

PV SiMS

Storage integrated Multi agent controlled Smartgrid



Eindverslag: Storage integrated Multi agent controlled Smart grid
Energie en innovatie, Smartgrids

Openbare eindrapport

Gegevens project

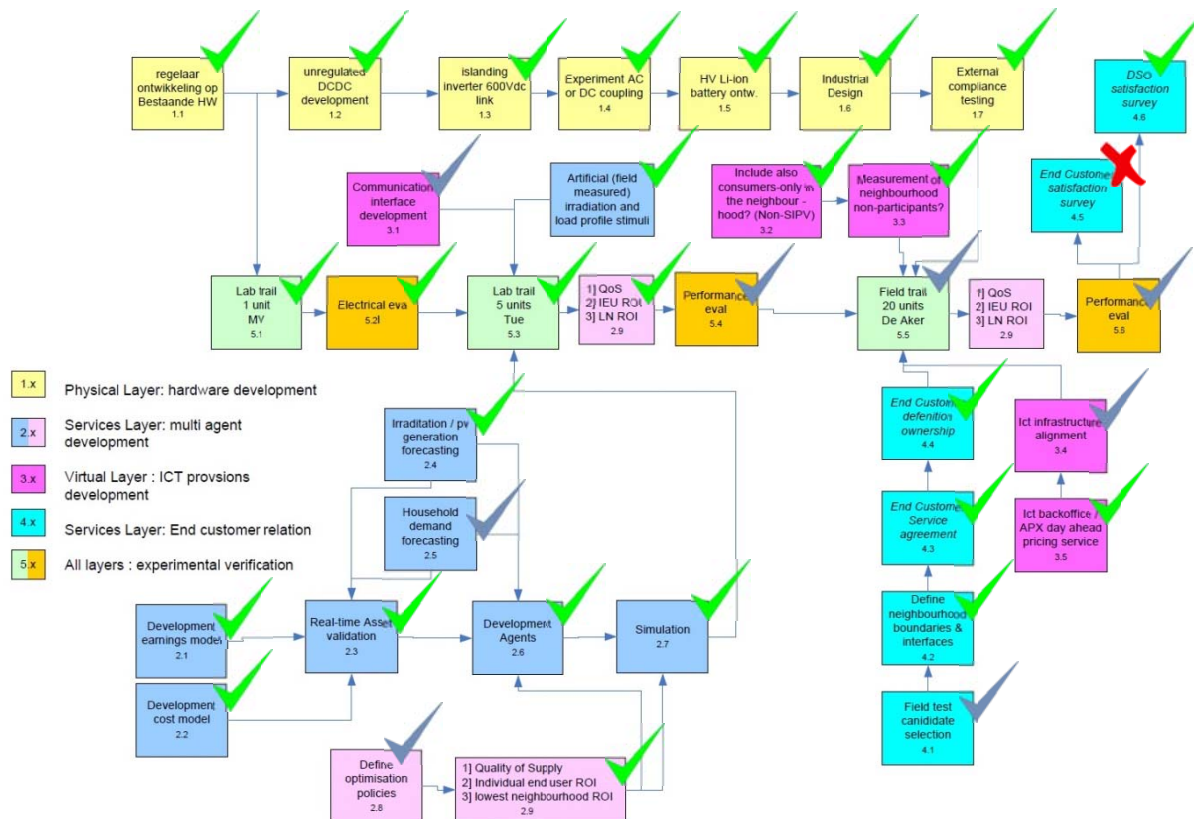
- projectnummer : TKISG01009
- projecttitel : PV-SiMS
- penvoerder Mastervolt B.V.
- Medeaanvragers TU Eindhoven en Greenspread
- contactpersoon penvoerder H.A. Poppelier
- Status V1.0 (final)
- project periode 1-9-2012 – 31-08-2015 (29-02-2016)
- datum van inzending 21/02/2016

Inhoudsopgave

1.	Samenvatting van de inhoudelijke resultaten.....	4
1.1.	WP 0 Project management (Mastervolt)	4
1.2.	WP 1 Physical layer HW ontwikkeling (Mastervolt).....	5
1.2.1.	<i>Ontwikkeling regelaar op basis van bestaande hardware</i>	5
1.2.2.	<i>ontwikkeling DC-DC vermogensomvormer</i>	5
1.2.3.	<i>Islanding inverter 600Vdc link</i>	6
1.2.4.	<i>AC or DC coupling</i>	6
1.2.5.	<i>HV Lithium ion batterij</i>	7
1.2.6.	<i>Industrial design.</i>	7
1.3.	WP 2 Service layers: multi agent development (TU eindhoven).....	8
1.3.1.	<i>Development of earnings model</i>	8
1.3.2.	<i>Development of costs model</i>	10
1.3.3.	<i>Real-time asset validation</i>	10
1.3.4.	<i>Irradiation/PV generation forecasting</i>	11
1.3.5.	<i>Household demand forecasting</i>	11
1.3.6.	<i>Agent development</i>	12
1.3.7.	<i>Simulations</i>	14
1.3.8.	<i>Define optimization policies</i>	14
1.3.9.	<i>Quality of supply, individual end-users ROI, lowest neighborhood ROI</i>	14
1.4.	WP 3 Virtual Layer: ICT provisions development (Greenspread).....	15
1.4.1.	<i>Taak 3.1 Communication interface development</i>	15
1.4.2.	<i>Taak 3.2 Include also 'consumers-only' in the neighbourhood?</i>	15
1.4.3.	<i>Taak 3.3 Measurement of neighbourhood non-participants?</i>	15
1.4.4.	<i>Taak 3.4 ICT infrastructure alignment</i>	15
1.4.5.	<i>Taak 3.5 ICT backoffice / APX day ahead pricing service</i>	16
1.5.	WP 4 Service layer: End customer relation (Greenspread).....	17
1.5.1.	<i>Field test candidate selectie</i>	17
1.5.2.	<i>Define neighbourhood boundaries & interfaces</i>	17
1.5.3.	<i>End Customer Service agreement</i>	17
1.5.4.	<i>End Customer definition ownership</i>	18
1.5.5.	<i>End Customer satisfaction survey</i>	18
1.5.6.	<i>DSO satisfaction survey</i>	18
1.6.	WP 5 All layers: experimental verification.....	19

1.6.1.	<i>Lab trial 1 unit Mastervolt</i>	19
1.6.2.	Elektrische evaluatie	19
1.6.3.	Lab trials 5 units TU/e	20
1.6.4.	Performance evaluatie	20
1.6.5.	Field trial De akker	21
2.	Inleiding	22
3.	Doelstellingen	23
4.	Resultaten & conclusie.....	24
5.	Uitvoering van he project.....	25
5.1.1.	Verschillen project plan.	25
5.1.2.	Verschillen project kosten.....	25
5.1.3.	Vervolg.....	25
5.1.4.	Kennis verspreiding	26

1. Samenvatting van de inhoudelijke resultaten



Figuur 1: Blokkenschema projectplan

- ✓ • Aan gewerkt en naar tevredenheid afgerond
- ✓ • Aan gewerkt en met aanpassingen afgerond
- ✗ • Niet aan gewerkt of niet afgerond of vervangen.

1.1. WP 0 Project management (Mastervolt)

Hoewel het project inhoudelijk goede vorderingen heeft gemaakt is het stukje projectmanagement niet noodzakelijk soepel verlopen. Door diverse oorzaken heeft het project wat vertragingen opgelopen welke niet altijd tijdig of duidelijk gecommuniceerd zijn. Vooral het wegvallen van de projectmanager aan de kant van Mastervolt heeft veel “papierenen” vertragingen veroorzaakt.

1.2. WP 1 Physical layer HW ontwikkeling (Mastervolt)

Om tot goed werkende systemen te komen was er op diversie niveaus nieuwe hardware nodig. In dit eerste werkpakket is deze hardware ontwikkeld tot stand gekomen.

1.2.1. Ontwikkeling regelaar op basis van bestaande hardware

In dit werkpakket is er een storage system opgebouwd waarbij we met bestaande onderdelen een storage systeem hebben kunnen maken waarmee we op voorhand testen kunnen uitvoeren die later bij de ontwikkeling v.d. werkelijk hardware als input gebruikt kunnen worden. Deze systemen zijn ook gebouwd voor het uitvoeren van de lab-testen bij TU/e en een aantal veldtesten.

Ook zijn er een aantal “pressure test” uitgevoerd op diverse beurzen om te bekijken hoe mogelijke gebruikers zouden reageren op deze technologie.



Figuur 2 Storage system

1.2.2. ontwikkeling DC-DC vermogensomvormer

Om de energie “tijdelijk” op te slaan is er gekozen voor een accu op 24 of 48V niveau dit wordt gezien als een veilig systeem spanning. Mogelijk hebben systemen met hogere systeem spanningen (als in bv elektrische auto's) meerdere voordelen maar is zeker voor de toegankelijkheid in de markt niet wenselijk. De ontwikkeling van een stabiel ongeregelde 24/48 naar 600V DC converter is uitgevoerd mede met de hulp van Jan Wanner voor het concept gedeelte.



Figuur 3 DC-DC Converter

1.2.3. Islanding inverter 600Vdc link

Voor de DC-AC omvormer is er gekozen voor een 2 level topologie waarbij de ontwerpoverwegingen sterk beïnvloed zijn door de uiteindelijk kostprijs van de unit en de praktische toepasbaarheid van deze unit. Het grootste gedeelte van de DC variatie zal dan ook opgevangen moet worden door de eerder beschreven DC-DC converter.

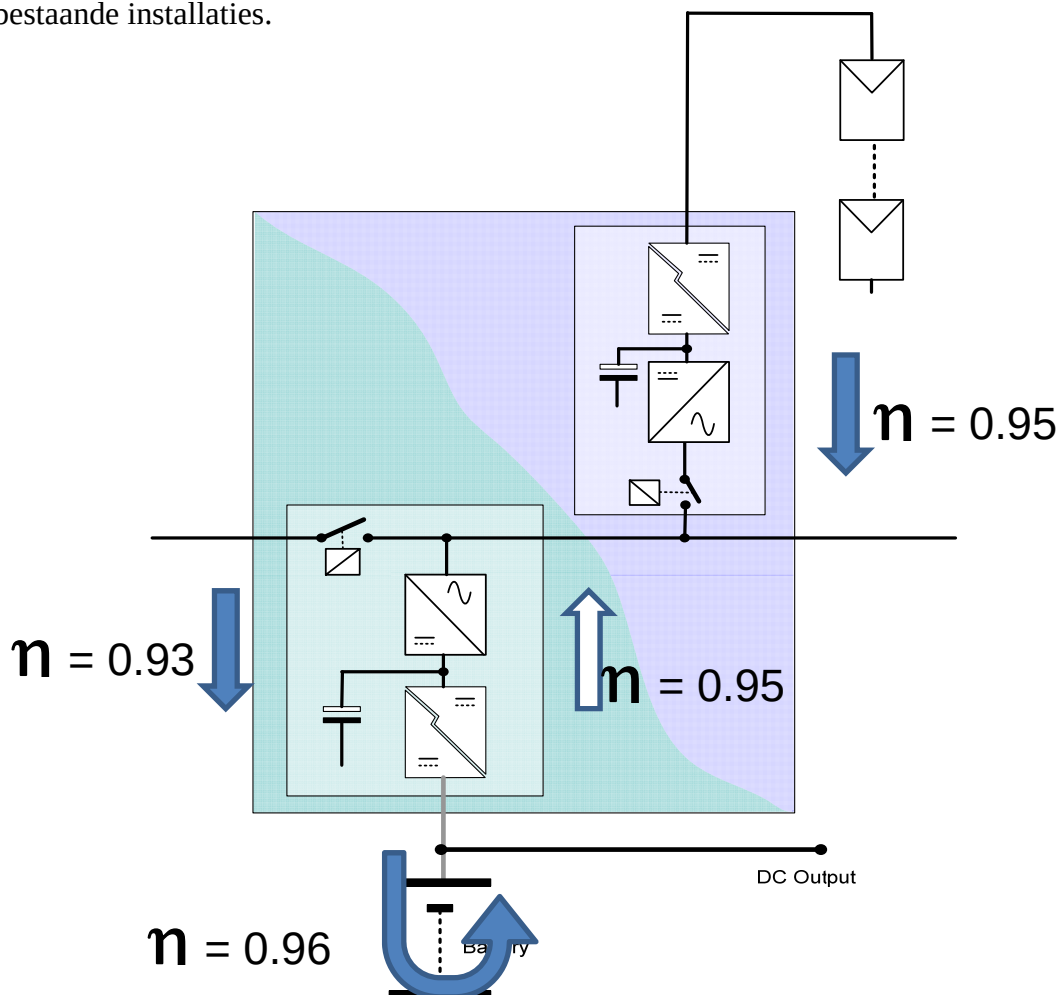


Figuur 4 DC-AC omvormer

1.2.4. AC or DC coupling

De met zonnepanelen opgewekte energie kan worden omgezet naar DC spanning of AC spanning afhankelijk van gebruik/situatie is het totale rendement (round trip efficiency) van het totale systeem dan meer of minder zijn

Omdat een veilig systeem en markt acceptatie een van de uitgangspunten is hebben we gekozen om de koppeling op AC niveau uit te voeren. Dit heeft als gevolg een extra conversie stap de veiligheid aan de gebruikers kant is gewaarborgd en de mogelijkheid blijft bestaan om gebruik te maken van bestaande installaties.

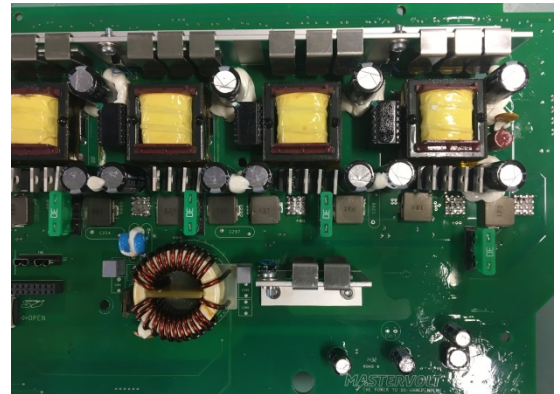


Figuur 5 round trip efficiency

1.2.5. HV Lithium ion batterij

Veiligheid is een belangrijke reden voor de keuze van een lage spanning voor de batterijopslag. Een nadeel is de noodzaak van een additionele DC-DC conversie, met daarmee verbonden conversieverliezen, omvang en systeem componenten. Een Lithium- Ion batterij op hoge spanning, die direct gekoppeld kan worden met de DC ingang van de DC-AC omvormer, maakt in principe een DC-DC omvormer overbodig.

Het batterijmanagement en het ontbreken van galvanische scheiding zijn aspecten die worden onderzocht in de ontwikkeling van een Lithium Ion batterij met hoge werkspanning.



Figuur 6 balanceer elektronica HV Lithium

Er is uiteindelijk een balanceer systeem bedacht voor bestaande Lithium ion batterijen waarmee systemen tot 600V gemaakt kunnen worden. Zoals eerder aangegeven is dit verder niet gebruikt omdat de voorkeur voorlopig bij spanningen tot maximaal 48V ligt, dit omdat 48V in het algemeen als veilig wordt beschouwd.

1.2.6. Industrial design.

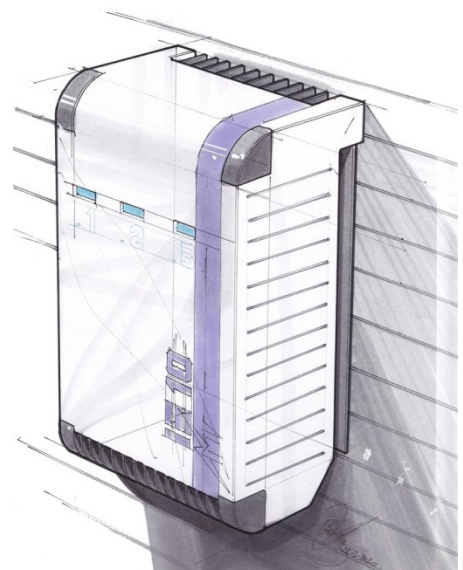
Er is gekozen voor een oplossing waarbij de accu als gescheiden unit wordt aangeboden en alle Inverter, conversie en communicatie technologie in een behuizing wordt aangeboden. Praktijk onderzoek leer dat de uiteindelijk beoogde klanten geen accu in hun meterkast willen.

Ontwerp bestaat uit 3 losse compartimenten voor:

- Inverter
- DC-DC Converter
- DC-AC converter



Figuur 8 Storage inverter



Figuur 7 final desing storage

1.3. WP 2 Service layers: multi agent development (TU eindhoven)

In dit werkpakket heeft TU/e het mogelijk gemaakt om gebaseerd op input het regel algoritme te ontwikkelen voor het aansturen van meerdere units om zodoende de ideale energie balans te vinden tussen diverse partijen.

1.3.1. Development of earnings model

The objective of this W.P. was to identify revenue streams for an owner of Storage-integrated PV (S-PV) system, related also to his system configuration (PV panel size, battery size etc). To this end, the S-PV agents of the SG-BOOSTER platform were designed to take into account their system configuration in their control strategy. Regarding the revenues, a literature review identified the potential applications of small-scale energy storage in the context of the Smart-Grid, as seen in Table 1. The participants in each application are also noted. The prosumers can also be members of an aggregation.

The applications of Table 1:

- Arbitrage - Basic: The stakeholder is trying to profit from the difference in price in different markets Day-ahead, intra-day, imbalance. Arbitrage - Energy Cost Management: The stakeholder is trying to reduce his energy costs by purchasing and using energy when it is cheaper to do so.
- Arbitrage - Renewables time shift: Stakeholder trying to increase the energy not bought from the market (e.g. a PV owner trying to sell his PV generated energy when the price is high).
- Renewable Energy Spilling: Stakeholder trying to reduce wasted energy.
- Scheduling and dispatch: Stakeholder trying to improve social welfare by scheduling the least-cost overall generators or storage units to dispatch.
- Congestion management: Stakeholder trying to reduce the effects of transmission constraint on social welfare.
- Ramping rates: Stakeholder trying to reduce the effects of ramping in social welfare.
- Peak shaving: Stakeholder trying to have a load factor equal to 1.
- Voltage support: Stakeholder trying to keep voltage within regulation limits, prevent an outage and/or tackle harmonics.
- Frequency control: Includes primary, secondary and tertiary control.
- Black-start capability: Stakeholder trying to restart network after blackout.
- Power factor support: Stakeholder trying to minimize reactive power consumption/reduction.
- Carbon reduction: Stakeholder trying to reduce the impact on the environment.

Apart from the aforementioned applications, the case of participating in a an electricity market at district level was explored in [3, 4, 5]. The conclusion of this work regarding the possible revenues for the prosumers was that there is a business case there provided that the generation mix is very diverse and enough to cover the local demand.

Participants:	TSO	DSO	Thermal Generator	Renew-able Generator	Pro-sumer*	Industrial Customer	Whole-saler
Energy Markets							
Arbitrage - Basic	-	-	X	X	X	X	X
Arbitrage - Energy cost management	-	-	-	-	X	X	X
Arbitrage - Renewables time-shift	-	-	-	X	X	-	-
Market imbalance	-	-	X	X	X	-	-
Renewable energy spilling	-	-	-	X	X	-	-
System planning & operation							
Scheduling and dispatch	X	-	-	-	X	X	-
Congestion management	X	-	-	-	X	X	-
Ramping rates	X	-	-	-	X	X	-
Peak Shaving	-	-	-	-	X	X	-
Power Quality							
Voltage Support	-	X	-	-	X	X	-
Frequency control	-	X	-	-	X	X	-
Control							
Black start capability	X	X	-	-	X	X	-
Power factor support	-	-	-	-	X	X	-
Other							
Carbon reduction	X	X	X	X	X	X	X

1.3.2. Development of costs model

This work-package was about the cost of using the battery related to its wear, the depreciation and conversion losses. In the context of this work-package we developed a formula relating the cost of one charge or discharge action of the battery to the wear of the battery. The service life of a battery is the minimum between its cycle life and oar life. The cycle life depends on its cycling behaviour, while the oar life refers to the normal corrosion processes taking place inside the battery when it is not used. The service life of a battery is considered over when its energy capacity reaches 80% of its nominal capacity. The main stress factors for the battery health are the SoC, _SoC, charge/discharge rate (C-rate) and temperature (T). While the environmental temperature mainly affects the self-discharge rate when the battery is not used, during the battery's operation it causes capacity loss at high Cs. To protect the battery from the negative effects of increased T during operation, we set a limit of C = 1. Regarding the effects of SoC and DoD to the battery life, we followed the methodology in [2]. First, we derived an exponential decay function that estimates the maximum number of cycles for each DoD from the battery manufacturer's data. Then, we assumed that the battery health loss is:

$$L = \frac{1}{2} \times \left[\frac{1}{ACC_{DoD_{t+1}}} - \frac{1}{ACC_{DoD_t}} \right]$$

where L is the battery health loss, $ACC_{DoD_{t+1}}$ and ACC_{DoD_t} is the expected maximum number of cycles of the battery for those DoDs respectively. We divide by two, because a charge/discharge action represents half a cycle. Consequently, we associated the battery health to the investment for purchasing the battery, I_b , to obtain the cost of charging or discharging the battery from DoD_t

$$c_a = I_b \times \frac{1}{2} \times \left[\frac{1}{ACC_{DoD_{t+1}}} - \frac{1}{ACC_{DoD_t}} \right]$$

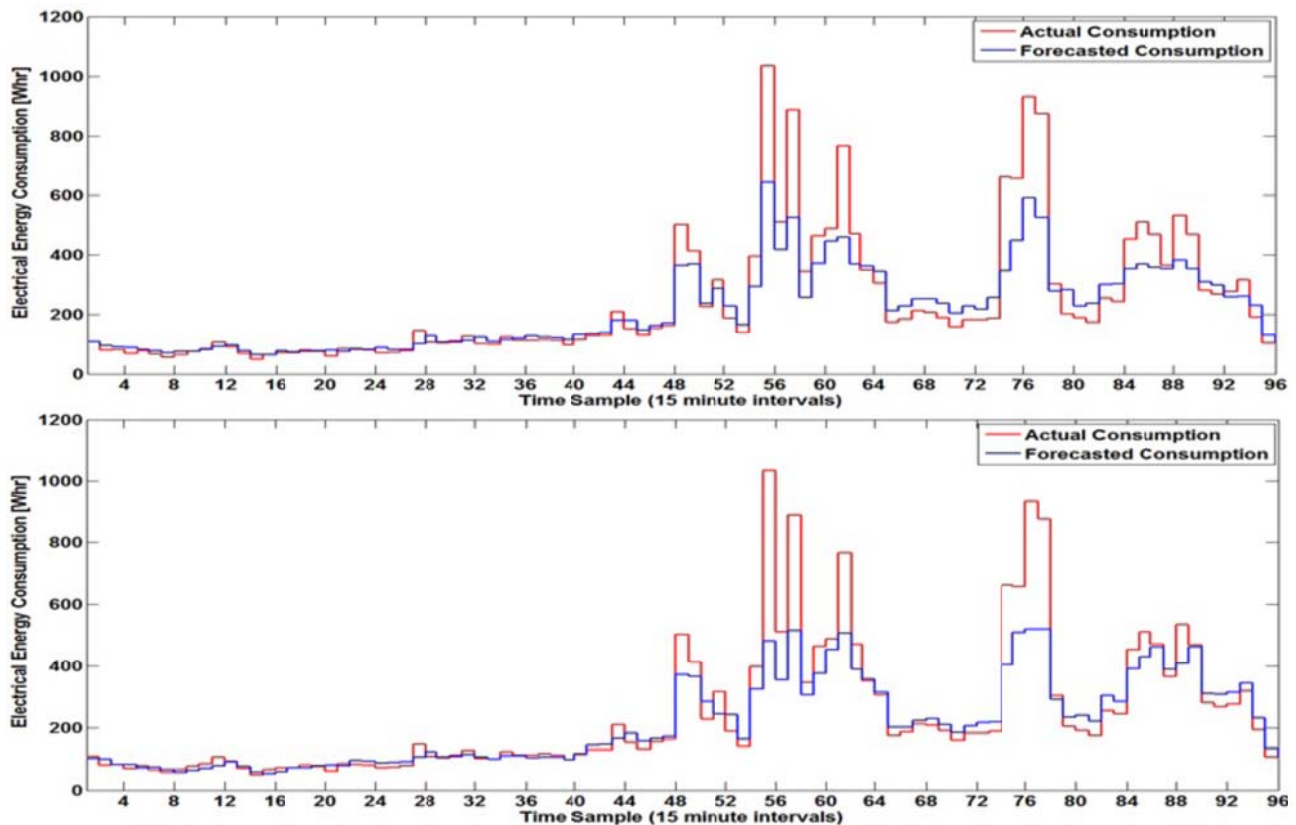
This formula is used in all the economic calculations of the agent and the cost of using the battery is always considered before making a decision. The battery model is based on the specifications of the Mastervolt MLI Ultra 12/2500 storage unit.

1.3.3. Real-time asset validation

Dit werk-pakket was over het gewicht dat de besluiten een agent belde om ervoor te beïnvloeden als hij het heeft verschillende opties over hoe de middelen te gebruiken.

1.3.4. Irradiation/PV generation forecasting

Er is overeengekomen dat online tools voldoende voorspellend gedrag vertonen aan de hand van weersvoorspellingen zodat de “agent” het juiste voorspellende gedrag kan laten zien.



Figuur 9 forecast vs used

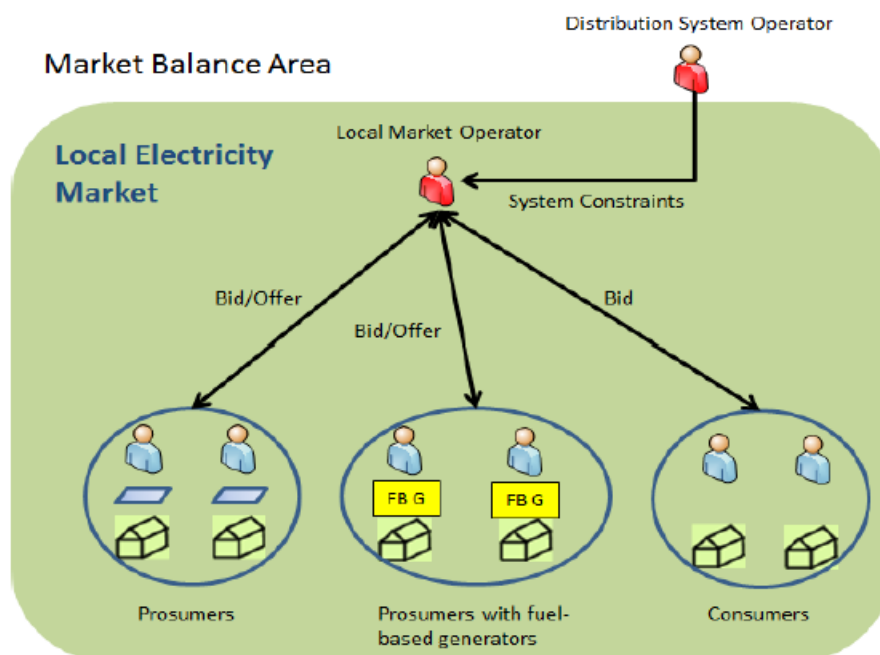
1.3.5. Household demand forecasting

Household electricity consumption forecasting was the topic of [8]. In that work, the objective was to schedule the battery of a household day-ahead. To realize that, we had to forecast the household electricity consumption day-ahead. We used two different forecasting models, the Feed forward artificial Neural Network (FNN) and the Auto-Regressive Integrated Moving Average (ARIMA). The FNN provided us with much better results than the ARIMA. It could predict the pattern of the electricity consumption profile, but it sometimes failed to predict the size of the peaks. We attributed this to the volatile changes in the behaviour of the consumers, who, while using their basic devices in the same way every week, providing a predictable pattern, they use some smaller devices in different time intervals, altering the size of the peaks. An example of the results for two random customers can be seen in Figure 1. We examined the participation of the owner of PV panels coupled with an energy storage device in a day-ahead local market. While the FNN gave a good estimation of the available energy for trading, the mismatch between predictions and result

may lead to reduced monetary benefit for the prosumer. Thus, we concluded that a prosumer with PV generation coupled with energy storage should only participate in future markets if the PV generation and the storage capacity are high enough to make the volatility of his electricity consumption profile negligible.

1.3.6. Agent development

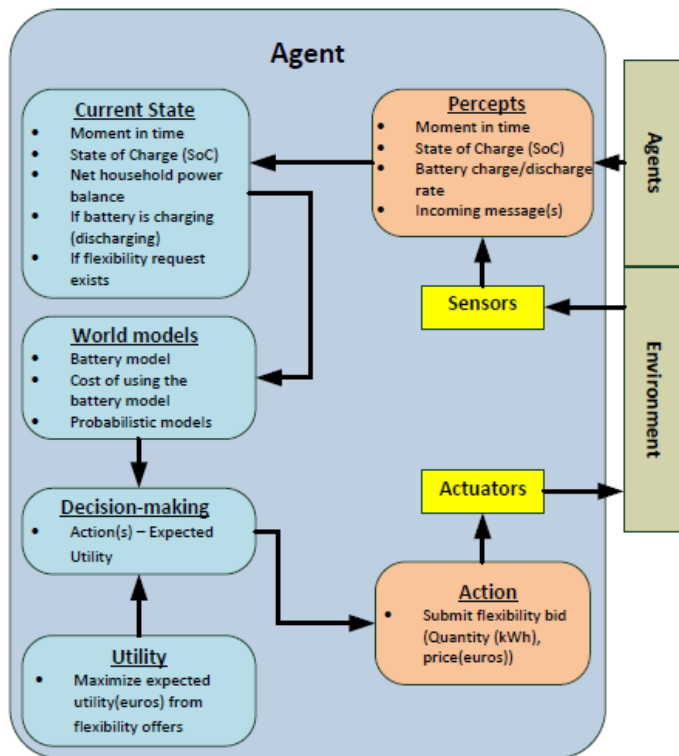
This w.p. was about developing the software agents whose components were designed in the previous work-packages. Indeed various agents representing different entities in the electricity market structure were designed, depending on the use-case examined. The agents were developed in Java, using JADE in the Eclipse development environment. They were coordinated in a multi-5



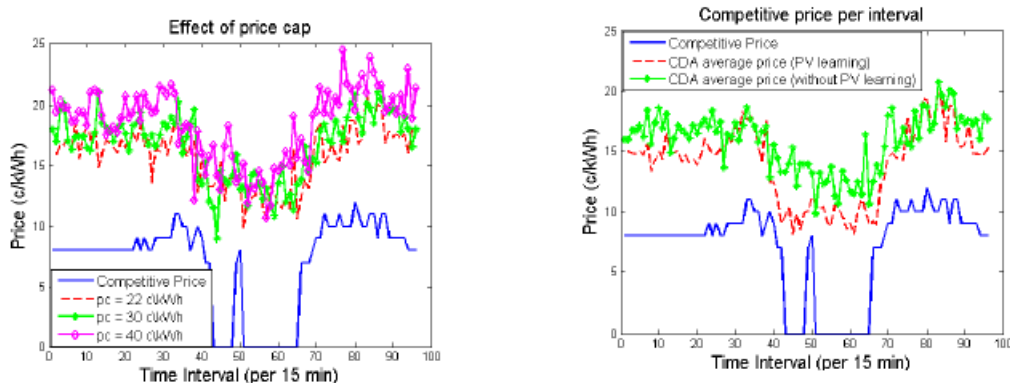
Figuur 10 Multi agent system

agent system that varied depending on the simulation. An example of a simulation system for a local electricity market can be seen in Figure 2. This MAS includes prosumers with S-PV units, simple consumers, prosumers with fuel-based generators, the DSO and the local market operator. The structure of an S-PV agent can be seen in Figure 3. An agent receives precepts about its environment from its sensors and messages from other agents. From this data it calculates the state of its environment, e.g. the moment in time in operates, the battery's state of charge and so on. Using the state of the environment and its models of how the environment works (e.g. battery models, probabilistic models about future prices or household electricity consumption) it takes decisions of what is its next action. Its next action is towards maximizing its utility function. The latter can be profit in euros, or maximizing social welfare when it provides an ancillary service to the DSO or TSO. The results of w.p. 2.2 are included in the cost of using battery model, in the World models box. The results of w.p. 2.5 are included in the probabilistic models of the same box. The results of w.p. 3 are included in the Utility box. Regarding w.p. 2.4 it was agreed that online tools provide the results needed for the agent to make its calculations. The main result of the agent development was the SG-BOOSTER platform, a MAS platform that simulates smart grid scenarios.

A snapshot of the platform at work can be seen in Figure 4. It includes models of agents (customers, aggregators, BRPs etc), equipment (PV generators, batteries, fuel-based generators), actual customer load profiles and electricity market data (imbalance prices, day-ahead prices) for several years. The agents communicate using the FIPA-ACL (Foundation of Intelligent Physical Agents - Agent Communication Language) using ontologies that are specific for the electricity market. The platform can be configured before each simulation to explore different agents mix, bidding strategies, equipment, retail contracts etc. The platform makes calculations per PTU (15 mins) and is not suitable for transients. The JADE agent platform allows for a fully distributed MAS, thus agents of the same platform



Figuur 12 Agent sturture



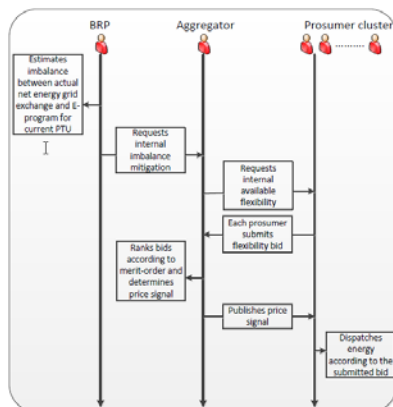
Figuur 11 Effect of different price caps on the average prices in he local market

1.3.7. Simulations

This w.p. was about exploring the use-cases and the new business models designed during the research period through simulations. In [4, 5] a local electricity market at district level was designed, implemented and simulated. The importance of having a mix of generators with similar capacities and variable marginal costs was pointed out. A local market for 70 participants was used for the simulation setup. The demand was inelastic, as is usually the case with households. The market design was based on a continuous double auction. The market participants were using the ZI (Zero-Intelligence) bidding strategy. A day of June was chosen for the simulation to ensure that PV generation was present. The evaluation of the market design was done by comparing the average market price of the CDA to the estimated competitive price. The CDA average prices was found to follow the pattern of the competitive price, but they were significantly higher. The lack of intelligence of the trading agents was identified as the reason for this low market efficiency. This was pointed out when some intelligence was added to the agents with PV generation, increasing the market efficiency when PV generation was present. Moreover, the presence of a price cap, while necessary was shown to have significant effect in the market efficiency. Results of [5] can be seen in Figures 5 and 6. At the moment this report is written, a new work is on the final stage before submission to an IEEE journal. This work includes a simulation exploring the use-case of an aggregator providing the self-balancing service to a BRP using the edibility of S-PV agents. An interaction diagram of the use-case can be seen in Figure 7.

1.3.8. Define optimization policies

The optimization is a continuous process and it depends on the context of each simulation. Different bidding strategies have been tested, different profit division algorithms [6] etc.



1.3.9. Quality of supply, individual end-users ROI, lowest neighborhood ROI

The individual end-users ROI and the lowest neighbourhood ROI depend not on the simulation scenario and are not concrete values, rather than estimates per use-case examined. Connecting the cost of using the battery with the initial investment for its purchase leads to a faster ROI.

1.4. WP 3 Virtual Layer: ICT provisions development (Greenspread)

1.4.1. Taak 3.1 Communication interface development

De Technische Universiteit in Eindhoven heeft een platform ontwikkelt waarop de agents kunnen handelen met elkaar en waar verschillende marktmodellen kunnen worden gehanteerd. Momenteel is er een demonstratie in de lab opstelling op de locatie in Eindhoven. Dit platform is niet geïmplementeerd bij de gebruiker doordat er voor de consument geen case is, vanwege de profielallocatie en daarmee niet voldoende volatiliteit in prijzen voor eindgebruiker (alleen dag/nacht-tarief). Daarnaast is wel binnen IntelliWeb, de webservice van Mastervolt, de mogelijkheid gecreëerd om te communiceren met de batterijen of een groep van batterijen. Op deze manier is het mogelijk om deze uit te lezen en aan te sturen en te koppelen met de buitenwereld.

1.4.2. Taak 3.2 Include also 'consumers-only' in the neighbourhood?

De business case voor de pv en opslag combinatie zit op dit moment in de opwek van PV-stroom en daarmee zijn andere gebruikers niet van invloed. Voor het scenario waar salderen niet meer mogelijk is kan er een businesscase ontstaan voor het maximaliseren van het eigenverbruik. Op het moment zijn de variabele tarieven nog niet beschikbaar voor kleinverbruikers naast het piek-dal tarief. De efficiëntie verliezen die gepaard gaan met energie opslag zijn op dit moment te groot om een rendabele businesscase te creëren voor de batterij. Echter wanneer marktpotentieel ontstaat om de distributie netbeheerder te ondersteunen kan het wel interessant zijn om alleen verbruikers te gaan monitoren, echter zou het volstaan om dit op string-niveau te doen. Kijkend naar de mogelijkheden is het dus niet van belang om actief consumenten te gaan bemeten die geen PV en batterij hebben omdat deze geen onderdeel zijn van mogelijke businesscases.

1.4.3. Taak 3.3 Measurement of neighbourhood non-participants?

Meetapparatuur is geïnstalleerd bij de deelnemers (te volgen middels IntelliWeb en www.pvsims.nl) om verschillende aspecten te monitoren: opwek, inzet batterij én het verbruik van het huishouden. Daarmee wordt dus tevens het zuivere verbruik gemonitord. Met behulp van deze gegevens is het mogelijk voorspellingen van het verbruik van andere huishoudens (dus niet deelnemers) te construeren. Door de deelnemers uitgebreid te bemeten was het niet meer noodzakelijk om andere groepen gebruikers te betrekken bij het onderzoek. De GREENSPREAD 4 dataset van gegevens wordt opgebouwd op www.pvsims.nl en is daar beschikbaar voor andere onderzoekers en geïnteresseerden.

1.4.4. Taak 3.4 ICT infrastructure alignment

In dit project is gek aan ozen voor saldering middels de batterij, daarmee is geen directe koppeling met energiemarkten gemaakt. Belangrijke informatie voor een energieleverancier is verzameld middels de koppeling met Intelliweb API die doorlinkt naar de database van Greenspread. Als de gebruiker toestemming geeft kan dit tevens andere leveranciers worden gekoppeld. Vanwege de beperkte omvang van het project is er niet voor gekozen deelnemers klant te maken bij InEnergie.

Alle informatie die een leverancier nodig zou hebben is gemonitord en opgeslagen.

1.4.5. Taak 3.5 ICT backoffice / APX day ahead pricing service

In de lab-omgeving is het multi-agent systeem toegepast inclusief koppeling naar energiemarkten. De externe stimuli als prijs en weersvoorspelling zijn meegenomen in de lab-opstelling en simulaties. In het demonstratie project is middels een beveiligde internet verbinding het mogelijk gemaakt de batterij te monitoren en te sturen. De beveiligde infrastructuur is gerealiseerd middels Intelliweb van Mastervolt. De gegevens kunnen via een API uit IntelliWeb worden gehaald en zijn beschikbaar voor onderzoekers en andere geïnteresseerden via www.pvsims.nl.

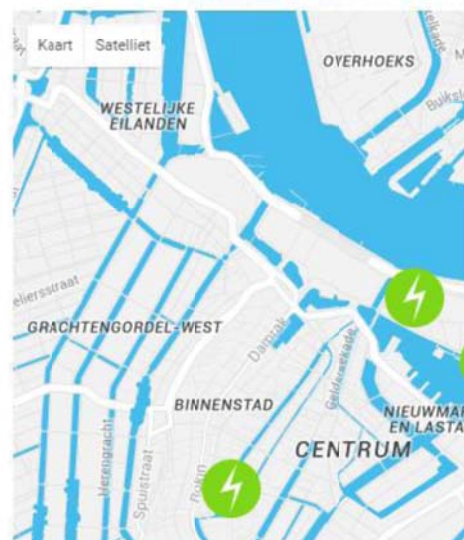


Matchen van vraag en aanbod

Succesvolle inpassing van kleinschalige, duurzame elektriciteitsbronnen in onze totale elektriciteitsvoorziening vraagt in de toekomst om een andere opbouw van de elektriciteitsvoorziening. De relatie tussen de consument die zelf stroom opwekt (prosumant), de elektriciteitsleverancier en de netbeheerder verandert.

Dit is noodzakelijk, omdat het bij toename van energiebronnen met een sterk fluctuerend aanbod (zoals zonnestroominstallaties en kleinschalige windturbines) steeds moeilijker wordt vraag en aanbod op elkaar af te stemmen, zonder aan leveringszekerheid in te boeten.

PV-installaties in Nederland



1.5. WP 4 Service layer: End customer relation (Greenspread)

1.5.1. Field test candidate selectie

Door gebruik te maken van het piek- en dal tarief met het batterijsysteem, is een berekening gemaakt of op basis hiervan het interessant is om te investeren in een dergelijke systeem. Hieruit blijkt dat de efficiëntie verliezen niet worden gecompenseerd door het prijsverschil tussen piek en dal. Er zijn verschillende verbruiksprofielen toegepast om te kijken wat de mogelijke invloed zou zijn op de APX-Endex markt en wat dat aan kosten zou besparen of creëren voor de eindgebeuren. Wanneer een koppeling wordt gemaakt met de APX zijn de prijsverschillen groter dan bij het piek- en dal tarief, afhankelijk van de handelsstrategie zou er een minimale GREENSPREAD 5 businesscase gerealiseerd kunnen worden. De meeste potentie heeft de onbalansmarkt, waar de prijzen volatieler zijn dan op de APX. Echter zijn zowel de APX als de onbalansmarkt niet toegankelijk voor kleinere consumenten. Door het geringe aantal installaties is het tevens niet mogelijk om middels aggregatie aan deze markten deel te nemen. Daarnaast worden alle huishoudens op dit moment op basis van een profiel gealloceerd. Vanaf 2017 is het mogelijk om huishoudens uit de profielallocatie te halen en in de telemetrie allocatie te plaatsen, dit is een voorwaarde om te kunnen handelen op de verschillende markten. Dit concept gaat een vervolg krijgen in het project City-Zen, waarin meerdere batterijen zullen worden geïnstalleerd bij deelnemers in Amsterdam, hier gaat een koppeling naar de markt gemaakt worden. Een korte introductie van dit project volgt aan het einde van dit gedeelte..

1.5.2. Define neighbourhood boundaries & interfaces

Er zijn meerdere sessies geweest met Alliander, de netbeheerder ter plaatse, om in kaart te brengen wat de impact is van de batterij opslag. Drie units zijn relatief dichtbij elkaar geïnstalleerd. Ondanks dat Alliander hier een uitgebreide monitoring heeft geïnstalleerd, is de impact niet terug te zien in metingen op het middenspanningsnet,. Daarom is de impact van de batterij op het middenspanningsnet niet verder geëvalueerd.

1.5.3. End Customer Service agreement

Verschillende contracten en overeenkomsten zijn opgesteld om dit project mogelijk te maken bij de eindgebruiker en alle belangen te waarborgen:

- Privacy verklaringen zijn getekend
- Geanonimiseerde data en modellen zijn beschikbaar op www.pvsims.nl (locatie die staat aangegeven op de kaart komt niet overeen met de werkelijke locatie wegens privacy)
- Onderhoudscontracten zijn verleent via garanties van Mastervolt
- Recht van Opstal is geen sprake van aangezien de batterij is weggegeven, daardoor was er geen recht van opstal nodig aangezien de batterij eigendom werd van de eindgebruiker.
- Energielevering overeenkomst is niet van toepassing omdat de deelnemers geen klant zijn geworden bij InEnergie.

1.5.4. End Customer definition ownership

Met oog op huidige verdienmodel zijn de batterijen nu geschonken aangezien het pas vanaf 2020 interessant wordt voor consumenten om hier mogelijk in te investeren, leasen of middels andere financiële constructies te beschikken over een batterij. Lease constructie en investeringen zijn afhankelijk van hoe het verdienmodel eruit komt te zien. Het is sterk van belang voor het verdienmodel of saldering wordt afgeschaft of versoerd. Daarnaast is er de trend dat variabele tarieven beschikbaar worden voor eind consumenten, ook dit zal zeker bijdragen aan de verdienmodellen van een batterij-pv combinatie.

1.5.5. End Customer satisfaction survey

Gedurende het project zijn we meerdere malen langs geweest bij de verschillende participanten. Hierin is gevraagd tegen wat voor problemen ze aanlopen en waar verbeter punten zitten voor ons als organisatie. Iedere participant gaf aan regelmatig op IntelliWeb te kijken naar opbrengst en verbruik en daarbij inzet van de batterij. Hierin is een stukje bewustzijn gecreëerd bij de deelnemers van zowel opwek als verbruik. Deelnemers misten een kort en helder instructieblad wat ze konden raadplegen wanneer bijvoorbeeld een lampje knipperde op de omvormer. Hieruit blijkt dat er mogelijkheden zijn om het batterijsysteem verder te ontwikkelen tot een consumentenproduct.

1.5.6. DSO satisfaction survey

Zoals is besproken in taak 4.2 was de impact te gering door het aantal batterijen dat is geïnstalleerd in de veldtest.

1.6. WP 5 All layers: experimental verification

Een pilottest dient als basis voor de totale evaluatie van het Smartgrid 2.0. hierbij worden alle aspecten van het systeem en subsystemen onderworpen afzonderlijk getest maar ook als geheel wordt er gekeken of de uiteindelijke doestellingen gehaald kunnen worden

1.6.1. Lab trial 1 unit Mastervolt

Aan de hand van een simulatie in het lab wordt op basis van bestaande componenten getest met 1 unit. Dit dient als basis voor het aantonen van de werkzaamheid van het systeem.

Labtesten met gesimuleerde zon laten zien dat het systeem prima instaat in om zelfstandig te regelen.

1.6.2. Elektrische evaluatie

De functionele werking wordt geverifieerd in het laboratorium van Mastervolt te Amsterdam. Hierbij worden elektrische grootheden bemeten tijdens gesimuleerde gebruikersprofielen. Nadruk ligt hierbij op het energetisch rendement van het systeem.

Ook dynamisch gedrag in interactie met verschillende huishoudelijke apparaten zal worden geëvalueerd.

Systeem is geheel doorgemeten en resultaten qua rendement als het hoofdstuk 1.2.4

1.6.3. Lab trials 5 units TU/e

Voor de lab testen zijn 4 identiek opstellingen gebouwd bestande uit

- Solar inverter
- Storage controller
- Storage converter
- Batterij

Lab testen zijn gebruikt voor het ontwikkelen van de diverse algoritmes voordat we de uiteindelijke hardware beschikbaar hadden en uiteraard voordat we werkelijk in het veld hebben kunnen testen.



Figuur 13 Lab test TU/e

1.6.4. Performance evaluatie

De prestatie van een op een agent gebaseerd storage-integrated PV systeem wordt geëvalueerd. Een laboratoriumomgeving maakt het mogelijk zonne-instraling, belasting en energieprijzen profielen te simuleren. Hiermee kan o.a. de kwaliteit van de voorspellingen worden gewaardeerd (werkpakketten 2.4, 2.50).

De consequenties voor prijs en hoeveelheid geconverteerde en/ of verhandelde energie als functie van het gekozen optimalisatie-profiel kunnen worden vastgesteld bij gelijke instralings- en belasting profielen in de tijd.



1.6.5. Field trial De akker

Ondanks de hype rondom energie opslag in batterijen bleek het helaas nog niet zo eenvoudig om een aantal geschikte kandidaten te vinden. De beoogde klanten groep was niet geïnteresseerd / gemotiveerd om de gehele investering commercieel te dragen. Het initiële beoogde aantal van 20 veld test locaties is helaas niet gehaald en is teruggebracht naar een 5 tal stuks extern en 3 stuks intern bij TU/e en Mastervolt. Deze veld test locaties zijn overigens volledig betaald uit het project budget



Figuur 14 Storage controller

De veld test locaties bestaan uit verschillende ontwerpen afhankelijk van de op de locatie voorhanden zijnde Solar installatie. Omdat er veelal een solar inverter aanwezig was is ver voor de meeste situaties gekozen voor het toevoegen van de volgende onderdelen:

- Lithium ion accu
- Storage converter
- Storage controller (communicatie met de trading agent en solar intelliweb,)



Figuur 16 Veld test locatie "kaas boer"



Figuur 15 veld test locatie "molen van Sloten"

2. Inleiding

Het doel van PV-SiMS is te onderzoeken welke configuraties kansrijk zijn voor implementatie. Daarnaast, is het doel te demonstreren dat dergelijke systemen daadwerkelijk klaar zijn voor implementatie en in kaart te brengen waar mogelijke technische en sociale barrières ontstaan voor grootschalige uitrol. Het systeem bestaat uit zowel hard- als software componenten. Met behulp van deze studie en demonstratie is het mogelijk om input te leveren voor productontwikkeling van het bijbehorende energiemanagementsysteem en het creëren van economische modellen. Met behulp van energie opslag zoals is toegepast in dit project komen verschillende lange termijnoplossing in beeld:

- Het vergroten van de hoeveelheid zonne-energie die een consument kan benutten
- Vergroten van de hoeveelheid duurzame energie die kan worden ingevoed op het net zonder congestie te creëren.
- Voorkomen dat de marktprijzen voor elektriciteit op momenten met veel zon-PV erg laag worden, wat bijdraagt aan het overeind houden aan het verdienmodel van alle vormen van duurzame energie.

Een van de factoren die een rol speelt in de ontwikkeling van de energievoorziening is de huidige ‘salderingsregeling’. Deze regeling is effectief gebleken voor wat betreft de introductie van met name de toepassing van PV-installaties door huishoudens. In 2014, tijdens dit project, is door minister Kamp in een Wetgevingsoverleg Energie een mogelijke wijziging van deze regeling aangekondigd. Minister Kamp kondigde hierin aan dat de salderingsregeling waarschijnlijk wordt geëvalueerd in 2017 zoals deze in de huidige vorm bestaat, ondertussen is dit moment verplaatst naar 2020. Op het moment dat de huidige salderingsregeling wordt versoerd of misschien zelfs wordt afgeschaft zal de huidige businesscase van flexibiliteit voor kleinverbruikers sterk worden gecreëerd door het maximaliseren van eigenverbruik.

Historie van het project en wijzigingen van scope

Ten tijden van het indienen van het projectplan waren factoren zoals saldering en variabele tarieven nog erg onzeker. Het oorspronkelijke doel van het project was om met behulp van een multi-agent systeem de batterijen te koppelen aan de energiemarkten en zo de kosten voor energielevering te beperken. Zoals is te zien in Figuur 1 bedraagt de levering van energie een relatief klein gedeelte de van de totale energierekening voor een eindgebruiker. Wanneer het salderen wordt versoerd of afgeschaft kunnen de meeste kosten worden bespaard op de energiebelasting, aangezien deze relatief voor groot gedeelte verantwoordelijk zijn voor de kosten van elektriciteit. Wegens de verheldering omtrent de mogelijke afschaffing van de salderingsregeling is uiteindelijk gekozen om de nadruk te leggen op het maximaliseren van het eigenverbruik, daar ligt in de demonstratiefase van PV-SiMS dan ook de focus op.

Energierekening



Figuur 17 Elektriciteitsrekening voor eindgebruiker in 2016 met 3500 kWh verbruik en heffingskorting verdeeld over gas en elektra

3. Doelstellingen

Bij aanvang van het project hadden we een aantal doelstellingen.

- a) het realiseren van intelligente elektronische systemen voor de koppeling van duurzame energiebronnen en batterijen aan een lokaal elektriciteitsnet;
- b) het ontwikkelen van Multi-Agent gebaseerde aanstuur- en beheertechnologie, waarmee
 - a. het locale netwerk zichzelf automatisch kan balanceren en kan interacteren met het externe elektriciteitsnet
 - b. het locale netwerk zich automatisch kan configureren, met name bij wijziging in het aantal geschakelde componenten
 - c. het mogelijk is de netwerkconfiguratie te simuleren en te optimaliseren v.w.b. de leverbetrouwbaarheid als de kosten.
- c) het doen van laboratoriumexperimenten met deze technologie, en deze geleidelijk op te schalen tot een pilot in een representatieve (woon)wijk.
- d) het komen tot een optimaal economisch model voor de investering in PV systemen voorzien van elektriciteitsopslag.

Door de implementatie van de ontwikkelde techniek in een proeftuin kunnen de projectpartners vooral uitvinden

- 1. hoe de techniek moet worden geïmplementeerd en in de praktijk werkt;
- 2. welke netwerkverbeteringen deze oplevert;
- 3. hoe de economische waarde van de techniek geoptimaliseerd kan worden en
- 4. welke zakelijke modellen bijdragen aan c.q. noodzakelijk zijn voor een economische optimalisering van het nieuwe netwerkprincipe.

Samengevat heeft PV SiMS tot doel om technologie te ontwikkelen en implementeren om duurzaam opgewekte elektriciteit bij de particuliere eindgebruiker op te slaan en te zorgen voor een zo optimaal mogelijke belasting van het elektriciteitsnet. Dit wordt gerealiseerd door afgebakende gebieden zoveel mogelijk zelfvoorzienend te laten zijn.

Het tweede doel van PV SiMS is om deze technologie te ‘embedden’ in een nieuwe zakelijke wijze van het omgaan met duurzame energieopwekking en de benodigde investeringen hierin. Er zullen diverse businessmodellen worden bestudeerd om tot een redelijke verdeling van kosten en opbrengsten te komen tussen consument, consument/producent, professionele producent en de netwerk operator.

4. Resultaten & conclusie

Qua hardware ontwikkeling in elektronica en controles is redelijk duidelijk dat het gekozen pas het snelste resultaat biedt qua veiligheid, correcte werkingen en systeem integratie maar qua financiële haalbaarheid blijft het systeem achter.

De test populatie viel relatief tegen om te contracteren aangezien het systeem op dit moment geen directe voordelen biedt aan de eindgebruiker. Door de batterij treden additionele verliezen op die niet gecompenseerd worden, daarmee verliest de eindconsument een gedeelte van zijn opgewekte energie. De deelnemers participeren vanuit duurzaamheidsoverwegingen. De meest gehoorde redenen om deel te nemen zijn gebaseerd op het gevoel van onafhankelijkheid van zowel leverancier als netbeheerder. Ter illustratie; een van de participanten is een kaasboer die zijn batterij hoopt in te zetten tijdens blackouts zodat hij tijdelijk zijn winkel kan blijven runnen. Om een rendabele businesscase te creëren voor batterijopslag bij kleinverbruikers zullen de volgende technische als beleidsaspecten moeten veranderen:

- Efficiëntie van energieopslag moet worden verbeterd. Op het moment gaat veel energie verloren in de omzetting van wissel- naar gelijkstroom en visa versa.
- Kosten zullen moeten dalen van batterijopslag. De investering zijn relatief hoog in vergelijking met de levensduur.
- Middels de salderingsregeling heeft een kleinverbruiker de beschikking over een gratis en efficiëntie batterij: het net.
- Beschikbaar worden van variabele tarieven voor kleinverbruikers. Op deze manier kan op economisch gunstige momenten energie worden opgeslagen en later worden gebruikt/verkocht. Hieronder valt tevens de allocatie deze zal plaats moeten vinden op basis van telemetrieallocatie in plaats van profielallocatie.
- Daarnaast is er de ontwikkeling dat er steeds meer volatiele bronnen invoeden op het elektriciteitssysteem. Door deze toename van fluctuerende bronnen is het de verwachting dat marktprijzen tevens meer zullen fluctueren.

Wil batterij-opslag bij kleinverbruikers een reële kans krijgen zullen bovenstaande aandachtspunten in ogenschouw moeten worden genomen. Kijkend naar bovenstaande punten zien we overall een ontwikkeling in de goede richting. Batterij-opslag voor kleinverbruikers is in ontwikkeling en biedt kansen voor de toekomst

5. Uitvoering van he project.

5.1.1. Verschillen project plan.

Buiten de eerder hier boven genoemde zaken is er maar zeer matig afgeweken van de originele plannings. Voornamelijk het uitzetten van de geplande veld test van 20 stuks is gereduceerd naar 5 stuks en de daarop volgende eindklant tevredenheidsonderzoek heeft ook niet plaatsgevonden omdat hier simpelweg geen animo voor is bij de beoogde klanten groep.

Verder hebben we wel te maken gehad met een uitloop van ongeveer 6 maanden voornamelijk veroorzaakt door eerder genoemde zaken.

5.1.2. Verschillen project kosten.

Er is een aanzienlijk budget overschrijding geweest aan de kant van zowel Greenspread als Mastervolt. De overschrijding aan de kant van Mastervolt is voornamelijk veroorzaakt door een 3 tal punten

- 1) Veel meer uren in de ontwikkeling van de hardware, dit is een duidelijke onderschatting van de hoeveelheid werk.
- 2) Het gebruikte communicatie platform IntellieWeb had last van een aanzienlijk aantal “bugs” waardoor het geheel niet fatsoenlijk getest kon worden. Vooral bij de veldtest was het gebruik van dit internet communicatie platform (Intelliweb) van groot belang.

De hier gemaakte kosten vallen voornamelijk bij de kosten Derden aangezien de ontwikkeling grotendeels door Xxxx is uitvoert.

- 3) De kosten voor het bouwen van de veld test units is iets buiten budget gegaan voornamelijk omdat er vanuit de klant niet betaald is voor deze units.

5.1.3. Vervolg

Vanuit Greenspread is het project zo interessant bevonden dat er besloten is het project een vervolg te geven in het Europese City-Zen project. Hierin zullen aanzienlijk meer batterijen worden geïnstalleerd bij huishoudens en zal de nadruk liggen op de marktkoppeling. De ervaringen die zijn opgedaan in PV-SiMS zullen hiervoor worden gebruikt. Zo zal er een koppeling worden bewerkstelligd met onder andere de APX-Endex en de onbalansmarkt van TenneT. Een van de

deelnemers van PV-SiMS is zo enthousiast dat hij in samenwerking met Greenspread op zoek gaat naar deelnemers voor het City-Zen project.

5.1.4. Kennis verspreiding

Op het moment dat dit verslag wordt geschreven, een nieuw werk op de finale stadium vóór onderwerping aan een IEEE journal. Dit werk omvat een simulatie het verkennen van de use-case van een aggregator providing de self-balancing dienst aan een BRP met behulp van de flexibiliteit van de S-PV agenten.