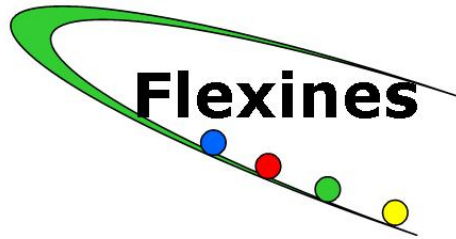


People in Power

*“De rol van de consument
in de toekomst centraal”*



Eindrapport Project Flexines



Groningen 27 september 2012

Projectgegevens:

Projectnummer : 012 en 013
Projectnaam : Flexines
Kenmerk SNN : UP-08-07381
HG code : HG00148-14
Startdatum : 06-05-2008
Einddatum : 01-07-2012
Penvoerder : Hanzehogeschool Groningen, Energie Kenniscentrum

Redactie:

Henk Beuker : Projectleider
Philip Lely : Onderzoeksleider
Rolf Velthuijs : Onderzoeker

Review : Frits Dröge

Met bijdragen van alle projectmedewerkers

Subsidiegevers:



SAMENWERKINGSVERBAND NOORD-NEDERLAND. DIT PROJECT WORDT MEDEGEFINANCIERD DOOR HET EUROPEES FONDS VOOR REGIONALE ONTWIKKELING EN DOOR HET MINISTERIE VAN EL&I, PIEKEN IN DE DELTA.

Projectpartners:



Inhoud

Beschikbare bijlagen op flexines.org :	4
1. Samenvatting.....	5
1.1. Context	5
1.2. Energie Management Systeem.....	5
1.3. Resultaten.....	5
1.4. Vervolgonderzoek.....	5
2. Project eindverslag (inhoudelijk).....	7
2.1. Doelstelling van het project.....	7
2.2. Knelpunten die opgelost moesten worden	7
2.3. Onderzoeksvraag	8
2.4. Het concept	8
2.5. Het onderzoek	8
2.6. De opzet van het onderzoek.....	9
2.7. Definities.....	9
3. Projectaanpak.....	10
3.1. Planning en voortgang.....	10
3.2. Organisatieopzet	11
3.3. Financieel.....	12
3.4. Disseminatie en valorisatie.....	12
3.5. Evaluatie organisatieopzet	13
4. Resultaten.....	14
4.1. Beoogde projectresultaten.....	14
4.2. Gerealiseerde resultaten	15
4.3. Kennisdisseminatie en -borging	25
4.4. Spin-off	26
5. Conclusies en aanbevelingen	27
5.1. Conclusies	27
5.2. Aanbevelingen	29

Beschikbare bijlagen op flexines.org :

1. Gastbijdrage Flexines in het FD
2. Tariefsturing bij huishoudelijke apparaten
3. Functionele opzet EMS
4. Beschrijving Flexines architectuur
5. A. Bepaling model en looptijd thermische buffers
B. Thermische buffers analysemodel
6. Beschrijving device control
7. Beschrijving data-uitwisseling
8. Beschrijving hard- en software platform
9. A. User comfort
B. Beschrijving gebruikersinterface (GUI)
10. Beschrijving gebruikte apparatuur
11. Overzicht follow-up ideeën van Flexines
12. Overzicht van alle uitingen vanuit het project Flexines
13. Prosumer energy management service
14. A. PowerMatcher Flexines _D8-1
B. Integratie PowerMatcher - Flexines
15. Rollenmodel
16. Overzichtsplaatjes van diverse metingen
17. Inrichting Marktplaats
18. Installatie en aanpassingen huishoudelijke apparaten
19. Gebruikersaspecten

1. Samenvatting

1.1. Context

In de huidige energieketens wordt energie grootschalig centraal geproduceerd op centrale productielocaties, wordt de energie getransporteerd door steeds langere, vaak internationale (en daardoor complexe) distributienetten, om uiteindelijk aan de energieconsument te worden geleverd. Zowel de transport- en distributienetten als ook de handel in energie kennen elk een eigen gelaagdheid met bijbehorende businessmodellen. Niet zelden zijn delen van de fysieke distributieketen door overheden gereguleerd. Het nog steeds groeiende gebruik van energie in samenhang met de mondiale spreiding van de energiebronnen, vergt aanzienlijke uitbreidingsinvesteringen in de energieketens, niet in de laatste plaats om politieke afhankelijkheden te verminderen. Deze politieke afhankelijkheden in combinatie met het beschikbaar komen van technieken voor het regionaal winnen van hernieuwbare energie (zon, wind, biomassa, ed.) leiden tot een herbezinning op de gehele energieketen, zowel fysiek als commercieel. De ontwikkeling van 'smart grids' is daar een voorbeeld van.

1.2. Energie Management Systeem

Tegen deze achtergrond is binnen het Flexines project een Energie Management Systeem (EMS) ontwikkeld, dat op basis van tijdstipafhankelijke en verwachte tarieven 'demand side management' verzorgt en daarbij kostenoptimaal lokale energiebronnen kan benutten. Dit systeem streeft naar de laagste energiekosten zonder dat het gebruikscomfort er onder lijdt. Tot de energiekosten worden ook de transportkosten gerekend. Hierdoor werkt het EMS ook bij netcongestie, immers dan zijn de transportkosten hoog. Tevens kan worden gereageerd op een momentaan groot aanbod van hernieuwbare energie. Een groot aanbod betekent een relatief laag tarief voor de "grondstof" energie.

Voorwaarde voor het goed functioneren van het systeem is dat de tarieven voor vraag en aanbod van energie tenminste 6 uur vooruit beschikbaar zijn. Ditzelfde geldt voor de weersverwachting op de gebruikslocatie, omdat het energiegebruik voor ruimteverwarming een belangrijke rol speelt indien een warmtepomp of μ -wkk wordt gebruikt.

1.3. Resultaten

Op basis van de geformuleerde onderzoeksdoelen en de verwachte kwalitatieve en kwantitatieve resultaten kan worden gesteld dat het project Flexines aan haar verwachtingen heeft voldaan.

Binnen Flexines is een modelstudie uitgevoerd en zijn er praktijkproeven gedaan met verschillende huishoudelijke apparaten. De praktijkproeven waren erop gericht het veronderstelde gedrag van de apparaten in de modellen te verifiëren. Op apparaatniveau is dit gelukt, de zelflerende analysemodule, een essentiële schakel in de planning van deze buffers en de inzetplanner van de thermische buffers, functioneren goed. Het daadwerkelijk beproeven van het ontwikkelde EMS in een huishouden werd wegens tijdgebrek slechts globaal uitgevoerd. Ook deze eerste resultaten wijzen erop dat uitgewerkte ICT-mechanismen op basis van een genetisch algoritme werkt.

De modelstudie (zie **Bijlage 2**) laat zien dat er op een gemiddelde dag een kostenbesparing van meer dan 15% mogelijk lijkt. Ongeveer de helft van deze besparing wordt bereikt door het slim in- en uitschakelen van de apparatuur in combinatie met de op dat moment geldende energietarieven. De andere helft komt voor rekening van de eveneens optredende energiebesparing. Deze energiebesparing wordt bereikt, omdat de ontwikkelde algoritmen de apparaten zo dicht mogelijk bij het door de gebruiker ingestelde comfort laten functioneren.

1.4. Vervolgonderzoek

Uit de experimenten blijkt, dat het voorspellen van het temperatuursverloop in de thermische buffers (koelkast, diepvries en verwarming) van groot belang is. Immers op basis van het bereiken van de door de gebruiker ingestelde grenswaarden voor de minimaal en maximaal toelaatbare temperatuur, wordt de

koelmachine of de μ WKK ingeschakeld. De gebruikte beschrijving van het temperatuurverloop blijkt niet voor alle omstandigheden even bruikbaar.

Het EMS is voorbereid om met de energiemarkt te kunnen communiceren en daar eventueel 'peer to peer' te kunnen handelen. Ook de gehele *billing* die met deze handel samenhangt, zou door het EMS moeten kunnen worden afgehandeld en bewaakt. Deze handel en *billing* zijn niet geïmplementeerd en vragen verdere uitwerking. Wellicht moeten daartoe eerst nieuwe energiediensten worden geformuleerd om de complexiteit van de energiemarkt richting het EMS te reduceren.

Tijdens het onderzoek naar de transporttarieven als onderdeel van de energietarieven, ontstond het inzicht dat in een dynamische energiemarkt de transporttarieven van doorslaggevend belang lijken. Het besef is gegroeid dat voor een doelmatig netgebruik er een tijdsafhankelijk tarief per knooppunt en per leveringsrichting zou moeten komen, een tarief dat afhankelijk is van de belasting van het desbetreffende knooppunt. Het geautomatiseerd genereren van dergelijke complexe transporttarieven over een leveringsketen vergt een omvangrijk vervolgonderzoek.

Door het gebruik van een EMS binnen een huishouden, kan de gebruiker inzicht krijgen in de relatie tussen het door hem gewenste comfort en de daarmee verbonden kosten. In vervolgonderzoek moet duidelijk worden in hoeverre het EMS het gedrag van de energiegebruiker beïnvloedt.

2. Project eindverslag (inhoudelijk)

2.1. Doelstelling van het project

FLEXINES betreft een industrieel onderzoek waarin lokaal energiemanagement centraal staat. De eindgebruiker heeft het primaat binnen een dergelijke energievoorziening. Middels een proof of principle zouden de mogelijkheden van dit concept onderzocht worden.

Het project had de volgende doelstellingen:

- I. Kwantificeren van de comfortbehoeften van de eindgebruiker;
- II. Beschrijven architecturen voor data-uitwisseling en transacties tussen energiehubbs en aansturing van apparatuur, zowel m.b.t. de te verwachten processen als de te gebruiken technologie;
- III. Beschrijven van de benodigde aanpassingen van apparatuur op het nieuwe energiesysteem;
- IV. Bouwen van proof of principle in een gesimuleerde openbare energievoorziening (3 samenwerkende energiehubbs plus een server die minimaal een 7-tal apparaten met elkaar laten samenwerken);
- V. Leveren van bijdrage aan de standaardisering van uitwisselingsprotocollen en communicatie;
- VI. Verkrijgen van inzicht in de regelstabiliteit van de energienetwerken en de mogelijk daaruit voortvloeiende kosten;
- VII. Verkrijgen van systeeminzicht mbt. lokaal energiemanagement (ontwikkelen van technisch wetenschappelijke kennis);
- VIII. Verkennen van de toekomstige energievoorziening door extrapolatie van resultaten naar de gebruiker, openbare energievoorziening en apparaten.

De kennis opgebouwd in de onderzoeksdoelstellingen I tot en met VIII wordt gebruikt voor het realiseren van doelstelling IX en X:

- IX. Overdragen van kennis, activiteiten en resultaten;
- X. Vervolg activiteiten en implementatie van resultaten.

2.2. Knelpunten die opgelost moesten worden

Het project beoogde om, door uit te gaan van de eindgebruiker, een bijdrage te leveren aan de transitie naar een duurzame energievoorziening.

- Afstemming vraag en aanbod
Decentraal, duurzame opgewekte energie bestaat voor een deel uit een onvoorspelbaar en grillig verlopend energieaanbod. Dit veroorzaakt pieken en dalen in de energieproductie en de energievraag hetgeen de stabiliteit van ons energiesysteem verstoort. Voor een stabiel energienet moeten vraag en aanbod in evenwicht zijn;
- Decentrale productie
Door de hub wordt op een intelligente manier gebruik gemaakt van de energieproductie, het energiegebruik en energieopslag op lokaal niveau. De hub vergroot daarmee de mogelijkheid voor een energiebesparende decentrale productie evenals die voor brandstofdiversificatie;
- Flexibiliteit
De hub vergroot eveneens de flexibiliteit van de netten waardoor ook grootschalige inpassing van de grillige en onvoorspelbare duurzame energiebronnen mogelijk lijkt zonder dat de stabiliteit van de netten wordt aangetast.

Het project heeft een scholings- en opleidingscomponent waarmee studenten (WO en HBO) in een vroeg stadium betrokken worden bij nieuwe mogelijkheden in energietransitie, wat aansluit bij het beleid van Koers Noord en EFRO.

FLEXINES laat het bedrijfsleven, MKB en kennisinstellingen profiteren van de kennis en ervaringen die in het project worden opgedaan. Deze kennisdeling leidt tot de ontwikkeling van nieuwe diensten, producten en vervolgonderzoeken. Ook dit sluit aan bij het beleid van Koers Noord en EFRO.

2.3. Onderzoeksvraag

In FLEXINES is onderzoek gedaan naar een lokaal energiemanagementsysteem (EMS, aanvankelijk aangeduid als energiehub) dat op een generieke wijze de koppeling verzorgt tussen de comforteisen van de gebruiker, de lokaal aangesloten apparatuur (voor gebruik, opslag of productie van energie) en de openbare energienetten. De gebruiker opereert vanuit zijn behoefte aan wonen, werken, mobiliteit of recreëren en doet dit vanuit woonhuis, kantoor, industrie of ander verblijfsplek. In het concept staat de gebruiker centraal die de (comfort)randvoorwaarden voor de het gebruik van zijn energiesysteem bepaalt en die handelt op basis van de door de gebruiker afgenomen energie in relatie tot de hem geboden energietarieven. De onderzoeksvraag is derhalve: Bouw een systeem dat het vereiste energiemanagement geautomatiseerd uitvoert op basis van energietarieven.

2.4. Het concept

Het te ontwikkelen EMS matcht de comfortmarges van de gebruiker met de toestand parameters van de lokale apparaten. Het EMS functioneert daartoe binnen een besturingsarchitectuur waarmee op generieke wijze apparaten fysiek kunnen worden aangestuurd. Het EMS onderhoudt, naast het regelen van de lokaal aanwezige gebruiks- en/of productieapparatuur, ook de relaties met andere EMS-en (de energiemarkt) en zorgt voor de juiste afrekening van de energiestromen (*billing*).

Omdat produceren van energie geen kernactiviteit van de gemiddelde gebruiker is, laat staan de daarmee verbonden handel, zijn transacties (zoals reageren op tarieven uit de omgeving of van leveranciers) en de daarbij vereiste handelingen (in- en uitschakelen van apparatuur) een wezenlijk onderdeel van het EMS.

2.5. Het onderzoek

In een proof-of-principle wordt het lokale energiemanagement gedemonstreerd in een laboratoriumopstelling door de samenwerking te laten zien tussen tenminste 3 EMS-en. Met de verschillende EMS-en zijn minimaal 7 apparaten verbonden zoals een HR-e ketel, zonnecellen maar ook accu's of andere gebruiksapparatuur. In de opstelling wordt middels een server de openbare energievoorziening gesimuleerd door het genereren van energie- en distributietarieven alsmede energiebelastingen. Door de server wordt het ook mogelijk de demonstratieopstelling in een latere fase te gebruiken om de effecten van verschillende tariefstructuren en belastingen op de lokale handel te simuleren. Dergelijke simulaties worden echter in dit project nog niet voorzien en zullen worden opgenomen in vervolgonderzoek.

Het concept voor lokaal energiemanagement sluit aan op de door ECN ontwikkelde Power Matcher. (Zie hoofdstuk 4.5 en **Bijlage 15 en Bijlage 4**).

De ontwikkeling van de uitwisselingsprotocollen, communicatie tussen het EMS en de apparaten alsmede tussen de EMS-en onderling, wordt in het project zodanig vormgegeven, dat hiermee een bijdrage wordt geleverd aan de ontwikkeling van Europese en Internationale standaarden voor open uitwisselingsprotocollen.

De stabiliteit van een systeem met een groot aantal EMS-en, evenals de mogelijke extra kosten voor netstabiliteit, worden in het onderzoek meegenomen.

In het project worden bij grootschalige introductie van het EMS de gevolgen verkend op het comfort van de gebruiker, het functioneren van de aan te sturen apparatuur en de functie van de centrale energievoorziening.

2.6. De opzet van het onderzoek

In het onderzoek worden vier onderzoekslijnen onderscheiden:

- De gebruiker;
- De apparaten (energiegebruikend, bufferend en energieproducerend);
- Het EMS;
- Het netwerk.

Het onderzoek is verder opgebouwd uit 3 fasen:

Fase 1, verzamelen van basisgegevens;

Fase 2, ontwerp EMS binnen een (gesimuleerde) energievoorziening, standaardisering uitwisseling;

Fase 3, validatie, adaptatie: proof of principle, verkenning grootschalige introductie.

Het project heeft, naast het ontwikkelen van de kennis, ook het overdragen van de opgedane kennis en inzichten naar het bedrijfsleven en het MKB als doelstelling.

2.7. Definities

Flexibiliteit

De flexibiliteit wordt uitgedrukt als percentage van de met geavanceerde aansturing te bereiken energiekostenreductie ten opzichte van de referentiekosten met de gebruikelijke aansturing van een device, zonder dat de bij de geavanceerde aansturing gestelde grenzen van het comfort worden overschreden. De flexibiliteit van een device is, bij een in de tijd gegeven energiekostenprofiel, afhankelijk van de gestelde grenzen aan het comfort. Deze grenzen zijn voor:

- a) Thermische buffer:
de minimale en de maximale temperatuur waartussen de temperatuur van de buffer zich moet bevinden;
- b) Shifter:
de tijdstippen in de toekomst waartussen het device in bedrijf mag zijn;
- c) Ongestuurd gebruikers:
kent geen comfortgrenzen.

Matchen

Matching is het bij een in de tijd gegeven energietariefprofiel vinden van een dusdanige aansturing van devices zodat er flexibiliteit optreedt.

Validatie

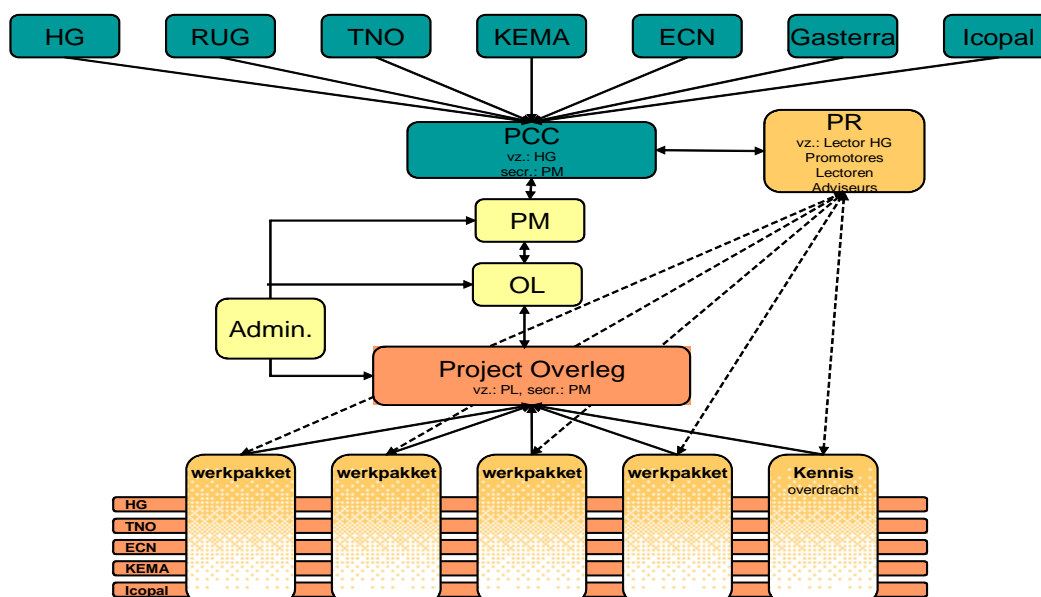
De validatie hier kan worden omschreven als de verwachte kosten versus de werkelijke kosten. Belangrijk te weten is dat het hier een huishouden betreft.

Referentie

Als referentie geldt een ongestuurd huis. Een huis dat niet wordt aangestuurd middels een EMS.

3. Projectaanpak

Na een gezamenlijke kick-off (een tweedaagse werkconferentie) op 18 en 19 februari 2009 in Allardsoog, is de groep in wisselende samenstelling regelmatig bij elkaar geweest. Tijdens deze bijeenkomsten hebben de kennismaking en verkenning vanuit de verschillende invalshoeken van Flexines centraal gestaan. Dit gebeurde soms diepgaand en steeds in een zeer open sfeer, zij het in een lager tempo dan aanvankelijk voorzien. Tijdens deze sessies is de oorspronkelijke opzet middels onderzoeklijnen verlaten en omgezet in een structuur van werkpakketten, zie figuur 1. Een werkpakket wordt aangestuurd door een werkpakketleider. De werkpakketleiders vormen samen met de projectmanager en de onderzoeksleider het projectoverleg. De specifieke deskundigheid van de deelnemende partijen (partners binnen het project) staat op een matrix-achtige wijze



Figuur 1: Opzet projectorganisatie

3.1. Planning en voortgang

Het project is opgedeeld in 3 iteraties met elk een doorlooptijd van 1 jaar en telkens startend op 1 april. Hiervoor is gekozen om op deze wijze steeds een ijkmoment te hebben binnen de doorlooptijd van het project. Elke werkpakket kan daarbij na evaluatie voorafgaand aan de volgende iteratie worden bijgesteld. Centraal bij de tussentijdse evaluaties stond het projectdoel: Het daadwerkelijk ontwerpen van een werkend proof of principle.

Dit heeft geleid tot de volgende iteraties:

- (1) Een proof of principle, voor een huishouden;
- (2) Uitbreiding van een proof of principle naar meerdere huishoudens;
- (3) Uitwerking van een proof of principle naar een proof of concept.

De geplande doorlooptijden van de verschillende iteraties zijn steeds aangehouden en steeds gehaald. De oorspronkelijke doorlooptijd van het project (3 jaar) is uiteindelijk via twee wijzigingsverzoeken verlengd tot 3 jaar en 9 maanden. Hierbij moet worden aangetekend, dat de formele beschikking van het project met meer dan zes maanden was vertraagd. Dat betekent dus, dat de doorlooptijd eigenlijk slechts met 3 maanden is verlengd. Reden hiervoor is vooral geweest de overname van een tweetal partners door nieuwe organisaties (GET door KEMA en ECN door TNO) waardoor er opnieuw afstemming nodig was met de nieuwe partijen, wat tot vertraging leidde.

3.2. Organisatieopzet

Om uitvoering te kunnen geven aan het project is gekozen voor een projectorganisatie volgens het model zoals in Figuur 1 reeds is weergegeven. Er is daarbij gekozen voor een splitsing tussen de organisatorische en inhoudelijke kant van het project. De PCC (stuurgroep) is verantwoordelijk geweest voor de organisatorische en algehele projectuitvoering en de PR (Programma Raad) voor de inhoudelijke bewaking van het project.

3.2.1. Project Coördinatie Commissie (PCC)

De PCC (**Programma Coördinatie Commissie**) trad op als stuurgroep en is voor het project het besluitvormend orgaan geweest. Alle deelnemende partners vormden gezamenlijk de PCC en hadden daar een gelijke stem. Het voorzitterschap is door de penvoerder ingevuld. De projectmanager (PM) voerde het secretariaat, maar had geen stemrecht.

Overleg

De PCC vergaderde ten minste eenmaal per kwartaal. De voorzitter kon samen met de PM besluiten extra vergaderingen in te lassen. Via de PM konden de leden van de PCC, de PR en de coördinatoren van de werkpakketten onderwerpen agenderen, mits de onderliggende documenten 7 werkdagen voor de desbetreffende vergadering beschikbaar waren.

De PCC is in totaal 13 maal bij elkaar geweest. Binnen de looptijd van het project heeft de PCC twee maal besloten een wijzigingsverzoek aan te vragen. De eerste betrof een verlening van het project en de tweede aanvraag was noodzakelijk omdat twee van de partners tijdens de looptijd van het project werden overgenomen door andere organisaties. Beiden aanvragen zijn door de SNN gehonoreerd (Wijzigingsbeschikkingen van 01-04-2010 en 13-11-2011). Daarnaast zijn besluiten genomen voor een aantal kleine aanpassingen binnen de kaders van het project.

3.2.2. Programma Raad (PR)

In de PR (**Programma Raad**) hebben alle promotoren van de bij het onderzoek betrokken promotieonderzoekers, alsmede de betrokken lectoren vanuit de Hanzehogeschool zitting gehad. De PR werd aangevuld met de projectmanager en de onderzoeksleider. Tenslotte kon de PR inhoudsdeskundigen van de partners uitnodigen.

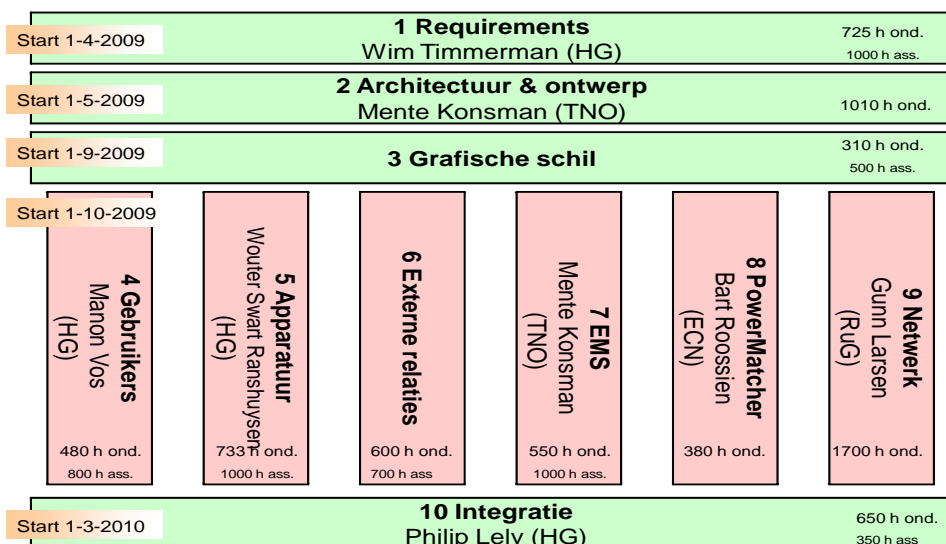
De PR adviseert de PCC op verzoek bij elk onderwerp dat de inhoud van het project beïnvloedt. Ook kon de PR ongevraagd adviseren indien de ontwikkelingen van het project daartoe aanleiding gaven. De PR had daarbij als primaire taak, de inhoudelijke ontwikkeling van het project te bewaken.

De PR kwam ten minste eenmaal per halfjaar bij elkaar en rapporteerde de inhoudelijke voortgang aan de PCC. Naast de leden van de PR, kon de voorzitter samen met een werkpakketcoördinator een extra vergadering bijeen laten roepen. Daarvan is gedurende het project geen gebruik gemaakt. Via de voorzitter konden naast de leden van de PR ook de coördinatoren van de werkpakketten onderwerpen agenderen, mits de onderliggende documenten 7 werkdagen voor de desbetreffende vergadering beschikbaar waren. In ieder geval stelt de PR de inhoud van de uit het onderzoek voortkomende publicaties vast.

Er zijn geen werkelijke tussentijdse aanpassingen nodig gebleken ten aanzien van de inhoudelijke voortgang van het project. Gaandeweg is de inzet van de PR verschoven van de inhoudelijke begeleiding van het project naar de inhoudelijke ondersteuning van de promovendi binnen het project.

3.2.3. Werkpakketten

Zoals eerder aangegeven, is er binnen de iteraties grotendeels gewerkt met werkpakketten. In figuur 2 is een voorbeeld voor het eerste jaar weergegeven:



ond.: onderzoeker; ass.: assistent-onderzoeker

Figuur 2: Opzet werkpakketten

De horizontale balken tonen de werkpakketten met gemeenschappelijke activiteiten en bestrijken het gehele project. De verticale balken zijn onderwerpgericht en kunnen per iteratie verschillen. Tijdens de diverse bijeenkomsten zijn de inhoudelijke delen van de werkpakketten beschreven.

3.2.4. Werving personeel

Iedere partner kon binnen zijn eigen begroting invulling geven aan de personele inzet. In het geval er behoefte bestond aan extra te werven onderzoekers of onderzoeksassistentie (veelal studenten), werd dit door de PM verzorgd. De PM was bevoegd binnen het mandaat van de projectbegroting tot deze werving over te gaan. Binnen de kaders van de begroting verzorgt de PM, in overleg met de werkpakketcoördinator, de werving van onderzoeksassistentie.

3.2.5. Huisvesting

Alle relevante praktische onderzoeken zijn, waar mogelijk, in RenQi uitgevoerd. Ten aanzien van kantoorruimte voor onderzoekers, onderzoeksassistenten en studenten is gebruik gemaakt van ruimte binnen de Hanzehogeschool. Ook een deel van de proefopstelling was gesitueerd binnen de Hanzehogeschool, in het gebouw “van Doorneveste”.

3.3. Financieel

Door een aantal wisselingen (overnames) bij de verschillende partners is ongeveer halverwege het project een wijziging in de projectbegroting aangevraagd bij de SNN. Deze wijziging was noodzakelijk omdat er delen van de begroting werden overgeheveld naar nieuwe partners in het project. Deze aanvraag is door de SNN gehonoreerd. Op basis van de aangepaste begroting kan worden gesteld, dat alles conform verwachting is verlopen. Er zijn geen substantiële verschillen opgetreden zowel bij de loonkosten als materiële kosten. Op basis van de ter beschikking staande gegevens is een voorlopige eindafrekening gemaakt. Deze is niet opgenomen in dit rapport, maar is voor bevoegde partijen separaat beschikbaar. Met betrekking tot de definitieve eindafrekening zal moeten worden gewacht, totdat de accountants goedkeuring hebben gegeven aan de einddeclaratie. De verwachting is dat deze definitieve afrekening niet voor eind december 2012 bekend zal zijn.

3.4. Disseminatie en valorisatie

Er is op vele manieren uiting gegeven aan de voortgang en de resultaten van het project Flexines. Naast een nieuwsbrief is er een website www.flexines.org opgezet, waarop de continue voortgang van het project te volgen is geweest. Ook dit eindrapport en de uiteindelijk behaalde resultaten zullen op de site worden gepubliceerd.

Door onze onderzoekers is zeer regelmatig deelgenomen aan symposia, zowel als bezoeker als ook als actief deelnemer zoals bijvoorbeeld presentator of gastspreker. Deze symposia waren zowel nationaal als internationaal. In een aantal gevallen zijn er vooraf ook papers aangeboden en gehonoreerd. Een totaal overzicht van de diverse uitingen is opgenomen in de **Bijlagen 12 en 13** van dit rapport.

In het laatste jaar zijn een colloquium en een symposium georganiseerd. Tijdens het colloquium is vooral sprake geweest van een collegiale uitwisseling van inhoudelijke kennis. Tijdens het symposium hebben de resultaten van Flexines en hetgeen daarmee gedaan kan worden centraal gestaan. Ook is daarbij aandacht besteed aan de mogelijke vervolg onderzoeksvragen.

Als laatste zal er nog een publiksuitgave van dit eindrapport worden uitgegeven en zullen alle gegevens beschikbaar komen op de website van het project www.flexines.org. Het ligt in de bedoeling dat de website nog zeker 5 jaar door de Hanzehogeschool zal worden onderhouden.

3.5. Evaluatie organisatieopzet

In z'n algemeenheid kan worden vastgesteld dat de gehanteerde organisatieopzet goed heeft gefunctioneerd. Een rolverdeling tussen de Projectmanager (organisatie en financiën) en de Onderzoeksleider (inhoud) heeft goed gewerkt.

Samenwerking partijen

De samenwerking met de partners heeft altijd tot volle tevredenheid gefunctioneerd. Binnen de stuurgroep waren alle partners vertegenwoordigd en hebben zij een positieve inbreng gehad. Ook voorstellen vanuit het projectmanagement werden steeds met een open instelling behandeld.

Een mogelijk woord van kritiek is, dat de inbreng van enkele partners wel erg veel op (fysieke) afstand plaatsvond. Dit is de synergie niet ten goede gekomen en had in de ogen van het projectmanagement beter gekund.

Relatie promotieonderzoek \leftrightarrow projectdoelen

Het project gerelateerde onderzoek van de verschillende promovendi binnen het project Flexines is niet altijd effectief verlopen. Zeker in de beginperiode bestond er naar het idee van de projectleiding te weinig cohesie tussen hetgeen de promovendi, met name van de Hanzehogeschool, voor hun promotieonderzoek moesten doen en hetgeen er van hen verwacht werd binnen het project. Dit kon ontstaan omdat de onderzoeksvragen van de HG promovendi in het begin nog onvoldoende waren uitgekristalliseerd, terwijl er vanuit Flexines al wel een duidelijk projectdoel was. Daarnaast was de begeleiding van de promovendi vanuit de HG onvoldoende gericht op deze spanning in belangen tussen het projectmatige - en het promotieonderzoek. Ook de promotoren hebben, zeker in het begin, te weinig voeling gehad met het in de projectomschrijving gestelde doel van Flexines.

Waren deze verschillende belangen in een vroegtijdig stadium expliciet bespreekbaar geweest, dan hadden daar zowel de promotieonderzoekers als het project baat bij gehad. Nu heeft het onder de druk van een concreet te behalen projectresultaat geleid tot een zekere tweedeling die gedurende het laatste project jaar zichtbaar werd.

4. Resultaten

In dit hoofdstuk zullen we uitgebreid ingaan op de resultaten die zijn behaald en deze zullen worden afgezet tegen de oorspronkelijke verwachte resultaten.

4.1. Beoogde projectresultaten

FLEXINES wilde de volgende kwalitatieve en kwantitatieve resultaten behalen:

4.1.1. Kwalitatieve resultaten

- beschrijft een gekwantificeerde comfortbehoefte van de eindgebruiker;
- beschrijft onderbouwde architecturen voor data-uitwisseling en transacties tussen energiehubbs en aansturing van apparatuur;
- beschrijft apparaataanpassingen op nieuwe energiesystemen;
- geeft inzicht in de mogelijkheden van een lokaal door de gebruiker aangestuurd energiemanagementsysteem (technisch wetenschappelijke kennis);
- geeft inzicht in de regelstabiliteit en de kosten van het (locale) energienetwerk;
- geeft inzicht in de kwantitatieve gevolgen bij een grootschalige invoering van de hub in de energiehuishouding bij de gebruiker, voor de energievoorziening en de apparaten;
- geeft inzicht in een standaardisatie van open uitwisselingsprotocollen;
- draagt bij aan de ontwikkeling van Europese, internationale standaarden voor open uitwisseling en communicatie in de energiesector;
- draagt bij aan een verkenning van de toekomstige duurzame energievoorziening;
- draagt bij aan de ontwikkeling van duurzame producten voor de duurzame energiemarkt die internationaal vermarkt kunnen worden;
- versterkt de relaties tussen betrokken bedrijven onderling en tussen kennisinstellingen en bedrijven, vergroot de bestaande netwerken;
- versterkt het energiecluster in Noord Nederland door de ontwikkeling van innovatieve concepten en verbindt de sterke sectoren (energie en sensortechnologie) van Noord Nederland met elkaar;
- geeft vanuit een voedingsbodem aan MKB, bedrijfsleven en kennisinstellingen spin-off ten aanzien van kennis-, product- en dienstenontwikkeling in energiemanagement en draagt hierdoor bij aan het verhelpen van de ijlheid van de Noord-Nederlandse economie.

4.1.2. Kwantitatieve resultaten

- levert proof of principle: een demonstratie van de werking van tenminste 3 samenwerkende hubs met minimaal 7 apparaten (waaronder energieproducerende apparatuur, energiegebruikers en apparaten voor opslag van energie) gekoppeld aan de stabiele (gesimuleerde) energievoorziening;
- levert minimaal 5 publicaties, essays en afstudeerscripties;
- zet 2 nieuwe minor opleidingen op bij de Hanzehogeschool op het raakvlak energie, ICT en bedrijfskunde en leidt daarmee jonge mensen op in een groeisector;
- zorgt middels een startpresentatie voor discussie over de visie van het project en de projectdoelstellingen;
- zorgt middels tenminste 2 bijeenkomsten/symposia/colloquia/presentaties voor de verspreiding van de informatie die tijdens het onderzoek is opgedaan, gericht op kennisinstellingen, (MKB-)bedrijven en de overheid;
- levert tenminste één vervolgonderzoek op, op gelijkwaardig technisch toegepast wetenschappelijk niveau.

Onderstaand zullen we uitgebreid ingaan op de resultaten die zijn behaald en de ervaringen die zijn opgedaan binnen het project. We zullen hierbij de afzonderlijke onderzoekslijnen apart doornemen, te weten:

1. De gebruiker(aspecten);
2. De (aan te sturen) Apparaten (energiegebruikend, bufferend en energieproducerend);
3. Het EMS (Matching);
4. Het netwerk (Modellering).

Daarnaast zal aandacht worden besteed aan de integratiemogelijkheden van de PowerMatcher. Ten slotte staan we stil bij de wijze waarop er binnen het project vorm is gegeven aan het openbaar maken van de onderzoeksresultaten en de wijze waarop er onderzoek is verricht en hoe de bij Flexines opgedane kennis is doorgegeven (kennisdissimulatie).

4.2. Gerealiseerde resultaten

4.2.2. De gebruiker

De thermostaat app

Voor de praktijkopstelling in Dwingeloo is applicatie gebouwd waarmee de instellingen voor de ruimteverwarming van het betreffende kantoor konden worden aangepast. De gebruiker/bewoner is aanwezig vanaf ca. 8.00 uur tot ongeveer 17.30 uur. De gebruiker kan via deze app op zijn laptop, eventueel op afstand, de waarde voor de temperatuur, de grenzen waarbinnen deze mag fluctueren en het te doorlopen programma voor dag en nacht instellen. Via deze app was ook de actuele temperatuur en het werkelijke temperatuurverloop te volgen en kon de historie uit de database worden opgehaald. Omdat de gebruiker soms tijdelijk de temperatuur wil kunnen wijzigen, was ook een button aanwezig waarmee de ingestelde temperatuur + of - 0,5°C kon worden gewijzigd. Deze wijziging werd bij de eerstvolgende programmastap weer ongedaan gemaakt.

Deze web based applicatie heeft technisch naar volle tevredenheid gewerkt. Omdat de gebruiker weinig behoefte had aan het wijzigen van de instellingen is er maar een zeer beperkte feedback geweest. De gebruiker was tevreden, zijn aandacht was op zijn business gericht, energie was bijzaak, waren kosten die in geen verhouding stonden tot zijn omzet.

Wel heeft de gebruiker gereageerd toen de aansturing van de CV-installatie via het internet door het EMS was uitgevallen. Toen bleek dat de back-up-voorziening, de oude kamerthermostaat, via de app, die toen nog wel werkte, niet was in te schakelen. Hardware matig was dit wel voorzien.

Comfort

Het heeft in de bedoeling gelegen om niet primair te sturen op de ruimtetemperatuur, maar op het door de gebruiker beleefde comfort. Dit comfort moest dan door één indicator kunnen worden ingesteld. (bv.: als de gebruiker het te koud vond, zet hij het comfort wat hoger). De parameters voor dit comfort zijn:

- Ruimtetemperatuur
- Wandtemperatuur
- Relatieve vochtigheid
- Buitentemperatuur

De app vertaalt de verandering van de indicator dan in een verandering van de ruimtetemperatuur. Deze verandering kan bij een lage wandtemperatuur/relatieve vochtigheid anders zijn dan bij een hoge, maar daar heeft de gebruiker geen boodschap aan. De gedachte was om hiervoor een zelflerende app te maken die het door de gebruiker in de tijd gewenste comfort zelf instelt. Gegeven de andere inspanningen binnen het project, is het bij een verkenning van de literatuur gebleven. Daarmee verviel ook de mogelijkheid om de relatie tussen comfort en energiekosten nader te onderzoeken. De verkenning leerde dat er modellen ter beschikking zijn, hun bruikbaarheid is niet beoordeeld.

4.2.3. De apparaten

Toegepaste apparatuur

De toegepaste apparaten zijn onder te verdelen in een aantal groepen. Deze groepen zijn

- Thermische buffers;
- Timeshifters;
- Ongestuurde gebruikers en opwekkers.

Ieder apparaat kan op een andere wijze worden aangestuurd zoals in de navolgende hoofdstukken verder uitgewerkt wordt.

Thermische buffers

Thermische buffers zijn systemen bestaande uit een stelsel van passieve warmtecapaciteiten verbonden met een actief koelend of verwarmend apparaat. Thermische buffers bevatten dus een zekere koude of warmte inhoud. Aan deze buffers hangt een boven- en ondertemperatuur. De boven- en ondertemperatuur hangen over het algemeen af van de comfortwensen van de gebruiker. Zo is een huis een thermische buffer (de energie-inhoud van de bouwmasa) en zal men de temperatuur het liefst tussen de 19 en 21 °C willen hebben (afhankelijk van de wensen van de gebruiker). Een koelkast heeft door de 'koude' inhoud gemiddeld genomen een temperatuur die varieert tussen de 2 en 7 °C. Blijft de temperatuur tussen de ingestelde onder- en bovengrens dan functioneert het apparaat binnen de gestelde comfortgrenzen. Tussen de temperatuurgrenzen ligt een gebied dat vrij benut kan worden. De koelkast als voorbeeld, mag wel degelijk eerder koelen ondanks dat de bovengrens nog niet is bereikt. Met andere woorden daarmee kan een koelkast of algemener gesteld een apparaat met een thermische buffer flexibel opereren. De thermische buffer stelt het apparaat in staat de vraag naar energie te verschuiven in de tijd.

Deze toegepaste apparatuur betreffen:

- Koelkast; de koelkast maakt gebruik van de 'koude' inhoud. Doordat de warmtekleiner is dan de capaciteit van de warmtepomp heeft de koelkast een aan/uit patroon. De koelkast die bij Flexines is gebruikt, heeft een cyclus van plusminus 15 minuten aan en 45 minuten uit. De cyclus kan worden doorbroken door energie slim in te kopen mits de temperatuur binnen de gestelde temperatuurgrenzen ligt;
- Micro WKK maakt gebruik van een warmwater buffer en kan ook op deze wijze bufferen. Bovendien hangt aan de micro WKK het huis vast met zijn warmte-inhoud. Ook deze buffer de micro WKK geeft voor het aan- en uitschakelen veel flexibiliteit aan;
- Vriezer; gelijk als koelkast;
- Bodembron.

Timeshifters

Timeshifters zijn apparaten die hun activiteit in de tijd kunnen verschuiven afhankelijk van wat de gebruiker toestaat.

Bekende timeshifters zijn:

- Droger; de droger is binnen een HH de grootste verbruiker en kan door timeshiften energie consumeren ten tijde van energieoverschot. Bij een energietekort kan men terug vallen op de alom bekende waslijn.
- Afwasmachine;
- Wasmachine;

Ongestuurde generatoren

Dit zijn de zogenaamde stochastische apparaten. Hierbij valt te denken aan de verlichting, TV en andere apparaten die energie verbruiken en waar het gebruik moeilijk/niet verschoven kan worden. Je wilt nu de TV kijken en niet enig moment later.

Deze toegepaste apparatuur betreffen oa.:

- Verlichting;
- TV;
- Computer;

Monitoring

Van de apparaten wordt het energiegebruik gemeten met de minuut als meetinterval. De gedurende die minuut gebruikte energie wordt vertaald naar vermogen. De gebruikte energie wordt aferekend tegen het tarief dat bij die minuut hoort.

Aansturing

De aansturing van de apparaten geschiedt op basis van 'laagste kosten'. Bij de matching wordt dit principe behandeld.

Voorspelmodellen

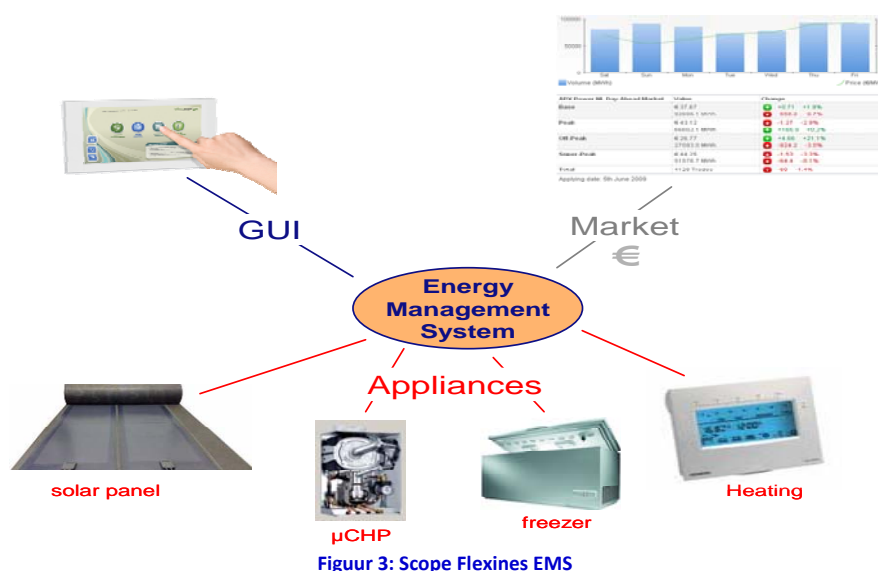
Zowel thermische buffers als timesthifters hebben binnen de comfortgrenzen enige speelruimte in de tijd. Deze speelruimte wordt aangewend om energie in te kopen op momenten waarop de prijs van energie laag is. Voor de apparaten met thermische buffers is een theoretisch model opgezet. In de praktijk is gebleken dat deze modellen te kort schieten en de werkelijkheid niet geheel benaderen. Veel aandacht is besteed aan empirisch onderzoek om het werkelijk gedrag te achterhalen.

Dit is grotendeels gelukt. Echter we dienen altijd rekening te houden met de factor mens als ‘storende’ factor. Het is van tevoren niet bekend wanneer de heer des huizes besluit zijn kratje bier in de koelkast te zetten of wanneer zijn vrienden komen om van het bier te genieten.

4.2.4. Het EMS

4.2.4.1. ICT- architectuur

Een van de doelstellingen van het Flexines project is om een Energie Management Systeem (EMS) te ontwikkelen voor huishoudens. Er zijn 3 hoofdtaken die het EMS moet uitvoeren: het aansturen van apparatuur (solar panel, μ CHP, freezer, heating), communicatie met de energie markt (Market) en terugkoppeling aan de gebruikers (Graphical User Interface - GUI). Figuur 3₃ geeft de scope van het EMS aan.



Figuur 3: Scope Flexines EMS

Binnen het project Flexines is voor het EMS een IT architectuur ontwikkeld die de leidraad is geweest bij de implementatie. Voor de architectuur golden de volgende uitgangspunten: waarborgen van privacy van de eindgebruiker, robuustheid (EMS moet bijvoorbeeld blijven functioneren bij communicatie uitval), onafhankelijkheid van leveranciers (EMS moet kunnen omgaan met apparaten van verschillende merken) en ten slotte moet het EMS in staat zijn om energie te verhandelen op een marktplaats.

Deze uitgangspunten hebben geresulteerd in een modulaire IT architectuur. De belangrijkste modules zijn: Device management, Energy Matching en Trading. Device Management is verantwoordelijk voor het aansturen van de apparatuur. Apparaten zijn onderverdeeld in een aantal generieke categorieën: timesthifters (bv. wasmachines), buffers (bv. verwarming), storage (bv. elektrische auto) en uncontrolled load/generation (bv. zonnepanelen). Energy Matching probeert opwek en verbruik in het huishouden zo optimaal mogelijk op elkaar af te stemmen. Trading, ten slotte, zorgt er voor dat het EMS de beste deals sluit op de energiemarkt. De hiervoor genoemde modules worden gecombineerd met een GUI module die de gebruiker in staat stelt de status van het EMS in te zien en instellingen te wijzigen. Een nadere uitwerking van dit onderwerp is terug te vinden in **Bijlage 4**.

Het Flexines EMS is volgens deze architectuur geïmplementeerd. In de praktijk bleek de gekozen indeling in modules goed te werken. Naar aanleiding van de positieve resultaten binnen Flexines zet TNO de verdere ontwikkeling van belangrijke onderdelen van deze architectuur door in vervolprojecten.

4.1.2.1. Matching door het EMS

De referentie

In de referentiesituatie worden alle apparaten op een gebruikelijke wijze aangestuurd, d.w.z. de thermische buffers pendelen tussen de opgegeven comfortgrenzen en de shifters komen meteen in bedrijf als de gebruiker ze aanzet. De daarmee samenhangende energiekosten volgens de tariefprofielen voor elektriciteit en gas vormen het uitgangspunt voor de vergelijking. Omdat in de praktijk de apparaten niet gelijktijdig zowel overeenkomstig de matching aangestuurd als traditioneel aangestuurd kunnen worden, wordt de referentie steeds berekend. De daarvoor te gebruiken modellen van de apparaten kunnen echter wel in de praktijk worden gevalideerd door de matching van de betreffende apparaten geheel achterwege te laten.

Centrale matching

Achtergrond

Eén van de belangrijkste doelstellingen van het Flexines EMS is om consumerende (bv. wasmachine) en producerende (bv. micro WKK en PV panelen) apparaten in het huishouden zo optimaal mogelijk op elkaar af te stemmen. Deze afstemming vindt plaats ten opzichte van een prijsprofiel waarin voor elk tijdslot de prijs voor consumptie en productie gegeven is. In principe kan dit prijsprofiel naar elk apparaat worden doorgestuurd, zodat elk apparaat individueel beslist wat het beste tijdstip is om in of uit te schakelen. Dit kan echter tot suboptimale oplossingen leiden. Bijvoorbeeld in de situatie waarbij de prijs die betaald moet worden voor consumptie hoger is dan de prijs die men voor productie ontvangt. In dat geval is het essentieel dat de consumptie in het huishouden zoveel mogelijk samenvalt met de productie. Een dergelijke afstemming kan alleen centraal in het EMS worden bepaald en niet in een individueel apparaat dat geen weet heeft van de toestand van andere apparaten.

Gekozen methode

Om een Proof of Concept voor de centrale matching mogelijk te maken is in dit geval gekozen voor een zogenaamd "genetisch algoritme": een techniek uit de hoek van de kunstmatige intelligentie. Andere methodes (bv. wiskundige methodes) zijn evenzeer mogelijk, zolang het principe van de centrale matching daarmee maar aangetoond kan worden.

Het genetisch algoritme is geïnspireerd op evolutie. Als eerste stap worden op een random wijze geldige oplossingen voor het probleem gegenereerd. Elke oplossing bevat een in- en uitschakelprofiel voor alle in het huishouden aanwezige apparaten. De mate van succes van een oplossing hangt in dit geval samen met de kosten voor de consument. Deze eerste set (generatie) met oplossingen zijn nog verre van optimaal; er kan dus nog veel meer bespaard worden. Van deze eerste generatie van oplossingen wordt een nieuwe generatie gecreëerd door middel van mutaties en kruisingen van oplossingen. De beste resultaten van deze mutaties en kruisingen worden in de nieuwe generatie geplaatst (selectie). Op deze manier worden de oplossingen steeds optimaler naarmate het aantal generaties toeneemt. Na een bepaald aantal generaties wordt het proces gestopt en de beste oplossing uitgekozen.

Resultaten

De centrale matching is geïmplementeerd in een proof of concept met gesimuleerde apparaten (zowel consumptie als productie). De resultaten van de proof of concept toonden aan dat het genetische algoritme snel in staat was om significante kostenbesparingen te realiseren ten opzichte van de default aansturing van de apparaten. Ook reageerde dit algoritme goed op de karakteristieken van de verschillende prijsprofielen die zijn beproefd. Hiermee is aangetoond dat het principe van centrale matching zeer geschikt is om tot een zo optimale afstemming te komen tussen consumerende en producerende apparaten binnen een huishouden.

Decentrale matching

Bij decentrale matching wordt elk device optimaal gematcht op het energietariefprofiel. De devices houden daarbij nog geen rekening met elkaar, de matching is dus nog suboptimaal. Om een meer optimale matching te krijgen over alle devices samen, wordt het energietariefprofiel proefondervindelijk aangepast waarbij de flexibiliteit van het geheel afgerekend tegen het oorspronkelijke tariefprofiel, moet toenemen. Deze aanpassing wordt herhaald zolang de flexibiliteit toeneemt. Hierbij wordt vanwege de benodigde rekentijd niet

de maximale flexibiliteit nagestreefd, maar een vaste rekentijd aangehouden. Een schets van de functionele opzet van deze wijze van matches is in **Bijlage 3** opgenomen.

4.1.2.2. Overige aspecten

Centraal binnen Flexines staat het reageren op verwachte energietarieven. Het plannen van de inschakeling van devices op de momenten met de voordeligste tarieven is de kern. Daarom is het van belang om over een periode van bv. 12 uur de verwachte energietarieven per 5 minuten te kennen. De energietarieven worden daarbij gedacht naast de energiebelasting uit twee componenten te bestaan, die anders dan nu het geval is van moment tot moment kunnen verschillen. Naast een energiedeel wordt ook een transportcomponent onderscheiden.

a) Transporttarieven:

Via het tarief voor het transport van energie komt de beschikbaarheid van het distributie- en transportnet tot uitdrukking. Hoewel het ontwikkelde systeem geschikt is om met momentane transporttarieven te rekenen, zijn deze op het gemiddelde netwerktarief gesteld. Met het transporttarief wordt alleen bij levering rekening gehouden;

b) Elektriciteit- en gastarieven:

Voor elektriciteit wordt een tariefprofiel gebruikt dat ontleend is aan het onbalanstarief van TenneT op de dag (16 oktober 2005) met een gemiddelde buitentemperatuur die overeenkomt met de gemiddelde temperatuur over de periode 2000 t/m 2009. Het onbalanstarief is genomen omdat er geen gangbare snel wisselende tarieven beschikbaar zijn.

Voor gas is een tarief bedacht dat door de dag heen varieert, maar gemiddeld ongeveer gelijk is aan het huidige gastarief.

Weerkundige voorspellingen

Om de behoefte aan ruimteverwarming te kunnen voorspellen is een verwachting van de buitentemperatuur ter plaatse nodig. Door een goede samenwerking met het KNMI kan tijdens de onderzoeken worden beschikt over een weersvoorspelling op locatie, betrokken voor een periode van 12 uur vooruit. Deze voorspelling wordt elk uur geactualiseerd. Uit deze voorspelling wordt de verwachte zoninstraling gebruikt om de opbrengst van PV-panelen te voorspellen.

4.2.5. Energiemarkt

4.2.5.1. Marktplaats Energie

Binnen een huishouden is voortdurend behoefte aan energie, die wellicht deels zelf kan worden opgewekt, en deels moet worden ingekocht. Of, zoals steeds meer gebeurt, dat de energie zelf wordt opgewekt, bijvoorbeeld via zonnepanelen of een micro-WKK. Op enig moment kan er dan zelfs een overschot ontstaan aan eigen opgewekte energie, dat aan derden kan worden aangeboden. Om het juiste aanbod te kunnen krijgen op een aanvraag of aanbidding, moet een aantal geschikte marktpartijen worden gevonden, waaruit vervolgens een keuze moet worden gemaakt van wie energie wordt afgenomen of aan wie wordt geleverd. De plaats waar vraag en aanbod samenkomen is de marktplaats.

Hieronder worden de keuzes en afwegingen beschreven die voor de inrichting van een marktplaats, voor het bijeenbrengen van vraag en aanbod, zijn gemaakt. Op de Flexines implementatie prioriteitenlijst stond de marktplaats als “nice-to-have” aangemerkt. Uiteindelijk is de marktplaats helaas wegens tijdgebrek niet geïmplementeerd. Een uitgebreide beschrijving van de voorgenomen implementatie is in Bijlage 18 opgenomen

4.2.5.2. Rollen marktpartijen

De gestage opmars van duurzame energiebronnen en het daarmee toenemende belang van decentrale opwek, betekent een verschuiving in de traditionele energie waardeketen. De *waardeketen*, met de top-down energiestromen van opwek, transport en distributie naar de eindgebruiker, verandert in een *waardenetwerk*, met op verschillende plaatsen invoeding van opwek, waarbij de energiestromen bi-directioneel zullen worden. De bestaande rollen in dit waardenetwerk zijn aan verandering onderhevig, terwijl ook nieuwe rollen en partijen toe zullen treden.

Zo'n nieuwe partij zal de *prosumant* zijn, een kleingebruiker die naast afname ook eigen opwekking heeft. Deze prosumant zal onderhandelen over de prijs die hij betaalt voor afname of die hij krijgt voor

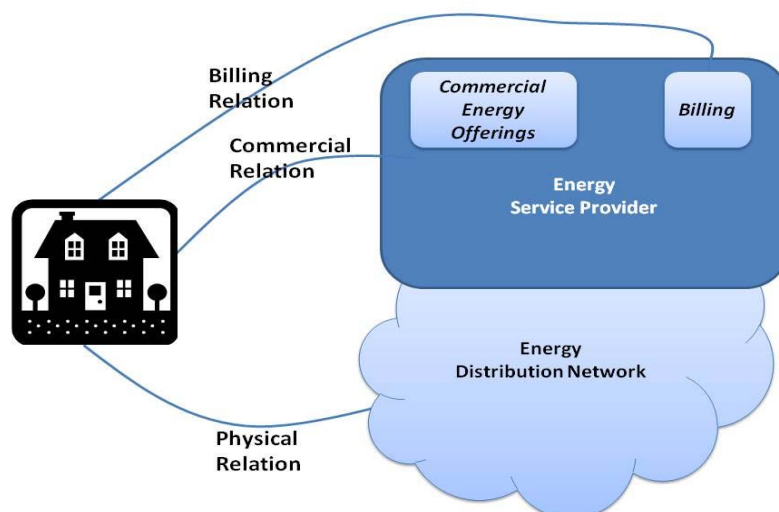
teruglevering. Die onderhandelingen kunnen plaatsvinden tussen prosumenten onderling, op lokaal niveau, maar ook met andere partijen, zoals de traditionele energieleveranciers.

Het Flexines rollenmodel beschrijft het waardenetwerk voor de prosumant vanuit een drietal perspectieven (zie ook figuur 4):

Fysiek: welke fysieke relaties bestaan er tussen de verschillende rollen.

Commercieel: welke interacties vinden er plaats aangaande de onderhandeling en contractering van energie uitwisseling.

Billing: tenslotte zal de uitgewisselde energie moeten worden verrekend. De bijbehorende interacties en processen worden beschreven vanuit het billing perspectief.



Figuur 4: Het Flexines rollenmodel vanuit het prosumers perspectief.

Deze acterende prosumer wordt als zodanig niet, of onvoldoende beschreven in het rollenmodel van zowel TENNET¹ als van ENTSOE². Naar verwachting zullen voor het inbedden van grote aantallen prosumers nieuwe diensten op de energiemarkt gaan ontstaan.

Meer informatie over dit onderwerp is te vinden in **Bijlage 16**

4.2.6. *Huishouden van de toekomst*

De Flexines demonstrator is gebaseerd op het concept van het “huishouden van de toekomst”. Zo’n huishouden bezit een aantal energie consumerende en energie producerende apparaten die “slim” gemaakt zijn (“smart appliances”). Slimheid in Flexines context betekent dat die apparaten enerzijds in staat zijn om een voorspelling te maken over hun energiegebruik (of productie) in de afzienbare toekomst, en anderzijds dat deze apparaten hun energiegebruik en productie konden aanpassen op basis van fluctuerende markt tarieven. Binnen het project is ervoor gekozen om met de volgende apparaten te werken:

<u>Thermische buffers</u>	<u>Time shifters</u>	<u>Ongestuurd gebruik/opwekking</u>
Verwarming met μ -wkk	Wasmachine	PV-paneel
Koelkast	Wasdroger	
Diepvries		

Bij de start van het project Flexines waren er op de standaard markt alleen standaard huishoudelijke apparaten te koop. Binnen het project zijn deze apparaten “slim” gemaakt door ze te voorzien van de volgende elementen (zie foto):

- *Sensoren* om diverse aspecten van de apparaten te kunnen meten;
- *Actuatoren* om de apparaten aan en uit te kunnen zetten middels ICT instructies;

¹ TENNET: “Energy in the Netherlands 2011”, section 2 pages 14 – 21.

² ENTSOE: “The harmonized Electricity Market Role Model”, version 2011-01.

- Flexines bedieningspanelen; en
- Kleine *standaard computers* waar de Flexines programmatuur op kon worden uitgevoerd. Deze computers zijn ook voorzien van standaard communicatie technologie (IPv4 over ethernet) waarmee de slimme apparaten met het EMS en de centrale database informatie konden uitwisselen.



De computers zijn in staat om in JAVA geprogrammeerde algoritmes uit te voeren. Middels IO bordjes zijn deze computers verbonden met de aangebrachte sensoren en de gemonteerde actuators. Op deze manier konden de diverse gegevens per apparaat worden uitgelezen (en worden gelogd in databases), konden door het EMS voorspellingen worden gemaakt (per apparaat), konden deze voorspellingen weer worden vertaald naar uitvoeringsprofielen die naar het apparaat werden verzonden en kon de apparaatxcomputer het apparaat aansturen.

Een uitgebreidere versie van dit onderwerp is te vinden in **Bijlage 19**.

4.2.7. Het netwerk

4.2.7.1. *Netwerk modellen Gas en Electrisch*

Eén van de strategieën om een balans in een distributie netwerk te bereiken, is de productie en consumptie per huis op elkaar af te stemmen. Als burens daarbij samenwerken door informatie met elkaar te delen kan deze balans op een doeltreffende manier worden gevonden.

Stel je voor dat huis A een grote vraag naar elektriciteit heeft, maar zijn productie niet verder kan opvoeren. Huis B dekt zijn vraag naar warmte met zijn micro-WKK-systeem maar produceert te veel elektriciteit. Huis B zou dan geld kunnen verdienen door elektriciteit aan buurman A te verkopen, terwijl de elektriciteit lokaal binnen het netwerk geproduceerd en geconsumeerd blijft worden.

Daarom is er een dynamisch prijsmechanisme ontwikkeld waarmee de opwekking van elektriciteit van μ -wkk in een netwerk van huishoudens gecoördineerd kan worden. Het uitgangspunt is dat de huishoudens prosumenten zijn. Het regelen van de vraag-aanbodbalans in het netwerk gebeurt autonoom op huishoudniveau. Door het omzeilen van een centrale automatische regelaar worden de berekeningen voor het optimaal wegregelen van de onbalans eenvoudiger en volstaat een peer-to-peer communicatiestructuur in het netwerk. Lokale gebruikersinformatie blijft lokaal, maar door middel van prijssignalen tussen de huishoudens onderling wordt er optimaal samengewerkt binnen het fysieke netwerk.

Er is een model ontworpen dat gebaseerd is op de balans tussen de energieproductie en -consumptie in een Slim Netwerk, gespreid over meerdere producenten en consumenten. Daarbij is het doel een optimale balans tussen productie en consumptie te bereiken.

4.2.7.2. *Netvlakken*

Met dit doel voor ogen is er een communicatienetwerk naast het fysieke netwerk ontworpen. Via dit communicatie netwerk, werken de fysiek verbonden huishoudens met elkaar samen. De structuur van het communicatie netwerk hoeft niet hetzelfde te zijn als die van het fysieke netwerk. De informatie die in het uiteindelijke onbalansregelingsalgoritme op huishoudniveau gedeeld moet worden, is het resultaat van een prijsonderhandeling tussen de aangesloten huishoudens.

Door gebruik te maken van een gedistribueerde *Model Predictive Control* (MPC)-methode op basis van *dual decomposition* zoals beschreven in [ref. Giselsson en Rantzer, 2010], bereiken we balans in het fysieke netwerk. Het gewenste gedrag voor het netwerk, wordt op basis van een gedistribueerde MPC-benadering gesimuleerd. Elk huis heeft daarbij een uniek vraagpatroon dat is ontleend aan de door de ECN-patroongenerator gegenereerde realistische patronen [ref. Paauw en Roossien, 2009]. In de optimale lokale regelaarimplementatie wordt rekening gehouden met onbalansinformatie van een aantal burens.

De prijsstelling is niet gebaseerd op een veiling of bieding, maar is het resultaat van de informatie over de onbalans van de burens in het netwerk. Op die manier krijgen we een eerlijke prijsstelling tussen huishoudens, met unieke dynamische prijzen per huishouden voor het kopen en leveren van energie.

4.2.8. Grootschalig gebruik

Energie management diensten voor prosumenten en lokale energie initiatieven

Flexines heeft ter ondersteuning van de prosumant een proof of principle ontwikkeld van een energie managementsysteem voor een huishouden. Daarbij staat de minimalisatie van de energiekosten voor het individuele huishouden centraal binnen de grenzen van het door die prosumant/gebruiker gewenste comfort. Uitgangspunt van het ontwikkelde energie managementsysteem is, dat de gebruiker van dit systeem 'ontzorgt' wil worden zonder dat hij daardoor de regie verliest.

In het kader van het Flexines project is ook onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van lokale energie initiatieven, waarbij groepen bewoners op lokaal niveau hun gezamenlijke energievoorziening willen organiseren. Vaak start een dergelijk initiatief met de gezamenlijke inkoop van bijvoorbeeld zonnepanelen, waarbij als doel wordt gesteld om op termijn zoveel mogelijk zelf energie op te wekken, op een duurzame wijze, in de eigen omgeving, voor verbruik binnen de eigen omgeving. Om dit te realiseren zal, naast ondersteuning binnen de individuele huishoudens, ook de uitwisseling van energie binnen de lokale community moeten worden gefaciliteerd en ondersteund met toegevoegde waarde diensten.

Om te achterhalen wat daarvoor nodig is, is onderzoek gedaan naar de wensen en eisen van de deelnemers binnen dergelijke initiatieven. Met deze wensen en eisen als uitgangspunt is een service concept ontworpen, dat invulling geeft aan de gestelde wensen en eisen. Een dergelijk service concept kan door partijen in de markt worden gebruikt om een dienstenplatform in te richten voor het ontzorgen van individuele huishoudens en lokale energie communities.

Wensen en eisen van prosumenten

Om wensen en eisen van eindgebruikers te achterhalen, is een aantal lokale energie initiatieven benaderd, waarbij met name de initiatiefnemers zijn geïnterviewd (o.a. Thomsonstraat Groningen, Grunneger Power, Amelander Energie Coöperatie, Lochem Energie). Daarnaast zijn er een tweetal sessies georganiseerd in een Group Decision Room (GDR), een elektronische brainstormomgeving. In deze sessies konden de deelnemers hun ideeën, wensen en eisen op het gebied van energie informatie, controle en sturing naar voren brengen. De interviews en de GDR sessies hebben geleid tot een lijst van randvoorwaarden waaraan lokale energievoorziening, en middelen voor beheer en aansturing, moeten voldoen.

Als belangrijkste randvoorwaarde kwam naar voren dat mensen "ontzorgd" willen worden. Ontzorgen wil zeggen dat ze zelf, voor de energievoorziening, niet teveel moeite en inspanning willen leveren, maar dat ze dat graag uitbesteden aan iemand die dat voor hen regelt. Automatiseren is ook prima, maar dan is wel de uitdrukkelijke wens dat ze controle willen hebben, en moeten kunnen ingrijpen wanneer ze dat willen (bijvoorbeeld zelf bepalen wanneer de was moet draaien). Bij uitbesteden en automatiseren speelt "vertrouwen" een cruciale rol. Deelnemers willen weten wat er gebeurt en hoe het gebeurt. Als ze daar vertrouwen in hebben dan hebben ze er ook geld voor over.

Van wensen en eisen naar een dienstenconcept

Na de inventarisatie van de wensen en eisen van prosumenten is een vervolgstap gemaakt, door een vertaling te maken naar een dienstenconcept. In de bijlage (**Bijlage 14**) is te lezen hoe een dergelijk dienstenconcept er uitziet. Een belangrijke voorwaarde die gesteld kan worden aan het dienstenconcept is dat het moet kunnen meegroeien met de ontwikkelingen van de lokale energie initiatieven (evolutionair groeimodel). Nieuwe diensten moeten naadloos kunnen worden ingepast wanneer de initiatieven zich ontwikkelen van ideefase tot uiteindelijk een mogelijk volwaardig, zelfvoorzienend lokaal energiebedrijf. Een dergelijk dienstenconcept kan worden ingevuld met behulp van Service Oriented Architecture (SOA) en web services. Zo'n architectuur voor een energie management dienstenplatform biedt de gewenste flexibiliteit en voldoet aan de ontwerpcriteria die gesteld worden aan een evolutionair groeimodel. Een dergelijk platform stelt dienstenontwikkelaars en –

aanbieders in staat op een flexibele en transparante wijze de prosumers en lokale energie initiatieven te ontzorgen.

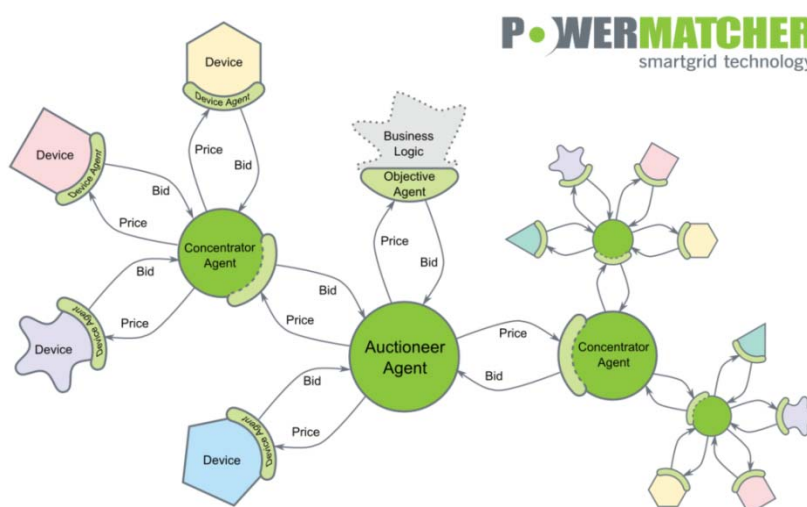
Het Flexines energie management systeem kan daarin een belangrijke rol spelen als instrument dat op lokaal niveau het energieverbruik optimaliseert op basis van door de prosumant opgegeven randvoorwaarden.

Concluderend

In het onderzoek zijn de wensen en eisen van prosumers, die actief zijn in een lokaal energie initiatief achterhaald, en deze wensen en eisen zijn omgezet naar een dienstenconcept dat hier invulling aangeeft. Tevens is een architectuur voor een dienstenplatform uitgewerkt dat het evolutionaire groeimodel van lokale energie initiatieven ondersteunt. Een dergelijk platform stelt dienstenontwikkelaars en –aanbieders in staat op een flexibele en transparante wijze de prosumers en lokale energie initiatieven te ontzorgen. Het Flexines energie management systeem speelt daarin een centrale rol als instrument dat op lokaal niveau het energieverbruik optimaliseert op basis van door de prosumant opgegeven randvoorwaarden. Uitgebreide informatie over dit onderwerp is te vinden in **Bijlage 14**.

4.2.9. Integratiemogelijkheden PowerMatcher en Flexines

PowerMatcher is een op meerdere agenten gebaseerd systeem waarmee via elektronische wisselmarkten een cluster apparaten kan worden beheerd met als doel de vraag naar en het aanbod van elektriciteit in dat cluster op elkaar af te stemmen. Een multi-agentsysteem is een gestructureerd systeem waarmee complexe, gedistribueerde, aanpasbare en open ICT-systemen kunnen worden ingezet waarin meerdere softwareagenten met elkaar communiceren met als doel een systeemdoel te bereiken. Zo'n softwareagent is een op zichzelf staand softwareprogramma dat optreedt als vertegenwoordiger van iets of iemand (in dit geval een apparaat of een energievraag van de gebruiker). In de onderstaande afbeelding (Figuur 5) worden de verschillende agenten van PowerMatcher en hun interacties weergegeven.



Figuur 5: PowerMatcher agents

Elk flexibel apparaat in een cluster wordt vertegenwoordigd door een *apparaatagent*, een stukje software dat de belangen van dat apparaat vertegenwoordigt. Deze agenten proberen de samenhangende processen op een zo voordelig mogelijke manier te beheren zonder dat daarbij een centraal optimalisatiealgoritme nodig is. Door in het multi-agentsysteem gebruik te maken van een elektronische markt (de *veilingmeester*), kunnen de agenten handelen in voorraden, dat wil zeggen elektriciteit, die de agent nodig heeft om zijn taak te kunnen uitvoeren. De enige informatie die tussen de agenten en de veilingmeester wordt uitgewisseld, zijn biedingen. Uit die biedingen blijkt in hoeverre een agent bereid is voor een bepaalde hoeveelheid elektriciteit te betalen of betaald te worden. Biedingen kunnen dus gezien worden als de urgentie of bereidheid van een apparaat om zichzelf in dan wel uit te schakelen. Biedingen worden met onregelmatige tussenpozen (*event-based*) verstuurd, namelijk alleen als de lokale situatie verandert en de agent dus een nieuw bod kan doen. Hierdoor blijft de communicatie tussen de bij PowerMatcher betrokken partijen zo beperkt mogelijk. De veilingmeester verzamelt de biedingen en berekent de evenwichtsprijs. Dat is de prijs waarbij de som van alle biedingen nul is,

zodat er geen nettoconsumptie of -productie is. De evenwichtsprijs wordt teruggekoppeld aan de apparaatagenten, die dienovereenkomstig reageren door elektriciteit te produceren dan wel te consumeren of te wachten tot de marktprijs of de urgentie (toestand) van het apparaat verandert.

Berekend werd dat per huishouden € 3,26 per maand werd bespaard, wat een besparing inhoudt van ongeveer 9% per huishouden voor kleine apparaten.

Meer informatie over de PowerMatcher kunt u vinden in **Bijlagen 15A en 15B**

4.2.10. *Demonstrator*

Het Flexines project heeft een praktijkopstelling gerealiseerd in het RenQi lab. Deze praktijkopstelling is gebruikt bij het ontwikkelen van de Flexines technologie (inclusief alle daarvoor noodzakelijke basistechnologie) en het toetsen van deze Flexines concepten in de praktijk. Daarnaast bleek de praktijkopstelling een uitstekend communicatie middel om aan bezoekers te vertellen over de Flexines visie op de toekomst van energietransitie. De visie die Flexines schetst – en op een herkenbare manier laat zien in het laboratorium - is een energie voorziening die in de nabije toekomst significant anders in elkaar zal steken dan de energie voorziening van vandaag.

Een Flexines demonstratie bestaat uit een conceptueel deel en een toelichting bij een praktische opstelling. Het conceptuele deel bevat – in de vorm van een aantal posters – samenvattingen van een aantal van de Flexines concepten. Al deze informatie is ook in dit rapport opgenomen en zal op deze plek niet opnieuw worden herhaald.

Praktische opstelling

De praktische opstelling is georganiseerd rondom een “huishouden van de toekomst”. De opstelling bevat een aantal typische energie consumerende apparaten, zoals koelkast, wasmachine, wasdroger, diepvries en verwarming. De gerealiseerde praktijk opstelling van een “huishouden van de toekomst” verschilt op een aantal punten van een huishouden zoals mensen dat vandaag herkennen:

- Het huishouden omvat naast energie consumerende apparaten ook energie producerende apparaten. De praktijkopstelling bevat zonnepanelen en een μ -WKK (per huishouden);
- Alle apparaten zijn “slim” gemaakt door ze te voorzien van ICT technologie: kleine computers, sensoren en actuatoren. De resulterende slimme apparaten “weten” middels de sensoren precies wat er “in” het apparaat aan de hand is, en ze zijn in staat om middels actuatoren de apparaten te besturen (effectief: aan en uit te zetten). De kleine computers maken het mogelijk dat deze apparaten via het internet communiceren met het centrale Energie Management Systeem (EMS);
- Het huishouden heeft een centraal (EMS) dat de slimme apparaten binnen het huishouden coördineert en relevante energie management gegevens binnen het huishouden beheert. Daarnaast communiceert het EMS, eveneens via internet, met de externe energiemarkt of met providers van weersvoorspellingen;
- Gebruikers³ kunnen via een gebruikersinterface (Graphical User Interface - GUI) hun comfort wensen in het EMS aangeven (bijv. de temperatuur in huis moet tussen 19,5 °C en 21 °C liggen), en het EMS houdt rekening met deze wensen bij de planning van het energiegebruik (of de energieproductie);
- De huishoudens nemen deel aan een geliberaliseerde energiemarkt die veel flexibeler is dan de energiemarkt waar huishoudens vandaag toegang toe hebben. Het EMS regelt het handelen (zowel inkopen alsook het verkopen van energie) op deze markt.

Met deze praktische opstelling hebben we eerst diverse metingen uitgevoerd om modellen van de verschillende apparaten te ontwikkelen. Op basis van deze modellen zijn we enerzijds – voor dat huishouden - in staat om voorspellingen te maken over de hoeveelheid energie die in de nabije toekomst nodig is (of die wordt aangeboden) en anderzijds in staat om een planning te maken die rekening houdt met (1) de comfortgrenzen van de gebruiker en (2) de per kwartier variërende energieprijzen. Bij deze planning vormen per huishouden de minimale kosten voor energie het uitgangspunt. Het Flexines onderzoek toont aan dat een huishouden - in een markt met variërende energieprijzen op zijn energiekosten kan besparen door de

³ Een belangrijk deel van het Flexines onderzoek richt zich op de gebruiker. Doelstelling daarbij was dat de gebruiker (1) zijn/haar comfort grenzen op een makkelijk manier moet kunnen aangeven (2) dat de gebruiker vertrouwen heeft in de werking van het EMS en (3) dat de gebruiker een beloning ervaart bij het gebruiken van het EMS. Een belangrijke beloning daarbij is besparing op de energie factuur.

consumptie van energie te plannen op momenten dat de energie “goedkoop” is (als er een overschot aan energie is) en de productie van energie te plannen op momenten dat energie “duur” (als er een tekort aan energie is) is. In de demonstrator wordt dit uitgelegd & getoond aan de hand van diverse posters.

4.3. Kennisdisseminatie en -borging

Een van de ambities van het Flexines consortium was om toegepast en praktisch onderzoek te doen. Immers, het is belangrijk om innovatieve concepten te hebben die niet alleen in de theorie werken, maar die ook de sprong naar de praktijk kunnen maken. De ervaring leert dat er bij het omzetten van theorie naar praktijk veel komt kijken, en het consortium wilde deze praktijkervaring onderdeel laten zijn van het project.

Aan het begin van het Flexines project is derhalve besloten om de concepten niet alleen in theorie uit te werken maar ook om een demonstreerbare opstelling te realiseren. Het project was zo georganiseerd dat aan het eind van elk jaar demonstrators werden opgeleverd die de tussenresultaten van het onderzoek lieten zien. De Flexines demonstrator - opgezet rond het thema “huishoudelijk energiemangement in de toekomst”- werkte in een aantal posters relevante aspecten uit, die in de praktijk opstelling ook inzichtelijk gemaakt werden. In het eerste jaar lag de focus sterk op praktische inrichtingsaspecten van een huishouden. In het tweede jaar lag de focus sterk op markt interactie (en toepassing van Flexines concepten in situaties met meer dan 1 huishouden voorzien van een Flexines Energie Management Systeem). In het derde jaar lag de focus veel meer op een optimale aansturing van de aangesloten apparaten gegeven een bepaald (uitgehandeld) prijsprofiel. Deze demonstrator is goeddeels samengevat in de paragraaf hiervoor “4.7 Demonstrator”.

Kennisdisseminatie

De Flexines demonstrators bleken een geschikt middel om met bezoekers de concepten achter het onderzoek te delen, en daarmee waren de Flexines demonstrators ook een essentieel medium voor kennisdisseminatie. De demonstrator is gebruikt in een groot aantal demonstraties aan groepen geïnteresseerde mensen. Deze groepen bestonden zowel uit studenten alsook uit vertegenwoordigers van diverse bedrijven (zowel grote Nederlandse en internationale bedrijven als ook midden en klein bedrijf uit de regio). Ook vertegenwoordigers van internationale delegaties hebben de Flexines demonstraties bezocht.

Naast Flexines demonstraties in de thuisbasis RenQi zijn op basis van de demonstrator diverse presentaties gegeven.

Kennisborging

In de afzienbare toekomst zal energie op energienetwerk voor een groot deel uit duurzame (zon, wind, etc.) energiebronnen komen. Deze duurzame energiebronnen zijn niet controleerbaar, maar wel goed te voorspellen. Flexines biedt een oplossingsrichting voor het omgaan met dergelijke voorspelbare duurzame energiebronnen. Tegelijkertijd laat Flexines in de praktijk zien met welke middelen huishoudens aangepast kunnen worden, zodat die oplossingsrichting ook haalbaar is. Beide onderwerpen moeten dan ook gezien worden als relevante thema's die een basis vormen voor verdere innovatie.

De volgende trajecten, die gezien moeten worden als directe resultaten of follow-up van Flexines, lopen op dit moment. We onderscheiden daarbij de volgende vormen van kennisborging:

- Kennisborging in het onderwijs aan de Hanzehogeschool;
- Kennisborging binnen nieuwe op te starten onderzoeksprojecten.

Borging binnen de Hanze onderwijs programma's:

- De specialisatie *Design and Engineering Building Services (DEBS)*:
Is ingericht mede gebaseerd op concepten die binnen Flexines zijn ontwikkeld;
- Aanpassingen in de invulling van de leerlijn regeltechniek:
Door opname van binnen Flexines gebruikte ICT technieken voor het inrichten van een meet- en regel mechanismen;
- Aanpassingen in het International Power Generation and Distribution (IPGD) onderwijs:
door opname van het thema Warmte Kracht Koppeling na de door Flexines aangetoonde relevantie;
- Aanpassingen en ontwikkeling in de premaster “Renewable Energy”;

- Samenwerking tussen leerlijn IPD (international product design) en Minor E&I door sterkere focus op energiegerelateerde opdrachten;
- Projecten binnen de minor “Energie en ICT” geïnspireerd door Flexines.

Borging in nieuw op te starten onderzoeksprogramma’s

- Flexinet (begonnen);
- I-Respond (voorstel uitgewerkt, wordt nu aan Duitse overheid aangeboden);
- I-Balance (1^e TKI project van de Hanzehogeschool, inmiddels in uitvoering genomen);
- Zonnig Laden (voorstel moet uitgewerkt worden, wordt aangeboden aan agentschap.nl).

Deze projecten vormen daardoor de borging voor de binnen Flexines opgebouwde kennis.

Binnen het project zijn deelonderzoeken uitgevoerd, door projectmedewerkers en studenten. Een aantal projectonderzoeken door medewerkers heeft in artikelen geresulteerd. De studentonderzoeken zijn uitgevoerd in de vorm van introductiestages, normale stages en afstudeeropdrachten, waar ook de passende verslagen van gemaakt zijn.

Tot slot vormt ook dit document (het eindrapport en al haar bijlagen) ook een vorm van borging van project resultaten.

4.4. Spin-off

4.4.1. Nieuwe R&D projecten

Wat betreft de spin-off van het project Flexines kan worden gesteld dat het project Flexines een doorslaand succes is geweest. Het project Flexines heeft er voor gezorgd dat bepaalde ontwikkelingen zijn versneld en dat een aantal nieuwe ontwikkelingen er zijn gekomen dankzij Flexines. Flexines heeft als zodanig als een soort vliegwiel gediend.

Voorbeelden van de spin-off van Flexines zijn de ontwikkeling van de onderzoeksomgeving EnTranCe en de oprichting van de Energie Academie Europe. Voorbeelden van onderzoeksprogramma’s en projecten zijn:

- FlexiGas (RenQi)
- FlexiHead (RenQi)
- FlexiGrid (EDGaR)
- FlexiNet (BAM, Gasterra, Imtech, HG eva.) onderzoeksplatform
- FlexiNet-PRO (RenQi, HG)
- i-Respond
- i-Balans
- Zonnig laden
- Energy Academy Europe (HG, RUG, Gasterra, Energy Valley, Prov. en Gem. Groningen)

4.4.2. Nieuwe R&D projectinvesteringen

Wat betreft de diverse samenwerkingsverbanden zijn er ook goede resultaten te vermelden. Zowel kennisinstellingen als private partijen zijn samengekomen in diverse nieuwe R&D projecten en samenwerkingsplatforms.

Wanneer we de projecten analyseren komen we tot de volgende voorgenomen investeringen:

Project	Samenwerkend platform	Private R&D	Publieke R&D
FlexiNet	BAM, Imtech, Dorhout Advocaten, I-NRG, Zonnedak, Ubbink, Nedap, Gasterra, Gasunie, Kema	k€ 600	k€ 727
FlexiGas	Bekaert, BioBench, DMT, Eneco, Proces-Groningen, TNO, KEMA, HG, RUG	k€ 1.500	k€ 1.500
FlexiHeat	Verkly Groep, RUG, TNO, KEMA, Atero, Waterbedrijf Groningen, TCN	k€ 750	k€ 700
FlexiGrid	RUG en HG	k€ 0	k€ 650
FlexiStore	RUG, ECN, KEMA, HG, KIWA	k€ 25	k€ 1.170
i-Respond	HG, Jacobs University Bremen GmbH, Bremer Energie Institut, Seas-nve, EWE-AG, GreenWave Reality, RUG, Heriot Watt University	k€ 1.300	k€ 2.600
	Totaal	k€ 4.175	k€ 7.397

Voor de langere termijn zijn de volgende initiatieven in ontwikkeling:

EnTranCe : BAM, Imtech, Gasterra, Gasunie, HG

Energy Academy Europe :RUG, HG, Energie Valley, Gemeente en Provincie Groningen

4.4.3. Uitgelokte private vervolginvesteringen

Wanneer we de ingezette ontwikkelingen van het innovatieplatform EnTranCe kapitaliseren, kan worden gesproken over uitgelokte private investeringen van ongeveer € 7.000.000 voor de komende 5 jaar. Daarnaast zullen ook publieke partijen als de HG en de RUG en overheden participeren voor elk ongeveer € 7.000.000. Ten aanzien van de opzet van de Energy Academy Europe geldt een soort gelijke verdeling maar dan in de orde van grootte van elk € 25.000.000

De totale investering voor de komende 10 jaar belopen ongeveer € 10.000.000 waarbij rekening wordt gehouden met een verdeling 1/3 privaats, 1/3 publiek en 1/3 overheden.

4.4.4. Aantal bruto gecreëerde arbeidsplaatsen

Inherent aan de uitgelokte investeringen zal ook op het gebied van de uitgelokte werkgelegenheid het nodige gaan gebeuren. Het is echter niet reëel om exact aan te geven hoeveel hiervan zijn toe te wijzen aan het project Flexines.

Bij het ten einde lopen van dit project is daarop nog geen concreet zicht, maar de oprichting van EnTranCe en de Energy Academy Europe zal ongetwijfeld leiden tot meer werkgelegenheid. De voorlopige schattingen belopen zo'n 300 FTE in de komende 10 jaar. Het project Flexines zelf heeft in ieder geval nu al tot 4 nieuwe banen geleid.

5. Conclusies en aanbevelingen

5.1. Conclusies

Als slotconclusie kan worden gesteld, dat het project Flexines aan de verwachtingen heeft voldaan. Het inhoudelijk-technische deel van het project heeft de nodige resultaten opgeleverd en sluit grotendeels aan bij hetgeen in de oorspronkelijke projectdoelstelling was voorzien. Naast de inhoudelijk-technische kant van het project hebben aspecten als spin-off en kennisoverdracht misschien nog wel meer waarde gehad dan oorspronkelijk in de projectdoelstellingen was vastgelegd. Gesteld kan worden dat Flexines als een vliegwiel heeft gediend voor vele nieuwe R&D projecten in allerlei samenwerkingsvormen en partijsamenstellingen. (zie hiervoor hoofdstuk 5)

Ook geldt dat voor andere initiatieven zoals de ontwikkeling van EnTranCe en de Energy Academy Europe. Ook voor de doorontwikkeling van het onderwijs in het bijzonder en de kennisoverdracht in het algemeen heeft Flexines een aanzienlijke bijdrage geleverd. Onderstaand een aantal voorbeelden.

5.1.1. Proof of concept

In een modelstudie (zie **Bijlage 2**) is de werking van het tariefconcept dat aan Flexines ten grondslag ligt, onderzocht. Dit onderzoek betrof zowel de werking van de algoritmen om flexibiliteit op apparaat niveau te bereiken, als het matchen van verschillende apparaten onderling. De financiële resultaten na matching zijn vervolgens vergeleken met de resultaten indien geen actieve aansturing had plaatsgevonden.

Er mag worden geconcludeerd dat:

- De ontwikkelde algoritmen voor het optimaal inzetten van thermische buffers en shifters goed werkt en leiden tot flexibiliteit;
- Dat een belangrijk deel van de kostenbesparing wordt bereikt door de tevens opgetreden energiebesparing;

- c) De toegepaste decentrale matching op een dag met gemiddelde weerkundige omstandigheden een kostenvoordeel, gecorrigeerd voor de energiebesparing, oplevert van bijna 15%. (Zie ook het artikel “Energiekosten omlaag met 15% of meer” (zie **Bijlage 1**);
- d) De gebruikte algoritmen goed in het EMS zijn geïmplementeerd.

5.1.2. Kwalitatieve projectresultaten

De beperkte tijd in relatie tot de complexiteit van het geformuleerde projectdoel en de onbekendheid met het te ontwikkelen concept, heeft ertoe geleid dat er gedurende het proces keuzes moesten worden gemaakt. De inspanningen hebben zich daarom hoofdzakelijk gericht op het maken van een stabiel werkend EMS.

De volgende kwalitatieve projectresultaten zijn daarbij behaald:

- a) In een modelstudie is voor een huishouden de werking van het concept aangetoond (proof of concept);
- b) Er is een ICT-infrastructuur opgebouwd waarin een EMS via het internet verbonden kan worden met:
 - Thermische buffers (koelkast, diepvries, CV-verwarming met μ -wkk)
 - Shifters (wasmachine, droger, afwasmachine)
 - Ongestuurde gebruikers (PV-paneel, willekeurig gebruik);
- c) De functionaliteit van een EMS is beperkt gebleven tot, gegeven een energietariefprofiel, het tegen minimale kosten optimaal inzetten van de verbonden apparatuur (buffers en shifters);
- d) Een EMS kan via internet automatisch relevante tarief- en weerinformatie ophalen;
- e) Er is een zelflerend generiek model voor (bij benadering) exponentieel opwarmende en afkoelende thermische buffers ontwikkeld en toegepast;
- f) Er is een uitgebreide gebruikersinterface beschikbaar waarmee de werking van het EMS en de aangesloten apparaten kunnen worden gevolgd en bewaakt. Tevens kunnen de vereiste parameters hiermee worden ingesteld en de prestaties worden gemonitord;
- g) De werking van het EMS is gevalideerd op basis van het onbalanstarief van TenneT op 16-10-2005 en het weerprofiel van de actuele dag (proof of principle);
- h) Voor de uitwisseling en handel van energie is een rollenmodel van de betrokken partijen opgesteld. Het faciliteren van dit rollenmodel is niet geïmplementeerd;
- i) De complexiteit van traject- en tijdsafhankelijke netwerkstarieven is verkend, maar de verdere uitwerking had binnen het project geen prioriteit.

5.1.3. Kwantitatieve projectresultaten

In het voorgaande deel van deze rapportage is ingegaan op de verschillende onderdelen van het onderzoek en de behaalde inhoudelijke projectdoelen. Onderstaand wordt een opsomming gegeven van alle overige successen die het project Flexines heeft opgeleverd met dank aan alle bij het project betrokken partners:



Demonstraties:

Demonstratie Flexines bij RenQi	: Meer dan 85 keer verzorgd
Aantal bezoekers	: Meer dan 750 bezoekers
Soort bezoekers	: studenten, docenten, kenniscentra, onderzoekscentra, ondernemers, politiek, bestuur enz.

Symposia:

Deelname symposia	: Meer dan 42 zowel in het binnen- als buitenland
Georganiseerde symposia en colloquia	: 3 (2 colloquia + 1 symposium)

Kennisontwikkeling:

Aantal medewerkers in het project	: 40 personen
Aantal PHD in het project	: 5 (4 *Hanze + 1 *RUG)
Aantal bachelor studenten in het project	: 20 (Hanzehogeschool)
Aantal master studenten in het project	: 3 (RUG)
Aantal ontwikkelde minor opleidingen	: 1 "Energie in ICT" (voor 2 ^e jaar actief)
Aantal ontwikkelde masteropleidingen	: 1 "Renewable Energy" in samenwerking ontwikkeld
Aantal aanpassingen in curriculum	: 4 "DEBS, aanpassing IPGD, Invulling leerlijn Regeltechniek, aanpassing 3 ^e jr. WTB, en Energielab".

Publicaties/artikelen/papers:

Publicaties intern	: 3 stuks
Publicaties extern	: 4 stuks
Artikelen intern	: 5 stuks
Papers gepubliceerd	: 1 stuks
Papers in voorbereiding	: 2 stuks

Samenwerkingsprojecten:

- PowerMatcher (ECN/TNO) als partner in het project
- PowerMatcher City Hoogkerk (KEMA) middels 1 PHD van de HG
- ESM (TNO) middels een onderzoeker van TNO
- Sustainable Energy Monitoring (SEM) NHL middels accountmanager en programmamanager HG
- Minor "Energie en ICT" in opdrachten wordt samengewerkt met KEMA, Humiq, TNO en Cedes. Voorbeeld hiervan is de praktijkcase "De slimme koelkast"
-

5.2. Aanbevelingen

5.2.1. Vervolgonderzoek

Vanuit het project Flexines zijn er nog verschillende aspecten die tijdens het onderzoek niet of onvoldoende aan de orde zijn gekomen. Er zijn voldoende aanknopingspunten om op een aantal van deze aspecten vervolgonderzoek te verrichten. Interessante aspecten op hoofdlijnen zijn vervolgvragen aangaande:

- Netbeheer
- Witgoedbranche (producenten).

Het valt aan te bevelen om een aantal van deze aspecten in de vorm van een vervolgproject op te pakken. Ter oriëntatie zijn in **Bijlage 12** een aantal mogelijke vervolg onderzoeksideeën in concept uitgewerkt.

5.2.2. Samenwerking

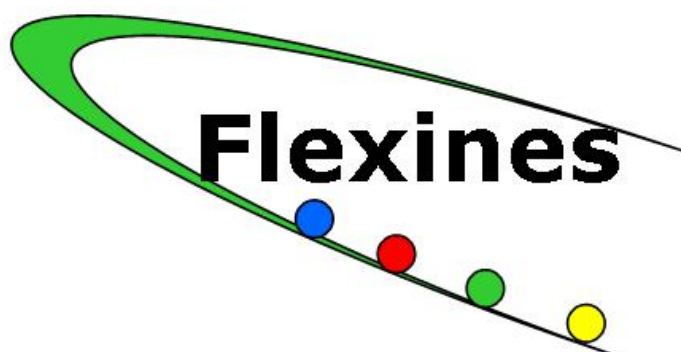
Daar waar sprake is van samenwerkingsprojecten verdient het aanbeveling om het aantal partners beperkt te houden (maximaal 7) en de ook de doorlooptijd van het project te beperken (max. 3 jaar).

De organisatie wordt sterk bemoeilijkt door een groter aantal partners. Dit wordt mede veroorzaakt doordat er gedurende een langere looptijd van het project regelmatig wijzigingen (fusies, overnames, faillissementen enz.) kunnen optreden. Dit vertraagt het voortgangproces behoorlijk en maakt aanpassingen en wijzigingen in het project veelal noodzakelijk. Tevens is het aan te bevelen om partners fysiek zoveel mogelijk bij elkaar te laten samenwerken. Di vergroot de synergie tussen de diverse partijen.

5.2.3. Relatie promotieonderzoek ↔ projectdoelen

Het project gerelateerde onderzoek van de verschillende promovendi binnen het project Flexines is niet altijd effectief verlopen. Zeker in de beginperiode bestond er naar het idee van de projectleiding te weinig cohesie tussen hetgeen de promovendi, met name van de Hanzehogeschool, voor hun promotieonderzoek moesten doen en hetgeen er van hen verwacht werd binnen het project. Dit kon ontstaan omdat de onderzoeksvragen van de HG promovendi in het begin nog onvoldoende waren uitgekristalliseerd, terwijl er vanuit Flexines al wel een duidelijk projectdoel was. Daarnaast was de begeleiding van de promovendi vanuit de HG onvoldoende

gericht op deze spanning in belangen tussen het projectmatige - en het promotieonderzoek. Ook de promotoren hebben, zeker in het begin, te weinig voeling gehad met het in de projectomschrijving gestelde doel van Flexines. Het verdient daarom aanbeveling om bij volgende projecten de onderzoeksvragen van de promovendi vooraf duidelijk te hebben en op basis daarvan te kijken of deze passen binnen de onderzoeksdoelen van het project. In dat geval verdient het ook aanbeveling om de promotoren in de ontwikkelfase van het project al te betrekken bij de inhoudelijke opzet van het project.



SAMENWERKINGSVERBAND NOORD-NEDERLAND. DIT PROJECT WORDT MEDEGEFINANCIERD DOOR HET EUROPEES FONDS VOOR REGIONALE ONTWIKKELING EN DOOR HET MINISTERIE VAN EL&I, PIEKEN IN DE DELTA.