
30 December 2016

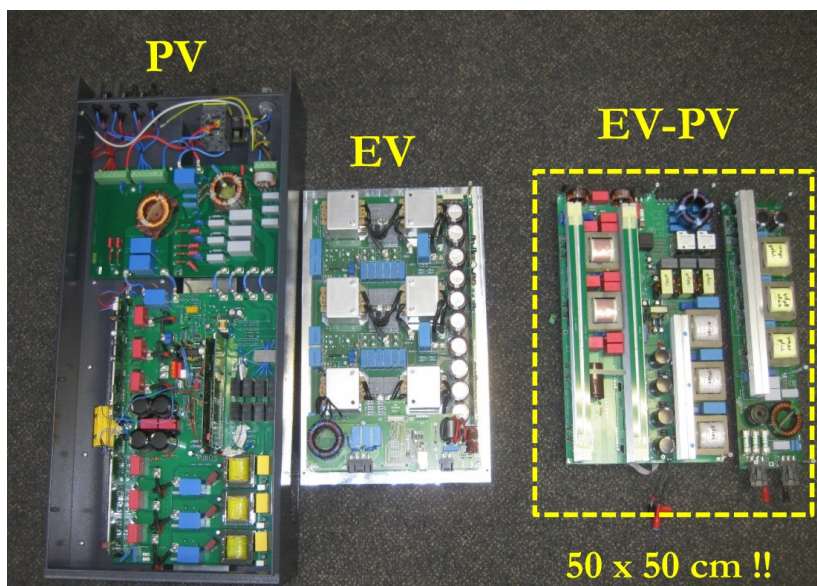
Samenvatting

In het EVPV Grid-project heeft Power Research Electronics BV samen met ABB B.V. (t/m december 2015) en de Technische Universiteit Delft een nieuwe spanningsconversie en energiemanagement technologie ontwikkeld en getest met als doel de accu's van elektrische voertuigen (EV) te kunnen gebruiken als tijdelijke opslagbuffer voor lokaal opgewekte elektriciteit uit fotovoltaïsche (PV) zonnecellen. De toepassing van deze nieuwe EVPV technologie richt zich op plekken waar veel PV zonnecellen kunnen worden geplaatst en voldoende elektrische voertuigen aanwezig zijn. Denk hier aan grote bedrijventerreinen met minimaal één bedrijfshal met een oppervlak vanaf 1.000 m². Door op deze wijze slim gebruik te maken van het bestaande elektriciteit opslagpotentieel van de EV en door het creëren van een regionaal microgrid, kan de PV elektriciteit veel doelgerichter worden ingezet. Dit zal de stabiliteit van het bestaande hoofdgrid ten goede komen en stimuleert tevens de energetisch onafhankelijkheid op regionaal niveau. Bovendien verhoogt de EVPV technologie het energetisch en financieel rendement van PV elektriciteit aanzienlijk, wat investeringen in PV panelen door de zakelijke sector in Nederland zal stimuleren.

Het verwachte totale milieueffect in 2020 van dit project komt overeen met 3,24 PJ/jaar aan nieuw via PV opgewekte energie. De corresponderende reductie in CO₂ emissies is 360 kton CO₂/jaar. De directe energiebesparing van de EVPV technologie via reductie in conversieverliezen en transportverliezen is 8% van de nieuw via PV opgewekte energie, oftewel 0,26 PJ/jaar en 29 kton CO₂/jaar in 2020.

Illustratie van een belangrijk resultaat van het project. Hieronder zijn naast elkaar weergegeven:

- PV: state-of-the art, commerciële PV inverter,
- EV: een state-of-the-art commerciële EV converter.
- EV-PV: het nieuw ontwikkelde concept, kleiner, efficiënter en goedkoper dan de bestaande oplossingen tesamen.



Inleiding

Industrieterreinen in Nederland herbergen een groot potentieel voor fotovoltaïsche (PV) panelen met hun grote oppervlak aan platte daken. Dit potentieel wordt momenteel nauwelijks benut. De terugverdientijd van de investering is te lang vanwege de geringe terugleververgoeding van het energiebedrijf. Eigen gebruik van de energie of directe verkoop aan nabijgelegen bedrijven zou de terugverdientijd sterk kunnen verkorten. Om de lokale energieopwekking en -vraag op elkaar af te stemmen is een energieopslag-buffer nodig, zoals accu's of vliegwheels. De bestaande oplossingen daarvoor zijn omvangrijk en duur. Daarnaast speelt het probleem dat het openbare elektriciteitsnet steeds 'krapper' wordt als het gaat om het grootschalig decentraal opwekken en inpassen van niet stuurbare duurzame energie zoals zon-, windenergie en WKK.

Elektrische voertuigen (EV) zullen de komende 10 jaren het wagenpark van Nederland en de energiehuishouding van Nederland sterk gaan beïnvloeden. De huidige prognose is dat er in Nederland 200.000 EV zullen rijden in 2020. Deze voertuigen beschikken allemaal over een accu en kunnen daarmee tezamen een enorm potentieel aan energieopslag mogelijk maken.

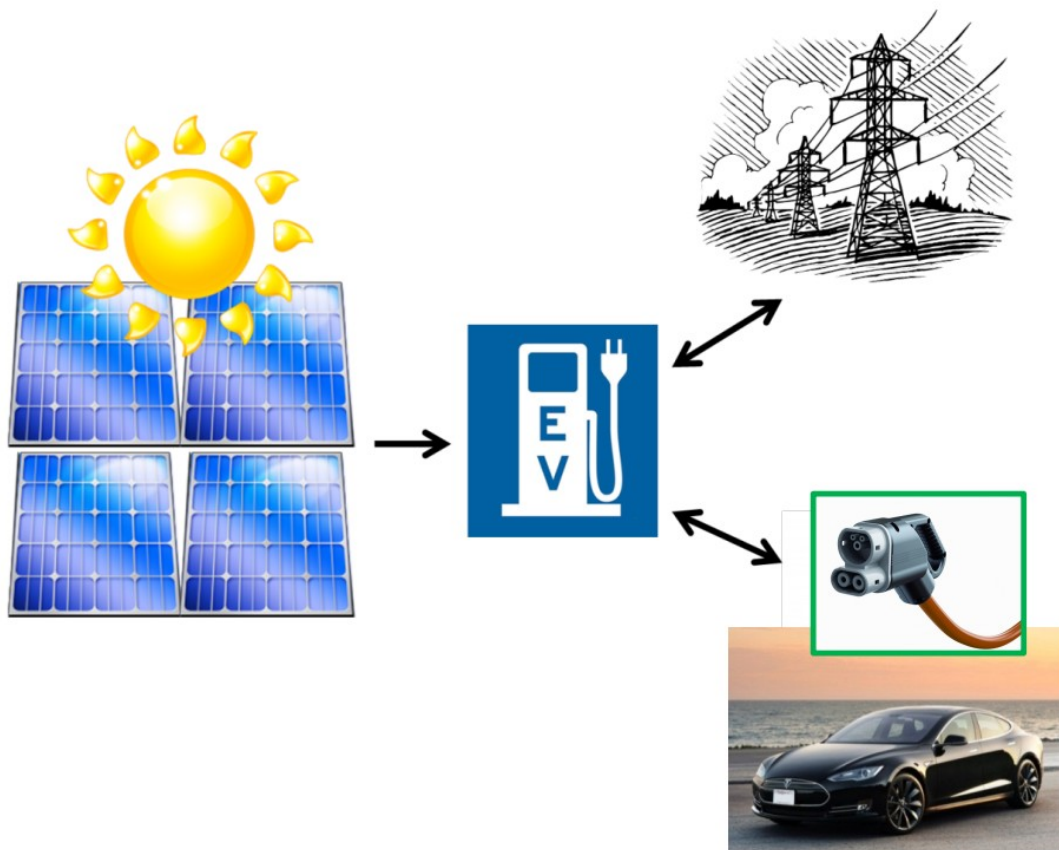


Doelstelling

Kern van de ontwikkeling is het gebruikmaken van de energieopslag capaciteit die elektrische voertuigen op korte termijn bieden middels de aanwezige interne accu. Maximaal rendement wordt o.a. gehaald door de PV energie direct in de accu van het elektrisch voertuig te stoppen. De interne converter die in het EVPV Grid –project ontwikkeld wordt is multi-directioneel en wordt gecombineerd met een intelligent online control platform voor EV-laadstations die gekoppeld zijn aan een PV systeem en die V2G (Vehicle to Grid) ondersteunen.

Hierdoor is deze nieuwe techniek naar verwachting de meeste efficiënte oplossingsrichting voor SMART GRID toepassingen waarbij het net ondersteund wordt vanuit de auto-accu. Kenmerken zijn:

- PV installatie, elektriciteitsopwekking uit zonne-energie;
- Laadstation voor elektrische voertuigen;
- Converter geschikt voor bi-directionele netkoppeling;
- Online controlplatform voor EV-laadstations die gekoppeld zijn aan een PV systeem.

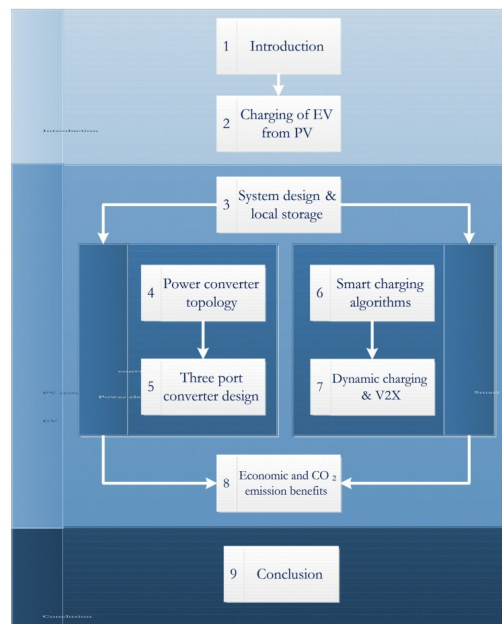


Werkwijze

Het onderzoek en de ontwikkeling zijn verdeeld over 8 werkpakketten. De aanpak is multidisciplinair van aard, waarbij integraal onderzoek en ontwikkeling naar de basistechnologieën plaatsvindt. In een aantal stappen onderzoeken de betrokken partijen enerzijds expliciet technologieën, anderzijds de tussentijdse integrale interacties tussen de projectdeelnemers. Functionele modellen tonen “Proof Of Principles”.

Om de betrokkenheid van alle partijen optimaal te laten zijn, is iedere partner gedeeltelijk verantwoordelijk voor de werkzaamheden binnen een werkpakket. Er is een optimale match tussen relevante inbreng in het aantal onderzoek- en ontwikkeluren en de expertise van de partner die de werkpakket verantwoordelijkheid op zich neemt.

WP	Taak	Taakomschrijving	Uit-voerders
1	1..8	Multiport convertor	PRE, ABB, TUD
2	1..9	Control System / EMS	ABB, TUD
3	1..7	Vermogens halfgeleider onderzoek	TUD, PRE
4	1..9	Opslagsysteem	ABB, TUD, PRE
5	1..3	Systeem integratie en strategie oz	TUD, PRE, ABB
6	1..3	Systeem implementatie	PRE
7	1..2	Systeem praktijktesten	PRE



Resultaten A) van het project zelf en B) mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten

Resultaat van het project zijn prototypes (10kW per stuk) van de multi-poort converter waarmee de toepassing van fotovoltaïsche energieopwekking (PV) op bedrijventerreinen optimaal kan worden benut om decentraal energie op te wekken en te leveren aan het net en een veelvoud van (mobiele) bronnen gecombineerd met een intelligent een online control platform.

De kennis en ervaring die in het project worden opgedaan biedt aan zowel PRE als ABB mogelijkheden om hun productenpakket uit te breiden en het marktaandeel te verhogen.

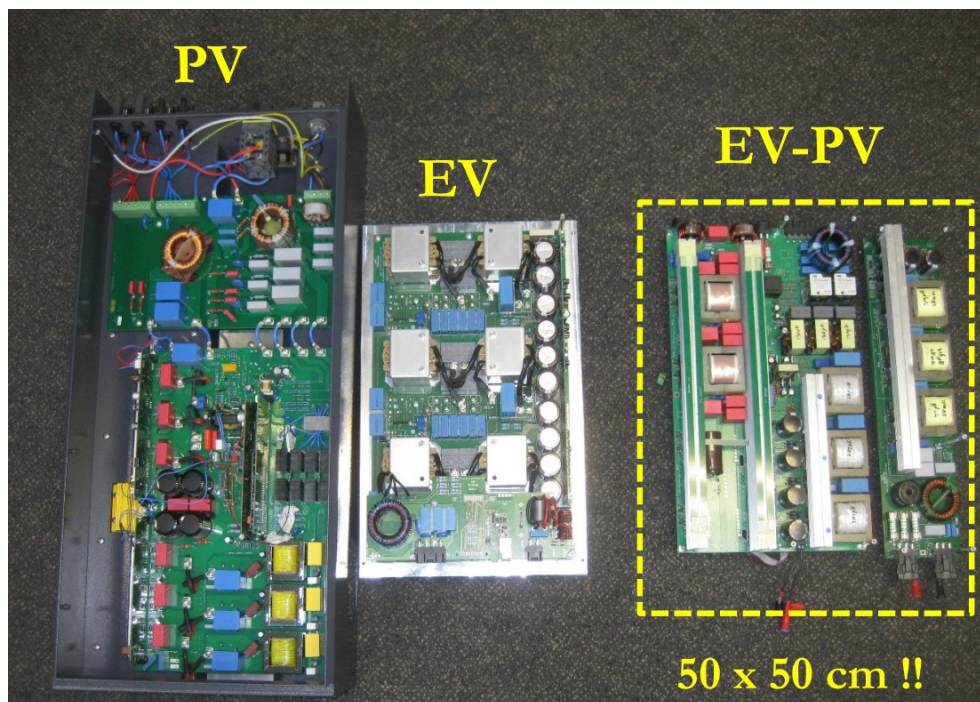
Daarnaast draagt de nieuwe kennis welke wordt ontwikkeld op het gebied van vermogenhalfgeleiders en innovatieve topologieën bij aan het versterken van de kennispositie van de TUDelft en van de BV Nederland.

Illustratie van een belangrijk resultaat van het project. Hieronder zijn naast elkaar weergegeven:

PV: state-of-the art, commerciële PV inverter,

EV: een state-of-the-art commerciële EV converter.

EV-PV: het nieuw ontwikkelde concept, kleiner, efficiënter en goedkoper dan de bestaande oplossingen tesamen.



Vervolgmogelijkheden

Het nieuwe concept en de ontwikkelde technologie heeft grote voordelen t.o.v. bestaande oplossingen. Met name daar waar men zowel wil investeren in zowel EV als PV. Echter de nieuwe architectuur zal in pilot projecten ingezet moeten worden en gedemonstreerd moeten worden, teneinde mogelijke twijfels bij marktpartijen weg te nemen. De reden is dat deze nieuwe architectuur niet standaard is en naar verwachting op onbegrip zal kunnen stuiten.

Analyse en discussie

De uitgangspunten die bij aanvang van het project zijn aangenomen zijn allen nog zeer actueel. Hieronder sommen we de belangrijkste op:

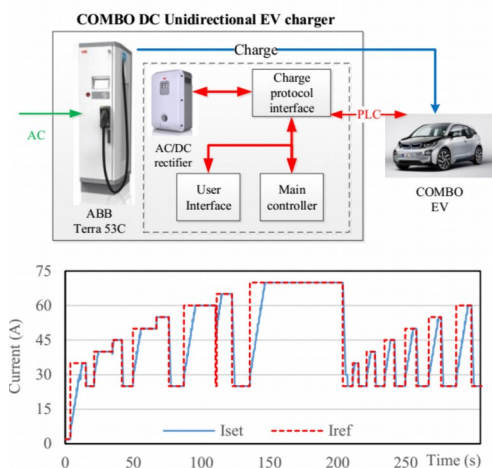
* PV als duurzame energiebron heeft een groot potentieel. Toename van rendementen en daling van de marktprijzen zetten tot op de dag van vandaag door.

* De opmars van elektrische voertuigen is ook onomkeerbaar en staat in grote lijnen vast. Zelfs met de huidige accutechnologiën is er een goede business case voor EV. Prijs en performance verbeteringen zijn in aantocht en zullen hier verder invulling aan geven. Dat hierbij een belangrijke rol is weggelegd voor DC snelladen begint ook steeds meer door te dringen tot de autoindustrie. In Duitsland is een subsidie aangekondigd van ca. 1 miljard Euro, waarvan 400 miljoen voor laad-infrastructuur.

* Het aanwenden van de accu van de elektrische auto t.b.v. smart grid toepassingen (V2x) wordt door de (japanse) auto-industrie reeds als unique selling point gepitched. Hiermee is een belangrijk discussiepunt t.a.v. de levensduur van en slijtage aan de accu van de baan. De gehanteerde standaard is de zogenaamde CHADEMO norm. Deze laat toepassing van de accu toe voor smart grids vanaf versie 2.0.

* de (europese) auto-industrie daarentegen lijkt nog niet klaar voor deze stap. Een van de resultaten svan dit project is dat de huidige europese standardisatie dit thans niet toelaat en ook niet goed voorbereid lijkt te zijn hiervoor.

CCS/Combo Vs Chademo



Figuur: inconsistent bi-directionele respons van het Combo/CCS protocol (Europa).

* T.a.v. de markt zien we dat er diverse grote partijen bezig zijn met pilots om de technische haalbaarheid en effecten te bepalen. Een logische volgende stap zijn men vervolgens prijs-instrumenten (beloning) opzet, zodat het op lokaal niveau energie sturen, dan wel beschikbaar hebben ook daadwerkelijk een business-case kan worden.

* het ontwikkelde multipoort platform voor de bidirectionele techniek blijkt zeer veel interesse te hebben in zowel Europa als de VS. Dit betreft vaak accu systemen in combinatie met een (galvanische gescheiden) bidirectionele converter. Hiervoor staat een patentaanvraag gepland (PRE i.s.m. TUD).

* de topologie die gekozen is heeft als belangrijk uitgangspunt dat er wide bandgap devices nodig zijn voor de implementatie. Inmiddels zijn er diverse aanbieders van deze technologie op de markt en vinden er nog steeds verbeteringen plaats. Ook grote bedrijven ontdekken deze technologie. Zo heeft Infineon recent de start-up Wolfspeed overgenomen, wat de acceptatie van dergelijke nieuwe technologieën wereldwijd zal versnellen en vergemakkelijken.

* De efficiency en prijsvoordelen van de nieuwe architectuur (waarbij EV en PV conversies in een converter plaatsvindt middels een mini DC grid plaatsvindt), komen vooral tot zijn recht bij nieuwe systemen. Doordat de markt niet gewend is zo te denken, zal deze nieuwe technologie actief gepromoot en gedemonstreerd moeten worden.

Conclusie en aanbevelingen

Ondanks de terugtrekking van ABB halverwege het project en de vertraging die dat tot gevolg had, spreken zowel PRE als TUD van een zeer succesvol project en een zeer succesvolle samenwerking. De conclusies luiden als volgt:

- * De doelstellingen en deliverables van het project zijn gehaald.
- * er is een multiport converter (bidirectionele converter met solar input ontwikkeld) en met succes beproefd.
- * hiervoor is een nieuwe topologie en een nieuwe architectuur onderzocht en ontwikkeld.
- * de nieuwe topologie is ontwikkeld rondom de nieuwste generatie (III) wide bandgap devices.
- * de hoge efficiëncies, de hoge schakelfrequenties, samen met de nieuwe magnetica, maken een zeer compacte mechanische constructie mogelijk.
- * de DC bus van de bidirectionele converter is gebruikt om direct solar (PV) in te koppelen. Hierdoor kan een integrale oplossing voor een EV-PV systeem aangeboden worden die ongevenaard is op het gebied van efficiëntie, betrouwbaarheid en prijs. (zie foto in hoofdstuk Resultaten).

- * Daarnaast maakt deze architectuur de integratie van de auto-accu in Smartgrids mogelijk. Hiermee worden de kosten en investeringen in energieopslag significant lager.

- * Er is een energiemanagement systeem onderzocht en diverse strategieën zijn beproefd.

- * Verder zijn de economische en milieuvoordelen (CO2 emissie) onderzocht.

Aanbevelingen

- 1) De nieuwe architectuur/topologie bied de beste oplossing voor locaties waar men zowel in EV laadinfrastructuur als in PV opwekking wil investeren. Deze combi is thans niet gebruikelijk en zal actief gepromoot en gedemonstreerd moeten worden, teneinde acceptatie in de markt te krijgen.
- 2) De toepassing van de relatief nieuwe wide-band gap devices is nog niet overal geaccepteerd. Om dit te demonstreren is samenwerking met potentiële gebruikers wenselijk, alsmede reliability en endurance testing.

Uitvoering van het project / Toelichting op wijzigingen ten opzichte van het projectplan

Door de terugtrekking van ABB uit het project zijn de taken op nieuw verdeeld. Hiervoor is toestemming gevraagd aan en verkregen van RVO. Hierdoor is de de PRE ontwikkelde converter niet op een EV getest in combinatie met het ABB systeem, maar op een batterijpakket dat zelf bij PRE is samengesteld.

Toelichting op de verschillen tussen de begroting en de werkelijk gemaakte kosten

De kosten van de partners zijn in lijn met de begroting die in het laatste wijzigingsverzoek zijn ingediend.

Toelichting wijze van kennisverspreiding

De volgende publicaties zijn gedaan m.b.t. de onderzoeksvragen van het project:

Onderzoeksvraag1: What is the optimal system design considering PV and local storage in order to meet the EV charging requirements?

Publicaties:

* TUD: Comparison of System Architecture and Converter Topology for a Solar Powered Electric Vehicle Charging Station. Power Electronics and ECCE Asia. Publicatie in: IEEE.

* TUD: System design for a solar powered electric vehicle charging station. Publicatie in: Journal of Applied Energy.

Onderzoeksvraag 2: Which power converter topology will result in high efficiency and bidirectional power flow when connecting EV, PV and grid?

Publicaties:

TUD, PRE: Estimation of ripple and inductance roll off when using powdered iron core inductors. Publicatie in IEEE.

TUD: Three port converter for charging of EV from PV with grid support. Publicatie: paper in draft.

TUD: Optimal topology for a three port converter for grid supported Electric Vehicle (EV) charging from PV. Publicatie: paper in draft.

Onderzoeksvraag 3: How can high efficiency, power density and closed loop operation be achieved in a 10kW bidirectional power converter that meets the regulatory standards?

Publicaties:

TUD, PRE: Design and Comparison of a 10-kW Interleaved Boost Converter for PV Application Using Si and SiC Devices. Publicatie: IEEE.

Onderzoeksvraag 4: How can the cost of charging an EV be reduced by using optimization techniques that consider the EV user preferences, PV forecast, electricity prices and offer of ancillary services?

Publicaties:

TUD: Optimal EV charging of EV Fleet from PV Based on Dynamic Energy Prices and Offer of Reserves. Under construction.

TUD: Energy Management System with PV Power Forecast to Optimally Charge EVs at the Workplace. Publicatie: IEEE.

TUD, ABB: Implementation of Dynamic Charging and V2G using Chademo and CCS/Combo DC charging standard. Publicatie: IEEE.

PRE: The importance of smart EV charging. Presentatie: Avans Smart Energy Event.

Onderzoeksvraag 5: What are the economic and environmental benefits of solar charging of EV @ workplace.

Publicaties:

TUD: Economic and CO2 Emission Benefits of a Solar Powered Electric Vehicle Charging Station for Workplaces in the Netherlands.

Publicatie: IEEE.

In hierboven genoemde publicaties wordt vermeld dat de project resultaten mede tot stand zijn gekomen dankzij 'TKI switch2smart grids', een programma van de Nederlandse overheid.

Toelichting PR project en verdere PR-mogelijkheden.

TU Delft test momenteel het prototype. Het plan is meerdere van deze systemen toe te passen in Delft Smart University / The Green Village. Dan zal er ook een officieel persbericht van de succesvolle samenwerking gedaan worden.

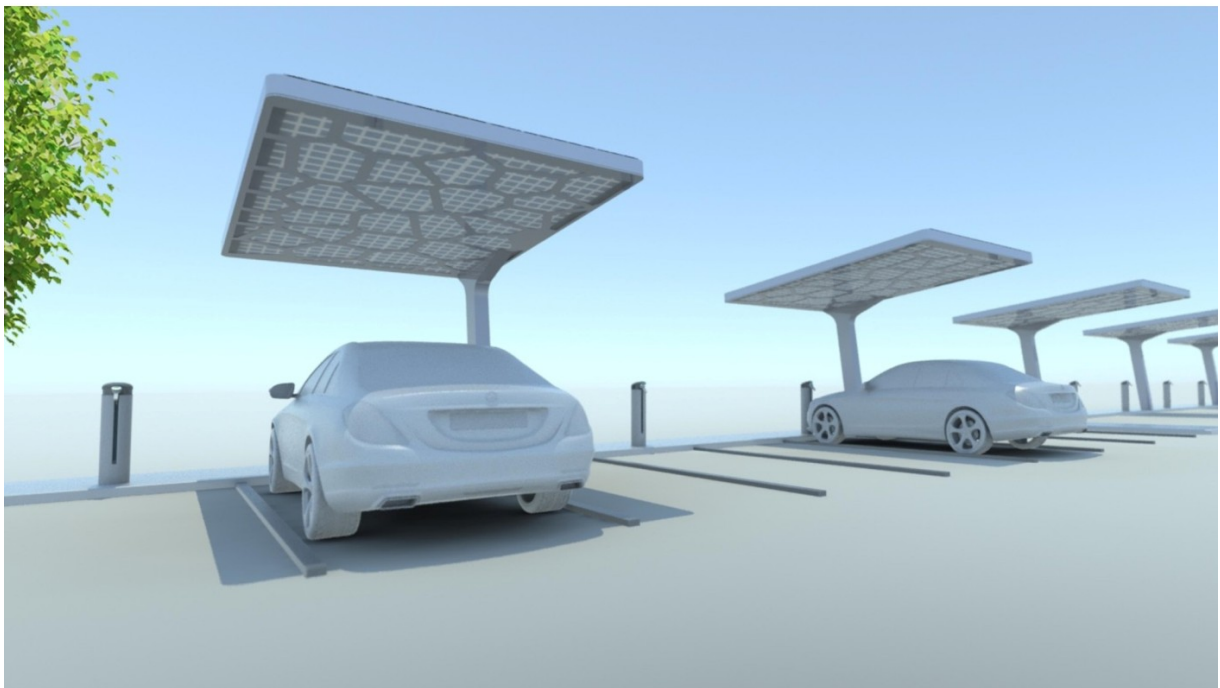
De ontwikkelde technologie voor bidirectioneel DC laden zal o.a. aangeboden worden aan de stichting Lombox. Hier beoogt men op wijk niveau energiestromen te managen en uiteindelijk zo min mogelijk (ongewenste) pieken uit het de hoofdelektriciteitsnet te onttrekken. Een belangrijk nieuw element dat het EVPV project toevoegt is dat dit via de DC poort van de auto plaatsvindt en dat PV direct ingekoppeld wordt. Dit heeft 2 voordelen:

- * PV energie wordt automatisch optimaal gemanaged (bij voorkeur de auto in).

- * de ontwikkelde oplossing is kosten efficiënt en de terugverdientijden zullen gunstig uitpakken.

Zie ook: <http://www.lombox.nl/ev/smart-solar-charging-lombok>

Test setup to charge EV at Lomboxnet or PRE/TU



Daarnaast zijn partijen in gesprek met diverse Europese marktpartijen.