



*Een onderzoek over integratie van
duurzame energiebronnen in een
bestaand energienet*



Eindrapport Project I-Balance

I-BALANCE

Groningen 23 november 2015

Projectgegevens:

Ref. Nummer : TKISG01004
Projectnaam : I-Balance
Kenmerk RVO : TSE12048T0KU
Begeleider RVO: ir. O. Ongkiehong
HG code : HG00148-49
Startdatum : 01-09-2012
Einddatum : 01-09-2015
Penvoerder : Hanzehogeschool Groningen, Energie Kenniscentrum



Redactie:

Rolf Veldhuijs : Projectleider
Lech Bialek : Onderzoeker
Jeroen Jansen : Onderzoeker
Peter Heskes : Onderzoeker

Review : Henk Beuker

Met bijdragen van alle projectmedewerkers

Subsidiegever:



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Projectpartners:



DIT PROJECT IS MEDE MOGELIJK GEMAAKT DOOR
HET MINISTERIE VAN ECONOMISCHE ZAKEN



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Contents

Samenvatting	1
1. Inleiding	5
2. Organisatie van het project	11
3. Bericht over WP0 – Projectcoördinatie en disseminatie	13
4. Bericht over WP1 – Concept ontwikkeling supply side en demand side management	18
5. Bericht over WP2 – Conceptontwikkeling power electronics voor net kwaliteit en stabiliteit	39
6. Bericht over WP3 - Concept balansmodel	42
7. Bericht over WP4 – Realtime energy community monitoring – case Hooghalen Duurzaam	50
8. Conclusie	53
Literatuur	56
Annex 1 – bijdrage i-NRG aan WP1	58
Bedrijfsinformatie	64

Samenvatting

Het project. I-Balance is in september 2012 gestart als een driejarig project waarin een aantal partijen – waaronder commerciële marktpartijen en kennisinstellingen, ondersteund met subsidie - samen onderzoek doen op het gebied van smart grids.

Het centrale onderzoeksonderwerp daarin is “integratie van duurzame energiebronnen in het bestaande energienet”. In dit onderzoek is daarbij gekeken naar een decentrale smart grid oplossing.

In het I-Balance onderzoek wordt daarbij gebalanceerd over 3 verschillende assen:

1. Consumptie en productie van energie worden met elkaar in balans gebracht,
2. Productie van niet-bestuurbare en wel bestuurbare bronnen wordt gebalanceerd, en
3. Problemen in de lokale elektriciteitsbehoefte worden opgelost door het apparaten – aangesloten op het gasnetwerk te gebruiken.

Dit balanceerwerk is uitsluitend mogelijk door inzet van ICT technieken. Vandaar dat een groot deel van het werk in dit onderzoek is gericht is op noodzakelijke ICT componenten. Zoals vaak is ICT daarbij geen doel maar een middel, en is ICT daarmee noodzakelijke ondersteunende techniek. De resultaten van dit project hebben daarom ook een vrij hoog ICT gehalte. De gebruikte en deels ontwikkelde ICT technieken zijn daarmee ook bouwstenen voor gebruik in smart grids.

De samenwerkende partijen in dit project zijn (alfabetische volgorde):

- GasTerra
- GasUnie
- Kennis Centrum Energie - Hanzehogeschool Groningen
- I-NRG
- RWE Wind
- Stichting Hooghalen Duurzaam
- TNO

Project uitgangspunten en aanpak

Een aantal uitgangspunten voor I-Balance zijn:

- Onderzoek naar slimme technieken – bestaande uit combinaties van ICT en niet-ICT technieken – waarmee decentrale balancering van consumptie en productie van energie (gas en elektrisch) gerealiseerd kan worden
- Praktijk onderzoek in een realistische setting, dus met echte apparaten, systemen, huishoudens etc.
- Demonstreerbare en tastbare oplossingen en resultaten
- Opslag van energie (storage) is geen onderdeel van onderzoek

- Participatie van studenten en disseminatie van kennis in het onderwijs
- leg een basis voor verder onderzoek (ontwikkelen onderzoek infrastructuur)

Een aantal uitgangspunten is gekozen. De belangrijkste daarvan waren:

- Samenwerking met “echte huishoudens” met echte productie en consumptie profielen door samenwerking met Hooghalen Duurzaam. Doelstelling in I-Balance was om van 50 echte huishoudens consumptie (en productie) patronen (op basis van slimme metergegevens) realtime te kunnen verzamelen en gebruiken.
- De focus ligt op elektrische energie. Tekorten in de beschikbaarheid van elektrische energie, worden opgelost door gebruik te maken van de bestaande gas infrastructuur. Gas is in dit project beschouwd als “altijd beschikbaar”.
- Consumptie op huishouden niveau kan NIET DIRECT beïnvloed worden met ICT middelen. De balancering dient daardoor gerealiseerd door energie (elektriciteit) productie te managen.
- Uit diverse onderzoeken is bekend dat ICT middelen kunnen bijdragen aan het bewustzijn over energie consumptie en productie in huishoudens. Verbeterd bewustzijn zou moeten leiden tot “betere” omgang met energie in huishoudens.
- Het centrale idee in deze aanpak is dat duurzame energie bronnen (als zon en wind) wel voorspelbaar zijn, maar niet controleerbaar. Dus op het moment dat energie nodig is kan niet zeker gesteld worden, dat deze energie ook beschikbaar is (wat inhoud dat de energievoorziening niet gegarandeerd kan worden). Door deze niet controleerbare bronnen te combineren met interessante controleerbare bronnen kan een dergelijke energievoorziening echter WEL zeker gesteld worden.
- De controleerbare elektriciteitsopwekker die in dit project is gekozen is relatief nieuwe apparatuur: de BlueGen van CFCL (Ceramic Fuel Cells Limited) [18], een Solid Oxyde Fuel Cell (SOFC). In dit onderzoek is derhalve veel tijd besteed aan het kennis opdoen rond het gebruik van zo'n brandstofcel in de praktijk. I-Balance heeft uiteindelijk 9 brandstofcellen gebruikt in dit drie jaar durende project.
- Power quality (kwaliteit van energievoorziening) is als apart onderzoeksthema geadresseerd.
- Door de betrokken partijen zijn diverse technieken ingebracht die in dit project zijn gecombineerd. Dit zijn:
 - RWE wind: een 5 tal windturbines
 - Hanzehogeschool: I-Share
 - TNO: Triphase omgeving
 - I-NRG: ICT platform voor energie toepassingen (I-NRG box + management software relevant voor apparaten in dit project)
 - GasTerra: 9 SOFC brandstofcellen (Model Bluegens van CFCL)
 - GasUnie (via DNVGL) kennis rond operationele aspecten van experimentele gasapparatuur (aanleg, operations van 9 SOFC apparaten).
 - Hooghalen Duurzaam: 50 huishoudens met slimme metergegevens. Interactie met een specifieke verzameling van “echte” bewoners met interesse in duurzaamheid.

Strategische doelstellingen

- Decentrale oplossing waarin leveringszekerheid is geregeld
- Decentrale oplossing voor voorkomen van powerquality problemen
- Praktisch onderzoek naar SOFC brandstofcellen om praktische kennis en ervaring op te doen
- Ontwikkeling ICT technieken (architectuur, organisatie, componenten, ontwerp patronen, technieken, aanbevelingen) die ingezet kunnen worden in slimme energie balanceeroplossingen
- Resultaten rond omgang van een echte community met dergelijke smart grid oplossingen.
- Ontwikkelen platform (organisatie, infrastructuur, inofficiële contacten) voor verder onderzoek naar smart grids.

Financieel overzicht

De samenwerkende partijen hebben in 2012 een projectplan opgesteld – voor de periode sept 2012 tot sept 2015 – op basis waarvan eind september 2012 subsidie is toegekend. De centrale cijfers uit dit plan zijn te vinden in onderstaande tabel, in de middelste kolom de begroting van 2012. De financiële realisatie van dit project (op hoofdlijnen) is te vinden in de rechter kolom:

Naam deelnemer	Begroting (2012)	Realisatie (2015)
Hanzehogeschool	€ 446.785,00	€ 421.829,00
I-NRG	€ 198.000,00	€ 206.880,00
TNO	€ 111.066,67	€ 100.298,00
St. Hooghalen Duurzaam	€ 56.000,00	€ 37.080,00
TOTAAL	€ 811.851,67	€ 766.087,00

Belangrijkste resultaten

- Samenwerking met Hooghalen Duurzaam waarbij energie meetdata is ontvangen op een schaal representatief voor een woonwijk.
- De BlueGens zijn om diverse redenen erg interessante apparaten maar ze zijn nog niet uitontwikkeld. Verbeterpunten zijn levensduur en moduleerbaarheid van de belangrijkste component (SOFC brandstofcel). Echter ook de BlueGen softwarefunctionaliteit die in dit project beschikbaar was leverde praktische ervaringen op: mooie basis functionaliteit (voor management en rapportages) maar vooral de aansturingsfunctionaliteit moest nog gedebugged en verbeterd worden.
- In het project is een complete ICT oplossing ontwikkeld waarmee energie op wijkniveau gemanaged kan worden. Deze oplossing is ook getest. Voor de “perfectionering” en operationalisering van deze oplossing is echter meer tijd nodig (vervolg onderzoek).
- Het inrichten van en over een periode van 3 jaar beheren van een compleet fijnmazige ICT infrastructuur voor een dergelijke smart grid installatie is een complexe aangelegenheid waar Murphy 's law regelmatig toeslaat: “everything that can go wrong will go wrong”. Het analyseren en

oplossen van optredende problemen is complex en tijdrovend, waarbij soms de eenvoudigste problemen het lastigst oplosbaar zijn (door tijd & kosten).

Wat vooraf ging

In de periode 2009-2012 is het project FLEXINES uitgevoerd (<http://www.flexines.org>) waarin onderzoek is gedaan naar het gebruik van commerciële marktmechanismen om consumptie en productie van energie te balanceren. Onderdeel van dit werk was de ontwikkeling van smart grid technologie dat dergelijke balancering – tot op huishouden niveau – kon realiseren en demonstreren. Hoewel Flexines wel met reële apparatuur werkte stond alles in een laboratorium opstelling. Het project I-Balance moet gezien worden als een vervolg van Flexines.

Dr.ir. R.J. Velthuys
Projectleider I-Balance
November 23, 2015

1. Inleiding

De moderne maatschappij is erg afhankelijk van energie. Een groot deel van deze energie komt uit niet-duurzame natuurlijke bronnen (kolen, olie, gas). Er worden nog regelmatig nieuwe bronnen gevonden, en er wordt gewerkt aan technieken die bestaande voorraden kunnen aanvullen (denk aan de productie van synthetisch aardgas – power-to-gas), zodat de totale (bekende) voorraden nog wel groeien. Op termijn is het onvermijdelijk dat deze bronnen opraken: immers er zijn slechts eindige voorraden van beschikbaar, en dat energie in de toekomst uit alternatieve – duurzame – energie bronnen moet komen.

Energietransitie

Niet alleen raken bestaande bronnen op, door bevolkingsgroei, maar zeker ook door toenemende ontwikkeling en modernisering van maatschappijen in de rest van de wereld groeit tegelijkertijd de vraag naar energie. Door een hogere energievraag zullen de eindige voorraden sneller opraken, en wordt de noodzaak voor een energie transitie (van bestaande – niet duurzame fossiele - bronnen naar duurzame bronnen) groter.

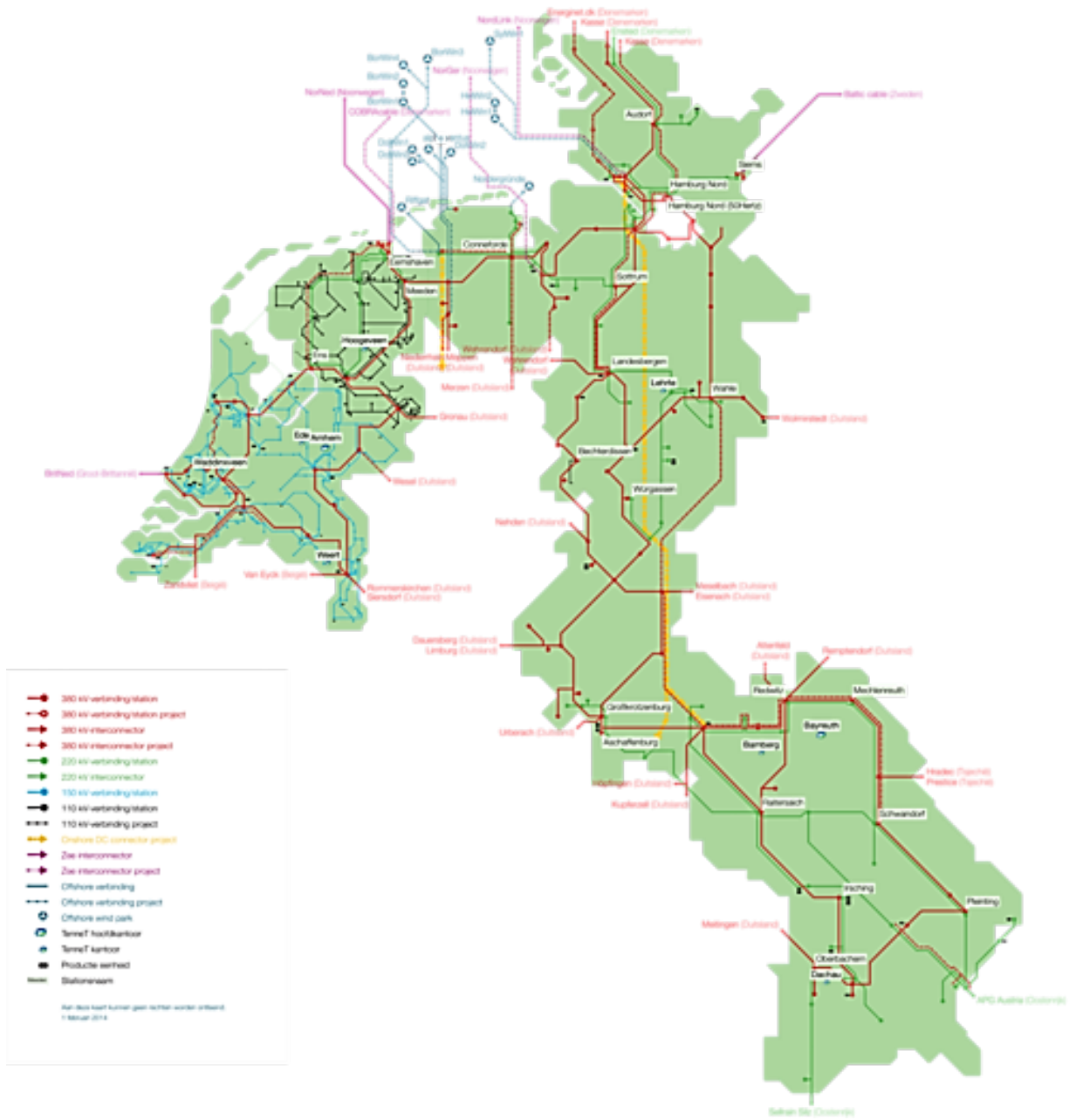
Marktmechanismen spelen daarin ook een rol: Door een toenemende vraag (bij een beperkt aanbod) gaan ook de prijzen van de niet duurzame brandstoffen omhoog, hierdoor wordt het minder interessant om energie uit duurzame bronnen te gebruiken. Door grootschaliger uitrol worden de technieken nodig voor het produceren van duurzame energie goedkoper en worden duurzame energiebronnen steeds meer een interessant alternatief.

Energieketen

De energievoorziening zoals deze nu bestaat kan gekenschetst worden als een “centraal” gestuurd model. Vanaf grote “centrale” productie locaties wordt energie via eerst een transport netwerk naar de diverse regio's gebracht en dan lokaal gedistribueerd (middels een distributienetwerk) naar de consumptielocaties. Deze consumptielocaties kunnen bedrijven zijn, maar ook huishoudens, openbare gebouwen of overslagpunten (laadstations).

De productie locaties (elektrische energiecentrales, gas productie stations) vergen grootschalige investeringen en organisaties om deze rendabel en efficiënt te kunnen exploiteren.

Het elektrische transportnetwerk in Nederland en een deel van Duitsland is onder beheer van TENNET (www.tennet.eu) – zie [Figuur 1](#). Het bevat de hoogspanningsleidingen waarover de elektrische energie wordt getransporteerd.



Figuur 1: Europees transportnet van TENNET (bron <http://www.tennet.eu/nl/nl/net-projecten/elektriciteitsnet.html>)

Voor gas bestaat er een vergelijkbaar netwerk (zie Figuur 2). Hier is het Gasunie die verantwoordelijk is voor het transport.



Figuur 2: hogedruk gasleiding net Nederland (bron <http://www.GasUnietransportservices.nl/en/downloads-en-forms>)

In deze netwerken geldt dat productie en consumptie aan elkaar gelijk moeten zijn: deze moeten worden “gebalanceerd”. In de praktijk betekent dat vooral dat de productie afhankelijk wordt gemaakt van de vraag; dus, hoe meer consumptie, hoe meer energie er ook bij geproduceerd moet worden. In die zin is de productie dus “vraag gestuurd”.

Productie en consumptie moeten in balans zijn op deze energienetwerken. Het balanceren op deze grootschalige infrastructuren is daarom voor zowel TENNET alsook GasUnie een centrale verantwoordelijkheid.

Decentrale & duurzame opwek van energie

In de afgelopen jaren zijn diverse technieken ontwikkeld waarmee op decentrale locaties zelf met zon (middels zonnepanelen) en wind (windturbines) elektrische energie opgewekt kan worden.

Mensen/huishoudens zijn daardoor in staat om – voor een deel – in de eigen energie behoefte te voorzien. Interessant hieraan is dat mensen/huishoudens ervoor kiezen om te investeren in dergelijke technieken. De redenen hiervoor zijn divers, maar interessant is dat puur economische factoren (lees Business case) vaak minder bepalend zijn: mensen nemen genoegen met minder rendement en langere terugverdientijden maar vinden het belangrijk dat ze daardoor duurzamer worden in hun leefpatroon.

Ook in de maatschappij wordt duurzaamheid steeds belangrijker gevonden en de overheid stimuleert ook dat mensen & bedrijven duurzamer worden, bijvoorbeeld doormiddel van subsidieprogramma's.

Het aantal huishoudens met zonnepanelen groeit, en ook het aantal windturbines groeit in Nederland, en daarmee groeit het aandeel aan duurzaam opgewekte energie in Nederland.

Nadelen van duurzame opgewekte energie

Duurzaam opgewekte energie – op basis van zon en wind – levert een aantal belangrijke uitdagingen voor de integratie van deze energie in het energienetwerk. Deze betreffen (1) onbalans van het energie netwerk, (2) oncontroleerbaarheid productie patronen en (3) onvoorspelbare consumptie patronen:

- (1) **Alleen onder ideale omstandigheden produceren zonnepanelen en windturbines hun maximale vermogen.** In de Nederlandse praktijk komen dergelijke ideale omstandigheden zelden voor. Daardoor wordt het maximale vermogen van dergelijke apparatuur daardoor meestal niet gehaald.
- (2) **Zon en wind zijn niet controleerbaar:** doordat de zon en de wind niet te besturen zijn is de energie die er met deze energiebronnen wordt geproduceerd ook niet te besturen. Negatief geformuleerd: net als er energie behoefte is, is de energie niet beschikbaar. Denk bijv. aan zonne-energie is 's nachts niet beschikbaar terwijl er juist dan behoefte is aan elektrische verlichting.
- (3) **De met zon en wind geproduceerde hoeveelheid elektriciteit kan erg fluctueren:** De opbrengsten fluctueren per dag en per seizoen (zomer, lente & herfst, winter). Daarnaast fluctueert de opbrengst ook op basis van lokale omstandigheden (denk aan wolken die voor de zon schuiven)
- (4) **Negatieve beïnvloeding van Power Quality[19]:** het elektrische energienetwerk wordt geacht een stabiel signaal af te geven, of, met andere woorden, een goede "kwaliteit" te hebben. Door fluctuerende energiebronnen aan te sluiten op het netwerk wordt de powerquality negatief beïnvloed. Als voorbeeld; als de zon achter de wolken vandaan komt kunnen zonnepanelen opeens significant meer stroom leveren, wat een stroomstoot (power surge) oplevert. De zonnepanelen geven dit door aan het netwerk, en het netwerk weer aan andere aangesloten apparatuur.
- (5) **Organisatorisch moeilijk controleerbaar:** in de afgelopen periode zijn grootschalige structuren ontstaan die de maatschappij steeds meer ont zorgden in hun energievoorziening. Nu steeds meer mensen zelf investeren in eigen energie bronnen zijn er ook steeds meer partijen die als energie

leverancier optreden. Dat betekent ook dat het aantal partijen die de energiebalans op het net – en waarmee afspraken gemaakt moet worden om de balancering goed te kunnen doen - groter wordt.

Huishoudens zetten (vanuit netwerk perspectief gezien) kleine vermogens neer aan zonnepanelen, daarmee is de invloed van een individueel huishouden op het energie netwerk ook klein. Echter met het groeien van het aantal opwekinstallaties, groeit de invloed van hoeveelheid energie en hun invloed op de “powerquality” in het netwerk ook. Het balanceren zelf – en het zorgen voor correcte power quality – wordt daarmee voor de verantwoordelijk netwerk beheerder ook weer ingewikkelder. Verwacht mag worden dat de netwerk beheerder t.z.t. significant zal moeten investeren in speciale infrastructuur om de negatieve effecten van de duurzaam opgewekte energie op de powerquality te corrigeren.

De betrouwbaarheid en beschikbaarheid van de energievoorziening in Nederland is – met de huidige inrichting van het energienetwerk erg hoog, dat komt tot uiting in het aantal minuten per jaar dat een huishouden gemiddeld geen stroom heeft. In 2014 was dat 3 minuten per huishouden per jaar [20]. Momenteel besteden de netwerkbeheerders 800 miljoen EURO per jaar aan het verbeteren van het netwerk.

Voor het energienetwerk is een van de belangrijkste uitdagingen het evenwicht behouden (balanceren) van vraag en aanbod van elektriciteit. Met meer aangesloten duurzame energiebronnen zijn grotere fluctuaties te verwachten, en mag verwacht worden dat het balanceren van het netwerk ook sneller reagerende balanceer installaties vergen. Wat ook invloed gaat hebben op de investeringen die de netwerkbeheerders moeten doen. Daarom is onderzoek naar invloed van zon en wind op powerquality ook een relevant onderwerp.

Oplossingsrichtingen: I-Balance

I-Balance (ik balanceer) zoekt de oplossing door te balanceren over een aantal verschillende dimensies. Daarbij balanceert I-Balance:

- (1) vraag en aanbod van (elektrische) energie zodat het netwerk in balans kan blijven,
- (2) niet-controleerbare (duurzame) bronnen (zonnepanelen, windmolens) met controleerbare (minder duurzame) bronnen zodat samen de juiste hoeveelheid energie geproduceerd kan worden, en
- (3) het elektriciteitsnetwerk en het gasnetwerk: tekorten in de elektriciteitsvoorziening worden opgelost door gas gevoede apparaten.

De oplossingen die onderzocht zijn in het project maken gebruiken van technieken als

- meten
- voorspellen
- aansturen & bijsturen

Dit moet niet alleen opgepakt worden voor energie productie & energie consumptie, maar ook voor een onzichtbare belangrijke factor: power quality. Essentieel daarbij is ook hoe mensen met dit soort technologie omgaan.

Een belangrijke enabler om te kunnen balanceren is ICT (informatie & communicatie technologie). Meten, voorspellen en aansturen & bijsturen kan alleen met ICT worden ingericht (met technieken die vroeger bekend stonden als “meet en regeltechniek”).

Project inrichting

Het project heeft een aantal keuzes gemaakt die bepalend zijn voor onderzoek inrichting & onderzoek:

- (1) Praktische onderzoekopstelling @ EnTranCe in Groningen, met daarin echte energie producerende apparaten en echte (energie consumerende) huishoudens (in Hooghalen). Doelstelling was om met een 5-tal verschillende windturbines te werken, met zonnepanelen, met 9 SOFC's en een 40 tal aangesloten huishoudens uit Hooghalen Duurzaam.
- (2) De SOFC's waren ook een belangrijke keuze: het zijn apparaten waarmee op huishouden niveau elektrische energie opgewekt kan worden, waarbij twee aspecten belangrijk zijn: (1) het zijn gas gebaseerde apparaten met een hoge efficiëntie in het omzetten van aardgas in elektriciteit en warmte en (2) het waren apparaten die snel konden op en afregelen (flexibele aansturing).
- (3) Op zoek naar kleinschalige oplossingen: individuele huishoudens maken zelf investeringskeuzes waarbij voor “eigen” consumptie energie producerende apparaten aangeschaft worden (windturbines & zonnepanelen). De Bluegen SOFCs leveren – als ze het hele jaar gebruikt worden om energie te produceren – eigenlijk ook teveel energie voor 1 huishouden; het is dan ook de moeite waard om te onderzoeken of inzet van deze apparaten op wijkniveau (bijv. gezamenlijk aangeschaft door 4 huishoudens, of door een lokale energie community als Hooghalen Duurzaam) interessant is.
- (4) Onderzoek naar toepassing van eenvoudige ICT technieken en oplossingen in huishoudens.
- (5) Onderzoeken van de noodzakelijke ICT infrastructuur om technieken rond meten, voorspellen en aansturen & bijsturen in de praktijk te ontwerpen, te realiseren en te beheren. Met vooral meten & bijsturen moet met relatief fijne granulariteit gebeuren, omdat duurzame energie in een korte tijdspanne erg kan fluctueren.
- (6) Behoeftes van deelnemers aan een energie community als Hooghalen Duurzaam.
- (7) Onderzoek naar de invloed van duurzame energie bronnen op de Power Quality van een netwerk.

Een belangrijke doelstelling was ook om in dit project infrastructuur in te richten waarmee in de toekomst vervolg onderzoek uitgevoerd kon worden.

In dit document ...

... lichten we de structuur van het project toe waarbij het werkpakket is verdeeld over 5 verschillende workpackages, vertellen per workpackage waar het onderzoek uit heeft bestaan en wat de belangrijkste resultaten & bevindingen waren. Tot slot de belangrijkste bevindingen en ervaringen op project niveau, en de conclusies.

2. Organisatie van het project

Betrokken partijen

Bij de inrichting van het I-Balance project is een consortium van partijen gevonden die samen deze problemen wilden oplossen.

#	Partij	Motivatie	Rol
1	GasTerra	Gemotiveerd om te onderzoeken hoe gas gebaseerde technieken ingezet kunnen worden om energie transitie mogelijk te maken. Daarbij zeer geïnteresseerd in praktische ervaringen – over een langere periode – met een nieuw veelbelovend type apparaat: de CFCL BlueGen – een Solid Oxyde Fuel Cell.	Financier van relevante equipment (SOFC BlueGen)
2	GasUnie	Gemotiveerd om te onderzoeken hoe gas gebaseerde technieken ingezet kunnen worden om energie transitie mogelijk te maken.	Financier van beheer voor het runnen van een aantal BlueGens. Heeft ook kennis ingebracht over het veilig inrichten en runnen van een onderzoek omgeving met daarin een groep van 9 nieuwe apparaten (SOFC brandstofcellen)
3	Hanzehogeschool Groningen – Kenniscentrum Energie	Gemotiveerd in het uitvoeren van praktisch en toepasbaar onderzoek in energie transitie met de focus op decentrale oplossingen (People in power)	Actief onderzoek
4	I-NRG	Gemotiveerd in het ontwikkelen van een ICT product (de I-NRG Box) dat gebruikt kan worden in energie installaties waarbij diverse apparaten gemonitord en aangestuurd moeten worden	Actief onderzoek
5	RWE Wind	Gemotiveerd in praktisch onderzoek rond een aantal windturbines, mede om te bepalen of deze geschikt zijn voor praktische inzet. In het project kon mede een duurttest worden gedaan.	Leverancier/Financier van specifieke duurzame energiebronnen.
6	Stichting Hooghalen Duurzaam	Stichting Hooghalen Duurzaam wil meewerken om naar een duurzamer dorp (Hooghalen) toe te groeien. Voor dit project ligt de focus op technieken om lokaal zoveel mogelijk passend energie op te kunnen wekken (om daarmee zelfvoorzienend te kunnen worden). Een belangrijke element van het onderzoek is daarbij om te onderzoeken hoe het samenspel “stichting”, “deelnemers” en “gebruikte technologie” gebruikt kan worden om de doelstelling van “Hooghalen Duurzaam” te halen.	Deelnemende huishoudens die investeren in noodzakelijke technologieën (zonnepanelen & tijd).
7	TNO	Gemotiveerd in het doen van praktisch onderzoek naar power quality issues bij de energietransitie	Leverancier van een test installatie, en het doen van praktisch onderzoek.

Tabel 1: deelnemende partijen

Workpackages overzicht

Dit project bestaat uit de volgende workpackages:

WP0 - Project coördinatie en disseminatie

WP1 – Concept ontwikkeling supply side en demand side management

WP2 – Concept ontwikkeling power electronics voor net kwaliteit en stabiliteit

WP3 – Concept ontwikkeling balansmodel

WP4 – Real Time energy community monitoring – case Hooghalen Duurzaam

3. Bericht over WP0 – Projectcoördinatie en disseminatie

Inleiding

WP0 is het workpackage verantwoordelijk voor project coördinatie en disseminatie. In deze sectie wordt uitgelegd hoe we het project organiseerden, welke prioriteiten zijn gesteld, welke relevante ontwikkelingen plaatsvonden, welke projectkeuzes zijn gemaakt en welke activiteiten zijn ontplooid.

Jaar 1 – oktober 2012 – september 2013

Na ontvangst van de ministeriele beschikking zijn we meteen aan de slag gegaan. Op het



Figuur 3: foto van I-Balance cabines op EnTranCe



Figuur 4: inhoud van Cabine 1: 2 Bluegen's en een warmtebuffer

Zernike complex ten noord-westen van de stad Groningen is de energie proeftuin van de Energy Academy “EnTranCe” (Energy Transition Center) van start gegaan. In de eerste “cabins” op EnTranCe (zie foto's hierboven uit januari 2013) stond de praktische opstellingen van I-Balance de SOFC brandstofcellen (CFCL Bluegens) opgesteld. Dit was apparatuur die door GasTerra is gefinancierd, en GasUnie heeft de operationele begeleiding door KEMA (nu DNVGL) mogelijk gemaakt.

Niet alleen moesten de apparaten worden opgesteld en geïnstalleerd (door getraind personeel van Enexis) ook de complete infrastructuur (gas, water, elektriciteitsaansluiting, afvoer) nodig voor het operaten van de BlueGens moest worden ontworpen en gerealiseerd.

Naast de brandstofcellen zijn ook de windturbines die nodig waren in het project opgesteld. Op onderstaande foto's is de opstelling van de 5 windturbines te zien. De windturbines die gebruikt werden in het project waren een selectie als door RWE wind geleverd. In een schakelhuis naast de windturbines stonden slimme meters (1 per windturbine) en de i-NRG stations die de P1 poorten van deze slimme meters uitlazen en de data opslaan (en later in het project: ook doorgeven aan I-Share).



Figuur 5: opstelling van windturbines op EnTranCe



Figuur 6: ICT infrastructuur rond Windturbines

Een ander onderdeel van de infrastructuur op EnTranCe is de ICT omgeving die ook vanaf het begin van I-Balance op EnTranCe aanwezig moest zijn. Ook deze moest vanaf niets worden opgebouwd.



Figuur 7: de eerste componenten van ICT op EnTranCe



Figuur 8: een van de eerste I-Balance project vergaderingen

Op deze ICT omgeving zijn de resultaten geïnstalleerd van het project I-Share [9]; effectief een eerste versie van een ICT omgevingen voor het werken met energie profielen. In I-Share konden de meet gegevens van de windturbines en brandstofcellen op minuut basis worden geregistreerd.

Rond de brandstofcellen is ook een meetopstelling¹ gerealiseerd, met daarin sensoren die in staat zijn om gas afname, warmte afgifte en elektriciteitsproductie vast te leggen. Deze gegevens werden in I-Share

¹ De meetopstellingen zijn ook bruikbaar voor andere WKK installaties. Op EnTranCe zijn ook andere opstellingen gepland die van vergelijkbare meetopstelling gebruik maken.

geregistreerd. Ook de PLC computer in de brandstofcellen zelf is uitgelezen en ook die gegevens werden in I-Share geregistreerd. In het eerste jaar is veel werk gedaan om deze opstellingen en registraties mogelijk te maken.

Terwijl op EnTranCe overlegd werd over de ICT architectuur en hoe diverse componenten gerealiseerd moesten worden, moest ook het tweede deel van de praktijk opstelling van het project in gang gezet worden: het aansluiten van ongeveer 50 huishoudens in Hooghalen. Hiervoor moest de afgesproken hardware (i-Care aansluit box) worden besteld, en moesten de installaties ook worden gerealiseerd bij de deelnemers van de stichting "Hooghalen Duurzaam".

Doelstelling was om ook van alle huishoudens energieprofielen te kunnen vastleggen (dus, het verkrijgen van realistische profielen). Dit hield in dat 50 huishoudens gevonden moesten worden die mee wilden doen in de proef: hoewel de stichting Hooghalen Duurzaam wel deze huishoudens had toegezegd, waren de huishoudens zelf nog niet gevonden, en moesten alle afspraken – betreffende installatie en deelname voorwaarden - nog gemaakt worden. Daarvoor moest het I-Balance project team van de Hanzehogeschool op een gezamenlijke avond in Hooghalen komen vertellen. Uiteindelijk hebben 42 huishoudens zich opgegeven.

Een onderdeel van de afspraken die gemaakt zijn was gericht op het waarborgen van de privacy van de deelnemende huishoudens. In I-Share worden de energieprofielen van de huishoudens geanonimiseerd opgeslagen, maar er zijn verder geen persoonlijke gegevens van de huishoudens vastgelegd. Dit soort afspraken zijn ook in een document vastgelegd dat is opgesteld in samenwerking met Dorhout Advocaten in Groningen.

Een ander traject dat in gang is gezet is de realisatie van de zonnepaneel opstelling op EnTranCe. In het eerste jaar van I-Share zijn daarvoor designs en ontwerpen gemaakt, en zijn ook bestellingen gedaan.

Op de Hanzehogeschool is ook een eerste studie gedaan naar hoe balancerings met de beschikbare componenten eruit zou kunnen zien. Een verslag daarvan is te vinden in [4].

In dit eerste jaar is ook een begin gemaakt met het werk rond WP2 - Power Electronics. Op de proeflocatie op RenQi is een opstelling van TriPhase gerealiseerd. Dit is een opstelling waarmee twee zaken gerealiseerd kunnen worden:

- Enerzijds kan het gedrag van een echt netwerk gesimuleerd worden.
- Anderzijds kan het ook gebruikt worden om Power Quality problemen in een netwerk tegen te gaan.

De opstelling is bijgedragen door TNO en is in dit eerste jaar geïnstalleerd en ge-upgrade naar een weer werkende versie. Dit werk heeft ook een eerste studie opgeleverd op dit gebied [5].

Jaar 2 – oktober 2013 – september 2014

De ontwikkelingen die in het eerste jaar in gang gezet zijn verder opgepakt in het tweede jaar van I-Balance:

- Het testen van de meetgegevens die we uit de brandstofcellen en windturbines verkregen. Dit vergde ook intensieve samenwerking met i-NRG (WP3)
- Het aansluiten van huishoudens uit Hooghalen Duurzaam op I-Share, door bij mensen thuis slimme meters te plaatsen en technologie om deze uit te lezen. Specifiek is ook samengewerkt met EnergQ (leverancier van i-Care) voor het aanleveren van meetgegevens aan I-Share.
- Er is verder gewerkt aan het realiseren van de zonnepanelen opstelling op EnTranCe.

De doelstelling van I-Balance is integratie van duurzame bronnen in het bestaande energienet. Dit moet gedaan worden door niet controleerbare – maar wel voorspelbare – bronnen te combineren met een bestuurbare bron: de brandstofcel. Deze brandstofcel moet dan wel – middels een ICT systeem aangestuurd kunnen worden. Vandaar dat er een project in gang is gezet om de brandstofcellen aan te kunnen sturen middels de beschikbare ICT interface (BlueGen API).

Dit project heeft in een opstelling geresulteerd waarmee de I-Share omgeving voorzien kon worden van meetgegevens direct uit de brandstofcellen. Echter: het aansturen van de brandstofcellen bleek – in eerste instantie – in de praktijk niet te werken volgens de specificaties en documentatie van de fabrikant.

Een tweede project is opgestart om – op basis van meetgegevens “typicals” op te stellen die bruikbaar waren in het aansturen van de brandstofcellen. Resultaten van deze studie zijn te vinden in het werktuigbouw afstudeerverslag van Marc Greuter [3].

Het bleek dat de brandstofcellen – doordat ze intensief werden gemoduleerd - sneller kapot gingen dan verwacht. Er waren goede afspraken gemaakt met de leverancier over vervanging, maar uiteindelijk hebben we ook afspraken moeten maken over het limiteren van onze modulering. Die afspraak is vastgezet op dat we konden moduleren tussen 1400 en 1500 watt (en niet als verwacht 500 W en 2 KW). Voor ons ICT logica leverde dat wel een beperking op, maar geen fundamentele: immers we konden nog steeds moduleren.

Er is veel moeite gestopt in het verbeteren van de I-Share ICT omgeving, en op het verbeteren van de interfaces met de diverse apparaten. Regelmatig zijn verstoringen in de datastromen geconstateerd die dan ook opgespoord en gerepareerd moesten worden. Bij een van deze verbeteringen hebben we ook een keer een flink kwaliteitsprobleem gehad: niet goed werkende code werd op de productie omgeving van I-Share geïnstalleerd. Daardoor heeft het uitlezen van de gegevens uit de slimme meters in Hooghalen effectief een half jaar stil gestaan.

Ook zijn verdere plannen gemaakt – inclusief werving van een docent onderzoeker – om de TriPhase opstelling te gebruiken om power quality gedrag van de diverse opwekkers (zonnepanelen, windmolens, brandstofcellen) met de TriPhase opstelling te bepalen.

De zonnepanelen opstelling mocht uiteindelijk NIET gerealiseerd worden, omdat deze werd gezien als onderdeel van de aanbesteding voor het bouwen van de nieuwe EnTranCe gebouwen. Daardoor hadden we op EnTranCe een opstelling met alleen windturbines als “duurzame bronnen”. Gelukkig zijn er in Hooghalen Duurzaam in dezelfde tijd veel huishoudens geweest die gezamenlijk zonnepanelen hebben

laten installeren. Een nadeel voor het project was wel dat deze zonnepanelen achter de slimme meters van de huishoudens zaten, waardoor we geen afzonderlijke metingen hadden over de met zonnepanelen opgewekte energie, alleen wat er per saldo wordt terug geleverd aan het netwerk.

Ook zijn in dit jaar eerste studies gedaan naar literatuur over balancerings-ideeën en zijn eerste eigen algoritmen ontwikkeld om te balanceren. Deze werkten alleen nog in modelvorm (en niet in combinatie met I-Share) of met de echte installaties.

In het tweede jaar zijn Human Technologies studies in gang gezet om te onderzoeken hoe de community Hooghalen Duurzaam zou kunnen profiteren van ingezette ICT technologie (WP4). Dit werk heeft uiteindelijk geresulteerd in twee afstudeeropdrachten [7][8] met adviezen aan HHD.

Ook is een studie naar het design van PowerQuality Management Device in gang gezet. Op het moment van schrijven is er helaas alleen een draft afstudeerrapport beschikbaar.

Jaar 3 – oktober 2014 – september 2015

Hoewel we 2014 enthousiast waren begonnen hebben we toch te maken gehad met een aantal tegenslagen die eerst overwonnen moesten worden:

- (1) Niet meer werkende datastromen vanuit Hooghalen naar I-Share, waardoor voor een belangrijke periode allerlei meetgegevens niet meer werkten
- (2) Het vertrek van de docent onderzoeker op WP2, die we helaas niet goed hebben kunnen opvangen.
- (3) Uitval van een flink aantal meetinstallaties bij huishoudens waardoor we minder meetgegevens binnenkregen. Uiteindelijk zijn er 22 gerealiseerd waarvan slechts 10 installaties continue bruikbare gegevens opleverden.
- (4) Het aansturen van de Bluegens middels ICT interfaces was tegen verwachting in niet gelukt: het uitlezen en communiceren met de BlueGens werkte wel, echter aanstuur instructies werden niet uitgevoerd.

De meeste problemen hebben we tijdig kunnen verhelpen, en in januari 2015 hebben we echte doorbraak gehad doordat het ons lukte om de brandstofcellen instructies te geven. Het bleek dat we een aantal fouten in de BlueGen API (en aanpalende documentatie) hebben gevonden. Vanaf dat moment hebben we ook onze balancerings algoritmen kunnen testen met live data van huishoudens (met en zonder zonnepanelen) en de BlueGen SOFCs

In de periode maart 2015 tot juli 2015 zijn de algoritmes verfijnd tot we in juli 2015 een uiteindelijke versie hebben opgeleverd. Deze software heeft de hele zomer tot oktober 2015 gedraaid. Op basis van die software zijn ook de belangrijkste grafieken geproduceerd voor het I-Balance eindrapport.

In de periode augustus 2015 tot november 2015 is gewerkt aan een standalone versie van I-Balance en aan het eindrapport.

4. Bericht over WP1 – Concept ontwikkeling supply side en demand side management

Inleiding

WP1 is getrokken door de Hanzehogeschool, en heeft met alle project deelnemers moeten samenwerken. In WP1 is al het werk terecht gekomen dat gerelateerd was aan het realiseren van de gewenste onderzoekopstelling. Deze wordt in de volgende sectie toegelicht. In de tweede sectie wordt uitgelegd welke databewerkingen (aggregaties en voorspellingen) zijn uitgevoerd – gebruik makend van de I-Share omgeving, en hoe die gebruikt zijn om te balanceren. Aan het eind van dit hoofdstuk een sectie met informatie over de in dit project ontwikkelde ICT omgeving.

Onderzoekopstelling

De onderzoekopstelling bestond uit 3 onderdelen, te weten

- (1) de I-Share ICT omgeving

en de praktijk opstellingen bestaande uit

- (2) de consumptie locatie in Hooghalen en
- (3) de energie productie locatie op EnTranCe in Groningen.

Ook is historische weesinformatie van het KNMI gebruikt.

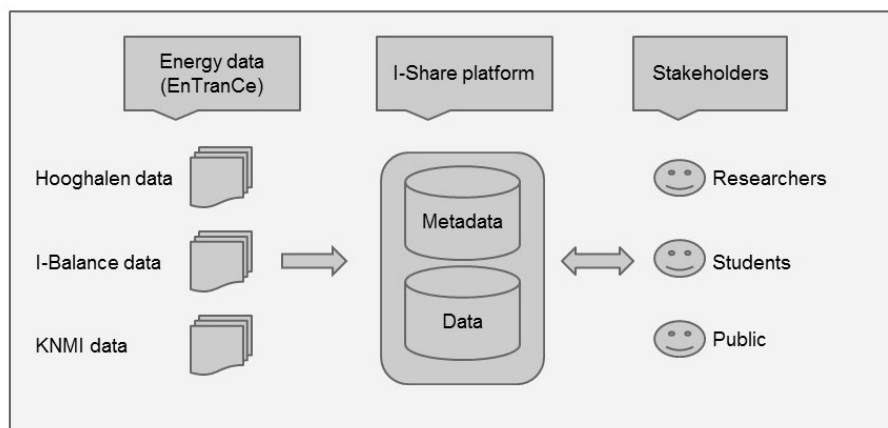
ICT infrastructuur – I-Share

In het I-Share project – uitgevoerd van 2013 tot 2014 - is een systeem opgezet voor het verzamelen, opslaan en beschikbaar stellen van energie profielen als “open data”. De site is toegankelijk via een website, met als URL <http://I-Share.hanze.nl> (ref [3]). De I-Share omgeving kan gezien worden als een faciliteit die beschikbaar is voor onderzoeksprojecten waarin energiegegevens geregistreerd moeten worden. Op dit moment bevat I-Share meetgegevens van meerdere onderzoeksprojecten; in totaal een 70 tal objecten met per object een aantal datastromen die bepaalde sensor gegevens vastleggen op (meestal) minuten basis. Ook het project I-Balance maakt gebruik van deze EnTranCe faciliteit. Tijdens het I-Balance project zijn ook een aantal I-Share functionaliteiten verbeterd.

Voor I-Balance verzamelt I-Share gegevens van de praktijk opstelling in Hooghalen Duurzaam, en van de CFCL BlueGen SOFC brandstofcellen en RWE



windmolens die op EnTranCe zijn geïnstalleerd. Daarnaast wordt ook historische weerinformatie verkregen van het KNMI.



Figuur 9: I-Share overview

Van elk “object” (Hooghalen huishoudens/smart meter, SOFCs, windmolens) is meta informatie aanwezig (die vastlegt welke data het is, wat de eenheid is waarmee de data wordt vastgelegd, bij welk project het hoort, etc.). Daarnaast wordt per object een aantal sensoren met een bepaald tijdsinterval (meestal 1 minuut) een meting vastgelegd. Per dag levert dat per sensor dan $24 * 60 = 1440$ metingen op. Van sommige objecten leggen we 30 sensor reeksen vast.

De opgeslagen informatie is daarna voor ICT toepassingen beschikbaar. Een voor de hand liggende toepassing is het zichtbaar maken van deze informatie aan gebruikers. In de volgende secties zijn diversie grafieken gebruikt die met I-Share zijn gemaakt.

Onderzoekopstelling – consumptie kant

In de I-Balance praktijkonderzoekopstelling werd samengewerkt met de stichting Hooghalen Duurzaam (HHD). De stichting heeft uiteindelijk 40 huishoudens uit Hooghalen bereid gevonden om actief mee te doen aan het project. Bij deze huishoudens zijn slimme meters geïnstalleerd door de netbeheerder, waarmee het energie gebruik van deze huishoudens gemeten kon worden.

Bij de deelnemende huishoudens is i-Care technologie (van het Groninger bedrijf EnerGQ) geïnstalleerd. Dit betreft een iCare apparaat dat de P1 poort van de slimme meters uitleest; elke minuut wordt een elektriciteitsmeting gedaan, en elk uur een gasmeting. Deze metingen geeft het iCare apparaat door aan het EnerGQ datacentrum; tegelijkertijd worden deze metingen ook (geanonimiseerd) doorgegeven aan het I-Balance project deel van het I-Share systeem. Elke smart meter wordt in I-Share door een eigen entiteit weergegeven; en is in I-Share geïdentificeerd als “smart meter 1” tot “smart meter 22”. Andere gegevens van de smart meter worden om redenen van privacy in I-Share niet vastgelegd.

Voor alleen het I-Balance project ontvangt I-Share 22 individuele gegevensstromen², met per smart meter 1 keer per minuut de volgende 5 gegevens:

- (1) Elektriciteitsproductie in piektarief periode
- (2) Elektriciteitsproductie in daltarief periode
- (3) Elektriciteitsconsumptie in piektarief periode
- (4) Elektriciteitsconsumptie in daltarief periode
- (5) Gas consumptie (1 keer per uur voor een deel van de huishoudens).

Per uur levert dit per huishouden dus 61 meetwaardes op, per dag $24 * 60 = 1440$. Daarmee is voor het I-Balance project precies genoeg vast te leggen wat het energie patroon van elk huishouden is.

Details

URL: Link

Contact Name: EnerGQ

Contact Email: info@energq.com

Contact Phone: +31505248370

Begin Date: November 11, 2013

Description

Name

Hooghalen Duurzaam

Related entities

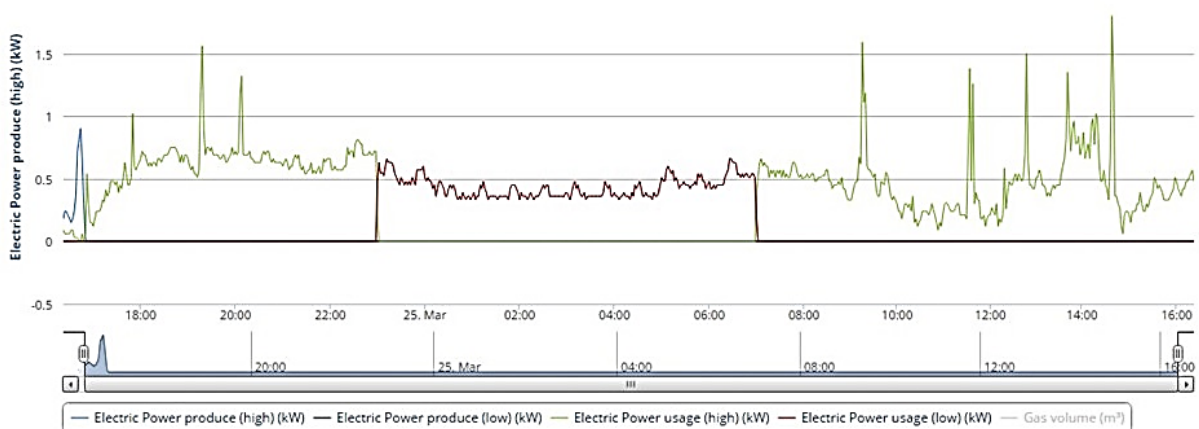
This page shows all entities which are related to the selected project. The entities can be sorted by clicking on the column name. Also there is a possibility to filter the results, on the left, to make a more specific list. When an entity is clicked on, the page shows all the sensors and data related to this entity.

Filters	ID	Name	Type	Manufacturer	Description	Model	Location	Start	End
Name:	22	Smart meter 2	Household				Hooghalen	2013-11-27	
<input type="text" value="Name"/>	64	Smart meter 4	Household				Hooghalen	2014-01-08	
Type:	65	Smart meter 5	Household				Hooghalen	2014-01-08	
<input type="text" value="All"/>	66	Smart m			Description:		Hooghalen	2014-01-08	
	67	Smart m			This is one of the 22 households of which we collect data on electricityproduce and - usage.		Hooghalen	2014-01-08	
	68	Smart m					Hooghalen	2014-01-08	
	69	Smart m		KlantID = 342			Hooghalen	2014-01-08	
	70	Smart meter 10	Household				Hooghalen	2014-01-08	

Figuur 10: overzicht van objecten in I-Share en meta data voor huishouden

De energie informatie van de huishoudens wordt in de I-Share omgeving opgeslagen, Zie onderstaande figuur voor een voorbeeld van het tonen van deze data. .

² Hoewel 40 huishoudens deelname hebben toegezegd, en installatie van het iCare apparaatje eenvoudig is zijn er uiteindelijk slechts 22 tot installatie overgegaan. Bij een deel van de huishoudens zaten er veel storingen en uitval in de gemeten signalen, waardoor uiteindelijk slechts 10 echt bruikbare datastromen overgebleven en gebruikt zijn in de algoritmen in het project.



Figuur 11: energieprofiel van een huishouden uit Hooghalen Duurzaam

In figuur 11 is voor een 24 uren periode (van 24 maart 2015 17:00 uur tot 25 maart 17:00) getoond hoe voor huishouden 4 in Hooghalen het energiepatroon eruit zag. De grafiek toont dus 1440 meetpunten voor deze 24 uren periode. In rood is daarbij energie consumptie in daluren (laag tarief) te zien, en in groen de energieconsumptie in piekuren (hoog tarief).

Toelichting: dit huishouden vraagt 's avonds en 's nachts vrij constant rond de halve kW met enkele kort durende uitschieters naar boven de 1.5 kW. Overdag op 25 maart is het patroon lager en grilliger; dit komt doordat dit huis ook zonnepanelen heeft geïnstalleerd die overdag (dit betreft een lente dag) nog niet veel energie produceren.

Aan het begin van het project I-Balance in 2012 waren er nauwelijks zonnepanelen in Hooghalen; vandaar dat de metingen aan het begin van het project eigenlijk alleen elektriciteit consumptie lieten zien. In de loop van het project heeft HHD een gezamenlijke zonnepanelen inkoopactie uitgevoerd, waarbij een aantal aangesloten huishoudens ook zonnepanelen heeft gekocht en laten plaatsen. Dit is zichtbaar in de meetgegevens.

Onderzoekopstelling – productie kant

Voor het I-Balance project werd duurzame energie geproduceerd worden met zonnepanelen en windturbines (gefinancierd door RWE Wind). Daarnaast werd ook gebruikt gemaakt van brandstofcellen. Deze opstellingen worden in het volgende toegelicht.

De volgende mini windturbines zijn geïnstalleerd en met slimme meters en I-NRG technologie (i-NRG box) op I-Share aangesloten:

- (1) Ampair Type 600
- (2) Fortis Type Passat
- (3) SkyStream Type 3.7
- (4) Lakota Type 1000

Een 5^e windturbine is wel geïnstalleerd, maar heeft een storm niet overleefd, en is daarom in het verdere onderzoek niet meegenomen.

Net als voor de huishoudens uit Hooghalen zijn er reeksen met meetgegevens van deze windturbines in I-Share opgenomen, waaronder de energie opbrengst.

Als bestuurbare energiebron zijn brandstofcellen gekozen, en wel Solid Oxide Fuel Cells, van het type BlueGen gemaakt door fabrikant CFCL (zie ook <https://bluegen.net/> - in 2015 is CFCL overgenomen door SolidPower – zie <http://www.solidpower.com/>). Deze apparaten hebben een maximaal elektrisch vermogen van 2kW. Ze zetten gas om in Elektriciteit en warmte en doen dat met hoge efficiëntie.



Figuur 4: een geopende BlueGen SOFC brandstofcel

De brandstofcellen kunnen worden gemoduleerd tussen 500 W (min) en het maximale vermogen van 2 kW.

Middels een ICT interface (API – Application Programming Interface) kunnen de brandstofcellen worden aangestuurd met ICT commando's of worden uitgelezen.

Op EnTranCe zijn 8 brandstofcellen geïnstalleerd in 4 verschillende cabins.

Daarbij zijn de brandstofcellen aangesloten om hun elektriciteit aan het lichtnet te leveren, en de geproduceerde warmte wordt in een warmte vat opgeslagen. 4 brandstofcellen hebben eigen warmtevatens gekregen, en 4 machines zijn op een gedeeld warmtevat aangesloten (als op de hieronder getoonde foto). Elke brandstofcel is op twee manieren aangesloten op I-Share:



Figuur 12: opstelling van 2 Bluegens met 1 gedeeld warmtevat

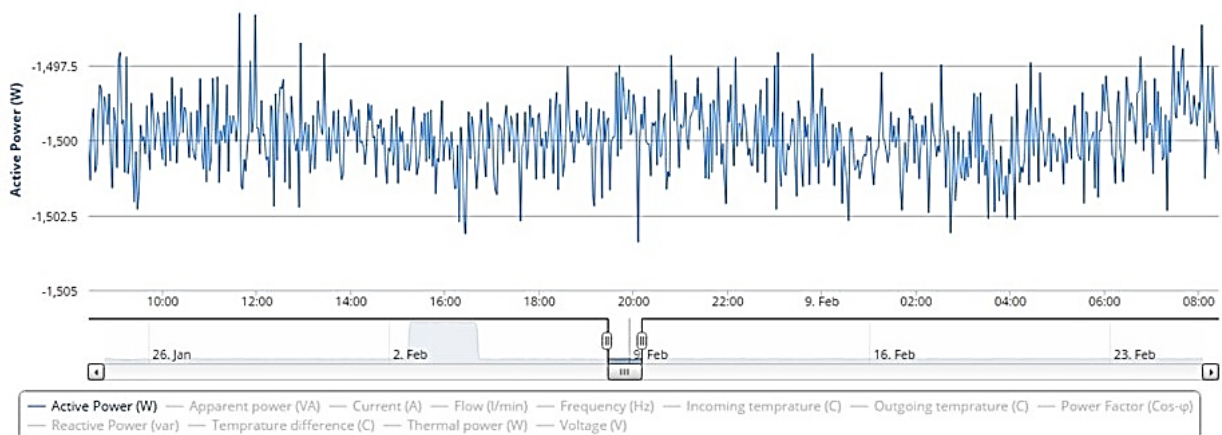
Er is precieze meetapparatuur om elke brandstofcel geplaatst op alle voor dit onderzoek relevante aansluitingen. Hiermee kunnen zaken worden gemeten (met onafhankelijke geijkte apparatuur) als “gasafname” jaar ook elektriciteitsproductie, warmteafgifte etc.

Daarnaast kan een deel van deze informatie ook worden uitgelezen middels de al eerder genoemde BlueGen interface (API).

In het I-Balance project zijn beide mechanismen gebruikt (in via I-Share inzichtelijk).

De CFCL BlueGen's moeten worden gezien als relatief nieuwe – maar interessante – technologie. Een deelopdracht van het onderzoek was dan ook om praktische ervaring op te doen met deze apparaten. Een verslag hiervan is te vinden in [13]. De belangrijkste lessen die voor I-Balance uit [13] zijn getrokken zijn:

- (1) De brandstofcellen kunnen erg efficiënt zijn in het omzetten van gas in elektriciteit en warmte. Afhankelijk van de opstelling is 80% tot meer dan 90% efficiency mogelijk. Daarbij moet wel gebruik gemaakt worden van geproduceerde elektriciteit en warmte – I-Balance heeft de focus op Elektriciteit.
- (2) De BlueGen brandstofcellen beschikken over een uitgebreide API met daarin diverse functies. Veel van de functies zijn vooral voor monitoring en beheer relevant. Een van de functies is voor het instellen van de elektriciteitsproductie, deze functie kon alleen gebruikt worden voor het instellen van het te leveren elektrisch vermogen - op warmte-output kan de brandstofcel niet worden aangestuurd.
- (3) Als de brandstofcellen een bepaald vermogen leveren, leveren ze een stabiel signaal, met weinig (maar wel enige) fluctuatie. De brandstofcellen regelen echter zelf dat het geleverde vermogen constant blijft (en hoeven extern gecorrigeerd te worden).

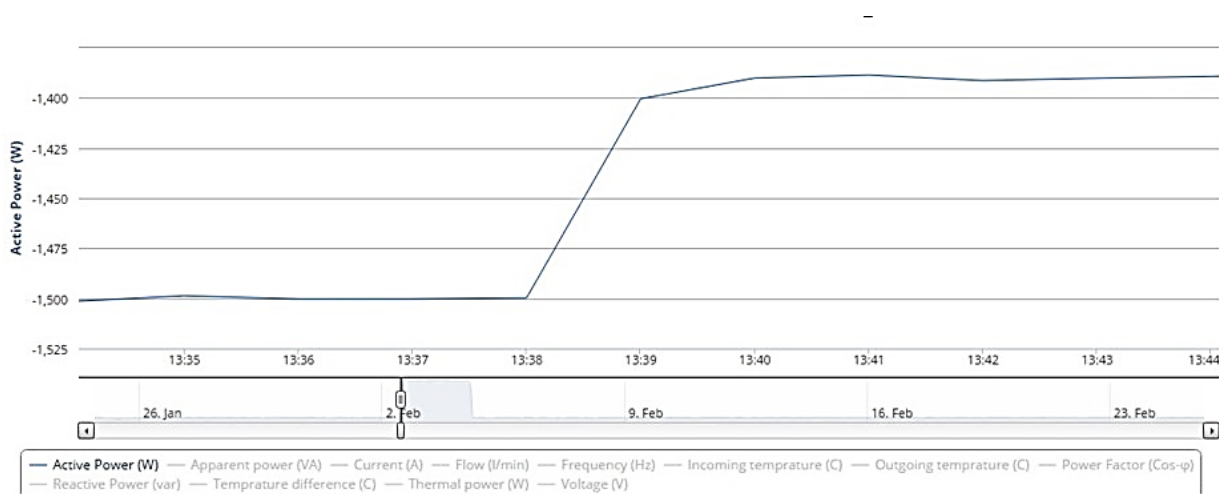


Figuur 13: Continuïteit van output van BlueGen bij een instelling van 1500 W te leveren vermogen

- (1) Over een vrij brede range is de efficiency redelijk constant. Het optimale vermogen wordt geleverd bij ongeveer 1500 W.
- (2) De BlueGen's zijn ontworpen voor Always on installation: hoewel deze SOFC's wel degelijk uitgezet kunnen worden is een dat een operatie waarbij de eigenlijke fuelcell in het apparaat afkoelt - van een reguliere operating temperatuur van tussen 700 en 900 graden Celsius – naar kamertemperatuur. Een dergelijke afkoeling (en daarna weer opwarming) is niet bevorderlijk voor de levensduur van de cel en dient daarom vermeden te worden.
- (3) Met de fabrikant CFCL zijn limieten afgesproken over hoe de brandstofcellen aangestuurd mochten worden. Dit om te voorkomen de fuelstacks zouden sneuvelen tijdens het project. Omdat

verschillende generaties fuelstacks zijn gebruikt zijn er ook per BlueGen verschillende limieten afgesproken.

- (4) Als de brandstofcellen worden gemoduleerd (op- of afregelen van het vermogen) dan gaat de efficiency voor een periode van ongeveer 10 minuten flink achteruit. Voor het project is daarom gekozen om – in woonwijk setting – de apparaten niet meer dan 6 keer per dag te moduleren: dat levert dan 1 uur per dag inzet met lage efficiency op. De resterende 23 uur, is echter wel efficiënt.
- (5) De rampup/down snelheid is 133 w/minuut.



Figuur 14: ramp up/down snelheid van 133 w/minuut

Uiteindelijk stond er een vrij uitgebreide elektriciteitsproductie opstelling op EnTranCe, bestaande uit de brandstofcellen en hun warmtevaten, met de bijbehorende nuts infrastructuur (aansluitingen op gas-, water- en elektriciteitsnetwerken - en afwatering). Daarnaast ook een (geïjkt) sensoren netwerk met achterliggende ICT client-server omgeving. De praktische realisatie van de hele opstelling en het operationeel houden daarvan gedurende de looptijd van het I-Balance project – heeft het project een flinke inspanning gekost.

Deze opstelling maakte het echter wel mogelijk om met echte apparaten te werken, en om modellen te maken op basis van echte apparaten. Dergelijke modellen zijn in de ICT uitwerking ook gebruikt als “virtuele” brandstofcellen.

Door de praktische beperkingen van de echte brandstofcellen was het voor het project zinvol om een model (virtuele BlueGen’s) te maken dat gebruikt kon worden in simulaties. De belangrijkste elementen uit dit model zijn

- Status (Aan/Uit/Storing etc.)
- Power (W) (werkelijke output op dit moment)
- Setpoint (W) (gewenste output in de toekomst)
- Energy Export (Wh) (Meterstand)

- Ramp (133w/m vast, maar zou dynamisch moeten zijn volgens de specificatie van CFCL werkt echter in de praktijk niet)

Een voordeel van een model is ook dat allerlei specificaties naar behoefte aangepast kunnen worden, hierdoor heeft het project ook naar wat andere gedragspatronen gekeken die mogelijk interessant zijn als “eisen” voor verdere ontwikkeling van de BlueGen (een voorbeeld daarvan is: snellere rampup tijd).

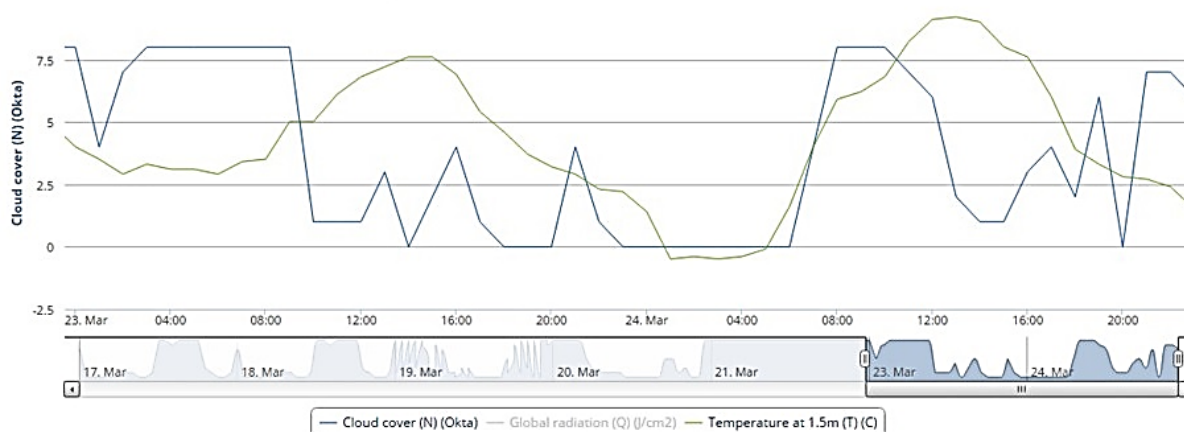
De Virtuele BlueGen logt zijn power export in Watt en Watt/uur in I-Share en wordt verder op dezelfde manier aangestuurd al een echte BlueGen. Daarmee kan deze (net al een echte BlueGen) ook worden gemoduleerd om een gewenst elektriciteitsoutput te produceren. Een belangrijk voordeel is ook dat de virtuele brandstofcellen niet kapot kunnen gaan.

Onderzoekopstelling – extra informatie weer & KNMI

Binnen het project is meer informatie verzameld. Er is ook gebruikt gemaakt van een weerstation (waarvan de data via een I-NRG station werd uitgelezen en doorgegeven aan I-Share).

Daarnaast is een web service (API) van het KNMI gebruikt waar I-Balance historische weergegevens van het KNMI mee kon verkrijgen. Deze zijn gebruikt in het I-Balance algoritme voor het correleren van de typische energievraagpatronen van de huishoudens met het weer.

In volgende grafiek zijn twee aspecten zichtbaar die relevant zijn voor het voorspellen van de opbrengst van zonnepanelen: de mate waarin de lucht is bedekt met wolken (Cloud cover) en de luminositeit.



Figuur 15: KNMI data inzichtelijk via I-Share

Gekozen tijdsinterval

In het project is gebruik gemaakt van een tijdsinterval van 15 minuten. De belangrijkste redenen om dit te doen zijn:

- Op de onbalans markt wordt ook gewerkt met een tijdsinterval van 15 minuten. Hoewel de onbalansmarkt in dit project niet verder is meegenomen, is de verwachting voor de toekomst dat

energie commodity's op grotere schaal energie kunnen afnemen en toevoegen en spelers op de onbalansmarkt kunnen zijn.

- Voor het leefpatroon in huishoudens is een verdeling in kwartieren al voldoende precies (zeker voor dit project) – hiermee kan energie comfort redelijk goed geregeld worden.
- De waarde van 15 minuten kan in de ontwikkelde programmatuur makkelijk naar boven of beneden worden aangepast – het is een configurabele instelling. In vervolg onderzoeken kan bepaald worden of andere waarden betere resultaten opleveren.

Een in dit project – door tijdgebrek - niet meer gebruikte overweging is dat de efficiëntie van de brandstofcel na een modulatie opdracht – voor een periode van 10 minuten – sterkt verminderd. Daarom wilde het project slechts een beperkt aantal keren per dag wilden moduleren. Een 6 tal keer per dag moduleren komt daarbij overeen met een **typisch leefpatroon** en daardoor bepaald energiegebruik in huishoudens:

- **'s nachts omlaag** regelen naar een minimum stand (afschakelen en afkoelen moet worden voorkomen) – dit komt overeen met wanneer bewoners naar bed gaan.
- **'s morgens omhoog** regelen naar een medium stand – dit komt overeen met wanneer bewoners opstaan, thee zetten, broodroosters aanzetten, licht gebruiken.
- **In de loop van de ochtend weer lager** regelen – dit komt overeen met waar mensen het huis verlaten om elders dingen te gaan doen. In een deel van de huishoudens blijven mensen achter (stofzuigen, muziek luisteren, ...)
- **Vlak voor de middag omhoog regelen:** er is weer meer energie nodig, veel mensen komen naar huis om te koken en te eten.
- **Eind van de middag verder omhoog regelen:** mensen komen thuis en gaan koken, gebruiken ovens.
- **In de loop van de avond weer omlaag regelen:** het energie gebruikende koken & afwassen is gedaan, in de loop van de avond is energie nodig voor hobby's, verlichting, TV kijken etc.

Bovenstaande schakelpatroon kan verfijnd worden door veel preciezer te schakelen, echter dat zou ook efficiency verlies opleveren.

Ontwikkelde aansturingsmethode

De binnen I-Balance ontwikkelde aansturingsmethode is gebaseerd op een aantal aannames:

- Het energie gebruik van huishoudens is redelijk te voorspellen omdat mensen leven volgens leefpatronen. Hoewel elke dag natuurlijk anders is, is het mogelijk om een voorspelling van energie gebruik voor een bepaalde dag te maken door leefpatronen van vergelijkbare (voorgaande) dagen te combineren.
- Conform doelstelling van Hooghalen Duurzaam worden de brandstofcellen geregeld met een aansturingsstrategie waarbij alleen in lokale energiebehoefte wordt voorzien (lokaal balanceren). Een andere strategie zou kunnen zijn om de brandstofcellen maximaal te laten produceren (waarmee

Hooghalen Duurzaam van bijv. een hoge terugleververgoeding zou kunnen profiteren). Een dergelijke financiële winststrategie is hier echter niet gebruikt, dat zou echter zeker een overweging zijn als Hooghalen Duurzaam een commerciëlere filosofie zou hebben.

In de binnen I-Balance ontwikkelde methode werden twee cycli gebruikt. Een kwartiercyclus waarin de aansturing van de brandstofcellen bepaald werd, en een dag cyclus om allerlei statistische gegevens bij te werken.

Aansturingscyclus:

Elk kwartier of wel 4 keer per uur/ 96 keer per dag:

(1) **Actuele situatie bepalen:**

- a. **Datacollectie op individuele slimme meter basis:** collectie en verwerken van slimme meter data uit Hooghalen: 10 huishoudens met 10 continue data stromen op minuten basis
- b. **Aggregeren op wijkniveau:** sommeren van de energie vraag van deze data stromen op minuten basis. Dit levert de actuele energievraag (of aanbod) op wijkniveau op.

(2) **Voorspellen van energievraag voor komend interval:** I-Balance algoritme voor bepalen elektriciteitsvraag voor komende 15 minuten blok, gebaseerd op:

- a. 24 uren voorspelling (op basis van voorgaande dag)
- b. Trendbepaling energievraag (wiskundige berekening)
- c. Historisch profiel (statistische benadering)

Combinatie/weging van 3a/b/c bepaalt voorspelde energievraag voor volgende 15 minuten blok

(3) **Verschil actuele situatie/voorspelling bepalen:** de wens situatie & voorspelling worden gebruikt om te bepalen of er een energie tekort of energie overschot is. Als er een energietekort of overschot is moet de aansturing van de brandstofcellen worden aangepast: bij een tekort moeten de brandstofcellen zo worden aangestuurd dat ze meer elektriciteit leveren, bij een overschot worden ze omlaag geregeld.

(4) **Aansturing individuele brandstofcellen bepalen:**

- a. opvragen huidige status en limieten van alle brandstofcellen
- b. verdelen van de elektriciteitsvraag over de "vloot" brandstofcellen volgens de gekozen strategie/optimalisatie (of zoveel mogelijk brandstofcellen maximaal laten draaien = hoogste efficiëntie OF zo veel mogelijk brandstofcellen tegelijk moduleren voor snellere modulatie 8 x 133W/minuut is het zelfde als met 1064 W/minuut moduleren maar consequentie is minder hoge elektrische efficiency en hogere slijtage door vaker moduleren)
- c. Elke van de in het project gebruikte brandstofcellen instellen op het gewenste elektrische vermogen.

Dagelijkse cyclus om statistieken bij te werken:

Elke dag:

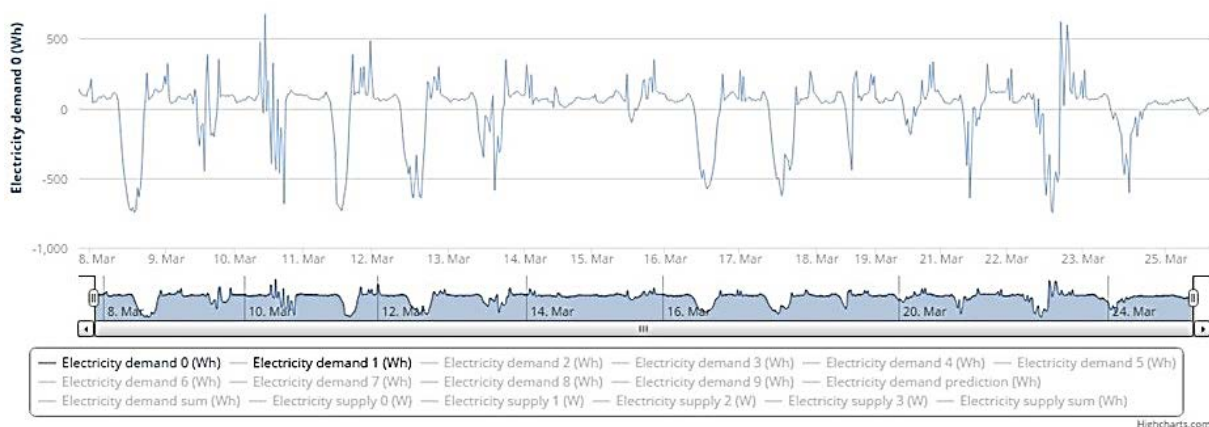
- (1) Om middernacht worden de “weekdag typicals” bijgewerkt met energie vraag per kwartier = 96 waarden per dag. Deze typical is opgeslagen als een komma-gescheiden bestand (CSV) voor snelle toegang.
 - a. Voor elke dag van de week MA–ZO is een dag typical opgesteld
 - b. Elke kalender maand heeft een aparte typical om rekening te houden met seizoensinvloeden
- (2) Elke middag om 13:37 worden van de vorige dag de historische weergegevens van het KNMI opgehaald en opgeslagen in I-Share.

In elke stap worden de resultaten in I-Share opgeslagen zodat ze inzichtelijk kunnen worden gemaakt.

Uitwerking van de methode met I-Share:

De resultaten van elke bewerking zijn in I-Share terug te vinden. In deze sectie laten we de resultaten zien aan de hand van I-Share grafieken.

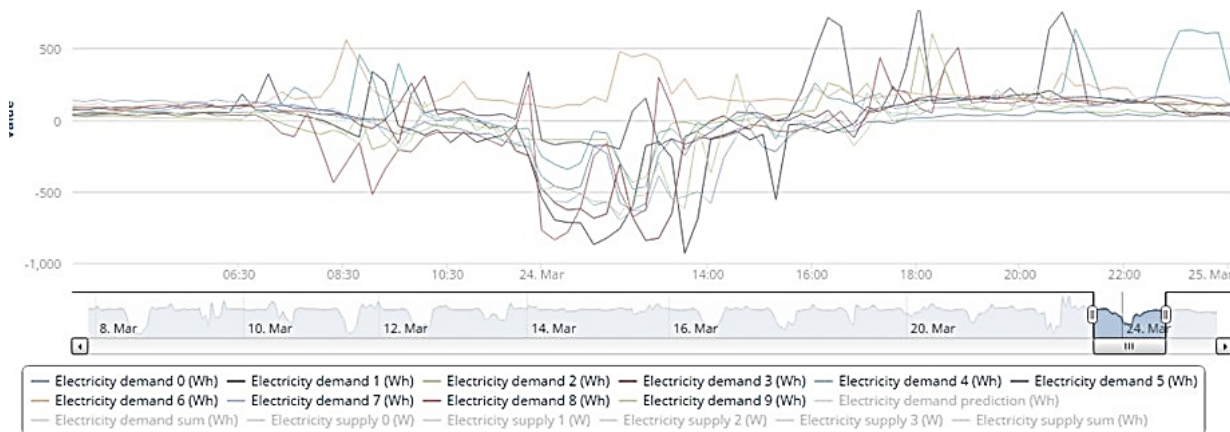
Door over een langere periode een huishouden te volgen (met gegevens uit de slimme meter) kan ook een patroon over een langere periode worden opgesteld. Hieronder een grafiek die het energie gebruik laat zien van 1 huishouden (stap 1A) over een periode van 8 tot 25 maart 2015. De grafiek maakt gebruik van de 1440 dagelijkse meetpunten die voor een huishouden is vastgelegd.



Figuur 16: resultaat van stap 1a uit de aansturingscyclus: het beeld voor 1 van de huishoudens

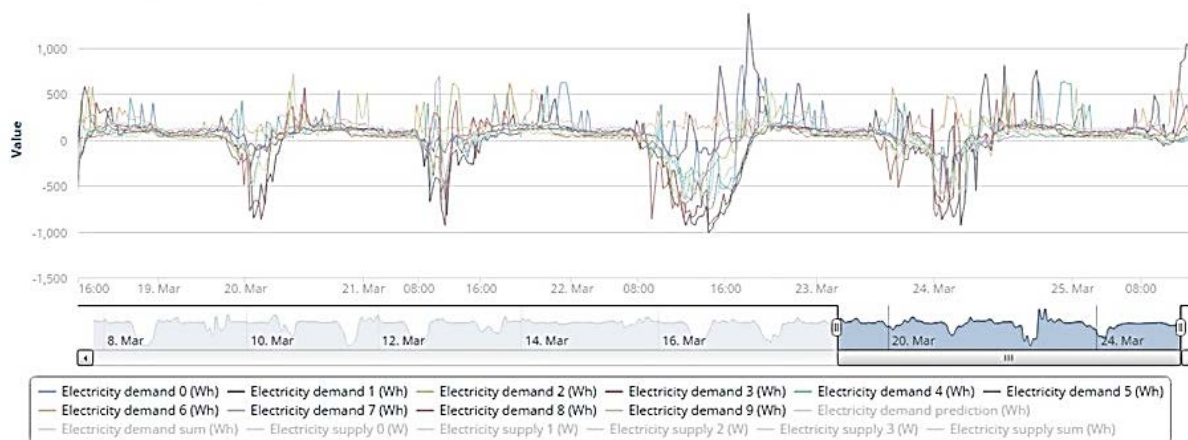
Dit huishouden had zonnepanelen (vandaar de “negatieve” scores in elektriciteit vraag) waarmee op een flink aantal dagen in pieken meer energie werd geproduceerd dan gevraagd. Te zien is ook dat het huishouden een gemiddeld vraag patroon had van pm 200 W, met een paar uitschieters naar 500 W. Het huishouden lijkt daarmee niet erg actief geweest te zijn.

Door gegevens van meerdere huishoudens te combineren kunnen ook verzamel en totaal grafieken bepaald worden. De volgende figuur bevat voor 10 huishoudens voor een (1) vierentwintig uren periode (24 maart 2015) de energiegegevens (energy demand).



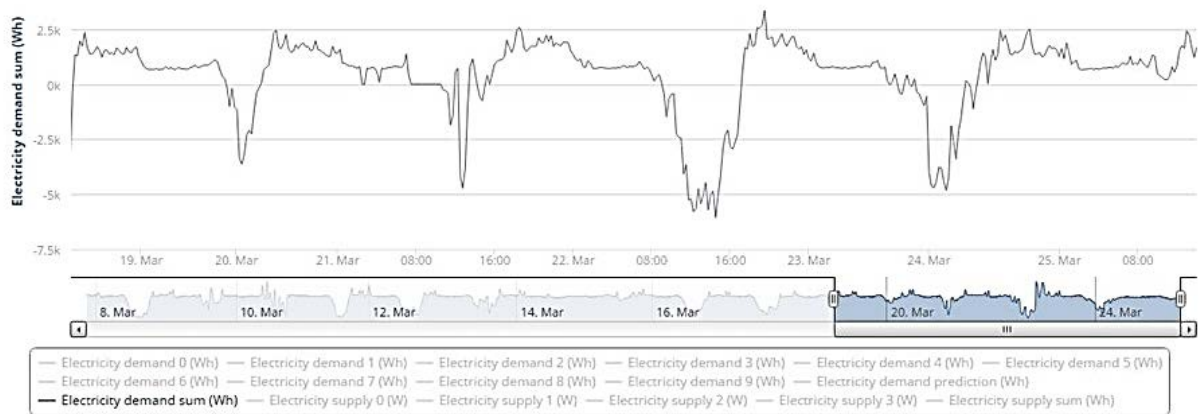
Figuur 17: resultaat van stap 1a uit de aansturingscyclus: de weergaves voor 10 huishoudens

Ook voor langere periodes kunnen dergelijke grafieken worden opgesteld met de in I-Share beschikbare energie gegevens. De volgende figuur (figuur 18) bevat een weergave voor de periode van 4 dagen voor 10 huishoudens. In deze grafiek is al een patroon te herkennen van dag en nacht leefpatronen. Veel van de deelnemende huishoudens hebben zonnepanelen geïnstalleerd waarmee overdag veel elektriciteit werd geproduceerd.



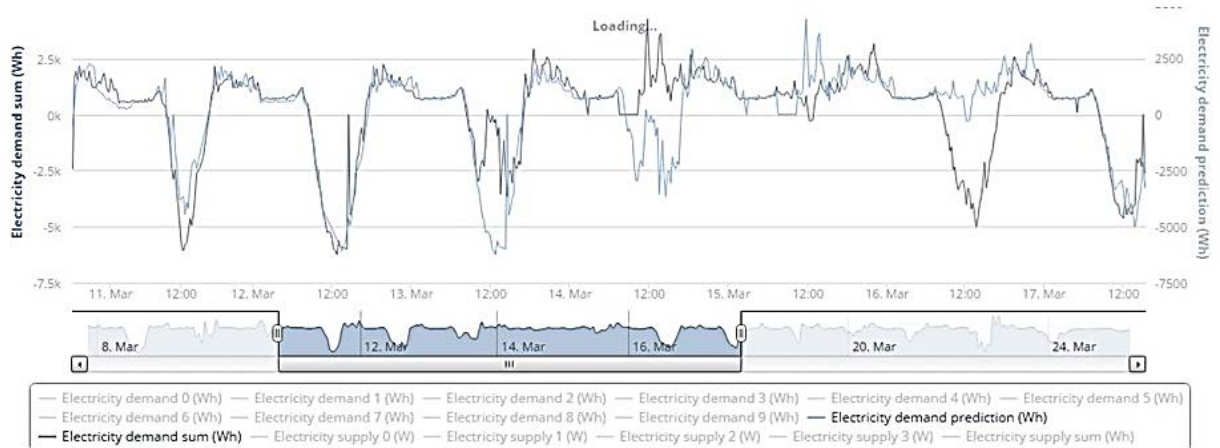
Figuur 18: geaggregeerd meerdere huishoudens over 1 week – ingezoomd

Door de reeksen van huishouden gegevens bij elkaar op te tellen is een nieuwe grafiek geproduceerd (zie figuur 19) die de gezamenlijke energievraag weergeeft over een periode van 4 dagen weergeeft (zie Figuur 20).



Figuur 19: stap 2 uit de aansturingscyclus: de voorspelling van energiebehoefte

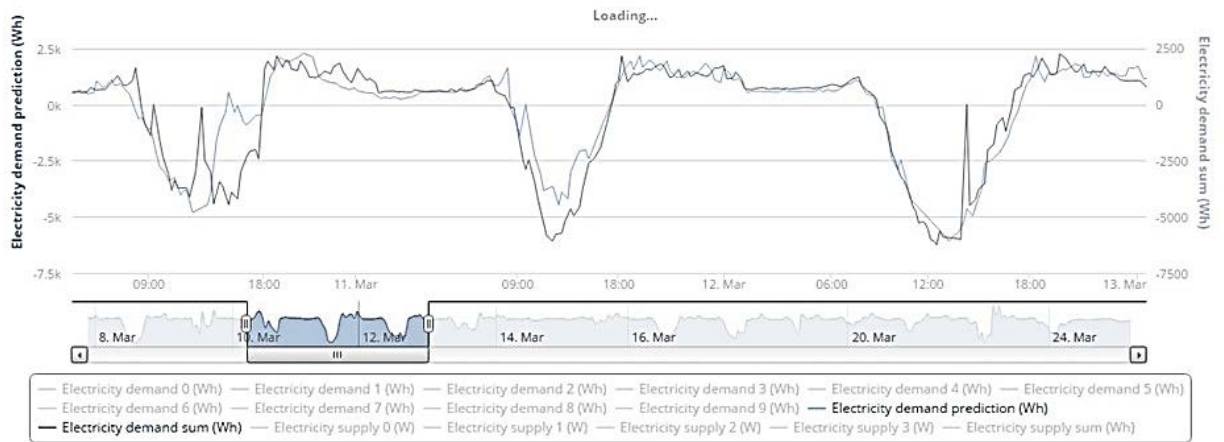
Door de variatie in de profielen van de 10 afzonderlijk huishoudens op te tellen ontstaat dit vraag profiel, het is leuk om te zien dat het minder grillig is dan de individuele profielen omdat kleine verschillen elkaar opheffen/uitdempen. De verwachting is – maar dat kon binnen dit project niet meer geverifieerd worden – dat dit dempingseffect sterker wordt als de meetgegevens van meer huishoudens worden gecombineerd.



Figuur 20: voorspelling tegen werkelijkheid voor deelnemende huishoudens

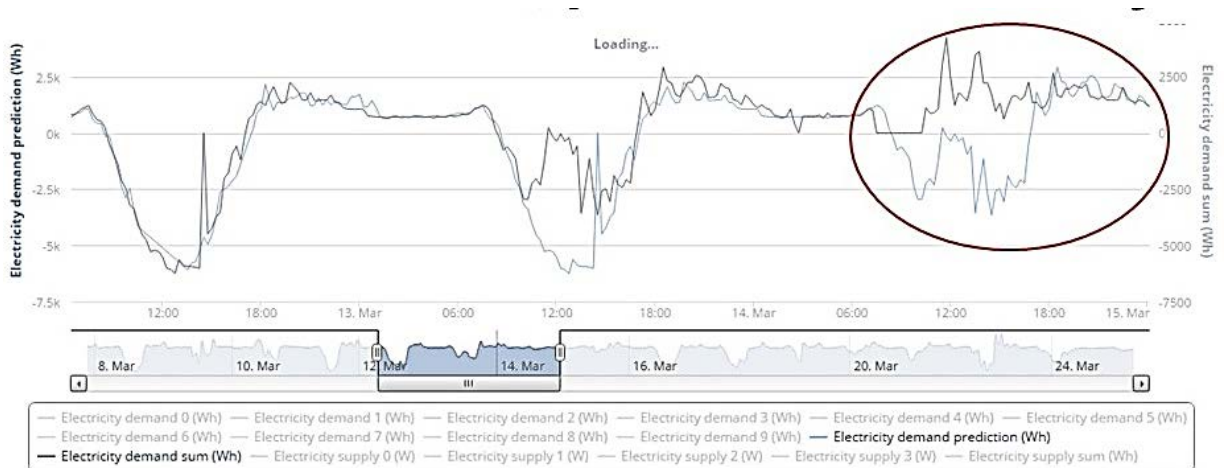
De voorspellingen hebben we vervolgens tegen het werkelijke gemeten energiegebruik uitgezet (zie figuur 8). Hoewel we ook significante verschillen zien, zijn (bijv. op 13 maart rond de middag) is er ook voor meerdere langere periodes (bijv. 11 tot 13 maart) een heel duidelijke overlap te zien met slechts kleine verschillen. De hier getoonde grafiek gebruikt een voorspelling was op basis van 24 uur geleden (voorspelling van vandaag is puur gebaseerd op energiegebruik van gister) en is de meest eenvoudige waar het project mee begonnen is! Dit bleek al vrij accuraat te kunnen zijn maar heel gevoelig voor weersveranderingen, ofwel als het weer gelijk blijft is het betrouwbaar.

In verschillende iteraties is het voorspellingsalgoritme telkens verbeterd, waarbij de opeenvolgende versies van het algoritme telkens verbeterd werden. De volgende grafiek laat al een betere match zien tussen voorspelling en realiteit.



Figuur 21: Redelijk goed kloppende voorspelling

Het algoritme is zeker niet perfect, op 13 en 14 maart zijn (overdag) significante verschillen te zien, die voornamelijk te maken hebben met de weersituatie (de opbrengst van zonnecellen).



Het KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut – www.knmi.nl) biedt een website aan waar weersinformatie te verkrijgen is. I-Balance heeft informatie opgehaald vanuit KNMI en die als aparte metingen in I-Share opgeslagen. Daarna zijn de voorspellingsalgoritmen verder ontwikkeld die nu ook rekening houden met (1) zonsvoorspellingen en (2) temperatuur voorspellingen.

KNMI public climate research data

```

1 # SOURCE: ROYAL NETHERLANDS METEOROLOGICAL INSTITUTE (KNMI)
2 # Comment: These time series are inhomogeneous because of station relocations and changes in observation techniques.
3 <http://www.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/homogeen_260/index.html> or the Central Netherlands Temperature
4 <http://www.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/CNT/>.
5 #
6 #
7 # STN      LON(east)  LAT(north)  ALT(m)  NAME
8 # 280:      6.586    53.125     3.50    EELDE
9 #
10 # YYYYMMDD = date (YYYY=year,MM=month,DD=day);
11 # HH       = time (HH uur/hour, UT. 12 UT=13 MET, 14 MEZT. Hourly division 05 runs from 04.00 UT to 5.00 UT);
12 # N       = Cloud cover (in octants), at the time of observation (9=sky invisible);
13 # Q       = Global radiation (in J/cm2) during the hourly division;
14 # T       = Temperature (in 0.1 degrees Celsius) at 1.50 m at the time of observation;
15 #
16 # STN,YYYYMMDD,  HH,  N,  Q,  T
17 #
18 280,20150301,  1,  7,  0,  55
19 280,20150301,  2,  8,  0,  57
20 280,20150301,  3,  8,  0,  61
21 280,20150301,  4,  8,  0,  52
22 280,20150301,  5,  8,  0,  53
23 280,20150301,  6,  8,  0,  60
24 280,20150301,  7,  8,  0,  75
25 280,20150301,  8,  8, 14,  79
26 280,20150301,  9,  8, 47,  82
27 280,20150301, 10,  6, 96,  86
28 280,20150301, 11,  6, 91,  93

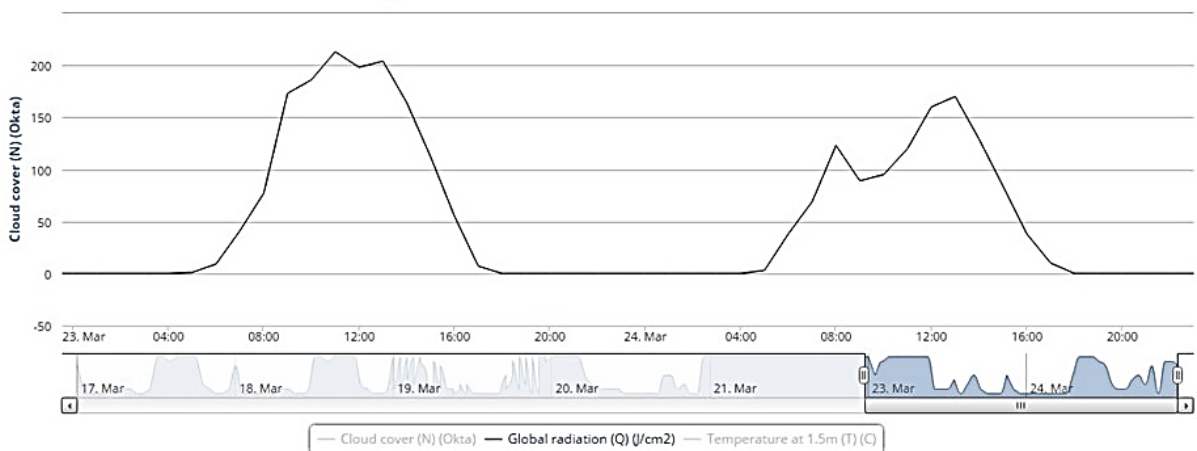
```

Figuur22: KNMI Measurements voor Eelde, een locatie in de buurt van Hooghalen

Het KNMI biedt veel meer informatie, maar de door ons gebruikte weersinformatie bestaat uit:

- Stations-id (280 EELDE)
- Datumstempel (bovenstaande grafiek is data voor 1 maart 2015)
- Uurstempel (voor 11 verschillende metingen)
- N: wolkenbedekking
- Q: zonnesterkte
- T: Temperatuur

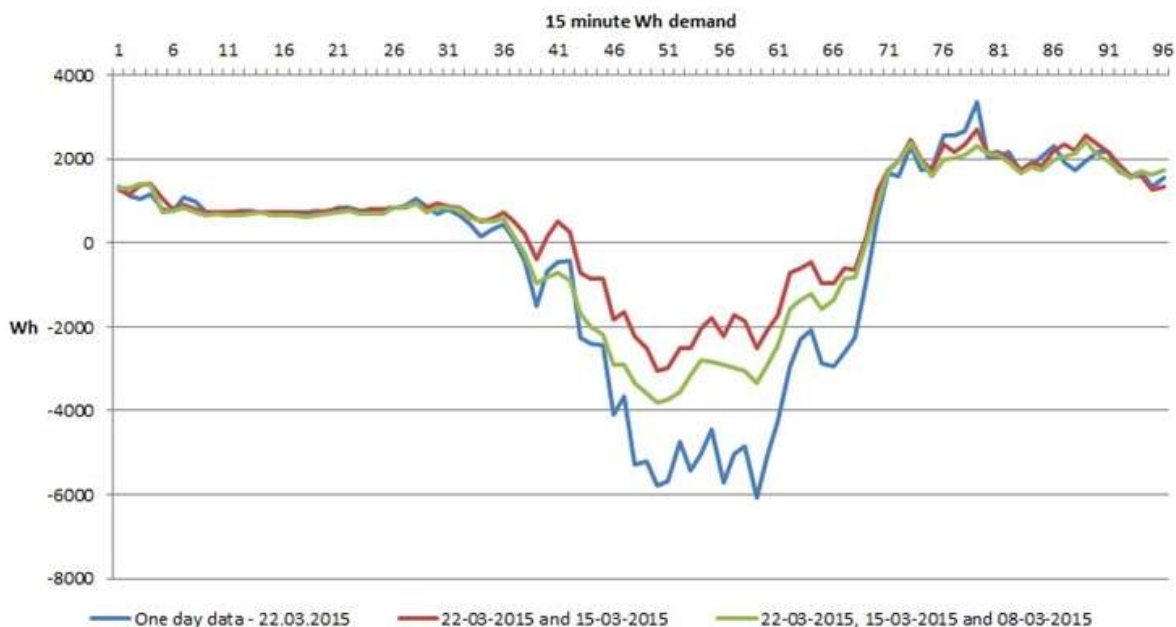
In de volgende figuur zijn de zonnesterkte cijfers weergegeven. De zonnevoorspellingen zijn gebruikt om de opbrengst van de zonnepanelen in Hooghalen te voorspellen.



Figuur 23: historische Zonne informatie: waarbij 0 staat voor heldere hemel en 9 staat voor zo bewolkt dat de hemel onzichtbaar is

De temperatuur voorspellingen kunnen worden gebruikt om te bepalen wat de warmtebehoefte in huis is – als het buiten kouder is, is binnen meer behoefte aan warmte. Deze factor is uiteindelijk niet meer gebruikt in het algoritme.

In de dagelijkse cyclus worden typicals voor de weekdays bijgewerkt. De volgende grafiek bevat 3 typicals voor zondag in maart, gebaseerd op 1, 2 of 3 voorgaande zondagen.



Figuur 24: typical voor zondag in maart: Typicals voor 1 dag, 2 dagen en 3 dagen

Figuur 24 is een typical die we opgesteld hebben door statistische analyse van de voorgaande zondagen.

De typical kan worden gebruikt als resultaat voor andere projecten. Binnen I-Balance wordt hij in de voorspelling gebruikt, er wordt gekeken in hoeverre de meer dynamische kort termijn voorspellingen (24h + trend) afwijken van het typical (gemiddelde lang termijn voorspelling) De typical zou het gemiddelde van meerdere jaren kunnen zijn voor bijvoorbeeld de zondagen in maart, mits er genoeg data beschikbaar is.

Met de hier ontwikkelde meet en voorspellingstechnieken kan worden bepaald wat de te verwachten situatie is voor een groep huishoudens in Hooghalen. Deze voorspelling is zeker niet perfect, maar een redelijk goede benadering³. Als er overschotten aan energie zijn zou dat fundamenteel opgeslagen

³ Door meer historische en andere meetgegevens te combineren kan – naar verwachting – het ontwikkelde voorspellingsalgoritme verder verbeterd worden.

kunnen worden in bijv. batterijen. Echter, in het project I-Balance vormde opslag geen onderdeel van de beschikbare infrastructuur.

Als er een tekort aan elektriciteit is moet dat aangevuld worden met energie uit de brandstofcellen. Middels de BlueGen API worden de brandstofcellen aangestuurd.

Op EnTranCe staan een aantal echte BlueGen's die elektriciteit produceren. Voor elke echte BlueGen zijn limieten vastgelegd. Er was 1 BlueGen die gemoduleerd mocht worden tussen 500 en 1500 Watt (deze was voorzien van het nieuwste type FuelStack), de overige 7 apparaten mochten slechts gemoduleerd worden tussen 1400 en 1500 Watt. Per BlueGen waren deze limieten vastgelegd.

Hoewel vooral gebruik gemaakt is van de echte BlueGen's, is in onze ICT omgeving ook gebruik gemaakt van virtuele BlueGen's. Deze virtuele units hebben we wel limieten kunnen geven, en gingen nooit kapot.

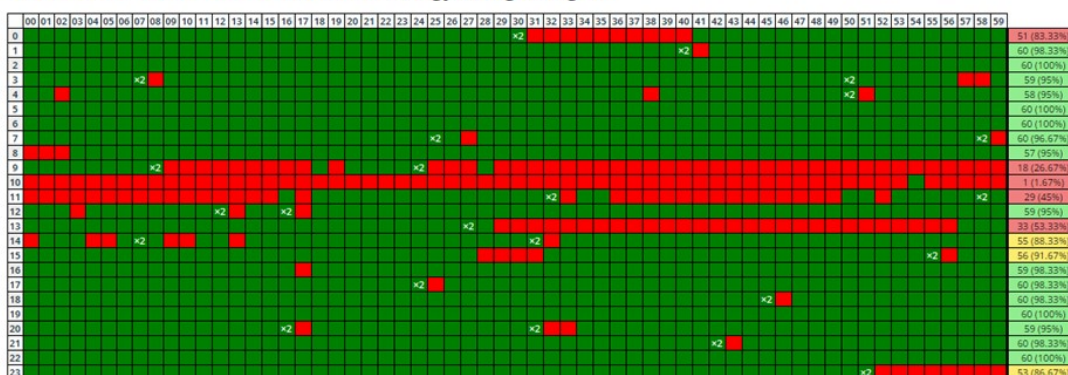
Om de brandstofcellen aan te sturen hebben we gebruik gemaakt van de BlueGen API (beschikbaar als web service). De BlueGen API bood 1 functie waarmee de elektriciteitsproductie van een BlueGen ingesteld kon worden. Deze we service is voorzien van beveiliging mechanismen die (1) nagaan of de aanbieder van de opdracht bekend en geautoriseerd is en (2) of het commando "veilig" uitgevoerd kan worden.

Ontwikkelde ICT binnen I-Balance

Aanvankelijk was de kwaliteit van de data stroom van de slimme meters in Hooghalen niet goed genoeg voor gebruik in het I-Balance project. Regelmatig kwamen grotere en kleinere verstoringen voor. Het diagram geeft een overzicht van alle 1440 meetpunten die we verwachten te ontvangen in I-Share. De rode punten geven ontbrekende metingen aan de 2x punten geven aan dat we dubbele data hebben ontvangen.

Smart meter data quality (poor)

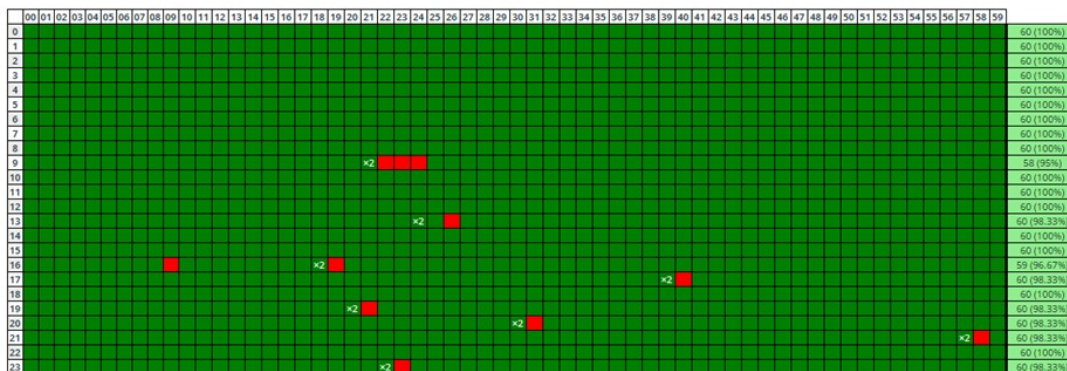
Sensor ID: 415 (Electric Energy usage (high))



Na uitgebreid contact met EnerGQ en aanpassingen aan hun web service is de kwaliteit van de datastroom aanzienlijk verbeterd (zie de volgende grafiek, met significant missende en dubbele informatie). De data is nu wel bruikbaar binnen I-Balance er moet echter in onze algoritmes altijd rekening worden gehouden met ontbrekende data punten. We hebben hier verschillende strategieën voor onderzocht.

Smart meter data quality (improved)

Sensor ID: 415 (Electric Energy usage (high))



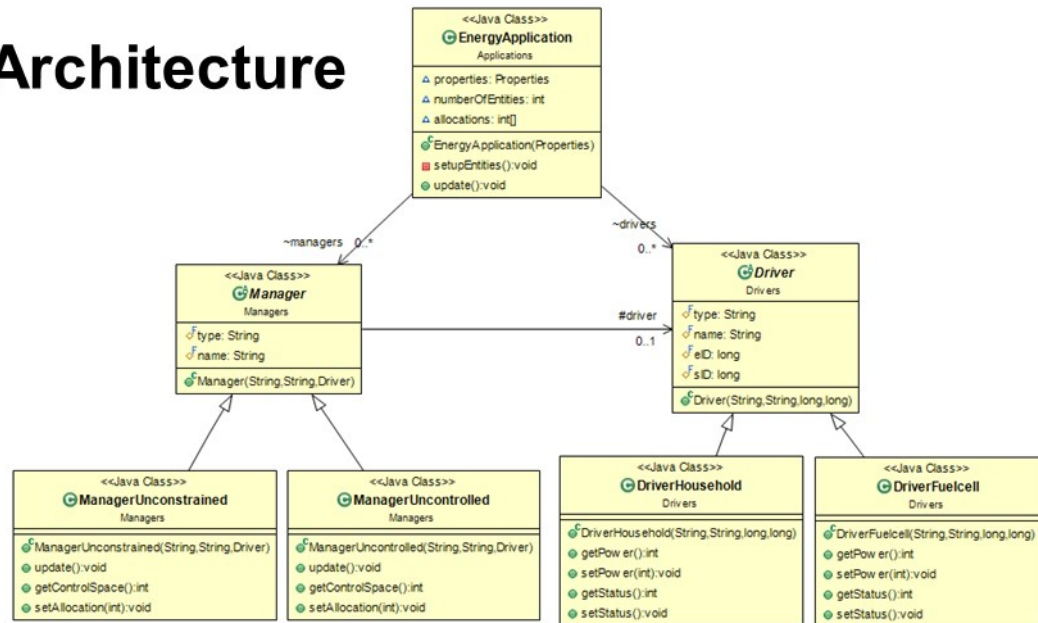
In dit onderzoeksproject is significant tijd gestopt in het verkrijgen van goede meetdata omdat de oorspronkelijke datastromen zo slecht waren dat ze effectief onbruikbaar waren. Dit was mede geen eenvoudige klus omdat er meerdere partijen bij betrokken waren (huishouden, EnerGQ, I-Balance software team). Als dergelijk gedetailleerde energie datastromen ook commercieel gebruikt moeten worden zal de bewaking van de datakwaliteit ook meer effort kosten.

Softwarearchitectuur

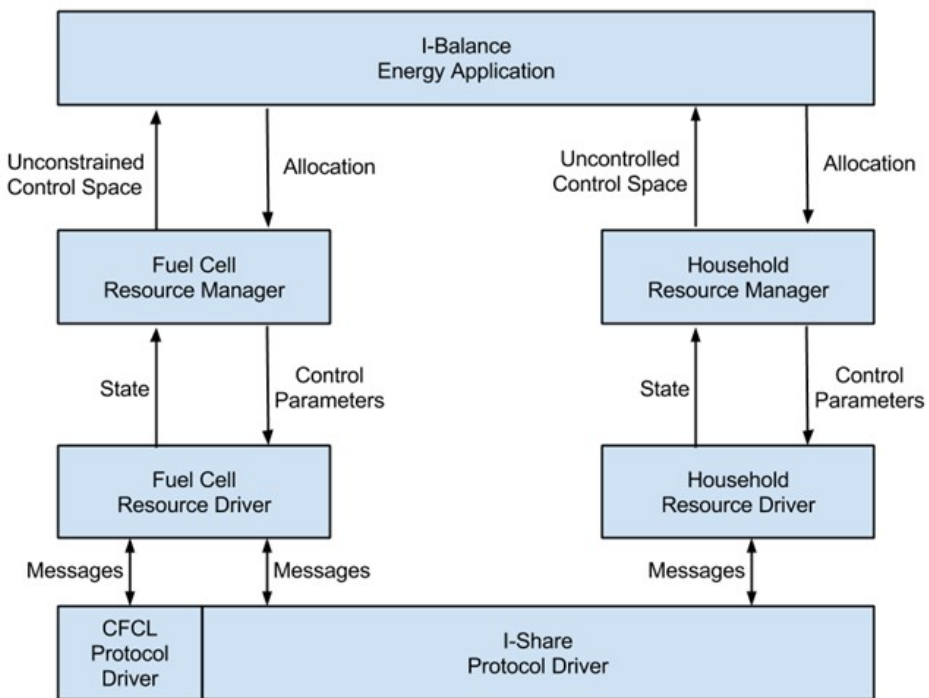
De eerste versies van de binnen I-Balance ontwikkelde software is geschreven in de taal Java. Het was de bedoeling om de verdere ontwikkeling van I-Balance te baseren op het FPAI platform (<http://www.flexiblepower.org/>), dat bleek in de praktijk lastig omdat FPAI heel formalistisch is opgezet. Hierover waren met het VIOS project ook afspraken gemaakt, deze konden echter niet gerealiseerd worden. Als dit wel was gelukt dan had I-Share makkelijker ook aan andere energieopwekkende systemen gekoppeld kunnen worden.

Ten tijden van het I-Balance project was alleen versie 1 van FPAI beschikbaar en volledig gedocumenteerd. Een nieuwere versie die zou kunnen worden gebruik was nog niet uit ontwikkeld en is uiteindelijk niet gebruikt in I-Balance. Wel is I-Balance gebaseerd op vergelijkbare principes, er is nauw in een vroeg stadium nauw overleg geweest met de ontwikkelaars van FPAI (TNO Groningen).

Architecture



Onderstaande grafiek geeft grofweg de I-Balance architectuur weer en is gebaseerd op FPAI.



Resultaten & bevindingen

Kerntechnologie:

Uiteindelijk is in het I-Balance Workpackage 1 technologie ontwikkeld die het mogelijk maakt om energiebehoefte in Hooghalen – op wijkniveau – bij te regelen. Dit gebeurt op basis van (1) actuele informatie uit huishoudens (2) typicals voor weekdays die een voorspelling geven voor de komende 15 minuten periode en (3) houdt rekening met het aantal brandstofcellen dat beschikbaar is (en de specifieke moduleerbaarheid van elke BlueGen). Bij energietekorten worden de brandstofcellen aangestuurd zodat deze de noodzakelijke elektriciteit kunnen leveren, bij elektriciteitoverschot kunnen de BlueGen's worden terug geregeld.

Ondersteunende technologie:

Bovenstaande praktisch inzetbare voorspellingen waren mogelijk door een aantal ondersteunende (noodzakelijke) ICT technologieën

- (1) Technologie om op een centrale plaats (<http://I-Share.hanze.nl/>) energie gegevens te kunnen opslaan voor gebruik in toepassingen.
- (2) Monitoring technologie om gegevens te meten en te ontsluiten. In het project is dit gedaan voor een aantal praktische apparaten.
 - 4 Windturbines – gebruik makend van standaard slimme meters en I-NRG technologie (i-NRG box)
 - 42 Huishoudens (sommigen voorzien van zonnepanelen) – gebruik makend van standaard slimme meters en EnergQ technologie (i-Care).
 - i. Uiteindelijk zijn de gegevens van slechts 10 huishoudens bruikbaar gebleken.
 - 9 BlueGen Brandstofcellen – gebruik makend van een reeks sensoren om de brandstofcellen heen die gegevens doorgeven aan I-Share. Daarnaast ook een applicatie die de brandstofcellen direct uitlezen (gebruik makend van de BlueGen API)
 - i. Ook is een model van de BlueGen ontwikkeld die als Virtuele brandstofcel heeft meegedraaid.
- (3) Regeltechnologie om de brandstofcellen ook daadwerkelijk aan te kunnen sturen.

Extra uitdagingen bij dergelijke praktische installaties in een 3 jaar durend project:

- De installaties bij de huishoudens waren moeilijk te controleren. Daardoor zijn in het project niet alle huishoudens aangesloten (kregen de techniek niet werkend, installatie van eenvoudige techniek bleek toch te ingewikkeld, wijzigingen in de installaties)
- Hoewel de BlueGen's zeer interessante apparaten zijn die gekozen zijn voor I-Balance omdat ze moduleerbaar zijn, bleek in de praktijk dat de brandstofcellen door het vele moduleren toch snel verouderden en sneuvelden. Daarna moesten dan dure vervangende cellen worden ingezet door

(beperkt) beschikbaar getraind personeel (veelal van CFCL zelf). Voor CFCL zijn betere moduleerbaarheid en minder snel verouderen dan ook belangrijke verbeterpunten (waarvan CFCL zich bewust is).

- De omgeving op EnTranCe is sinds het begin van het project erg in beweging geweest, waardoor ook meerdere complexe operaties uitgehaald moesten worden om de BlueGen's veilig uit te kunnen zetten en opnieuw aan te kunnen zetten.
- De meetgegevens uit Hooghalen Duurzaam – op minutenbasis - kwamen onregelmatiger binnen dan verwacht. Soms kwamen er twee metingen per minuut, soms viel ook voor meerdere uren de verbinding uit. Er is technologie ontwikkeld die de kwaliteit van deze datastroom verbeterd.

I-Share is voor I-Balance een belangrijke randvoorwaarde geweest voor het succesvol uitvoeren van dit project. Er is een aantal, dat expliciet genoemd moeten worden. Vooral de stabiliteit en beschikbaarheid van I-Share gedurende deze tijd moet gezien worden als belangrijke uitdaging.

- (1) I-Share is ontwikkeld als generiek open data platform voor gebruik in Energie projecten. Het moet gezien worden als “centrale ICT faciliteit” van EnTranCe.
- (2) I-Share heeft een eenvoudige API waarmee de belangrijkste noodzakelijke functionaliteit voor toepassing in I-Balance ingevuld werd. I-Balance kon objecten aanmaken, voor die objecten allerlei data vastleggen (meetgegevens) en ook weer tevoorschijn halen.
- (3) I-Share is in de afgelopen 3 jaar continue verder ontwikkeld door groepen ICT studenten van de Hanzehogeschool, als onderdeel van de minor Energie en ICT. Deze groepen hebben ook gedeeltelijk het beheer van de omgeving verzorgd.
- (4) I-Share is stabiel genoeg gebleken om gedurende de afgelopen periode van ongeveer 70 objecten in totaal ongeveer 600 data stromen vast te leggen en te ontsluiten.

5. Bericht over WP2 – Conceptontwikkeling power electronics voor net kwaliteit en stabiliteit

In een elektriciteitsnetwerk met daarin gedistribueerde elektriciteit opwek, genereert elke opwek installatie een lokale verstoring op het netwerk. Als het aandeel aan gedistribueerde elektriciteit opwek groeit, zal het netwerk ook steeds meer moeten omgaan met steeds groter wordende verstoringen. Het handhaven van netwerk stabiliteit en power quality in toekomstige smart grids wordt daarmee ook steeds uitdagender.

Oplossingen voor het handhaven van netwerk stabiliteit en power quality worden ontwikkeld. Echter, voordat dergelijke oplossingen grootschalig ingezet kunnen worden is het van groot belang om deze oplossingen – op kleinere schaal - ook eerst in praktische lab opstellingen te testen. Dit om te voorkomen dat de inzet van deze technieken de continuïteit van het netwerk juist in gevaar brengt.

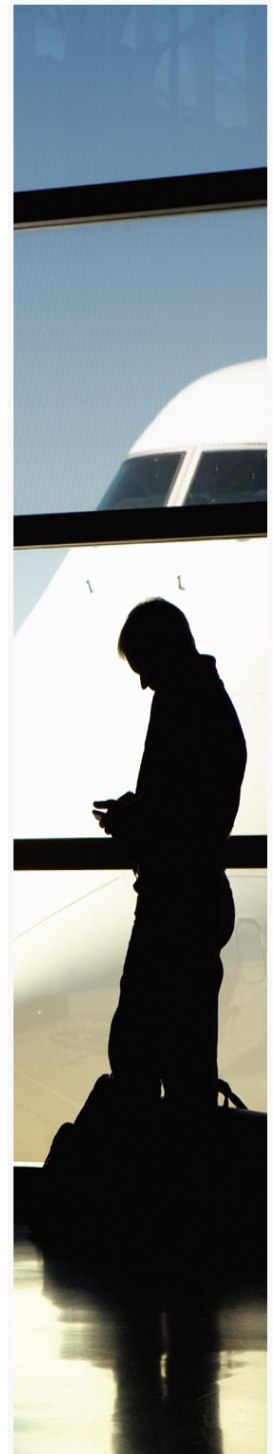
Fase 1 – opstelling op RenQi



Figuur 25: Peter Heskes en Mansoor Viyathukattuva TNO bij de TriPhase opstelling in het RenQi lab

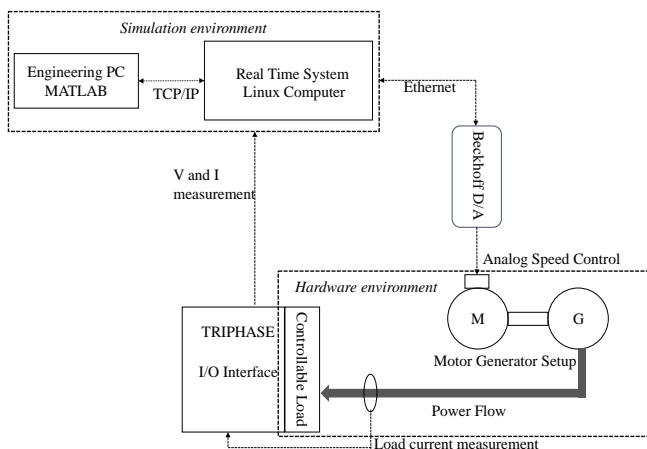
De in I-Balance gebruikte tussenstap bestaat uit het realiseren van een laboratorium opstelling waarbij een Power Hardware-in-the-Loop (PHIL) opstelling wordt gebruikt. Deze opstelling slaat de noodzakelijke brug tussen een computer simulatie en een veld test. Een dergelijke PHIL gebaseerde aanpak is nodig om geloofwaardig te zijn voor netwerk beheerders.

In het I-Balance project is een PHIL installatie gerealiseerd in het RenQi lab (zie foto) met behulp van TriPhase technologie. In deze opstelling is een klein deel van het Europese gekoppelde net gesimuleerd, een grid segment. Met dit grid segment is onderzocht wat de impact van een aantal wijzigingen op het primaire control mechanisme is (het 50 hz signaal). Hierbij is gekeken naar vermindering



van inertia, reductie van zelf regulerende belastingen en groter wordende piek belastingen (zie diagram).

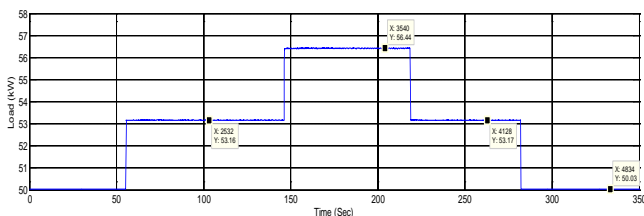
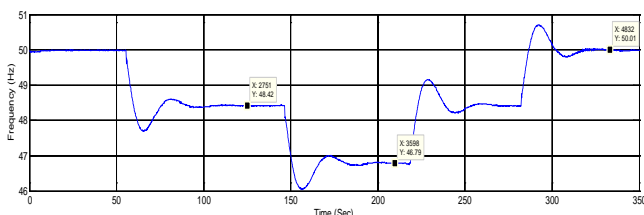
Het diagram laat zien hoe een simulatie omgeving (MatLab) gekoppeld wordt met echte elektriciteit



apparatuur.

Een experimenteel resultaat wordt getoond in de daaronder staande grafiek: het grid segment vertoont - zonder adequate primaire reserves - frequentie verstoringen aan, veroorzaakt door wijzigingen in de netwerk belasting. Met dergelijke experimenten kunnen we leren, hoe een grid segment in eiland modus kan worden beheerd, zodat het grid segment stabiel blijft.

Mansoor heeft dit werk gedaan als afstudeeropdracht [5] onder begeleiding van Peter Heskes, binnen I-Balance WP2. Hij heeft daarbij een MSc graad van de universiteit Eindhoven gekregen.



Fase 2 – opstelling op EnTranCe

In de loop van het I-Balance project werd het RenQi lab bij DNVGL gesloten en moest de PHIL opstelling verhuisd worden naar een eigen cabin op EnTranCe.

In de planning van het project was opgenomen dat – in samenwerking met docenten en studenten van de Hanzehogeschool, en onder

begeleiding van TNO – de diverse elektriciteitsopwekkers (PV, SOFC's en windturbines) gekoppeld zouden worden met de TriPhase opstelling. Op die manier zou kunnen worden bepaald hoe de netwerkkwaliteit verstoring er uit ziet die deze apparaten op kleine en grote schaal zouden opleveren.

Vooraf door personele problemen (een veelbelovende docent onderzoeker/promovendus kreeg een zeer interessant aanbod voor een baan elders en masterstudenten die toch niet de noodzakelijke kwaliteit bleken te hebben) hebben ertoe bijgedragen dat het power quality deel van het onderzoek niet heeft kunnen brengen wat we specifiek voor I-Balance hadden willen doen.

Fase 3: Design van een Power Quality Management Device

In het project is het idee ontwikkeld voor een power quality management device waarmee een specifiek aspect van Power Quality – namelijk “asymmetrie in fase belasting” – tegengegaan zou worden. De

student die dit werk heeft uitgevoerd heeft echter zijn opdracht (na anderhalf jaar) nog steeds niet afgemaakt – hoewel een flink deel van design en realisatie wel is gelukt (zie foto voor zijn meetopstelling gekoppeld aan zonnepanelen). Daarom wordt dit werk ook niet verder opgevoerd als resultaat van I-Balance WP2.



Belangrijkste resultaten:

De belangrijkste resultaten van WP2 zijn:

- Een gerealiseerde en bruikbare PHIL (van fabrikant TriPhase) opstelling op EnTranCe. Deze is een aantal keren geüpgraded en verbeterd. Eerst om het werk van Mansoor mogelijk te maken, later ook voor de verdere studies die in gang werden gezet. Deze omgeving kan gebruikt worden voor verdere studies en voor onderwijs op dit specialistische maar belangrijke gebied.
- Een interessante eerste studie die met dergelijke PHIL installaties gedaan kan worden [5]
- Een interessant concept voor een goedkope oplossing om decentraal een aspect van power quality te managen.

Tegenvallers waren:

- Het vertrek van een geschikte docent onderzoeker die van dit onderzoek zijn promotie opdracht had willen maken. Alle voorbereidingen waren getroffen en hij is toen vrij plotsklaps vertrokken. Het bleek niet mogelijk te zijn om een vervanger van vergelijkbaar kaliber te vinden.
- De TriPhase opstelling had enige tijd stil gestaan en er heeft behoorlijk wat onderhoud moeten plaatsvinden voordat de opstelling weer gebruikt kon worden. Dit onderhoud heeft ook veel doorlooptijd gekost
- Er was rekening gehouden met het feit dat de TriPhase opstelling verhuisd zou moeten worden van RenQi naar EnTranCe. De verwachting was dat dit aan het eind van het project I-Balance zou gebeuren. De tegenvaller was dat het RenQi lab veel eerder verlaten moest worden, en dat de TriPhase opstelling halverwege het tweede jaar verhuisd moest worden (met alle vertraging die het opleverde voordat deze weer operationeel was).
- De studenten die voor I-Balance met powerquality profielen aan de gang zouden gaan zijn hier niet meer aan toe gekomen.
- De student die een PQMD device zou ontwerpen als afstudeeropdracht heeft dit werk na anderhalf jaar nog steeds niet afgesloten.

6. Bericht over WP3 - Concept balansmodel

Op EntranCe is de regelbare energiebron ingevuld met behulp van een HRe-ketel met speciaal (water)buffervat. Door de ketel dit buffervat 'on demand' te laten verwarmen zal er op dat moment ook elektriciteit worden geproduceerd. De warmte in het buffervat is op een later moment te gebruiken (tapwater). De potentiële opwek van deze energiebron en de actuele opwek moet worden ontsloten en in het balansmodel worden gebruikt.

Op EntranCe is de niet-regelbare energiebron ingevuld door een mini windmolenpark van 5 windmolens. De productie van deze windmolens moet worden ontsloten en in het balansmodel worden gebruikt.

Niet regelbare e-productie door windmolens

Het I-Balance model moet over de elektriciteitsproductie van de windmolens kunnen beschikken. Hiervoor heeft I-NRG een gateway ontwikkeld die enerzijds met een slimme elektriciteitsmeter is gekoppeld en anderzijds met een LAN-netwerk. In de technische ruimte van de windmolens zijn slimme elektriciteitsmeters en I-NRG gateways geplaatst.



Figuur 26: Slimme meters in technische ruimte

I-NRG heeft software ontwikkeld om de slimme meter te kunnen uitlezen m.b.v. een gateway.

Per slimme meter is er een gateway die de verbinding verzorgt. De data van iedere slimmeter (=windmolen) wordt opgeslagen in een centrale database.

Windmolen allocatie

Iedere windmolen is verbonden via een slimme meter aan een I-NRG gateway. Iedere I-NRG gateway heeft een IP-adres op het netwerk. De volgende adressen zijn in gebruik voor de gateways (=windmolens):

192.168.13.6 = 5A4242443030353132303437333393132
192.168.13.5 = 5A424244303035303533343333383131
192.168.13.4 = windmolen is niet in bedrijf
192.168.13.3 = 5A424556303035303636393332303131

192.168.13.2 = 5A424244303035303332303333363131

Centrale database

De I-NRG gateways verwerken de berichten uit de slimme meters en kunnen de exacte e-productie meten. Deze meetgegevens worden door de gateways naar een centrale database gestuurd.

Deze database draait (als virtuele) server op het EntranCe netwerk en kan eenvoudig worden ontsloten met behulp van een database query tool, of door middel van een Java API die I-NRG hiervoor heeft ontwikkeld.

De connectie URL voor de database van de windmolens is:

```
jdbc:h2:tcp://192.168.14.115:9000/windmill (username: "sa", password leeg)
```

De lay-out van de database tabel voor de e-productie ziet er als volgt uit:

```
CREATE TABLE E_DATA (  
  
    METERID VARCHAR(50) NOT NULL,  
  
    DATETIME TIMESTAMP NOT NULL,  
  
    SYNCED BOOLEAN DEFAULT FALSE,  
  
    CONS_T1 DOUBLE,  
  
    CONS_T2 DOUBLE,  
  
    PROD_T1 DOUBLE,  
  
    PROD_T2 DOUBLE,  
  
    TARIFINDICATOR TINYINT,  
  
    PRIMARY KEY (DATETIME, METERID) );
```

Op basis van het veld `METERID`, `DATETIME` en `PROD_T1` is te bepalen wat de productie is van een bepaalde windmolen en op welk tijdstip.

Centraal gebouw EntranCe

Als extra informatie voor het balansmodel is het ook wenselijk om het totale verbruik van het EntranCe gebouw te meten en de eventuele terug levering aan het elektriciteitsnetwerk. Hiervoor is het gebouw ook uitgerust met een slimme meter en I-NRG gateway.

De gateway verwerkt op vergelijkbare manier als de windmolens de data uit de slimme meter.

De connectie URL voor de database van het EntranCe gebouw is:

```
jdbc:h2:tcp://192.168.14.115:9000/mainmeter (username: "sa", password leeg)
```

In deze database staan 2 tabellen, standen voor stroom en gas. De tabel definities zijn als volgt:

```
CREATE TABLE E_DATA (  
  
    METERID VARCHAR(50) NOT NULL,  
  
    DATETIME TIMESTAMP NOT NULL,  
  
    SYNCED BOOLEAN DEFAULT FALSE,  
  
    CONS_T1 DOUBLE,  
  
    CONS_T2 DOUBLE,  
  
    PROD_T1 DOUBLE,  
  
    PROD_T2 DOUBLE,  
  
    TARIFFINDICATOR TINYINT,  
  
    PRIMARY KEY (DATETIME,METERID) );
```

Hierin staat de afgenomen energie in CONS_T1 (tarief 1) en CONS_T2(tarief 2) en de terug geleverde energie in PROD_T1 en PROD_T2. Het veld TARIFFINDICATOR geeft aan of tarief 1 (laag tarief) of tarief 2 (normaal/hoog tarief) actief was.

Regelbare e-productie door HRe-ketel

Het I-Balance model moet over de elektriciteitsproductie van de HRe-ketel kunnen beschikken. Hiervoor heeft I-NRG een gateway ontwikkeld die enerzijds met de ketel is gekoppeld en anderzijds met een LAN-netwerk.

Voor de communicatie met de ketel is speciale elektronica en software ontwikkeld om aan de protocol eisen van de ketelfabrikant te kunnen voldoen.



De I-NRG gateway kan nu op bepaalde intervallen datapunten uit de ketel lezen, maar kan ook bepaalde datapunten schrijven, waarmee de ketel in te schakelen is zonder dat er een warmtevraag vanuit het huis is. Dit is het "on demand" schakelen.

In unit 10 op het EntranCe terrein is de HRe-ketel, buffervat en I-NRG gateway en elektronica geïnstalleerd.

De gateway communiceert met zowel het HRe-systeem en kan de informatie via een web-service beschikbaar stellen.

System-adressering

Op de gateway is een web service (XML) geïmplementeerd waarmee bepaalde commando's op het HRe-systeem uitgevoerd kunnen worden. Hiervoor maken we gebruik van een vertaal tabel die een adres aan de 'buitenkant' vertaalt naar een implementatie aan de 'binnenkant' (de boiler system bus van KD Navien/Siemens). De volgende commando's zijn gedefinieerd:

Web-service addressing				
Command	Address		Read / Write	Remark
Switch Boiler system on/off	C1		R/W	0 => OFF => target temp. 10°C, opp. mode = 0 1 => ON => target temp. 35°C, opp. Mode = 1
Operating mode system	700		R	0 => system off 1 => auto 2 => reduced 3 => comfort
Room temp.	8740		R	Room temp. in °C
Target temp.	8741		R	Temperature setpoint in °C
KWh Cum.	8204		R	Cummulative value in kwh produced
Current Error code	6707		R	0 = no error >0 = error code

Het komt er op neer dat we waardes kunnen lezen en schrijven naar de gedefinieerde adressen. Achter elk adres is een bepaalde implementatie uitgewerkt voor het betreffende boiler systeem.

Het lezen en schrijven naar de adressen kan door middel van een post-request naar een service URL op de gateway.

Web-service URL

Voor het aanspreken van de web service, door middel van een post-request van een XML document, zal dan de volgende URL gebruikt moeten worden:

`http://X.X.X.X:8080/gateway-websvc/BoilerSystemInterface`

XML structuur request/response

Uitwisseling van berichten met de I-NRG gateway gaat door middel van een XML berichten structuur. De XML berichten zijn eenvoudig terug om te zetten in eenvoudige Java Value Objecten. Er kunnen meerdere commando's in 1 bericht worden gestuurd.

XML read/write commando's

Het versturen van één of meerdere 'requests' kan door middel van het versturen van een "SystemCmdList"-XML document naar de web service.

Deze XML kan er als volgt uit zien:

```
<SystemCmdList>
  <SystemCmd address="C1" action="W" value="1"/>
  <SystemCmd address="C1" action="R"/>
  <SystemCmd address="8740" action="R"/>
  <SystemCmd address="8741" action="R"/>
  <SystemCmd address="700" action="R"/>
  <SystemCmd address="8204" action="R"/>
  <SystemCmd address="6707" action="R"/>
  <SystemCmd address="8204" action="W" value="1"/>
</SystemCmdList>
```

Betekenis van het XML bericht hierboven:

1. Schrijf waarde 1 naar adres C1 => zet ketel aan.
2. Lees huidige waarde van adres C1 => is de ketel al aan gezet?
3. Lees huidige waarde van adres 8740 => wat is de kamer temp.
4. Lees huidige waarde van adres 8741 => wat is de doel temp.
5. Lees huidige waarde van adres 700 => is het systeem aan of uit
6. Lees huidige waarde van adres 8204 => hoeveel kWh is cumulatief geproduceerd
7. Lees error code op adres 6707
8. Schrijf waarde naar adres 8204 (dit is niet toegestaan zoals we in resultaat zullen zien)

De web service zal in zijn response een XML-document terug sturen met de volgende structuur:

```
<SystemResultList>

  <SystemResult dateTime="2014-11-21 13:52:33.927 UTC" address="C1"
  action="W" status="OK"/>

  <SystemResult dateTime="2014-11-21 13:52:33.927 UTC" address="C1"
  action="R" status="OK" returnValue="1"/>

  <SystemResult dateTime="2014-11-21 13:52:33.927 UTC" address="8740"
  action="R" status="OK" returnValue="23.1"/>

  <SystemResult dateTime="2014-11-21 13:52:33.927 UTC" address="8741"
  action="R" status="OK" returnValue="35.0"/>

  <SystemResult dateTime="2014-11-21 13:52:33.927 UTC" address="700"
  action="R" status="OK" returnValue="1"/>

  <SystemResult dateTime="2014-11-21 13:52:33.927 UTC" address="8204"
  action="R" status="OK" returnValue="56.78"/>

  <SystemResult dateTime="2014-11-21 13:52:33.927 UTC" address="6707"
  action="R" status="OK" returnValue="0"/>

  <SystemResult dateTime="2014-11-21 13:52:33.927 UTC" address="8204" action="W"
  status="ERROR" returnValue="Writes to this address are not supported."/>

</SystemResultList>
```

Aannames commando's

Indien het action-veld niet is gespecificeerd of geen geldige waarde bevat (een waarde anders dan 'R' of 'W'), dan wordt aangenomen dat het om een READ commando gaat. Indien het een READ commando betreft (action="R"), dan heeft het value-veld geen betekenis.

Aannames resultaten

Indien het status-veld gelijk is aan "ERROR", dan kan het returnValue-veld een errormelding bevatten. Indien het action-veld gelijk is aan "W" (resultaat van een write commando), dan heeft het returnValue-veld geen geldige betekenis.

Java object definities

De XML zoals eerder beschreven heeft slechts tot doel om Java objecten te serialiseren zodanig dat ze als document via een http-postrequest naar een webserver gestuurd kunnen worden en vice versa. Zogenaamde Object-naar-XML serialisatie.

Er zijn 2 object definities noodzakelijk voor de XML communicatie, namelijk voor de commando's naar de ketel en voor het doorgeven van het resultaat.

```
public class SystemCmdVO implements Serializable {

    public String address;

    public String action;

    public String value;

}

public class SystemResultVO implements Serializable {

    public Date dateTime;

    public String address; //cmd address to access

    public String action; // read/write

    public String status; // OK or ERROR

    public String returnValue; //in case of a read action

}
```

Het maken van een XML document is nu zodanig vereenvoudigd door een lijst van SystemCmdVO- objecten te maken en die te serialiseren naar XML. Bijvoorbeeld:

```
List<SystemCmdVO> cmdList = new ArrayList<SystemCmdVO>();

//add commands

SystemCmdVO t1 = new SystemCmdVO();

t1.address = "C1";

t1.action = "W";

t1.value = "1";

cmdList.add(t1);

//convert to XML

SystemCmdConverter cmdXML = new SystemCmdConverter();

String xml = cmdXML.toXML(cmdList);
```

Het serialiseren naar XML (via het SystemCmdConverter object) gaat door middel van de I-NRG API.

CFCL Fuel Cell

I-NRG heeft een gateway ter beschikking gesteld om de CFCL uit te kunnen lezen. Hiervoor is een speciale variant van de gateway software gemaakt. Een korte beschrijving hoe de I-Balance CFCL gateway kan worden benaderd is hieronder beschreven:

1. Inloggen met user: I-NRG, passw: I-NRG2014
2. De I-NRG home directory is een read/write partitie en daar kan dus alle ontwikkelde software worden geïnstalleerd (gebruik putty en/of winscp)
3. De I-NRG home directory bestaat uit:
 - a. Directory "init": hierin staat een script dat bij starten van het systeem wordt uitgevoerd. (script niet verwijderen, maar uitbreiden met eigen commands).
 - b. In dit init script kan men dan commands plaatsen voor het starten van eigen programmatuur.
 - c. Directory "webapps": hierin kan men, war files plaatsen (bijv. root.war om een webapplicatie op de root (port 80 of 8080) te laten draaien)
4. Er is een Jetty Webserver (versie 6) geïnstalleerd en de webapps folder is doorgelinkt naar de webapps folder van de I-NRG user.
5. De boot partitie is een readonly filesystem
 - a. Om wijzigingen, packages installeren, etc. te kunnen doen moet de partitie eerst Read/Write worden gemaakt met: "remountrw"
 - b. Na afloop weer readonly maken met: "remountro"
6. De I-NRG user heeft admin rechten via sudo..(wees dus voorzichtig).
 - a. Via het sudo command kan men commando's uitvoeren met root-rechten.
 - b. Dus voor het read/write maken van de bootpartitie: sudo remountrw
 - c. Sudo vraagt dan opnieuw om het I-NRG password.
 - d. Soms komt het voor dat een sudo command een foutmelding geeft door een readonly error. Oplossing is dan door het nog een aantal maal te proberen.
7. Logging kan naar /var/log/I-NRG/I-NRG.log (of ander file, let op dit is een ramdisk en zal na een reboot weg zijn).
8. De webserver logt naar: /var/log/jetty
9. Java versie 1.6.18 is geïnstalleerd
10. DHCP moet op het netwerk beschikbaar zijn, want ook een gateway met dit image verwacht dat.

7. Bericht over WP4 – Realtime energy community monitoring – case Hooghalen Duurzaam

Inleiding

De stichting Hooghalen Duurzaam (<http://Hooghalenduurzaam.nl/>) is een initiatief van het dorp Hooghalen om samen met en geïnitieerd door de bewoners te komen tot verduurzaming van het dorp. De ambitie is uitgesproken om in 2020 een energie neutraal dorp gerealiseerd te hebben wat aansluit bij de Europese doelstellingen. Het reduceren van het energieverbruik zal bijdragen aan het terugdringen van de woonlasten (de verwachting is dat energiekosten zullen blijven stijgen) en aan de bewustwording van de bewoners om zo een eigen bijdrage te kunnen leveren in de strijd tegen klimaatverandering. De verwachting is dat door een gezamenlijke aanpak een versnelling van de doelstellingen wordt gehaald doordat kennis en inzet in het dorp wordt gebundeld.



Duurzaamheid is niet alleen energie maar omvat meerdere aspecten zoals het hergebruik van afval, duurzame mobiliteit, lifestyle (consumptiegedrag) en water. Omwille van de afbakening van dit initiatief zal voornamelijk eerst naar het reduceren van het energiegebruik worden gekeken. In een later stadium zullen ook de andere bovengenoemde aspecten verdere invulling verkrijgen.

De deelnemers van Hooghalen Duurzaam zijn een aantal werkgroepen gestart rond een aantal thema's (zoals bijv. isolatietechnieken, of gezamenlijke inkoop zonnepanelen), en bespreekt resultaten van deze thema's op gezamenlijke avonden in het dorps huis. Het stichtingsbestuur heeft besloten om mee te doen aan I-Balance, met als doelstelling om echte meetgegevens aan te kunnen leveren aan het project. Op 28 november 2012 is de eerste presentatie geweest van I-Balance aan de deelnemers van Hooghalen Duurzaam, waarbij de bewoners zijn uitgenodigd om mee te doen aan I-Balance. Hiertoe is op de website een uitnodiging geplaatst (<http://Hooghalenduurzaam.nl/projecten/I->



Balance). De stichting wil ook kennis opdoen binnen het project en onderzoeken hoe energy monitoring de doelstellingen van de stichting kan bevorderen.

Hooghalen Duurzaam als case binnen I-Balance

Via de website zijn uiteindelijk 42 huishoudens in Hooghalen bereid gevonden om mee te doen aan het project. Deze huishoudens hebben i-Care dienstverlening van EnergQ afgenomen (als afgesproken in het project programma). Om deel te kunnen nemen moesten de huishoudens een internet verbinding hebben, en moesten ook slimme meters geplaatst worden door de netbeheerder. Deze konden worden geplaatst als de huishoudens energiediensten (zoals de i-Care) afnamen.

De slimme meters hebben een P1 poort die met een bepaald protocol kan worden uitgelezen [16][17]. EnergQ levert als onderdeel van de i-Care dienst een klein kastje dat meet gegevens van de P1 poort uitleest, en dan via internet doorgeeft aan de EnergQ database. Huishoudens konden gebruik maken van speciale i-Care apps om hun huishouden data in te zien. Daardoor was het voor de huishoudens ook niet direct nodig om ook de gegevens in I-Share te bekijken: ze hadden al toegang tot de eigen gegevens.

EnergQ bood een web service aan waarmee deze meetgegevens (geanonimiseerd) doorgegeven werden aan I-Share. Binnen I-Share werden de gegevens van de individuele huishoudens opgeslagen, deze konden met de I-Share website worden getoond.

Behoeftes van bewoners van Hooghalen Duurzaam

Veel van de deelnemende bewoners bleken al actief bezig te zijn met het registreren van hun energie gebruik met behulp van Excel. Ook maakten de gebruikers – die goed overweg konden met Microsoft Excel – zelf al vaak grafieken. De gebruikers hadden echter wel een aantal vragen en behoeften:

- (1) Vragen over hoe met Excel, data en grafieken om te gaan
- (2) Behoeftes om de eigen data en grafieken te kunnen vergelijken met die van andere gebruikers.
Doordat vele gebruikers hun eigen grafieken ontwikkelden bleken deze er allemaal anders uit te zien – wat als consequentie had dat het erg moeilijk was om elkaars grafieken te begrijpen.
- (3) Normen: men wil graag weten wat gemiddeld, hoog en laag energie gebruik is, om daarmee het eigen energie gebruik beter te kunnen plaatsen.
- (4) Men wil deze informatie ook omzetten in concrete tips over hoe het eigen energie gebruik verbeterd kan worden.

Doordat binnen het project een (1) technologie was gekozen om in de huishoudens te installeren (i-Care) was ten minste geregeld dat de bewoners dezelfde representaties van gegevens konden zien. Toch bleek het voor mensen lastig om onderling te vergelijken, en bleef de behoefte aan normen.

Dit leverde ook een aantal suggesties op voor verbeteringen aan i-Care of vergelijkbare technologieën [7][8]. Een belangrijke daarin is dat mensen graag grafieken zouden zien die weergaven wat het gebruik van alle huishoudens in Hooghalen was (verzamelgrafieken). Ook zouden bewoners graag grafieken zien

van vergelijkbare huishoudens. Deze suggesties leverden ook interessante discussies op over het eigenaarschap van deze meetgegevens. Mensen wilden bijvoorbeeld best hun gegevens beschikbaar stellen, maar dan alleen voor bewoners die hun gegevens ook beschikbaar stellen. Op EnTranCe wordt nu ook gewerkt aan spelconcepten rond het delen van gegevens (bijv. competitie in energie reductie).

Tijdens reguliere ontmoetingen van Hooghalen Duurzaam in het dorps huis in Hooghalen zijn regelmatig activiteiten rond I-Balance besproken. Vanuit het project zijn een aantal presentaties gegeven in Hooghalen, en ook is een tegenbezoek georganiseerd waarbij een aantal bewoners de onderzoekspostelling van I-Balance op EnTranCe bezocht hebben.

Een belangrijke uitdaging voor Hooghalen Duurzaam is wel hoe de bewoners van het dorp betrokken te houden bij de doelstelling: een energie zuinig dorp. Het bleek bijvoorbeeld dat de interesse flink afnam na een succesvolle gezamenlijke zonnepaneel aanschaf actie. Een aantal bewoners vond daarmee dat ze wel genoeg gedaan hebben. Onderzocht is hoe ICT middelen ingezet kunnen worden om bewoners betrokken te houden bij de stichting door sociale interactie te organiseren en te stimuleren [7][8].

De stichting Hooghalen Duurzaam is actief betrokken geweest bij het stimuleren van meer lokale energie initiatieven, en heeft in 2015 een eigen energie coöperatie opgericht: de Energie Coöperatie Hooghalen (ECHO).

8. Conclusie

Het runnen van een 3 jarig project als I-Balance met diverse actief betrokken partijen en een aantal ingewikkelde praktische opstellingen in een nieuw in te richten centrum (EnTranCe) is een interessante uitdaging waarbij Murphy's law ("everything that can go wrong will go wrong") regelmatig zijn opwachting deed.



Figuur 27: EnTranCe Groningen in 2013: effectief een bijna leeg grasveld met een paar installaties



Figuur 28: EnTranCe Groningen in 2015: een nieuw hoofgebouw voor onderzoek en onderwijs en veel ruimte voor praktijkonderzoek

Uiteindelijk kan gesteld worden dat de beoogde doelstelling: "ontwikkeling van concepten voor integratie van duurzame energie in het bestaande energie netwerk" gehaald is, al hadden we graag gezien dat een aantal onderzoeksonderwerpen vlotter was verlopen, en zijn er ook zaken waar we graag verder waren gegaan in de uitwerkingen. Tevens heeft I-Balance ook veel te maken gehad met wijzigingen in de omgeving. Voor wat we graag vlotter hadden gezien doen we suggesties in de volgende sectie "aanbevelingen", voor onderwerpen die verder aandacht behoeven doen we suggesties in de sectie "Suggesties voor verdere studie".

Samenvatting resultaten:

- Realisatie van 2 geïntegreerde praktijkopstellingen
 - Balanceeropstelling waarop 22 huishoudens uit Hooghalen Duurzaam, 4 windturbines, 8 BlueGen's en een complete ICT beheer en aanstuuromgeving is aangesloten. Uiteindelijk moesten dus een kleine 40 tal installaties gezamenlijk en op minuten basis gemaned worden.
 - Power Hardware in the Loop (PHIL) opstelling op EnTranCe waarmee een grid segment gesimuleerd en nagespeeld kan worden [5]. Deze kan gebruikt worden om power quality analyses van energie producenten uit te voeren.
 - Standaard technologie is ontwikkeld waarmee met vrij weinig moeite nieuwe energie installaties op I-Share aangesloten kunnen worden.
- De mogelijkheid om met I-NRG technologie meerdere WKK's aan te sluiten, de beschikbare techniek is voorhanden.

- Een aantal ICT concepten om op wijk niveau te balanceren over de aangesloten systemen. Een deel van deze concepten is gerealiseerd en verfijnd in software.
- Intensief contact met Hooghalen Duurzaam heeft interessante inzichten gegeven over hoe mensen met dergelijke energie problematiek omgaan over een langere periode.

Aanbevelingen rond grootschalige praktische opstellingen

Er is voor I-Balance bij de start van het project onvoldoende rekening gehouden met de complexiteit van de te realiseren opstellingen.

- Veel aandacht ging uit naar de technische opstelling van de nieuwe veelbelovende BlueGen brandstofcellen, en dat is ook correct geschat dat daar ook professionele ondersteuning bij nodig was (bijdrage van GasUnie in dit project).
- Voor de ICT component is niet gerealiseerd dat zowel het database onderhoud alsook het onderhouden van alle verbindingen met de verschillende systemen en platformen ook erg tijdsintensief zou zijn. Ook hier zou professionele ondersteuning zinvol zijn geweest. In dit project is dit werk voor een belangrijk deel door de docent onderzoekers en hun studenten gedaan.
- Het is essentieel dat in een dergelijk traject continuïteit van kennis gegarandeerd is. Vandaar dat dit werk met vaste medewerkers van bedrijven of vaste docent onderzoekers gedaan moet worden.
 - Het vertrekken of deels wegvallen van centrale personen moet koste was kost worden voorkomen.
 - Hoewel studenten uitstekend ingezet kunnen worden om deelproblemen aan te pakken en op te lossen kunnen zij geen vervangers van bovenstaande docent onderzoekers. Ten eerste hebben ze de kennis niet, maar ook niet de senioriteit en ervaring niet die nodig is om tot concrete eindresultaten te komen. Misschien belangrijker: de studenten vertrekken na p.m. 6 maanden, en daarmee is hun kennis dus inherent niet geborgd.
- Houdt rekening met significante tegenslagen. Een belangrijke tegenslag die dit project heeft moeten overwinnen was dat de aansturing van de BlueGen's middels een software API niet werkte. Het heeft letterlijk een jaar geduurd voordat deze gefixed kon worden (met de daarbij behorende vertraging in het project).
- Streef naar eenvoudige oplossingen: de ICT opstelling die is gerealiseerd is (bedrieglijk) simpel, en er is op diverse punten gestreefd naar standaard oplossingen. Doordat we eenvoudige oplossingen hadden was onderhoud relatief eenvoudig. Het was op meerdere momenten erg verlokkelijk om zaken complexer te design. Op conceptueel niveau sprak dat erg aan, maar de praktische uitwerking daarvan zou zwaar zijn tegengevallen.
- Communicatieplan: de communicatie verwachting voor dit project lag hoog, maar eigenlijk gebeurden er telkens zaken waardoor we eigenlijk niet veel konden vertellen. Wat is de nieuws waarde van "de interface doet het niet"? Achteraf gezien hadden we misschien meer kunnen doen, maar eigenlijk is nu pas (eigenlijk een tweetal maanden na afloop van het officiële project) een en ander publiceerbaar en de moeite van het delen waard.

Suggesties voor verdere studie

- Ontwikkeling van standaarden en goedkope ICT technieken om grootschalig apparatuur op huishoudelijk niveau aan te sturen. Volgens de onderzoekers zijn ontwikkelingen als FPAI, USEF en OPEN ADR erg interessant.
- De onderzoekers realiseren zich dat het ook nu al mogelijk is om dit soort energiemangement technieken in te zetten in grote bedrijven. Deze bedrijven kunnen de consultants en technologieën betalen door de verwachte besparingen in de energiekosten. Echter, het speelveld is anders als het gaat over hoe huishoudens zijn aangesloten op het netwerk, de per huishouden te realiseren besparingen zijn klein, en daarom moeten de noodzakelijke investeringen dus ook klein zijn.
- Juridisch onderzoek naar omgang met energie gegevens
- Bedrijfskundig onderzoek naar business modellen rond dit soort concepten.
- Praktijkonderzoek naar echte nieuwe apparaten om hun energiegedrag te bestuderen, en te realistisch te kunnen modelleren (vgl. de virtuele brandstofcellen uit dit project). In de loop van het project zijn we veel interessante apparaten tegengekomen die geschikt zijn voor gebruik als decentrale opwekkers en waar verder onderzoek zinvol naar zou zijn.
- Het betrekken van de politiek en overheid bij dit soort praktijk onderzoek, omdat energie bepalend is voor hoe de maatschappij er in de toekomst uitziet. Dit zijn geen onderwerpen die alleen door energie specialisten van energie bedrijven bepaald moeten worden.
- Verder onderzoek in hoe lokale energie samenwerkingsverbanden zich ontwikkelen, en wat daarin de menselijke behoefte is (i.s.m. meer mensgerichte studies).
- Door ontwikkelen van de I-Balance algoritmen voor het lokaal balanceren op wijkniveau.
- Verder onderzoek naar invloed van grootschalig decentrale energiebronnen op de power quality in het netwerk, en naar de tegenmaatregelen die in dat netwerk nodig zullen zijn.
- Design van decentrale Power Quality Management technieken.

Dankwoord aan alle betrokkenen

Dit werk is voor een belangrijk deel mogelijk gemaakt door de samenwerking met studenten van verschillende instellingen. Veel daarvan kwamen van de Hanzehogeschool. Deze studenten hebben in stages, afstudeeropdrachten en minor assignments (minor E & I), maar ook als student-assistent of junior medewerker gewerkt aan I-Balance. Zonder jullie allen bij naam te noemen bedankt.

Er zijn een paar studenten die we echter wel speciaal willen noemen:

- (1) Sebastiaan Vreijisen, die zowel in de minor E&I als later ook junior medewerker bij I-NRG heeft geholpen aan het ontsluiten van de brandstofcellen via een API
- (2) Marc Jacobs, die het werk van Sebastiaan af heeft kunnen maken en die veel werk verzet heeft rond de uiteindelijke algoritmen
- (3) Silviu Stanimir: instrumental for the entire algorithm environment
- (4) Bas Jetten, Simon van der Held en Thijs Bennekens voor hun onderzoek naar voor mensen wenselijke ontwikkelingen in techniek en community.

Literatuur

Start documenten:

[1] "Projectplan I-Balance, innovatie contract smart grids", agentschap NL, Ministerie van Economische zaken, 2 juli 2012

[2] "Besluit tot verlening subsidie", agentschapNL, Ministerie van Economische zaken, Landbouw en innovatie, brief dd. 28 sept 2012.

[3] I-Share eindrapport, Lech Bialek, Hanzehogeschool, 2104.

Geproduceerde documenten:

[3] "SOFC Typicals, Final Report" door M.A. Greuter, afstudeerverslag WTB, Hanzehogeschool, 9 sept 2014.

[4] "Planning the electricity production in Hooghalen using a combination of solar PV, wind turbines and solid oxide fuel cells", final report of internship period, Katarzyna Heyduk, Artur Janowiak, Hanzehogeschool, July 2013.

[5] "Power hardware in the loop laboratorium setup", Msc Thesis report, Viyathukattuva Mohamed Ali Mohamed Mansoor, Escola Tecnica Superior dénergyria Industrial de Barcelona, Juli 2013.

[6] "Design of a local distributed Power Quality Management Device", draft MSc Thesis report, Johnson Bambigbola, Hanzehogeschool Groningen, October 2015 (not submitted yet).

[7] "Gebruik van community software binnen Hooghalen Duurzaam", bestaande uit Adviesrapport en onderzoeksrapport, BSc thesis report, Bas Jetten, Hanzehogeschool, januari 2015.

[8] ", bestaande uit Adviesrapport en onderzoeksrapport, BSc. Thesis report, Simon van der Held, Hanzehogeschool, januari 2015.

[9] I-Share, final report Lech Bialek.

[10] Mark Jacobs, eind verslag februari 2015, internship verslag

[11] eindrapport minor groepen

[13] "Brandstofcellen – praktijkervaringen", R.J.Velthuys, A.Schrauwen, TVVL magazine, may 2015.

[12] BSc thesis Parisa draft "rechtsvorm voor energie coöperatie". November 2015. To be submitted

[13] Documentatie CFCL Blue Gen,

[14] Annual Energy Outlook 2015 – with projections to 2040, DOE/EIA-0383(2015), April 2015, US Department of Energy (<http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383%282015%29.pdf>)

[15] Energy and climate change – world energy outlook, special briefing for COP21, International Energy Agency, October 2015 (http://www.iea.org/media/news/WEO_INDC_Paper_Final_WEB.PDF)

[16] P1 Companion Standard, Dutch smart meter requirements, v3.0 Final, Netbeer Nederland, March 24th, 2010.

[17] P1 Companion Standard, Dutch smart meter requirements, v4.0.4 Final, Netbeheer Nederland, April 3rd, 2014.

[18] https://en.wikipedia.org/wiki/Ceramic_Fuel_Cells

[19] https://en.wikipedia.org/wiki/Power_quality

[20] <http://www.netbeheernederland.nl/netbeheer-voor-u/storingen/>

Annex 1 – bijdrage i-NRG aan WP1

Hier de bijdrage van I-NRG aan het resultaat van energieprofielen en planningsconcepten.

In het project zijn veel workshop en discussies gehouden m.b.t. het concept model Supply / Demand side management. De rol van I-NRG is om te bewaken dat altijd flexibiliteit van verschillende intelligentie mogelijk is. Hiermee wordt bedoeld dat onafhankelijk welke optimalisatie software wordt gebruikt, het systeem zo minimaal mogelijk aangepast hoeft te worden. Hiervoor heeft I-NRG een ontwerp voorstel gemaakt en aan de hand van dit voorstel de software ontwikkeld. Tevens hebben we onderzoek hoe we de flexibiliteit van de HRe-ketel kunnen maximaliseren.

Wat te allen tijde geldt, is dat duurzame opwek voorrang krijgt m.b.t. levering. Om de tekortkomingen op te vangen wordt zo efficiënt alternatieve opwekking ingezet. Dit wordt met behulp van de sterling HRe-ketel en de brandstof cel gedaan. Belangrijk is dat deze opwekkers zo flexibel mogelijk zijn. De brandstofcel heeft een hogere warmte/stroom verhouding, echter is minder flexibel in moduleren c.q. aan/uitzetten. De sterling HRe-ketel kan aan/uitgezet worden en ook modulair elektriciteit maken. Echter deze ketel heeft een lagere warmte/stroom verhouding en zal dus meer warmte produceren. Er zullen ook momenten zijn dat het wenselijk is om stroom te produceren, terwijl er op dat moment geen warmtevraag aanwezig is. Om dit op te lossen heeft I-NRG onderzocht op welke wijze in deze situaties toch stroom geproduceerd kan worden zonder dat warmte wordt vernietigd.

Uitwerking en berekeningen opslag HRe-ketel.

Gegevens buffervat		
Minimale temperatuur	T_{min}	60 °C
Te bereiken temperatuur	T_{sp}	65 °C
Warmtegeleidingscoëfficiënt isolatie	λ	0,04 W/(m*K)
Dikte isolatie	D	0,05 m
Diameter buffervat (binnenkant)	d	0,45 m
Hoogte buffervat (binnenkant)	h	1,432 m

Gegevens water		
Dichtheid	ρ	998 kg/m ³
Soortelijke warmte	c_p	4186 J/(kg*K)

Gegevens omgeving		
Temperatuur omgeving	T_o	10 °C

Gegevens ketel(variabel)		
Volumestroom	V_s	0 m ³ /s
Geleverde temperatuur ketel	T_{in}	0 °C
Retourtemperatuur	T_{uit}	0 °C
Vermogen HRe ketel	P	5300 W

Berekende waarden buffervat		
Oppervlakte binnenkant buffervat	$A = 2*d*(\pi/4)+d*\pi*h =$	2,34 m ²
Volume buffervat	$V = d^2*(\pi/4)*h =$	0,21 m ³
Massa inhoud buffervat	$m = V*\rho =$	209,58 kg
Warmtedoorgangscoefficiënt isolatie	$U = \lambda/D =$	0,8 W/(m ³ *K)

Berekende waarden HRe ketel		
Toegevoerd vermogen HRe ketel	$P = \rho*cp*Vs*(T_{in}-T_{uit}) =$	0 W

Opwarmen buffervat

Benodigde energie om water van T_{min} naar T_{sp} op te warmen bij volume V

$$E_{nodig} = \rho \cdot c_p \cdot V \cdot (T_{sp} - T_{min}) = 4,386 \text{ MJ}$$

Benodigde tijd voor opwarmen tijd

$$(E_{nodig} \cdot 106) / (60 \cdot P) = 13,8 \text{ min.}$$

Verlies buffervat

(bron: solartechnik 1 blz. 99 http://www.itw.uni-stuttgart.de/lehre/lehrveranstaltungen/Dokumente/solar1/solvo_teil1.pdf)

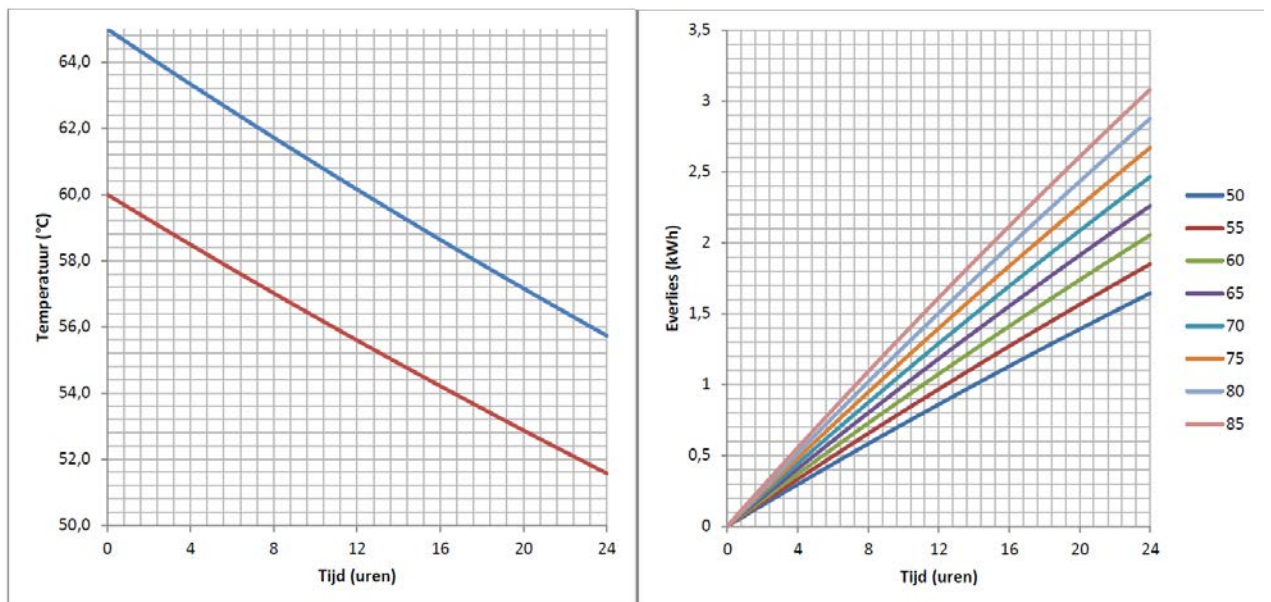
Temperatuurverloop buffervat zonder opwarming

$$T(t) = (T_{sp} - T_0) \cdot e^{-(U \cdot A) / (m \cdot c_p) \cdot t} + T_0 \quad t = 10 \text{ uur}$$

$$T(t) = 60,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

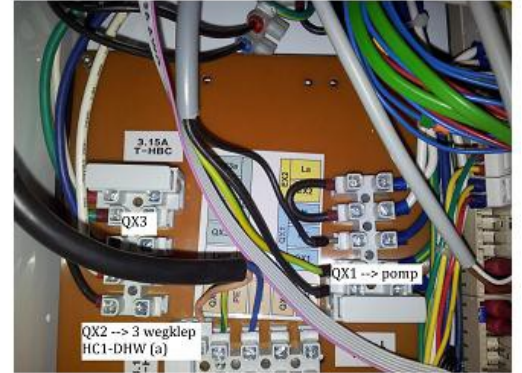
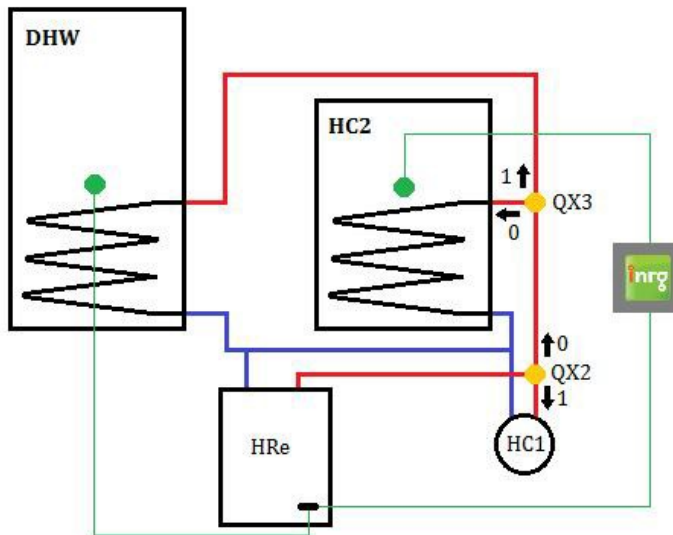
Verloren energie

$$E_{verlies}(t) = (T(0) - T(t)) \cdot c_p \cdot m \quad E_{verlies}(t) = 0,992 \text{ kWh}$$



De volgende HRe plus opslag configuratie is gebruikt:

Configuraties:



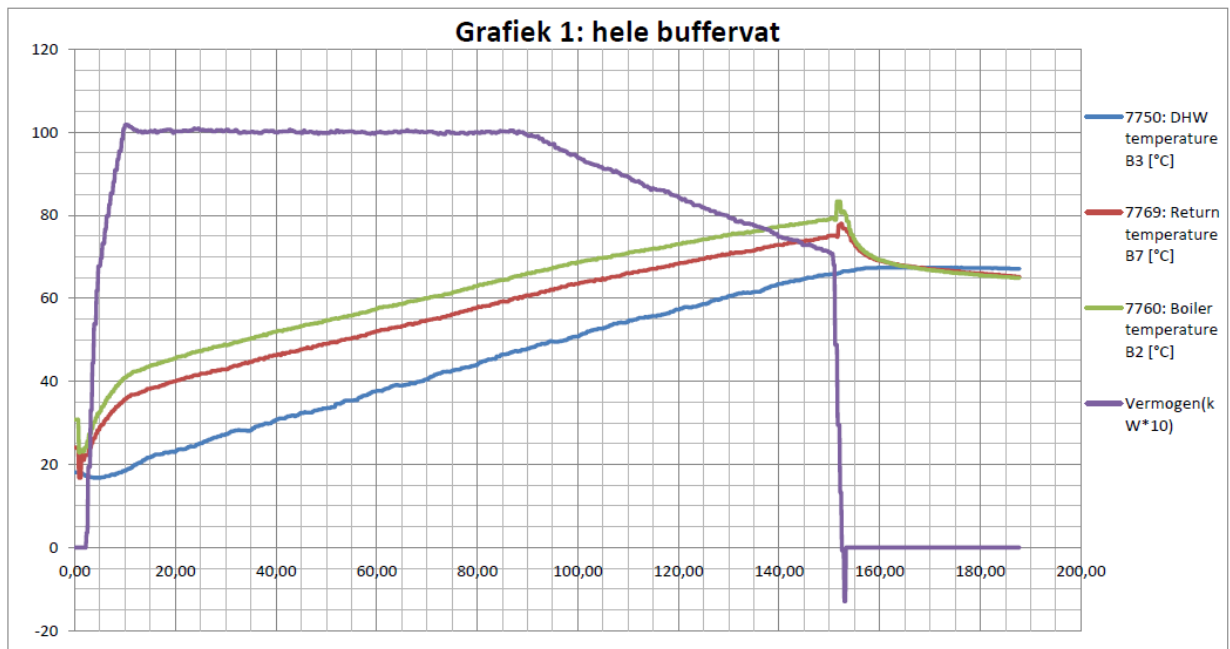
Voor de aansturing van de HRe-ketel zijn de volgende datapunten onderzocht

Operator unit			
Line no.	Data point	Value	Veranderingen in instellingen
42	Assignment device 1	Heating circuits 1	Heating circuits 1 and 2
44	Operating HC2	Commonly with HC1	Independently
Heating circuit 2			
1010	Comfort setpoint	20 °C	25 °C
	Tolerance start opt	00:10	01:00
789	Opt start max opt energy	00:00	Wanneer 'tolerance start opt' niet werkt kan instelling 789 ook gewijzigd worden om de stirlingmotor eerder in te laten schakelen. Instelling 790 en 791 blijven hierbij op 00:00 staan.
790	Optimum start control max forward shift HC1	00:00	
791	Optimum stop control max forward shift HC1	00:00	
DHW			
1630	DHW charging priority	Absolute	Absolute
3231			Stirling only
Configuration			
5702	Plant type	S-Plan	Free configuration
5709	Type Heating circuit 1	On/off valve	On/off valve
5714	Type Heating circuit 2	No	No actuator

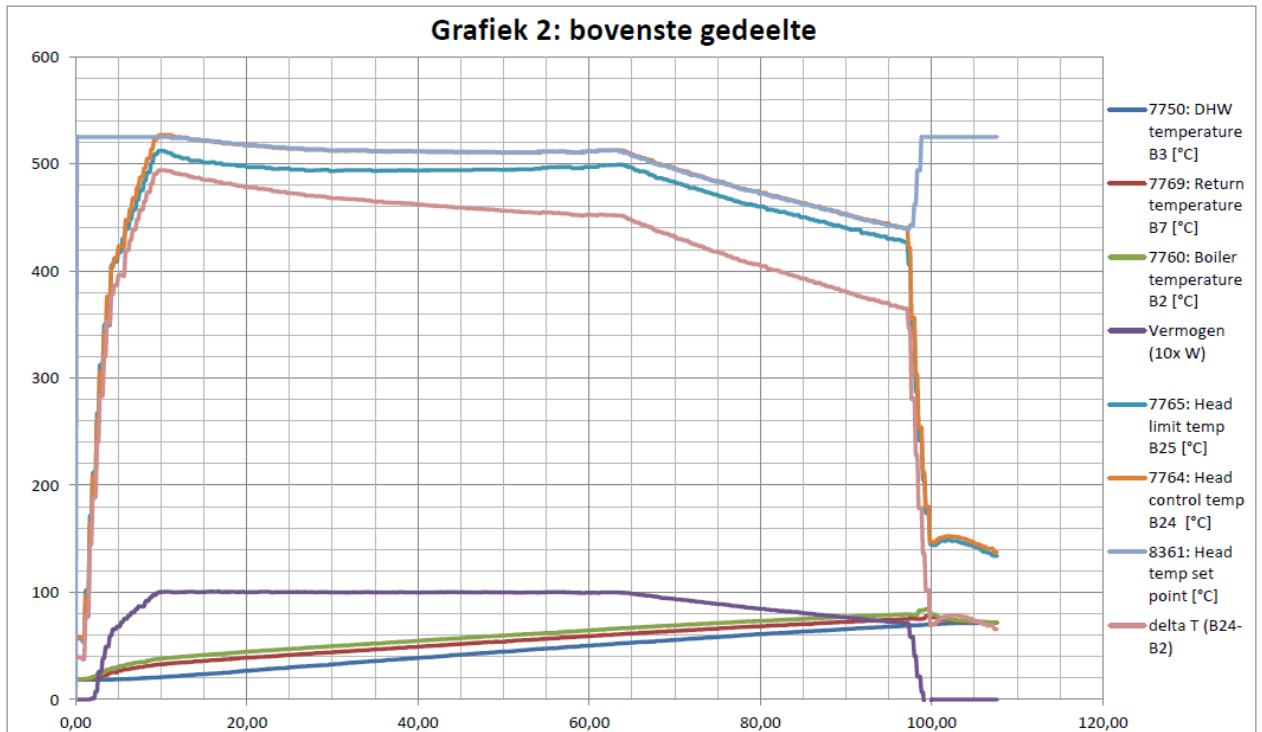
5720	Type Heating circuit 3	No	
5729	Type DHW Charging	On/off valve	
5890	Relay output QX1	Boiler pump Q1	
5891	Relay output QX2	HC1 actuator Q2	HC1 actuator
5892	Relay output QX3	DHW actuator Q3	DHW actuator
5894	Relay output QX4	No	
5980	Function input EX1	None	
5981	Operating action input EX1	normal opened	
5982	Function input EX2	DHW thermostat	
5983	Operating action input EX2	normal opened	
6020	Function extension module 1	None	
6021	Function extension module 2	None	
6022	Function extension module 3	None	

Relatie productie stroom en warmte

OPWARMEN VAN HET HELE VAT



De warmtebuffer heeft twee compartimenten. Het bovenste deel en het onderste deel. Doel is om het bovenste deel alleen voor flexibiliteit in te zetten en het onderste deel te gebruiken voor levering van comfort (heet water om de douchen/tap water). Het is dus belangrijk om de opwek eigenschappen van het bovenste deel te onderzoeken en te begrijpen.



We zien dat de HRe-ketel in staat is om binnen ongeveer drie minuten van 0 tot 1,000 watt stroom productie te bereiken. Daarnaast vlakt de stroomproductie na het bereiken van een bepaalde temperatuur af, zie grafiek hierboven.



Bedrijfsinformatie

Hanzehogeschool Groningen
Kenniscentrum Energie / EnTranCe
Zernikelaan 17
9747 AA Groningen
<http://www.hanze.nl>

Telefoon +31-50-595 46 00
info@en-tran-ce.org