

# TKI Smart Grid MeppelEnergie

## Eindrapport



Projectnummer: **TKISG01005**

**Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Subsidieregeling energie en innovatie (SEI), onderdeel Smart Grids, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.**

# TKI Smart Grid MeppelEnergie

## Eindrapport

### **Projecttitel**

TKI Smart Grid meppelEnergie

### **Opdrachtgever**

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland  
Utrecht

### **Penvoerder**

MeppelEnergie  
Setheweg 1, 7942 LA Meppel

### **Contactpersoon penvoerder**

P.J.M. Korsten  
Tel. 0522 – 856873 / mail [pjmkorsten@rendo.nl](mailto:pjmkorsten@rendo.nl)

### **Contactpersoon project**

Harry van der Geest  
Tel. 0522-856850 / mail [hvdgeest@rendo.nl](mailto:hvdgeest@rendo.nl)

### **Projectperiode**

1 januari 2013 tot en met 31 december 2016

### **Projectnummer**

TKISG01005

**Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Subsidieregeling energie en innovatie (SEI), onderdeel Smart Grids, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.**

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Samenvatting / management summary</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Inleiding en achtergrond</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Probleemstelling en doelstellingen</b>	<b>9</b>
	3.1 Probleemstelling, doelstellingen en resultaten	9
	3.2 Maatschappelijk-economische impact en innovaties	10
<b>4</b>	<b>Project: opbouw in werkpakketten</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Aanpak, activiteiten en resultaten</b>	<b>15</b>
	5.1 <b>Werkpakket 1: realisatie infrastructuur</b>	15
	5.1.1 beschrijving werkpakket, scope, afbakening	15
	5.1.2 Probleemstelling en doelstellingen	15
	5.1.3 Modulair energiesysteem	17
	5.1.4 Activiteiten aanleg duurzaam energiesysteem	18
	5.2 <b>Werkpakket 2: realisatie open platform</b>	23
	5.2.1 Inleiding	23
	5.2.2 WP1 en WP2: data infrastructuur en platform	24
	5.2.3 WP3: data ontsluiting van het platform	40
	5.2.4 WP4: bewonersparticipatie, kennisverankering en monitoring	40
	5.2.5 Conclusies	41
	5.3 <b>Werkpakket 3: ontwikkeling intelligente aansturing</b>	42
	5.3.1 Samenvatting	42
	5.3.2 Inleiding	43
	5.3.3 Probleemstelling	44
	5.3.4 Doelstellingen	44
	5.3.5 Werkwijze	45
	5.3.6 Resultaten	46
	5.3.7 Conclusie en aanbevelingen	53
	5.4 <b>Werkpakket 4: bewonersparticipatie, kennisverankering en monitoring</b>	55
	5.4.1 Inleiding en uitgangspunten	55
	5.4.2 Bijdragen en resultaten	55
	5.4.3 Kennisverankering en verspreiding	58
<b>6</b>	<b>Toelichtingen</b>	<b>59</b>
	6.1 Verschillen projectplan vs. realisatie	59
	6.2 Kennisverspreiding, overzicht publicaties	60
	6.3 Projectorganisatie, deelnemers en contactpersonen	63
<b>7</b>	<b>Conclusie en aanbevelingen (vervolgactiviteiten)</b>	<b>65</b>
	7.1 Algemeen	65
	7.2 Werkpakket 1	65
	7.3 Werkpakket 2	66
	7.4 Werkpakket 3	66
	7.5 Werkpakket 4	68

# Hoofdstuk 1      Samenvatting / management summary

Bij traditionele energiesystemen zijn elektriciteit en aardgas de belangrijkste en meest gangbare energiedragers. Waarbij aardgas als fossiele energiebron een steeds discutabelere naam krijgt door de aardbevingsproblematiek in noord Nederland en de toenemende afhankelijkheid van de, veel in Rusland ingekochte, hoeveelheid gas. De beschikbaarheid van groen gas is op dit moment (nog) onvoldoende om aan de vraag te kunnen voldoen. Daarom is een goede, fossielvrije invulling van de warmtevraag van evident belang voor een duurzame toekomst. Het Smart Grid MeppelEnergie geeft een aantal bouwstenen voor deze toekomstige energievoorziening ontwikkeld.

Het toekomstig energiesysteem zal naar alle waarschijnlijkheid bestaan uit een aantal componenten, te weten elektra, warmte en een deel eigen opgewekte energie van bijvoorbeeld de PV installatie op het dak van de woning. Een dergelijk hybride energie systeem zal een mate van zelfstandigheid hebben maar ook een onderlinge afhankelijkheid hebben. (centrale opwekking en infrastructuur) Door zowel decentrale (klant) data te combineren met centrale data vanuit de energie opwekking kan een optimum gevonden worden. Hierin is het Smart Grid de verbindende factor.

In dit project is door de projectpartners een energiesysteem ontwikkeld bestaande uit:

- Warmte/koude net
- Warmte afgifte set
- Warmtemeting
- Temperatuuropnemers in de woning
- Slimme datalogger
- Draadloze communicatiemodule
- Data acquisitiesysteem
- Regelstrategie en algoritmen
- Klant/gebruikers input via App

De crisis in de woningbouw heeft een lager bouwtempo veroorzaakt. Dit heeft het nodige van de flexibiliteit van de projectpartners gevraagd, maar heeft wel tot de ontwikkeling van een modulair energie systeem geleidt waarbij de groei van de wijk gevolgd kan worden de energieproductie.

In een innovatief project zijn er natuurlijk altijd onverwachte zaken waarop ingespeeld moet worden. Het gebruik van een vloerverwarmingsinstallatie in combinatie met comfortkoeling is daarvan een voorbeeld. Door gebruikersavonden te organiseren hebben MeppelEnergie en de projectontwikkelaars/installateurs het gebruik hiervan toegelicht aan de bewoners. Dit is als zeer positief ervaren door bewoners. Opvallend bij de uitvoering van dit project was dat ook afstemming tussen de partij die de binneninstallatie ontwierp (installateurs van de projectontwikkelaars) en MeppelEnergie. Het aansluiten van een woning op een warmte/koudenet is nog zeker geen “broodje van de warme bakker”. Helaas blijkt nog te vaak dat problemen in de binneninstallatie warmteklachten voor bewoners veroorzaken. Deze markt zal nog verder moeten ontwikkelen.

De huidige uitrol van de slimme meters in Nederland gaat uit van een elektra en vaak een gasmeter. Echter met de beperkter wordende rol van aardgas ligt er een kans om verbruiksgegevens van de warmte component ook te ontsluiten en laagdrempelig beschikbaar te maken voor de gebruikers. Temeer omdat juist daar een groot deel van de maandelijkse energiekosten naar toe gaan. Inzicht en directe terugkoppeling van verbruik is van evident belang om te kunnen komen tot bewustwording en eventueel gedragsverandering van bewoners. De in dit project ontwikkelde koppeling met een warmtemeter kan mogelijk een versnelling geven aan die richting.

De hardware en software die is ontwikkeld binnen dit project kan de opstap zijn voor vervolprojecten. Noodzakelijk daarbij is om bij deze doorontwikkeling voldoende aandacht te hebben voor de robuustheid van het systeem (betrouwbaarheid) voordat grootschalig uitgerold zal worden.

Welke rollen de projectpartners in vervolprojecten hebben is nog niet duidelijk. In de recent voorgestelde “Wet VET” is er voor de Netbeheerder een duidelijke concentratie van de werkzaamheden te zien op de core-business, het transporteren van energie. Hierin zou warmte mogelijk ook een rol kunnen krijgen. Daarmee zou de aanleg en het beheer van het warmtenet vanuit een gereguleerde markt kunnen gebeuren. Het standpunt zou daarbij moeten zijn dat dergelijke warmtenetten open zijn, dus toegankelijk voor meerdere producenten en leveranciers. Hierdoor is er voor eindklanten ook meer te kiezen wat beter aansluit bij de huidige E en G markt.

Op naar een betaalbare en duurzame energievoorziening!



eerste 445 woningen) wordt hierbij een EPL van 8+ nagestreefd, wat in de eindfase van de realisatie zal zijn opgelopen naar 10+, ofwel “energieleverend”. Om die reden is het project door het Ministerie van infrastructuur en Milieu (I&M) geselecteerd als icoonproject. Een icoonproject is een voorbeeldproject op het gebied van innovatie en duurzame gebiedsontwikkeling.

Bovengenoemde hybride warmtevoorziening is bij aanvang van dit project uniek in Nederland. Daarom zal de eerste fase van 445 huizen gebruikt worden om het concept te demonstreren, waarbij haalbaarheid en gewenstheid kunnen worden getoetst. In samenwerking met stichting Energy Valley en KEMA is daarnaast gekeken of er extra innovaties kunnen worden toegepast om de kosten te verlagen en de toekomstige haalbaarheid te vergroten. Door de inzet van de verschillende warmtebronnen (WKK, WKO en restwarmte) te sturen, kunnen extra kostenvoordelen worden geboekt. Bij warmtevraag kan bijvoorbeeld een keuze worden gemaakt voor inzet van de WKK of de warmtepomp. Deze keuze is afhankelijk van de verwachte temperatuur, de beschikbaarheid van biogas voor de WKK en de beschikbaarheid van elektriciteit voor de WKO. Volgens studies van KEMA is door het op een dergelijke wijze intelligent aansturen van dit systeem een additioneel kostenvoordeel te behalen van ongeveer 20%. Aangezien het binnen de huidige wet- en regelgeving (hierover is ook uitgebreid gesproken met de betrokken ministeries) niet mogelijk is om een dergelijk systeem aan te leggen op het openbare net zonder “programmaverantwoordelijkheid” te regelen, is als uitgangspunt gekozen om de elektriciteit via een installatiekabel te transporteren. Daarnaast zullen bewoners via feedback, games en monitoring geactiveerd worden om energie te besparen.

Ondanks de gedegen onderzoeken die ten grondslag liggen aan de realisatiestrategie voor het Smart Grid Nieuwveense Landen, is er een aantal technische, economische en maatschappelijke uitdagingen onderkend:

- De verschillende technologieën om via een multi-utility Smart Grid warmte te leveren aan bewoners zijn op dit moment voorhanden, maar er zijn geen werkende praktijkvoorbeelden;
- Er is geen open platform voor multi-utility Smart Grids;
- De optimale configuratie en aansturing van het hybride warmtenet is niet bekend, hoogstens in modelvorm;
- Het is onduidelijk in hoeverre een dergelijk concept invloed heeft op comfort en bewonersparticipatie;
- De optimale manier om bewoners te activeren is onbekend.

De opgedane kennis in het project zal hierbij gebruikt worden bij de nadere ontwikkeling van het vervolgplan (2956 woningen), maar is zeker toepasbaar in alle nieuwbouwontwikkelingen in Nederland en daarbuiten. Deze opschaalbaarheid is dan ook de reden dat de partijen bereid zijn hierin te investeren.

Onze huidige energiesystemen zijn *vraaggestuurd*. De afgelopen jaren zijn echter de eerste concepten ontwikkeld om over te gaan op *aanbodsturing*. Hierbij past een energievrager zich aan het momentane aanbod aan. Aangezien het marktmodel echter nog steeds uitgaat van een vraaggestuurd systeem, zeker voor kleinverbruikers, beperken nieuwe ontwikkelingen zich tot studies en experimenten. Er bestaan op dit moment woonwijken die verwarmd worden met behulp van een WKK of collectieve WKO, gekoppeld aan een warmtenet. Daarnaast bestaan er systemen waarbij individuele warmtepompen worden gebruikt. De combinatie van deze twee technieken in een hybride systeem, waarbij de bewoner wordt ontzorgd, is op dit moment niet in de markt beschikbaar. Een eerste demonstratie van een Smart Grid op basis van de PowerMatcher draait sinds 2 jaar in Groningen in Powermatching City, waarbij ongeveer 25 huishoudens met behulp van de PowerMatcher lokaal hun energie verhandelen. Intelligente gasnetten, warmtenetten en de integratie van deze netten zitten veelal nog in een onderzoeksstadium. Zo heeft de Hanzehogeschool Groningen een aantal onderzoeksprojecten lopen onder de naam Flexigas en Flexiheat en is er een intelligent warmteproject in Goes in voorbereiding.

Energieconsultantsbureau KEMA heeft een realisatiestrategie voor het project Nieuwveense Landen ontwikkeld. Hierin zijn de belangrijkste componenten van het Smart Grid aangegeven, de risico's en

bedreigingen en de mogelijke voordelen van het project. De belangrijkste conclusie van dit rapport is dat een Smart Grid in Nieuwveense Landen haalbaar lijkt vanuit het perspectief van MeppelEnergie. De realisatiestrategie is onder andere bepaald op basis van de beperkingen van wet- en regelgeving, waardoor het mogelijk niet de meest optimale toepassing van het Smart Grid in Nieuwveense Landen is. Op basis van juridisch advies bleek dat een alternatieve strategie waarbij een privaat net zou worden aangelegd juridisch niet houdbaar was, en dat daar geen vergunningen voor verkregen kunnen worden. In opdracht van de Gemeente Meppel heeft adviesbureau Ecorys bovendien een Maatschappelijke Kosten Baten Analyse (MKBA) voor de ontwikkeling van Nieuwveense Landen uitgevoerd. De conclusie hiervan is dat de bedrijfseconomische kosten voor de eerste fase bij de gehanteerde uitgangspunten hoger zijn dan de bedrijfseconomische baten. Voor de maatschappij als geheel is dit echter wel positief. Opschaling naar de volle 3400 woningen levert door schaalvoordelen en innovatie echter wel een positief bedrijfsresultaat op voor de gehele ontwikkeling.

# Hoofdstuk 3      Probleemstelling en doelstellingen

## 3.1      Probleemstelling, doelstellingen en resultaten

De **probleemstelling** in het project Nieuwveense Landen is:

*Hoe kan er door een collectief van samenwerkingspartners een geïntegreerd Smart Grid worden gebouwd dat gebruikers in de nieuwbouwwijk Nieuwveense Landen kan voorzien van een duurzame, betaalbare, comfortabele en toekomstvaste warmte- en koudevoorziening?*

Vragen waarop hierbij een antwoord wordt gezocht zijn onder andere:

1. Ondervindt de bewoner de comfortverbetering en verduurzaming van de warmte- en koudevraag van de woningen ook als een meerwaarde en is deze bewoner tot besparing te verleiden op basis van informatie over zijn gebruik en “games”?
2. Wat is het optimale ontwerp voor een hybride warmtevoorziening?
3. Leidt het door het consortium ontwikkelde systeem ook daadwerkelijk tot verlaagde kosten en lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot?
4. Wat is de optimale samenwerkingsvorm tussen gemeente Meppel, RENDO Duurzaam en MeppelEnergie in een dergelijk project, zowel tijdens realisatie als exploitatie?
5. Wat is het meest optimale en toekomstvaste platform voor data-uitwisseling?
6. Hoe kunnen de WKK, WKO en het gebruik van buffers in het systeem optimaal worden aangestuurd?
7. Het huidige project vindt plaats binnen de op dit moment geldende wettelijke kaders. Zijn de huidige wettelijke kaders de beste manier om dergelijke projecten met de laagste maatschappelijke kosten te ontwikkelen?

De verschillende partners in het consortium hebben allen een motivatie (**doelstellingen**) om deel te nemen in dit project:

1. De gemeente Meppel probeert met dit project het volgende te bereiken:
  - a. Een aangenaam duurzame wijk met een significante EPC bijdrage en een hoge EPL, zonder hoge kosten of risico's waarbij bewoners actief betrokken zijn
  - b. Ervaring op het gebied van publiek/private samenwerkingsvormen
  - c. Een duurzaam en innovatief imago van de stad in zijn geheel
2. MeppelEnergie is opgericht door de gemeente Meppel en RENDO met als doel om een energievoorziening in Nieuwveense Landen te bouwen die betrouwbaar, betaalbaar en milieuvriendelijk is en beoogt met het project:
  - a. Inzicht in de haalbaarheid van de uitrol van het hybride warmtesysteem over heel Nieuwveense Landen (ongeveer 3400 woningen).
  - b. Inzicht in de mogelijkheden die aangepaste wet- en regelgeving kunnen opleveren voor de haalbaarheid van dergelijke systemen
3. RENDO Duurzaam heeft de ambitie om als systeemintegrator lokale duurzame energiesystemen te ontwerpen, ontwikkelen en onderhouden. Een demonstratie van een intelligente hybride warmtevoorziening draagt bij aan deze ambitie op de volgende punten:
  - a. Het opbouwen van een track record op het gebied van lokale gebiedsontwikkeling
  - b. Meer inzicht in de marktontwikkeling van Smart Grid technologie
  - c. Het vormen van consortia waarmee in de toekomst dergelijke gebiedsontwikkelingen kunnen worden uitgevoerd op commerciële basis
  - d. Het verlagen van de kosten voor duurzame energie-opwek
4. iNRG ontwikkelt een open platform waarmee duurzame energiesystemen op een intelligente manier kunnen worden aangestuurd. Deelname in het project in Nieuwveense landen levert:

- a. Een demonstratie van het door iNRG ontwikkelde platform, waarbij tevens een lichte doorontwikkeling plaatsvindt om het platform beter geschikt te maken voor zgn. “multi-utility Smart Grids”
  - b. Een mogelijkheid (in een later stadium) voor andere bedrijven om dit platform binnen een “living lab” omgeving te testen
  - c. Samenwerking met een systeemintegrator (RENDO Duurzaam) om in het vervolg de ontwikkelde technologie in consortium te vermarkten
5. De TU Delft is geïnteresseerd in de bereidheid van Smart Grid consumenten om energie te besparen, waarbij wordt voortgebouwd op eerdere ervaringen en kennis, bijvoorbeeld opgedaan in het project Powermatching City.  
Deelname levert:
- a. De validatie van het model dat is ontwikkeld in PowerMatching City
  - b. Uitbreiding van het model in een situatie van centrale warmtevoorziening
6. De UT ontwikkelt een optimalisatiemodule bovenop het door iNRG te ontwikkelen open platform.  
Deelname levert:
- a. Een valorisatie van de kennis
  - b. Een direct toepasbare en herbruikbare applicatie die de energiestromen van een huis kan optimaliseren
  - c. Kennis van optimalisatie van een wijk waarbij energie (warmte) op verschillende manieren gegenereerd kan worden.
  - d. Verificatie van verbetering van de ontwikkelde modellen en algoritmen
7. De “BV Nederland” kan met dit project het volgende bereiken:
- a. Het verlagen van de kosten voor duurzame warmtevoorzieningen. Ongeveer 65% van het residentiële energieverbruik gaat op dit moment op aan warmte. Een verduurzaming hiervan levert dus veel milieuwinst op.
  - b. Het creëren van een open platform voor intelligente energie-uitwisseling
  - c. Het verlagen van de totale maatschappelijke kosten van een warmtevoorziening ten opzichte van het alternatief, sterke netverzwaring van het elektriciteitsnet, waarbij de kosten uiteindelijk worden afgewenteld op alle Nederlanders

In het project zijn de volgende **resultaten** te verwachten:

- Meer inzicht in de aansturingmogelijkheden van hybride warmtesysteem
- Een veilig open dataplaform waar zowel het warmtesysteem van MeppelEnergie als de bewoners gebruik van kunnen maken
- MeppelEnergie (bedrijfsvoering) krijgt inzicht in de financiële voordelen van MeppelEnergie voor zowel de investerende partijen als voor de bewoner
- Op wetenschappelijk vlak ontstaat meer inzicht in de mogelijkheden voor bewonersparticipatie door co-design, het gebruik van gerichte feedback en gaming
- Inzicht in de mogelijkheden voor vervolgprojecten door meer begrip van de mogelijkheden qua techniek, wet- & regelgeving en economische optimalisatie.

## 3.2 Maatschappelijk-economische impact en innovaties

### 3.2.1 Maatschappelijk-economische impact

MeppelEnergie is benoemd als voorbeeld van een doorsnijdend project dat op dit moment in de markt in voorbereiding is en op de verschillende thema’s van het innovatiecontract innovatie pleegt. Dit blijkt ook uit het feit dat er zowel qua infrastructuur, het bouwen van een open dataplaform, optimale aansturing en qua businessmodellen wordt geïnnoveerd. Het project is deels een demonstratieproject waarbij een hybride

warmtevoorziening en deels de doorontwikkeling van de optimale aansturing van een dergelijk systeem worden getoond.

Het project MeppelEnergie heeft raakvlakken met 4 thema's binnen het innovatiecontract:

- Binnen het thema "Producten en diensten" heeft het project raakvlakken met de onderwerpen intelligente apparaten, energiemanagement en energieopslag. In het project zullen in totaal ongeveer 200 warmtepompen worden voorzien van intelligentie, zodat ze zo veel mogelijk aanslaan indien de lokale beschikbaarheid van elektriciteit voldoende is. Deze elektriciteit wordt opgewerkt met een biogas-gevoede WKK. Indien er een overschot aan elektriciteit beschikbaar is zal de intelligentie dit in warmtebuffers omzetten zodat deze in een pieksituatie nuttig kunnen worden gebruikt. Zo zorgt de intelligentie voor een groter aandeel van lokaal opgewerkte duurzame energie
- Binnen het thema "Virtuele infrastructuur" is aansluiting bij de onderwerpen open generiek ICTplatform en de veiligheidsaspecten van dit platform. In het project wordt het open ICT-platform van iNRG geïmplementeerd en licht doorontwikkeld. Deze doorontwikkeling zal plaatsvinden om de gewenste security by design-aspecten te verbeteren en optimale aansluiting op het hybride warmtesysteem te garanderen
- De aansluiting met het thema "Fysieke infrastructuur" is vooral het thema Smart Gas Grids, optimale energieconversie en opslag. In het systeem wordt de aanvoer van biogas optimaal gemonitord, waarbij dit gas, afhankelijk van vraag en aanbod, zal worden opgeslagen of verbrand in de WKK. Ook warmte kan worden opgeslagen, waarbij elektriciteit zal worden gebruikt als intermediair. Elektriciteit zal vanwege de huidige stand der techniek niet worden opgeslagen
- Op het thema "Institutionele en sociale innovatie" zal vooral ingegaan worden op de acceptatie van een dergelijk systeem door de toekomstige bewoners. Op basis van voorlichting, metingen in een huidige woonwijk, maar ook in andere Smart Grid pilots, zal het gedrag en de motivatie van bewoners worden onderzocht

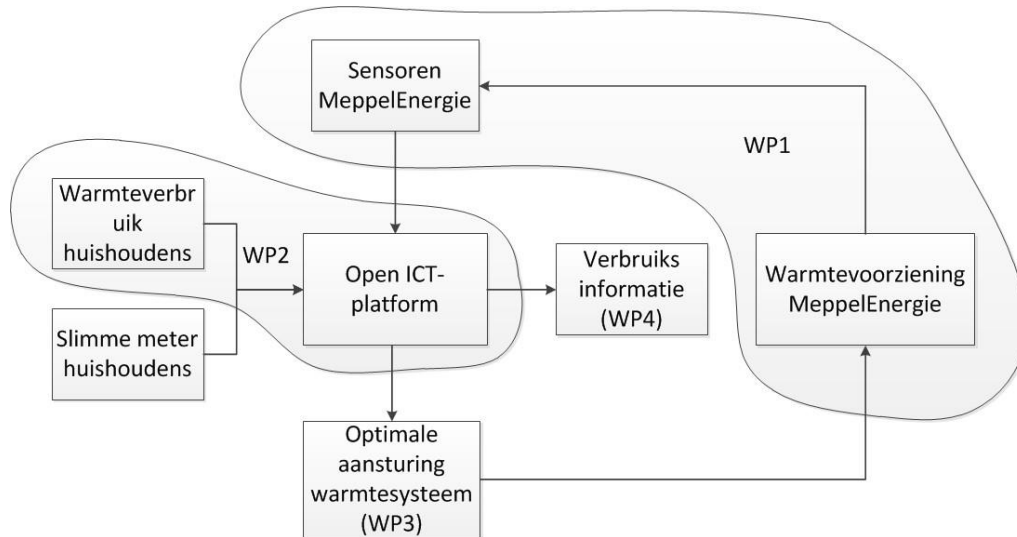
### 3.2.2 Innovatie

De resultaten van het project zijn op een aantal vlakken innovatief:

- Publiek-private samenwerkingen in de energievoorziening van de openbare ruimte bestaan zeer beperkt, en zeker niet op een dusdanig grote schaal
- Een demonstratie van een multi-utility Smart Grid voor een hybride warmtevoorziening. Dit is een innovatie ten opzichte van de huidige stand der techniek. Op dit moment bestaan systemen op basis van WKO of WKK, maar niet de combinatie
- Inzicht in de schaalbaarheid van het bovengenoemde systeem en dus de uitrolbaarheid van het project naar nationaal en Europees niveau
- De verdere ontwikkeling van een open platform voor Smart Grid-data uitwisseling. Dit is een innovatie ten opzichte van de huidige stand der techniek, aangezien er op dit moment alleen gesloten systemen bestaan voor top down regeling. Een initiatief als PowerMatcher is bijvoorbeeld wel open, maar gaat uit van een peer to peer model, wat minder geschikt is voor een centrale warmtevoorziening
- Het creëren van een living lab omgeving met dit open platform. Zodra de eerste fase van MeppelEnergie is afgerond, bestaat er een platform waarop verschillende partijen diensten kunnen ontwikkelen en onderzoeken kunnen doen (bijvoorbeeld monitoring, automatische facturering, gedragsverandering etc)
- Het betrekken van de bewoners bij de introductie van het energiesysteem –co-design- alsmede het informeren en het geven van feedback op hun verbruik door middel van gamingstrategieën die verder onderzocht worden door de TU Delft
- Het gebruik van geavanceerde sturingsmodellen, ontwikkeld aan de UT, in een concrete woonwijk

## Hoofdstuk 4 Project: opbouw in werkpakketten

Het project MeppelEnergie richt zich op vier themalijnen en is dan ook benoemd als doorsnijdend project in het innovatiecontract Smart Grids. Het project zal worden opgedeeld in een viertal werkpakketten, naar analogie met het innovatiecontract.



### Werkpakket 1: Realisatie infrastructuur

Werkpakketleider: MeppelEnergie

Realisatie van een duurzaam energiesysteem waarbij beschikbare energiestromen slim kunnen worden geconverteerd en bewaard om energiebehoefte in de nabije toekomst in te vullen. De fysieke infrastructuur verdeelt de energie van de opwekkers en gebruikers van het duurzame energiesysteem. De fysieke infrastructuur bestaat uit een elektriciteitsnet, een laagwaardig warmtenet, een hoogwaardig warmtenet en een communicatienetwerk. Het laagwaardige warmtenet bestaat uit een WKO-systeem voor individuele (grondgebonden)woningen. Tevens dient dit WKO-systeem voor het voeden van centrale warmtepompen welke de energie voor het hoogwaardige warmtenet opwaarderen. De elektriciteit voor al deze warmtepompen wordt door een eigen elektriciteitsnet verzorgd.

taaknr	Taakomschrijving	Deelverantwoordelijke
1	Aanbesteding en realisatie van de infrastructuur van het duurzame energiesysteem	MeppelEnergie
2	Protocollen van leveranciers opvragen en de meet- en regelsignalen inventariseren.	MeppelEnergie
3	Biogasopwekking meten en de signalen koppelen aan het platform	MeppelEnergie
4	Slimme meters koppelen aan het platform	iNRG

## Werkpakket 2: Realisatie platform

Werkpakketleider: iNRG

Het platform zorgt dat alle benodigde data op een eenduidige manier wordt verzameld en opgeslagen. Voor de verschillende objecten (zoals warmtepomp, wkk, kleppen) worden verschillende communicatieoplossingen bedacht en ontwikkeld zodat deze objecten aan het platform gekoppeld kunnen worden.

In totaal wordt voor ongeveer 450 objecten communicatie interfaces bedacht en getest. Het testen zal eerst in kleinere aantallen geschieden om de impact van evt kinderziektes te beperken.

Het platform heeft de volgende technische doelstellingen:

1. Het acquireren en opslaan van de data die de verschillende sensoren hebben leveren
2. Aansturing voor de warmtevoorziening
3. Opslaan en verwerken van de gebruikersdata
4. Communicatie met de optimalisatiemodule

Deel	Taakomschrijving	Deelverantwoordelijke
1	Hardware met integratie platform	iNRG
2	Protocollen van leveranciers opvragen en de meet- en regelsignalen beschikbaar stellen aan het platform.	MeppelEnergie
3	Slimme meters koppelen aan het platform	iNRG

## Werkpakket 3: Ontwikkeling intelligente aansturing

Werkpakketleider: Universiteit Twente

De flexibele sturing van de verschillende opwekkers en gebruikers van het energiesysteem wordt met een intelligente aansturing gekoppeld. Deze aansturing zorgt ervoor dat de verzamelde gebruiksgegevens worden aangewend om de balans tussen vraag om energie en beschikbare energie van hernieuwbare oorsprong zo goed mogelijk wordt ingevuld.

Tijdens de ontwikkeling van het platform, kan tevens gestart worden met het bouwen van het aanstuuralgoritme (de intelligentie). Hiervoor worden in samenwerking met de de Universiteit Twente een aantal use-cases uitgewerkt. Deze use-cases geven per stakeholder (consument, energiebedrijf, netbeheerder) aan welke toegevoegde waarde gecreëerd kan worden.

De kennisinstellingen ontwikkelen het optimaliseringsalgoritme (intelligentie) en iNRG zorgt dat deze intelligentie bovenop het platform geïntegreerd kan worden. Ook na het project kunnen verschillende algoritmes of andere slimme besturingstechnieken van andere merken/fabrikanten op het platform geplaatst worden.

Deel	Taakomschrijving	Deelverantwoordelijke
1	Platform met real-time aansturing van apparaten	iNRG
2	Optimalisatiemodel en algoritme voor energiestromen	Universiteit Twente
3	Integratie van optimalisatiealgoritme met het platform	iNRG

## Werkpakket 4: Bewonersparticipatie, Kennisverankering en monitoring

Werkpakketleider: TU Delft

Dit onderdeel van het project richt zich op de innovatielijn “institutionele en sociale innovatie” en wordt geleid door de TU Delft. De gemeente Meppel richt hierbij een algemeen communicatie- en informatiecentrum in ten behoeve van de bewoners, zodat de TU Delft bijdrage zich kan toespitsen op extra communicatie, onderzoek en ontwikkeling ten behoeve van complementair, smart energie-efficiënt energiedrag, sociale interventies en interacties alsmede energiemetingen (warmte, elektriciteit) in het MeppelEnergie project. Het doel van het werkpakket is om bewoners te mobiliseren en activeren door inzicht te geven in verbruik en “gaming”. Wetenschappelijk gezien wordt een 5-tal publicaties voorzien, die zullen bijdragen aan twee lopende dissertatie-onderzoeken bij de Faculteit Industrieel Ontwerpen. Naast de App en de Game als concrete ondersteunende en toegepaste producten in het project, worden als resultaat ook minimaal 5 nieuwe, ge-pre-teste product-/dienst-idee-en voor optimale E-participatie van bewoners in Smart Grid vervolgpacten verwacht.

Fase	Taakomschrijving	Planning
1	Ontwikkeling PvE en wensen Nulmeting Bewoners	Januari 2013 – augustus 2013
2	Ontwikkeling App, Energie Game en Bewonersmeting 1	September 2013 – juni 2014
3	Reguliere Bewonersmonitoring en –feedback, Ontwikkeling Game-varianten en toekomstige E-support concepten	Juni 2014 – december 2015
4	Bewonersmeting 2, communicatie, evaluatie en aanbevelingen	Januari 2016 – december 2016

# Hoofdstuk 5      Aanpak, activiteiten en resultaten

## 5.1      Werkpakket 1: realisatie infrastructuur

In 2009 ontstonden de eerste plannen voor realisatie van 3400 woningen in de woonwijk Nieuwveense Landen in Meppel. Deze woningen zouden in een periode van 20 jaar gerealiseerd worden in een aantal fases. Aan de eerste fase is in 2014 begonnen met bouwen. Het startschot is op 9 oktober 2013 gegeven bij de feestelijke start van de werkzaamheden door Wethouder Ton Dohle van gemeente Meppel en Interim Directeur RENDO, Ger Hagevoort.



Belangrijke eigenschap van de nieuwe woonwijk was dat er optimaal wooncomfort geboden wordt tegen de laatste kosten en met een minimale belasting voor het milieu. Samengevat als “Aangenaam Duurzaam”. Het projectplan gaat uit van een hybride warmtevoorziening bestaande uit een biogas-WKK die de benodigde hoeveelheid biogas van de naastgelegen RWZI (Reest & Wieden) krijgt. De warmte van de WKK zal gebruikt worden voor de centrale warmtevoorziening van de woningen en de beschikbare elektriciteit zal gebruikt worden om individuele warmtepompen te voeden die worden voorzien in de vrijstaande woningen in het plan. De beschikbare restwarmte van het effluent van de RWZI zal gebruikt worden om de bodembalans van de WKO bronnen te handhaven. Om de noodzakelijke afstemming te krijgen tussen energie vraag en energie opwekkers is een smart grid voorzien.

### 5.1.1      Beschrijving werkpakket, scope, afbakening

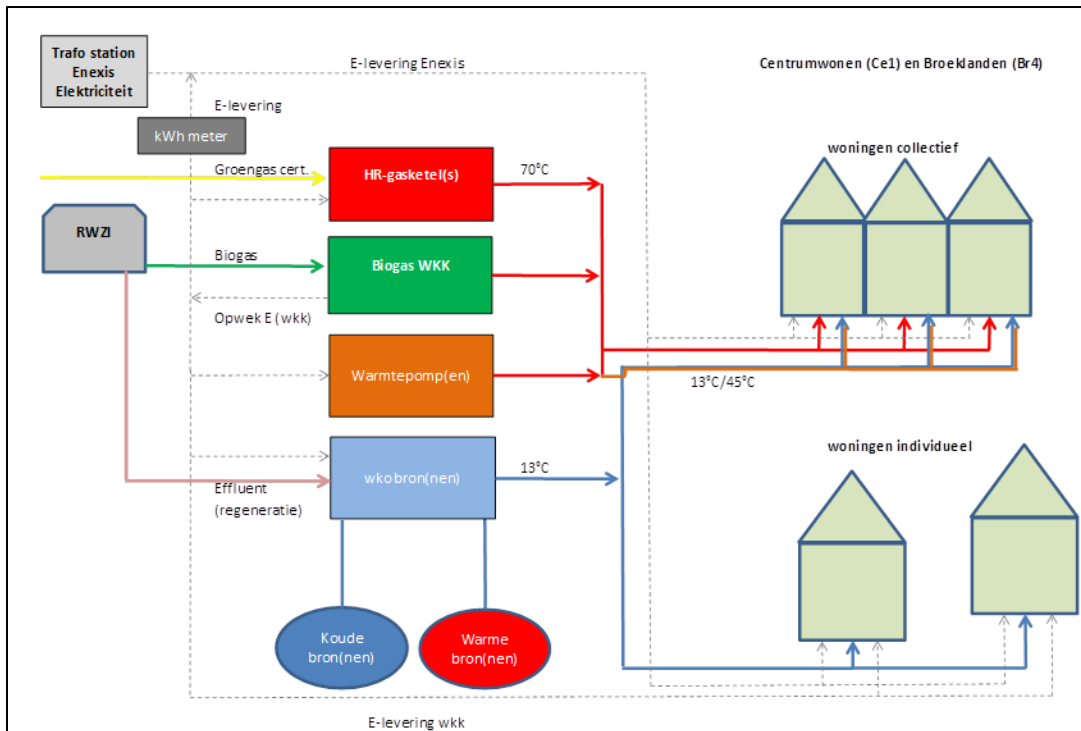
Om te komen tot deze duurzame warmtevoorziening zal de noodzakelijke energie infrastructuur aangelegd moeten worden. In het verleden werden de elektra- en gasaansluiting nagenoeg standaard naar iedere nieuwbouwwoning aangelegd. Met de huidige inzichten op het gebied van duurzaamheid en het gebruik van fossiele brandstoffen zullen andere keuzes gemaakt worden. Hierbij is met name van belang hoe de warmtevoorziening zal gaan plaatsvinden. De scope van Werkpakket 1 van dit project is de realisatie van deze infrastructuur.

High-level kan het energie systeem als volgt ingedeeld worden:

- 1) Energiebronnen/componenten
- 2) Energie transport en distributie
- 3) Energie afgiftesystemen

*Energiebronnen/componenten in dit concept:*

- 1) Bio-gas WKK
- 2) Bio-gas vanuit de RWZI
- 3) Effluent vanuit de RWZI
- 4) Individuele warmtepompen
- 5) Collectieve warmtepomp



*Energie transport en distributie:*

- 1) Hoge temperatuur leidingnet naar de woningen
- 2) Lage temperatuur leidingnet naar de woningen
- 3) Bron net naar de individuele warmtepompen
- 4) Biogas leiding naar de energie centrale
- 5) Effluent warmtekoppeling naar de centrale
- 6) E-net (installatiekabel) naar de individuele warmtepompen
- 7) Smart grid voor onderlinge communicatie tussen de systeemcomponenten.

*Energie afgiftesystemen:*

- 1) Afgifteset voor
  - a. Warm tapwater
  - b. Verwarming
  - c. Comfort koeling
  - d. Meting warmte

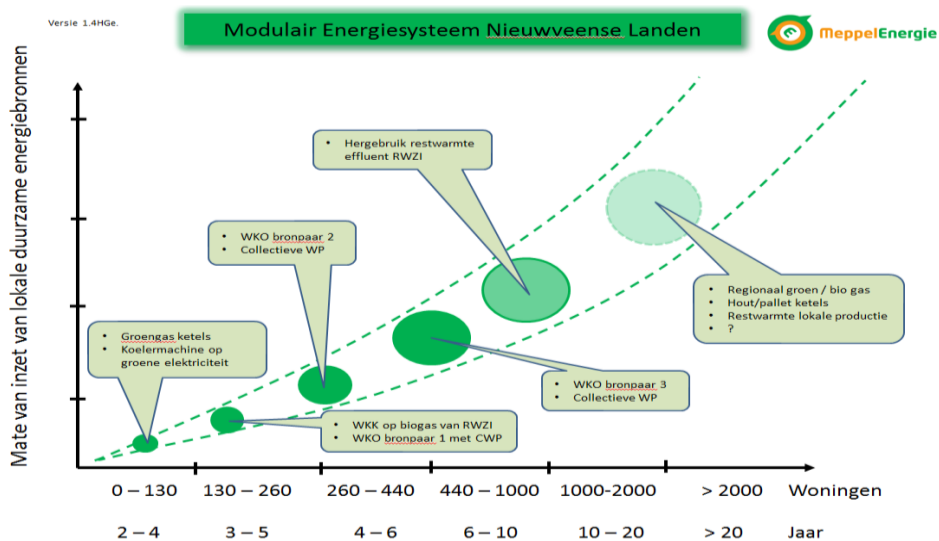


## 5.1.2 Probleemstelling en doelstellingen

De doelstelling van dit Werkpakket is de realisatie van een duurzaam energiesysteem waarbij de beschikbare energiestromen slim kunnen worden geconverteerd en bewaard om de energiebehoefte in de nabije toekomst te kunnen vervullen. Door de grote hoeveelheid afzonderlijke componenten in dit energiesysteem is een goede onderlinge afstemming van groot belang om te voorkomen dat er bijvoorbeeld niet aan de warmte of koudevraag kan worden voldaan of dat er onbalans optreedt in de bodembron. Daarnaast moet rekening gehouden worden met de ontwikkeling van de woonwijk. De benodigde warmte en koude zal gedurende het hele jaar geproduceerd en afgeleverd moeten kunnen worden. Daarnaast is er de continue ontwikkeling van de woonwijk en daarmee de groei in aangesloten woningen. Ook deze continue groei in benodigde warmte en koude zal door de energiecentrale geproduceerd moeten kunnen worden.

## 5.1.3 Modulair energiesysteem.

Echter, om vanaf de oplevering van de eerste woning een volledige energiecentrale voor 3400 woningen operationeel te hebben is vanuit financieel en duurzaamheidsoogpunt niet verantwoord. Daarom is ervoor gekozen om een modulair energieconcept te ontwikkelen. Hiermee worden onverantwoorde investeringen in opwekking en netten voorkomen en kan toch aan de toenemende vraag van warmte en koude voldaan worden. Het principe van dit modulaire energiesysteem is gebaseerd op het meegroeien van het energiesysteem met de ontwikkeling van de woonwijk. Dus op het moment van de start van de ontwikkeling van de bouw is er voldoende warmte en koude beschikbaar en na het doorgroeien naar de volgende bouwphase zal ook het energiesysteem meegroeien. Daarbij wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van lokaal beschikbare duurzame energiebronnen. De reeds gebruikte componenten vanuit de basis van het energiesysteem zullen hergebruikt worden of ingezet als piek of back-up voorzien in het nieuwe systeem. In stappen zal het de energieopwekking op deze wijze meegroeien met de woonwijk. De collectieve warmte wordt geproduceerd door 4 in cascade geschakelde groen gas ketels. Er is ruimte om dit aantal uit te breiden indien dit noodzakelijk blijkt. De koeling wordt geproduceerd door dry-coolers die op groene stroom draaien. Omdat het modulair systeem een tijdelijk karakter heeft is het geheel in een zeecontainer ingebouwd. Bij het doorgroeien van de woonwijk en het energiesysteem hoeven er dan dus geen bouwwerken afgebroken te worden. In onderstaande figuur is weergegeven hoe, in de tijd gezien, de opeenvolgende duurzame energiebronnen ingezet zullen gaan worden. In de periode van 2014 tot 2020 is voorzien dat ca. 445 woningen opgeleverd gaan worden.



## 5.1.4 Activiteiten aanleg duurzaam energiesysteem

### Inleiding

Zoals hiervoor aangegeven bestaat het energiesysteem uit meerdere componenten. Om vanaf de oplevering van de eerste woningen direct zowel warmte als koude te kunnen leveren moet dat in voldoende mate opgewekt, getransporteerd en afgegeven kunnen worden. In 2014 zijn de eerste woningen opgeleverd. Voorafgaand daaraan zijn de ondergrondse energienetten aangelegd en is de bouw van de tijdelijke energiecentrale gestart. Hiervoor was een goede voorbereiding noodzakelijk.



### Proefboring WKO

Voordat overgegaan kan worden tot het ontwerpen van het energiesysteem, is bepaald in hoeverre de ondergrond voldoende geschikt is voor de toepassing van een WKO-systeem. Hiervoor zijn er proefboringen uitgevoerd waarin de geschiktheid van de verschillende bodemlagen is vastgesteld. Op een gericht aantal plaatsen zijn boringen uitgevoerd waarbij de waterdoorlaatbaarheid op verschillende dieptes gemeten is.



### Bepaling capaciteit energiecentrale

Bepalend voor de capaciteit van de energiecentrale zijn de gevraagde hoeveelheden warmte en koude. Op basis van modellen van RVO voor referentiewoningen zijn deze waarden voor de woningtypes als volgt:

- |                              |   |           |
|------------------------------|---|-----------|
| • Appartement                | referentieoppervlakte: 60-80 m <sup>2</sup> | ca. 15 Gj |
| • Tussenwoning               | referentieoppervlakte: 110 m <sup>2</sup>   | ca. 18 Gj |
| • Hoekwoning & 2-onder-1-kap | referentieoppervlakte: 135 m <sup>2</sup>   | ca. 26 Gj |
| • Vrijstaande woning         | referentieoppervlakte: 150 m <sup>2</sup>   | ca. 30 Gj |

Daarnaast is de verwachte aantal op te leveren woningen een tweede belangrijke factor in de capaciteitsbepaling. Hieronder is de tabel weergegeven waarin deze verwachting, per jaar, is weergegeven.

Jaar	Business Case 2014		Prognose 2016		Verschil
	Uitgifte	Opgeleverd cumulatief	Uitgifte	Opgeleverd (cumulatief)	
2014	63	63	90		- 63
2015	64	127	61	90	- 37
2016	66	193	50 <sup>1</sup>	151	- 42
2017	66	259	68	201	- 48
2018	65	324	68	269	- 55
2019	120	444	122	337	-107
2020		444		459	+15

Duidelijk is dat de aantallen woningen lager zijn dan waar eerder vanuit gegaan is. Reden hiervoor is dat de crisis in die periode duidelijk merkbaar was in. Gelukkig is gemeente Meppel een groeigemeente en dus er zal in de jaren hierop volgend een groei zichtbaar blijven. Inmiddels heeft de gemeente Meppel haar verwachtingen voor Nieuweense Landen bijgesteld tot een capaciteit van ca. 2300 woningen.

#### Bepaling capaciteit warmte en koude infrastructuur

Om de juiste hoeveelheid warmte en koude te kunnen afleveren bij de woningen is het noodzakelijk dat de infrastructuur deze ook kan transporteren. Een juiste dimensionering van deze netten voorkomt klachten bij te klein gedimensioneerde netten en te hoge investeringen bij te groot gedimensioneerde netten. Met de beoogde plaats van de energiecentrale en de overzichtstekening van de woningen van de gemeente Meppel zijn, met behulp van een netdimensioneringsprogramma, de benodigde leidingdiameters bepaald.



<sup>1</sup> Werkelijk aantal bedroeg 46 in 2016. Dit is nog niet verwerkt in de prognose van de gemeente Meppel



### Ondergrondse energie infrastructuur

Bij de aanleg van een nieuwbouw wijk is het gebruikelijk dat belanghebbende partijen (gemeente, elektriciteitsnetwerk, gasnetwerk, datanetwerk, waterleiding) in een gezamenlijk overleg de aanleg afstemmen. Dit overleg is het zgn. nutsoverleg. In de periode van de aanleg van dit project was RENDO, vanuit haar rol als netbeheerder gas, de coördinator van dit overleg. Hiermee konden de belangen van de aanleg van het duurzame energiesysteem vanaf de aanleg voldoende geborgd worden.

Ten behoeve van dit duurzame energie systeem zijn deze eerste fase de volgende netten gerealiseerd:

- 1) Hoge temperatuur leidingnet naar de collectieve woningen
- 2) Lage temperatuur leidingnet naar de collectieve woningen
- 3) Bron net naar de woningen met individuele warmtepompen
- 4) E-net (installatiekabel) naar de individuele warmtepompen
- 5) Smart grid voor onderlinge communicatie tussen de systeemcomponenten.



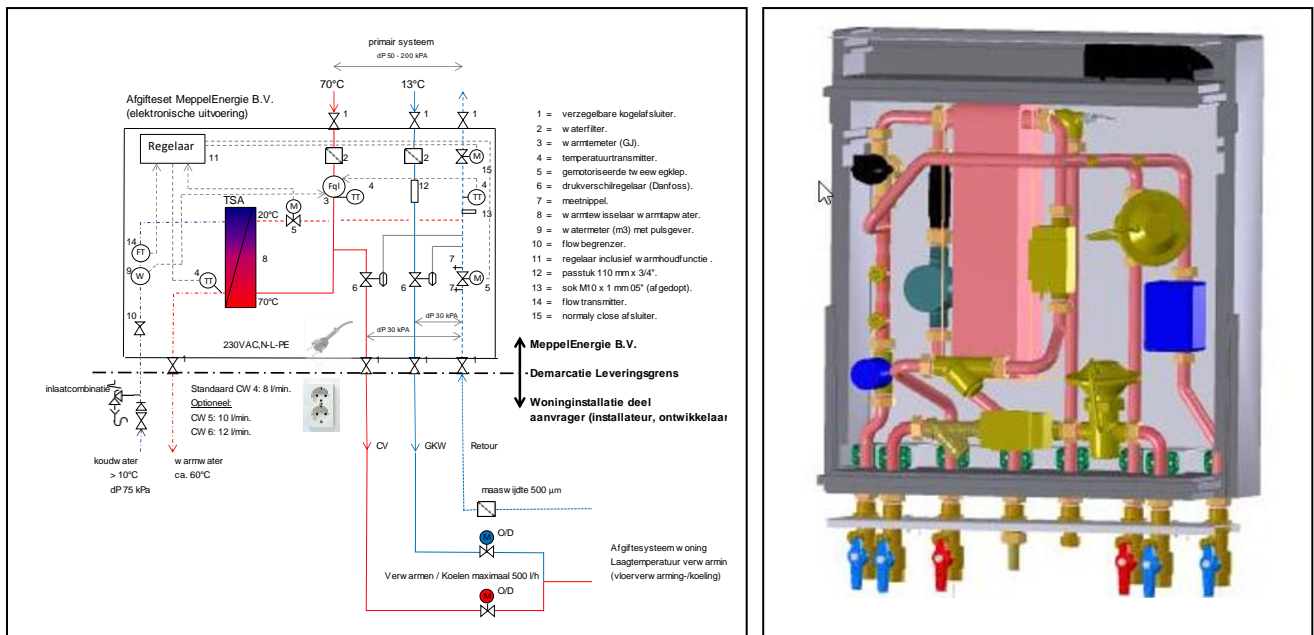
De opzet van het energiesysteem gaat er vanuit dat de collectieve woningen worden aangesloten op het warmte en koude net en de vrijstaande woningen op het bron net en een eigen warmtepomp krijgen. Omdat de verkoop van de kavels voor vrijstaande woningen minder snel ging dan verwacht zijn hiervoor wel de noodzakelijke netten aangelegd. Noot: eind 2016 zijn er nog geen vrijstaande woningen aangesloten.

In de latere bouwfases is de realisatie van de volgende netten voorzien:

- 1) Biogas leiding naar de energie centrale
- 2) Effluent warmtekoppeling naar de centrale

## Afgifteset

Om de warmte en koude in de woning af te kunnen geven aan de omgeving (ruimteverwarming en comfort koeling) en aan de binneninstallatie voor warm tapwater is de plaatsing van een afgifteset noodzakelijk.



Deze set is op specificaties van MeppelEnergy ontwikkeld en is geschikt voor warmte maar ook voor de afgifte van koude voor de comfortkoeling. In het laatste geval wordt in plaats van warm water, koud water door het “verwarmings”-systeem gecirculeerd. Met een temperatuur van ca. 17° kan hiermee in de zomer een aangename temperatuurverlaging in de woning worden bereikt.

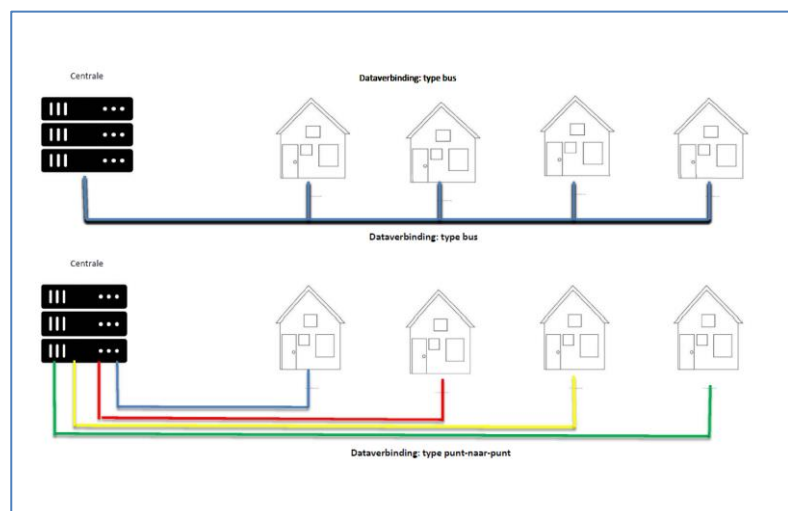
Vooruitlopend op de regulering van de koudemarkt zijn deze afgiftesets eenvoudig aan te passen aan het meten van koude. Hiervoor is er een passtuk geplaatst waar t.z.t. een koudemeter op kan worden aangesloten. Het is van groot belang dat de binneninstallatie van de woningen goed is afgestemd op de warmteset. Daarom zijn er door MeppelEnergy met iedere projectontwikkelaar bijeenkomsten belegd waarin de werking van de afgifteset is besproken en wat de voorwaarden zijn om een comfortabel gebruik door de klanten te kunnen garanderen. Dit is tevens vastgelegd in de aansluitvoorwaarden van MeppelEnergy. Alle partijen hebben dit als zeer waardevol ervaren omdat er beperkt ervaring was met het ontwikkelen van woningen op een warmtenet.

## Smart grid

Bij de ontwikkeling van het smart-grid moet er een keuze gemaakt worden om een of bedraad of een draadloos datanetwerk te ontwikkelen.

Keuzes structuur:

- 1) bedraad:
  - a. punt-punt verbinding
  - b. bus verbinding
- 2) draadloos:
  - a. open zoals GPRS, 2G, 3G
  - b. gesloten zoals meshed RF



Een belangrijk gegeven is dat de datahoeveelheden relatief beperkt zijn. Het is bijvoorbeeld niet te vergelijken met benodigde bandbreedte zoals deze noodzakelijk is voor TV.

Bij diverse toeleveranciers zijn de kosten opgevraagd voor zowel een bedraad als een draadloos netwerk. Hieruit is gebleken dat voor een relatief beperkt netwerk, met beperkte bandbreedte de kosten voor aanleg en instandhouding van een bedraad netwerken hoger zijn dan bij een draadloos netwerk. Daarnaast is er een kostendaling zichtbaar bij de draadloze machine-to-machine (M2M) communicatie. Veel apparaten communiceren inmiddels zelfstandig via M2M communicatie en maken zo onderdeel uit van het Internet Of Things (IOT). Op basis hiervan zijn wij tot de conclusie gekomen dat een draadloze communicatie met een M2M 3G-GPRS modem een geschikte oplossing is. De details over dit modem zijn terug te vinden in werkpakket 2 (iNRG).

## 5.2 Werkpakket 2: realisatie open platform

### 5.2.1 Inleiding

iNRG heeft in het “Smart Grid MeppelEnergie”-project voor Werkpakket 2, een platform ontwikkeld waarmee het mogelijk is om in huizen die zijn aangesloten op het energie systeem van MeppelEnergie, de warmte energie en de opgenomen en/of opgewekte elektriciteit te meten, op te slaan en door te geven aan het centrale systeem van MeppelEnergie.

Het door iNRG ontwikkelde platform bestaat uit:

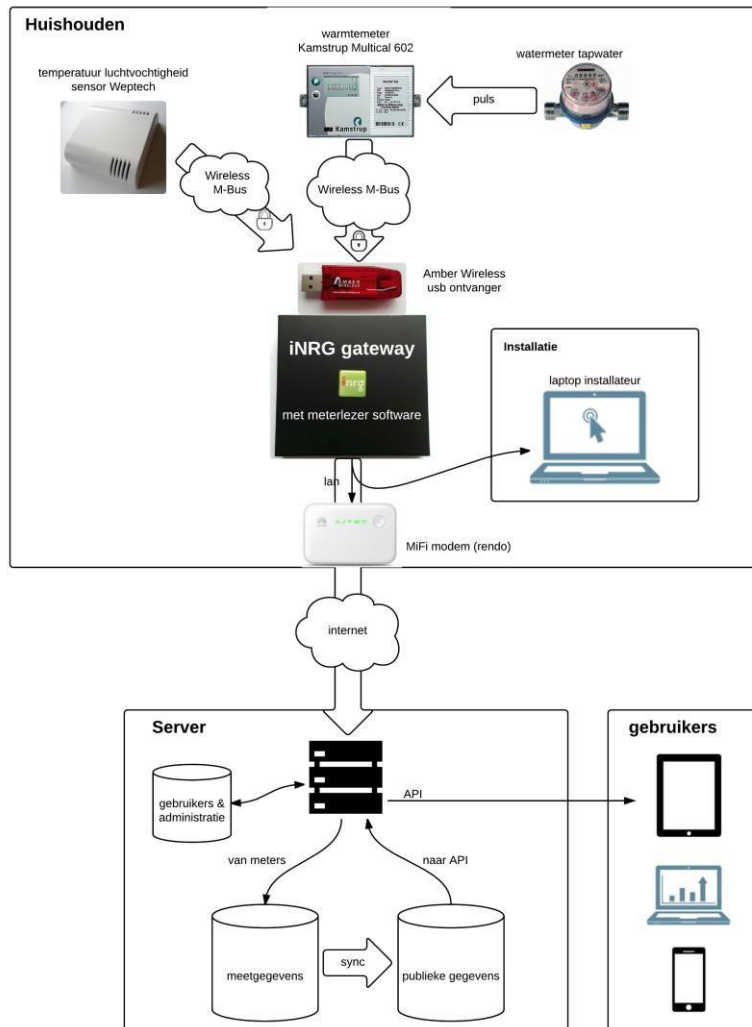
- Hardware
- iNRG gateway t.b.v. van meten en loggen
- koppeling met Slimme Meter
- Wireless M-Bus koppeling met Warmtemeter en temperatuur sensoren
- Koppeling met centraal systeem via Mobile WiFi (MiFi)
- Software
- Communicatie module Slimme Meter
- M-Bus communicatie t.b.v. warmte meter
- Encryptie/decryptie
- Web service koppeling naar centraal systeem

Het zwaartepunt van de bijdrage van iNRG lag in het ontwikkelen van bovenstaande platform. Daarnaast heeft iNRG een interface en verbinding ontwikkeld voor het uitlezen van de slimme meter, warmtemeter, temperatuur en luchtvochtigheid sensor. In samenwerking met Rendo is tevens onderzocht hoe de data infrastructuur tussen de huizen gerealiseerd kan worden met de beste kosten/kwaliteit verhouding (WP1). Met de TU Twente is afgestemd hoe ze bij de geaggregeerde data kunnen zodat analyses gemaakt kunnen worden (WP3). Als laatste heeft iNRG TU Delft ondersteund in de bewonersparticipatie (WP4).

Dit document beschrijft de voor het systeem ontwikkelde onderdelen.

## 5.2.2 WP1 en WP2: data infrastructuur en platform

### Beschrijving systeem



De iNRG gateway is de centrale hub in het systeem tussen huishouden en het centrale systeem. Lokaal in het huishouden maakt het systeem verbinding met een warmtemeter, temperatuur sensoren en optioneel een tapwater-meter. Via een internet verbinding zal de data worden doorgestuurd naar het centrale systeem van MeppelEnergie waar de meetgegevens worden opgeslagen. Op basis van deze data kunnen dan bijv. facturen voor energieverbruik, analyses, en verscheidene rapportages worden gemaakt.

Verskillende technieken voor de communicatie tussen de huizen en het centrale systeem zijn getest in een lab opstelling. Belangrijk in de testen was de betrouwbaarheid, veiligheid en de hoeveelheid dataverkeer (ivm de kosten). In nauwe samenwerking met Rendo zijn de onderzoeken uitgevoerd. De conclusie was dat een zgn 'mobile WIFI module' (zie 2.2.3) voor het project de beste oplossing was.

## Hardware componenten

### I-NRG Gateway

De keuze van de hardware is een belangrijke. Te krachtige hardware zullen teveel kosten met zich meebrengen. Vanzelfspreken zal te weinig capaciteit van de hardware zorgen voor het niet goed (genoeg) functioneren van de software. Hieronder is de hardware beschreven die voor dit project een goede prijs/kwaliteit verhouding heeft.



Spec:

- CPU: 500 MHz AMD Geode LX800
- DRAM: 256 MB DDR DRAM
- Storage: CompactFlash socket
- Power: DC jack or passive POE, min. 7V to max. 20V
- Three LEDs
- Expansion: 2 miniPCI slots, LPC bus
- Connectivity: 1 Ethernet channel (Via VT6105 10/100)
- I/O: DB9 serial port, dual USB
- RTC battery
- Board size: 100 x 160 mm
- Firmware: tinyBIOS

Opties: I2C bus, buzzer

Het Linux OS, de Java Virtual Machine en Java applicaties worden opgeslagen op de CompactFlash kaart. Op 1 GB kaart kan zowel het OS en de noodzakelijke software. Deze kaart is van een zgn 'industriële' kwaliteit. Hiervoor is gekozen omdat de geheugenkaart een belangrijke functie in het gehele energiesysteem heeft. Deze kwaliteit zorgt ervoor dat de gegevens veel vaker overschreven kunnen worden zonder dat de capaciteit van het geheugenkaart minder wordt.

### Wireless M-bus communicatie module gateway



Vanwege de afstand kunnen de huizen en dat het lastig is om (nieuwe) kabels te trekken in de huizen is gekozen voor een wireless M-bus protocol voor communicatie tussen de gateway en de componenten. De Wireless M-bus module (rode USB-stick) is aan te sluiten op een USB-poort van de iNRG gateway. Door middel van deze module kan de gateway draadloos communiceren met de warmtemeter, temperatuur en luchtvochtigheidsensoren.

### Mobile Wifi Module



De mobile Wifi module (MiFi) wordt door middel van een normale ethernet kabel aangesloten op de iNRG gateway. De MiFi module zal automatisch een dataverbinding opzetten zodra er netwerk verkeer over de betreffende ethernet poort wordt gestuurd.

## Slimme meter



De elektriciteitsmeter tussen het net en het huishouden, de meter van de netbeheerder, is een zogenaamde "Slimme meter".

De slimme meter maakt het o.a. mogelijk om in het huishouden nauwkeurig het energieverbruik te meten via de zgn. P1-poort.

Met behulp van een speciale kabel verbinden we de iNRG gateway met de Slimme meter. Deze kabel kan via een USB verbinding met de gateway worden verbonden, en met een RJ-11 connector aangesloten worden op de Slimme meter.

## Software platform



Op het gekozen hardware platform zal de nodige software moeten draaien. Gekozen is voor het Linux besturingssysteem met de benodigde hardware drivers.

De software die door iNRG is ontwikkeld voor het uitlezen van de Slimme Meter en het uitlezen van de Wireless M-Bus apparaten is geprogrammeerd in Java.

Een Java Virtual Machine (een software laag die Java byte code omzet in instructies voor het betreffende besturingssysteem), is daarom ook geïnstalleerd op het systeem.

Nieuwe toekomstige software modules die in Java zijn ontwikkeld kunnen eenvoudig worden toegevoegd aan het systeem.

De combinatie van JAVA en Linux zorgt ervoor dat het platform open, robust, flexibel en betrouwbaar is. Indien later blijkt dat de gekozen hardware (vanwege bijvoorbeeld toekomstige eisen/wensen) niet voldoende blijkt te zijn, dan kan eenvoudig nieuwe hardware ingezet worden.

De software draait met systeem rechten van de inrg-user. Deze user heeft een eigen omgeving op het systeem waarin alle software componenten kunnen worden geïnstalleerd en automatisch worden gestart.

## Werking software voor uitlezen Wireless M-bus

Voor het uitlezen van de draadloze sensoren en meters die worden aangesloten op het systeem via Wireless m-bus is een apart programma geschreven dat deze data kan opvangen, verwerken en doorsturen naar de centrale server. Deze software beschikt naast deze basisfuncties ook een aantal extra functies om de werking te garanderen. Zo is er een foutafhandeling ontwikkeld voor elke fout die het systeem kan tegenkomen, en indien nodig kan het programma de fout zelf oplossen. Tevens worden eventuele fouten bijgehouden in een log.

De eerste stap van de software is het binnen krijgen van de data van de Wireless m-bus usb-stick. Dit is een Wireless M-bus zender/ontvanger met een USB interface waardoor deze makkelijk is te koppelen met bestaande computer hardware zoals PC's en embedded systemen. De Wireless M-bus zender/ontvanger is via de USB koppeling verbonden met de seriële poort van iNRG systeem (gateway).

De software is zodanig ontwikkeld dat automatisch gedetecteerd kan worden of er een Wireless M-bus device is aangesloten, maar tevens op welke USB poort deze zich bevindt. Aangezien er meerdere USB koppelingen zijn, is het voor het systeem van belang om te weten via welke koppeling de communicatie met Wireless M-bus verloopt.

Vervolgens wordt gekeken of de aangesloten Wireless m-bus usb-stick goed is ingesteld voor het ontvangen van de informatie.

```
in de amber usb staan de encryptie keys van de volgende sensoren:
apparaat 1
merk en type: Kamstrup Multical 602
meternummer: 69446113
meter versie: Warmte/koude meter

apparaat 2
merk en type: WEPTECH elektronic Temperatuur humidity sensor v2
meternummer: 00000790
meter versie: kamer sensor

apparaat 3
merk en type: WEPTECH elektronic Temperatuur humidity sensor v2
meternummer: 00000847
meter versie: kamer sensor
```

In bovenstaande log informatie is te zien dat het systeem een check doet of de communicatie instellingen met alle sensoren goed zijn geconfigureerd.

De data die vervolgens wordt ontvangen is een grote stroom aan informatie. Deze stroom moet worden onderverdeeld in de verschillende frames.

Als dit is gedaan worden de frames gecontroleerd en naar de juiste verwerkingslogica in de software gestuurd. Zo gaan de frames van de Kamstrup meter naar het Kamstrup verwerkingsdeel, en de frames van de Weptech sensoren naar het Weptech verwerkingsdeel. Tevens is er een apart verwerkingsdeel voor de Amber frames.

Deze verschillende verwerkingsroutines verwerken de data naar leesbare meetwaardes en slaan deze op in het tijdelijke geheugen.

Eens per kwartier wordt de nieuwste data uit dit geheugen genomen en wordt deze doorgestuurd naar de centrale server.

Mocht deze server niet reageren om een of andere reden dan wordt deze data in een buffer geplaatst, en wordt er op een later moment wanneer de verbinding wel lukt deze gegevens opnieuw verstuurd.

Deze gegevens kunnen in deze buffer tot 100 dagen bewaard blijven.

Tevens draait er een automatisch proces mee die in de gaten houdt of alle data wel wordt ontvangen en of alle omliggende processen nog draaien. Mocht er een fout geconstateerd worden zal deze gelogd worden, en indien nodig wordt deze door het systeem zelf opgelost. In de mogelijkheden waar dit niet mogelijk is zal er een verbinding worden opgezet naar de VPN server zodat een technicus hiernaar kan kijken.

## Data communicatie Wireless M-bus

Wireless m-bus is special ontwikkeld voor draadloze communicatie tussen meters en sensoren. De Wireless M-bus standaard is afgeleid van de 'normale' M-bus standaard via een bedraade verbinding, en beschikt over extra uitbreidingen om deze geschikt te maken voor draadloze toepassingen.

De draadloze verbinding gaat over een frequentie van 868 Mhz. en is in Nederland een frequentieband die licentievrij te gebruiken is.

Het Wireless M-bus protocol dat wordt verstuurd is Hexadecimaal.

Hierdoor is het nodig dat de data die wordt ontvangen eerst wordt omgezet naar het decimale getallenstelsel.

Als dit is gedaan kan de data in leesbare tekst worden uitgelezen.

Hiervoor worden twee velden gebruikt:

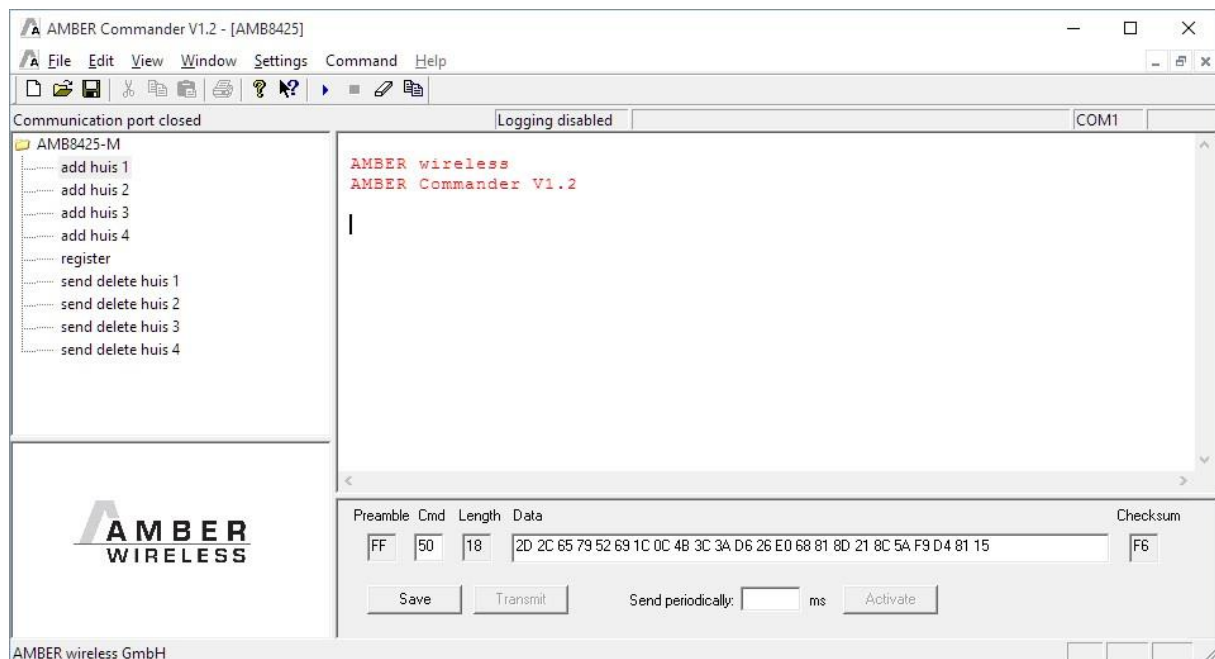
- het "vif" veld, is "value information field" en
- het "dif" veld, is "data information field" dat de data bevat.

De pakketten die worden verstuurd door een meter kunnen meerdere van deze velden bevatten. Voor bijvoorbeeld verschillende meetwaardes, zoals bijvoorbeeld temperatuur en luchtvochtigheid.

### Koppelen sensoren

De Amber Wireless M-bus USB stick moet worden geconfigureerd met encryptie/decryptie sleutelparen voor het gebruik van de verschillende Wireless M-bus sensoren in het systeem. Dit process wordt ook wel het "pairen" van de zender/ontvanger met de verschillende sensoren. Deze sensoren zijn de warmtemeter, temperatuur- en luchtvochtigheidsensoren.

Voor het koppelen van de sensoren maken we gebruik van het programma van Amber, genaamd Amber Commander.



De procedure is als volgt:

- Verbind de Wireless m-bus usb stick met de computer.
- Via het programma van Amber genaamd AMBER Commander zijn commando's naar de usb-stick te sturen
- Het commando om een nieuwe meter toe te voegen aan de usb-stick is:

**0xFF 0x50 0x18 <adres> <16 byte AES-key> <checksum>** o Het adres bestaat uit de M en de A velden

- o Het M-veld is het manufacturer veld en geeft aan van welke fabrikant de sensor is,
- o De A-velden zijn de adresvelden en geven aan wat het adres van de sensor is en wel type sensor het is
- o De key die moet worden ingevoerd is een Hexadecimale waarde (in ASCII).

Voor de Weptech sensoren is dit standaard:

**“00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 0A 0B 0C 0D 0E 0F”**

Voor de warmtemeters van Kamstrup wordt de key aangeleverd door Kamstrup.

Als deze waardes zijn ingevoerd in het Amber programma kan dit commando worden verstuurd naar de usb stick.

De usb stick verstuurd hier een antwoord op waaruit is af te lezen of het toevoegen van een nieuwe meter is gelukt.

Elke Amber wireless M-Bus usb stick kan 64 adressen opslaan.

## Data communicatie telegram

Field	Description	Value
L-Field	Length of telegram: 30 Byte	1Eh
C-Field	Type of telegram: SND_NR	44h
M-Field	Manufacturer ID: WEP = WEPTECH elektronik GmbH	80h
M-Field	„WEP“ is identical with the part „Manufacturer ID“ of the serial number at the equipment indicator.	5Ch
A-Field	Serial number:	11h
A-Field	ID = e.g. 08154711	47h
A-Field	Identical with the part „Fabrication Number“ of the serial number at the equipment indicator.	15h
A-Field		08h
A-Field	Version: 1; Identical with the part „Fabrication Block“ of the serial number at the equipment indicator.	01h
A-Field	Type of device: Room sensor	18h
CI-Field	Control field: „Response from Device“	7Ah
AccNo	Access number: e.g. 65. Is increased by 1 at each transmission with updated data	41h
Status	Status field: Normally 0. If recognizing sabotage the bit is set for a temporary error. Should the sabotage not be resolved within 2 transmissions the „Permanent error“ bit is set. In case of „battery empty“ the „LowPower“ and the „Permanent error“ bit are set.	00h
Config.Word	Configuration field: NNNNCCHHb If encryption is deactivated then 00h, otherwise the number of encrypted blocks (e.g. 1 block = 10h).	00h
Config.Word	Configuration field: BAS0MMMMb If encryption is deactivated then 00h, otherwise encryption mode 5 (05h). If potential for synchronous release the S bit is set additionally.	00h
AES Ver.	AES verification	2Fh
AES Ver.	AES verification	2Fh
DR1	DIF: 0Ah = 4 Digit BCD coded	0Ah
DR1	VIF: 66h = temperature * 10 <sup>^(-1)</sup> °C	66h
DR1	Value: e.g. 23,7°C	37h
DR1		02h
DR2	DIF: 02h = 16bit Integer / Binary	02h
DR2	VIF: FDh = Second extension table	FDh
DR2	VIFE0: 97h = Error Flags	97h
DR2	VIFE1: 1Dh = Standard Conform	1Dh
DR2	Normally 0000h. If recognizing a sabotage the „Tamper“ bit is set. In case „battery empty“ the „Battery low“ bit is set.	00h
DR2		00h
Fill	Fill byte	2Fh
Fill	Fill byte	2Fh
Fill	Fill byte	2Fh
Fill	Fill byte	2Fh

De data telegrammen moeten worden verwerkt op de iNRG gateway om er zinvolle data van te maken. De temperatuurwaarden worden doorgestuurd naar een database op het centrales system via een web-service.

In de afbeelding links staat weergegeven hoe de temperatuursensor van Weptech zijn data verstuurd en kan als voorbeeld worden gebruikt voor andere sensoren.

De velden in de afbeelding worden van boven naar beneden gelezen en zo ook verstuurd.

In het blauwe gedeelte staat de header, met alle adres informatie en in het groene gedeelte staat de data.

### Opbouw telegram

Hier onder een korte uitleg van wat in de afbeelding staat beschreven

### Header informatie:

Deze header informatie wordt niet versleuteld verstuurd, zodat elk apparaat weet waar deze data heen moet worden gestuurd.

Elk telegram begint met “FF”

Daar na wordt in 1 byte aangegeven hoe lang het pakket is in bytes. Dit veld is het Lveld.

In het C-veld wordt aangegeven wat voor type bericht het is, bijvoorbeeld een antwoord op een eerder gestuurd bericht.

Hier na hebben we 2 M-velden, dit zijn de ‘Manufacturer’ velden, en geeft aan welke fabrikant het betreft.

De volgende 6 velden zijn A-velden en geven het adres aan. Hiervan zijn de eerste 4 velden voor een serienummer, en de laatste 2 velden zijn om aan te geven wat voor type sensor het betreft.

### Datavelden:

De data wordt wel versleuteld verstuurd. Deze data wordt dan versleuteld met behulp van AES-encryptie.

Het eerste veld in het data gedeelte is het Ci veld, dit geeft aan het programma weer wat voor soort bericht er is verstuurd. Vergelijkbaar met het C veld in het eerste gedeelte.

Het "AccNo" geeft aan in welke volgorde de berichten zijn verstuurd, en wordt opgehoogd met elk nieuw bericht.

Het status veld geeft aan of er bijzonderheden zijn met de sensor, bijvoorbeeld of de batterij leeg is of dat de sensor is geopend.

De "config.word" velden geven aan hoe de rest van de data is verstuurd, of deze is versleuteld of niet.

De "AES ver." velden verificatievelden voor de versleuteling van het bericht. Met deze velden is na te rekenen of de data die volgt ook de data is die verstuurd is door de sensor.

In de dr1 velden staat de data van de temperatuur die de sensor heeft gemeten.

In de dr2 velden staat de data van de luchtvochtigheid die de sensor heeft gemeten.

Vervolgens wordt het pakket aangevuld met "fill bytes" om de minimale pakketlengte te behalen.

#### Data communicatie Heat meter

De warmtemeter stuurt zijn data door op dezelfde manier als elke andere sensor, alleen is de data volgens het Kamstrup protocol versleuteld. Dit heeft er voor gezorgd dat er een aparte software logica is ontwikkeld om deze data uit te lezen.

Deze logica zorgt ervoor dat van de binnengekomen pakketten de goede meter wordt geselecteerd, en het pakket naar de goede decoder wordt gestuurd.

Deze decoder zorgt ervoor dat de goede meetwaardes worden uitgelezen, berekend en opgeslagen.

```
process mbus type: kamstrup frame: FF0357442D2C136144691C0D8D203750B09F00F63479917
770AE1213C56D0000623500009FC82B00549422005FBA460011F6000000000000000013271E26BE6D0
0002234000060FA3C0011F6000000000000A0050000DC09B109A2
got: heatmeter
process mbus type: weptech frame: FF032E44B05C47080000021B7ACC0000052F2F0A6656020A
FB1A420502FD971D00002F2F2F2F2F2F2F2F2F2F2F2F2F2F2F2F51
got: temp1
process mbus type: kamstrup frame: FF0357442D2C136144691C0D8D203850B09F00F63479917
770AE1213C56D0000623500009FC82B00549422005FBA460011F6000000000000000013271E26BE6D0
0002234000060FA3C0011F6000000000000A0050000DC09B109AD
got: heatmeter
process mbus type: weptech frame: FF032E44B05C90070000021B7ACF0000052F2F0A6620020A
FB1A380602FD971D00002F2F2F2F2F2F2F2F2F2F2F2F2F2F2F2F85
got: temp2
update over 12 minuten
```

in bovenstaande afbeelding staat een stuk communicatie zoals deze wordt ontvangen in de gateway. Hier staan een aantal frames afgebeeld van de temperatuursensoren en de Kamstrup meter.

Hier volgt een korte uitleg van het eerste frame, betreffende de warmtemeter:

1. **FF** dit is het begin van een wireless M-Bus frame.
2. **03** welk type frame dit is, in dit geval een frame met meetdata.
3. **57** dit is een hexadecimale weergave van de lengte van het frame
4. **44** geeft aan dat het een host apparaat is en dat het om een meter gaat
5. **2D2C** dit is het manufacturer veld en hier in staat gecodeerd aangegeven dat het om een Kamstrup meter gaat met de letters "KAM"
6. **13614469** dit is het meternummer van deze meter en kan worden vertaald naar

“69446113”

7. **1C0D** dit veld geeft aan wat voor type meter is, in dit geval een warmte/koude meter
8. **8D** dit geeft aan dat het om een “extended” frame is
9. **20** dit geeft aan dat het een gesynchroniseerd pakket is, ofwel dat er een volgorde in zit
10. **37** dit is het volgnummer
11. **50B09F00** session number veld, dit veld wordt niet gebruikt in deze software
12. **F634** dit is een CRC-veld, hier mee kan worden berekend of de hierna volgende data goed is overgekomen.
13. **79** dit geeft aan wat voor type Kamstrup frame is gestuurd, het gaat hier om een compact frame, dus alleen de meetwaardes zijn gestuurd.
14. **917770AE** dit zijn 4 bytes die horen bij een compact frame, en worden niet gebruikt in deze software.
15. **1213** meter type, wordt niet gebruikt in deze software
16. **C56D0000** dit is een hexadecimale weergave van meterstand E1 17. **62350000** dit is een hexadecimale weergave van meterstand E3 18. **9FC82B00** dit is een hexadecimale weergave van meterstand E8
19. **54942200** dit is een hexadecimale weergave van meterstand E9
20. **5FBA4600** dit is een hexadecimale weergave van volume1 (dit is de hoeveelheid water die is gemeten door de flow sensor)
21. **11F60000** dit is een hexadecimale weergave van meterstand InA en is pulsmeter A
22. **00000000** dit is een hexadecimale weergave van meterstand InB en is pulsmeter b
23. **0000** dit is de info code, als de meter een fout aangeeft, wordt deze hier verstuurd
24. **1327** dit is een datum veld die niet wordt gebruikt in deze software
25. **1E26** dit is een datum veld die niet wordt gebruikt in deze software
26. **BE6D0000** hexadecimale weergave van verbruik E1 afgelopen maand, deze wordt niet gebruikt in deze software
27. **22340000** hexadecimale weergave van verbruik E3 afgelopen maand, deze wordt niet gebruikt in deze software
28. **60FA3C00** hexadecimale weergave van verbruik Volume1 afgelopen maand, deze wordt niet gebruikt in deze software
29. **11F60000** hexadecimale weergave van verbruik InA afgelopen maand, deze wordt niet gebruikt in deze software
30. **00000000** hexadecimale weergave van verbruik InB afgelopen maand, deze wordt niet gebruikt in deze software
31. **A0050000** dit is de flow snelheid in l/h dat de flow sensor meet
32. **DC09** ingangstemperatuur in hexadecimale weergave
33. **B109** uitgangstemperatuur in hexadecimale weergave
34. **A2** checksum van het hele pakket

Al deze waarde worden opgeslagen in het geheugen van de gateway, en elk kwartier worden de nieuwste waardes genomen en worden deze doorgestuurd naar de centrale server.

### Versleuteling

Alle meterstanden die met Wireless M-bus draadloos worden verstuurd in elk huis worden versleuteld verstuurd om het afluisteren van deze gevoelige data tegen te gaan. Hierin wordt gebruik gemaakt van de versleuteling die standaard in de Wireless M-bus communicatie zit. Deze versleuteling is een versie van de AES-encryptie met een 16 bit sleutel.

Naast dat de data zelf versleuteld is, is het voor een hacker lastig om zonder documentatie deze data uit te lezen, aangezien het gebruikte protocol voor de Kamstrup meters geen standaard is.

De versleuteling van de Kamstrup meter staat standaard aan, en de versleuteling van de Weptech sensoren is ten behoeve van de veiligheid aan gezet. Deze data wordt weer gedecrypt in de Wireless M-bus usb-stick, waarna deze naar de overige softwarelogica wordt doorgestuurd.

### Doorsturen naar externe web-service

De data die wordt uitgelezen van de Wireless M-bus sensoren en meters zal over het algemeen iedere 15 minuten worden gesynchroniseerd met een externe server van Meppel Energie.

Het formaat om data uit te wisselen is JSON.

De structuur ziet er als volgt uit:

```
{
  "Id": 0,
  "MeterId": 0,
  "ReadingDateTime": "2015-09-23T13:19:49.471Z",
  "Register1Value": 0,
  "Register3Value": 0,
  "Volume1": 0,
  "Ina": 0,
  "Temperature1": 0,
  "Temperature2": 0,
  "TemperatureSensor1": 0,
  "TemperatureSensor2": 0,
  "HumiditySensor1": 0,      "HumiditySensor2": 0
}
```

Iedere 15 minuten zullen de nieuwste meetwaardes in JSON-formaat worden gestuurd naar een externe server.

Naar test systeem via de url:

<http://213.34.75.217:83/api/MeterReading>

Via VPN-verbinding naar productie systeem: <http://192.168.201.1:86/api/MeterReading>

Via internet naar productie systeem: <http://api-prod.meppelenergie.nl:86/api/MeterReading>

### Bijzonderheden Wireless M-bus

Tijdens de ontwikkeling is rekening gehouden met het feit dat Wireless M-Bus een draadloze verbinding is en hiervoor worden extra controles uitgevoerd op de data die binnen komt. Zo kan het systeem detecteren of batterijen van aangesloten sensoren leeg zijn, of dat een van de sensoren open is gemaakt, al deze gegevens worden doorgestuurd naar de centrale server van Meppel Energie.

Ook zijn er systemen ingebouwd die bijhouden of alle processen nog draaiende zijn en of de data nog binnen komt zoals deze hoort binnen te komen.

Zo is het gebleken dat een Wireless M-Bus usb stick na een herstart van het systeem een reset nodig heeft om weer data door te sturen. Hiervoor is een detectie ingebouwd, en kan de usb-stick automatisch worden gereset.

Tevens kan het systeem in bijzondere foutsituaties automatisch verbinding maken met de centrale server via een VPN verbinding, hiervoor wordt gebruik gemaakt van de 'VPN on demand'-functie. Zo is het mogelijk voor ontwikkelaars om op afstand een diagnose te stellen waardoor er niet op locatie gewerkt hoeft te worden.

## Data communicatie Slimme Meter

De 'Slimme Meter' is een relatief nieuwe meter die uitgerold wordt door de netbeheerders ter vervanging van de oude meters met draaischijf.

De Slimme Meter maakt het mogelijk voor de netbeheerder om op afstand meterstanden uit te lezen, maar ook om bepaalde kwaliteitsparameters en fouten uit te lezen die te maken hebben met de levering van elektriciteit.

Naast de extra mogelijkheden die de Slimme meter biedt aan de netbeheerders, is er een mogelijkheid voor de bewoners om apparatuur aan te sluiten op de Slimme Meter om ook nauwkeurige meetgegevens te verkrijgen. De Slimme Meter beschikt namelijk over een zogenaamde P1-poort waar doormiddel van een RJ11 connector een koppeling met externe apparatuur kan worden gemaakt. Deze extern aan te sluiten apparatuur kan via het Slimme Meter protocol toegang krijgen tot de meetgegevens.

### Slimme Meter protocol standaarden

De Slimme Meter standaard is opgesteld door Netbeheer Nederland, en is gebaseerd op de standaard NEN-EN-IEC 62056-21 Mode D.

Aangezien de standaard in ontwikkeling is heeft dat tot gevolg dat er varianten van Slimme Meter standaard zijn die op bepaalde punten afwijken van de oorspronkelijke standaard. Er zijn dus ook de afgelopen jaren meters met verschillende standaarden uitgerold, met als gevolg dat fabrikanten van externe apparatuur ook al deze varianten moeten ondersteunen door noodzakelijke aanpassingen te maken.

De nu gangbare standaarden zijn:

- P1 Slimme Meter Standaard versie 2.2
- P1 Slimme Meter Standaard versie 3.0
- P1 Slimme Meter Standaard versie 4.0 Toekomstige standaard:
- P1 Slimme Meter Standaard versie 5.0

De belangrijkste verschillen tussen de standaarden zijn:

Standaard	Hardware	Protocol
DSMR Versie 2.2	Voorloper 3.0 standaard	
DSMR Versie 3.0	Communicatie snelheid 9600 baud	Definitie beschikbare data objecten
DSMR Versie 4.0	Communicatie op 115200 baud. Aanpassing signaal niveaus op meters bepaalde fabrikanten (bijv. Kaifa)	Uitbreiding data objecten. Wijziging in bestaande data objecten. Toevoeging CRC.
DSMR Versie 5.0	Aanpassing in fysieke aansluiting. Gebruik van RJ12 connector	Uitbreiding data objecten.

### P1 Kabel

Voor de ondersteuning van Slimmer Meters versie 2 t/m 5 maken we gebruik van een speciale P1 kabel, die de signaal niveaus van de Slimme Meter kan omzetten naar het juiste signaal niveau voor seriële communicatie via een USB-poort op de gateway.

### Ondersteuning DSMR v3 standaard

Zodra een kabel is aangesloten (en er 5V staat op de request pin van RJ11 connector), zal de Slimme Meter iedere 10 seconden een data bericht sturen.

De Slimme Meter met standaard 2 of 3 zal op 9600 Baud (8 databits, No parity, 1 stopbit) communiceren met de gateway.

De opbouw van het bericht is als volgt:

/	X	X	X	5	Identificatie bytes	CR	LF	CR	LF	Data bytes	!	CR	LF
---	---	---	---	---	---------------------	----	----	----	----	------------	---	----	----

De data bytes representeren zogenaamde COSEM objecten. COSEM (Companion Specification for Energy Metering) is een gestandaardiseerde representatie van meetdata. De COSEM objecten worden weer geïdentificeerd door een index nummer genaamd OBIS (OBject Identification System).

Elke OBIS index is een verwijzing naar het COSEM object dat beschrijft wat voor een soort data door de meetwaarde wordt gerepresenteerd.

Voorbeeld COSEM data codering:

Betekenis	OBIS index	Formaat	Eenheid
Equipment identifier	0-0:96.1.1.255	Sn (n=0..96)	-
Meter Reading electricity delivered to client normal tariff) in 0,001 kWh	1-0:1.8.1.255	F8(0,3) = decimaal met 3 cijfers achter de komma	kWh
Meter Reading electricity delivered to client (low tariff) in 0,001 kWh	1-0:1.8.2.255	F8(0,3) = decimaal met 3 cijfers achter de komma	kWh
Meter Reading electricity delivered by client (normal tariff) in 0,001 kWh	1-0:2.8.1.255	F8(0,3) = decimaal met 3 cijfers achter de komma	kWh
Meter Reading electricity delivered by client (low tariff) in 0,001 kWh	1-0:2.8.2.255	F8(0,3) = decimaal met 3 cijfers achter de komma	kWh

Een compleet data telegram dat iedere 10 seconden door de slimme meter wordt gestuurd, ziet er als volgt uit:

```

/ISk5\2MT382-1000
0-0:96.1.1(4B384547303034303436333935353037)
1-0:1.8.1(12345.678*kWh)
1-0:1.8.2(12345.678*kWh)
1-0:2.8.1(12345.678*kWh)
1-0:2.8.2(12345.678*kWh)
0-0:96.14.0(0002)
1-0:1.7.0(001.19*kW)
1-0:2.7.0(000.00*kW)
0-0:17.0.0(016*A)
0-0:96.3.10(1)
0-0:96.13.1(303132333435363738)

```

```

0-0:96.13.0(303132333435363738393A3B3C3D3E3F303132333435363738393A3B3C3D3E3F
303132333435363738393A3B3C3D3E3F303132333435363738393A3B3C3D3E3F)
303132333435363738393A3B3C3D3E3F)
0-1:96.1.0(3232323241424344313233343536373839)
0-1:24.1.0(03)
0-1:24.3.0(090212160000)(00)(60)(1)(0-1:24.2.1)(m3)
(00000.000)
0-1:24.4.0(1) !

```

De belangrijkste objecten zijn vetgedrukt en zijn:

- Normaal tarief consumptie
- Hoog tarief consumptie
- Normaal tarief productie
- Hoog tarief productie
- Realtime vermogen consumptie
- Realtime vermogen productie
- Stand gasmeter

### Ondersteuning DSMR v4 standaard

De Slimme Meter met standaard 4 of hoger zal op 115200 Baud (8 databits, No parity, 1 stopbit) communiceren met de gateway.

De opbouw van het bericht is als volgt:

/	X	X	X	5	Identificatie bytes	CR	LF	CR	LF	Data bytes	!	<b>CRC</b>	CR	LF
---	---	---	---	---	---------------------	----	----	----	----	------------	---	------------	----	----

Vanwege de hogere datatransmissiesnelheid is er ook een CRC berekening (cyclic redundancy check) toegevoegd aan het protocol. Dit is een error detectie code die wordt meegestuurd met het bericht welke door de ontvanger vergeleken kan worden met berekening van de code door de ontvanger op basis van de ontvangen bytes.

De versie 4 standaard maakt ook gebruik van de COSEM object definities, echter voor bepaalde meetwaarden is voor een andere object gekozen. Zo is bij de versie 4 standaard de meterstand voor gas anders gecodeerd.

Een compleet data telegram volgens de versie 4 standaard is als volgt:

```

/ISk5\2MT382-1000
1-3:0.2.8(40)
0-0:1.0.0(101209113020W)
0-0:96.1.1(4B384547303034303436333935353037)
1-0:1.8.1(123456.789*kWh)
1-0:1.8.2(123456.789*kWh)
1-0:2.8.1(123456.789*kWh)
1-0:2.8.2(123456.789*kWh)
0-0:96.14.0(0002)
1-0:1.7.0(01.193*kW)
1-0:2.7.0(00.000*kW)
0-0:17.0.0(016.1*kW)
0-0:96.3.10(1)
0-0:96.7.21(00004)
0-0:96.7.9(00002)
1-0:99:97.0(2)(0:96.7.19)(101208152415W)(0000000240*s)(101208151004W)(00000000301*s)
1-0:32.32.0(00002)
1-0:52.32.0(00001)
1-0:72:32.0(00000)
1-0:32.36.0(00000)
1-0:52.36.0(00003)
1-0:72.36.0(00000)
0-0:96.13.1(3031203631203831)
0-
0:96.13.0(303132333435363738393A3B3C3D3E3F303132333435363738393A3B3C3D3E3F30313233343536373839 3A3B

```

3C3D3E3F303132333435363738393A3B3C3D3E3F303132333435363738393A3B3C3D3E3F)  
0-1:24.1.0(03)  
0-1:96.1.0(3232323241424344313233343536373839)  
**0-1:24.2.1(101209110000W)(12785.123\*m3)**  
0-1:24.4.0(1)  
**!522B**

Hierin zien we dat de gas meterstand waarde middels een andere OBIS referentie wordt aangeduid, vergeleken met de versie 3 standaard.

### **Implementatie slimme meter detectie**

De software op de gateway is zodanig ontwikkeld dat met de verschillende standaarden rekening wordt gehouden.

Functioneel werkt dit als volgt:

1. Maak verbinding voor versie 3 standaard
  - a. Snelheid 9600 baud
  - b. Verwerk ontvangen data
2. Als verbinding en data OK, dan alle volgende data verwerken volgens versie 3 standaard
3. Anders maak verbinding voor versie 4 standaard
  - a. Snelheid 115200 baud
  - b. Verwerk ontvangen data
4. Als verbinding en data OK, dan alle volgende data verwerken volgens versie 4 standaard

### **Data meetfrequentie**

Met de projectpartners is afgesproken om alleen de meterstanden van elektriciteit op te slaan met een frequentie van 15 minuten.

Iedere 15 minuten slaat de gateway de volgende meetgegevens op:

1. Tijd
2. Stand Consumptie Tarief 1
3. Stand Consumptie Tarief 2
4. Stand Productie Tarief 1
5. Stand Productie Tarief 2

### **Data buffering gateway**

De meetdata zal door de gateway worden opgeslagen in kleine lokale database waarin de data maximaal 100 dagen bewaard blijft. Mocht de communicatie met de centrale server onverhoopt zijn verbroken dan zal de data niet verloren gaan. Iedere 15 minuten zal de gateway proberen de nog niet gesynchroniseerde data proberen te sturen naar de externe server.

### **Versturen Slimme meter data**

De data van die wordt uitgelezen van de Slimme Meter zal over het algemeen iedere 15 minuten worden gesynchroniseerd met een externe server van MeppelEnergie.

Het formaat om data uit te wisselen is JSON.

De structuur ziet er als volgt uit:

```
{  
  "MeterNumber": "101",  
  "ReadingDateTime": "2015-10-28T12:56:46.646Z",
```

```
"Registers": [  
  {  
    "Name": "const1",  
    "Value": 100  
  },  
  {  
    "Name": "const2",  
    "Value": 200  
  },  
  {  
    "Name": "prodT1",  
    "Value": 300  
  },  
  {  
    "Name": "prodT2",  
    "Value": 400  
  }  
]
```

Iedere 15 minuten zal de meterstand van de slimme meter in JSON-formaat worden gestuurd naar een externe server.

Naar test systeem via de url:

<http://213.34.75.217:83/api/SmartMeterReading>

Via VPN-verbinding naar productie systeem:

<http://192.168.201.1:86/api/SmartMeterReading>

Via internet naar productie systeem: <http://api-prod.meppelenergie.nl:86/api/SmartMeterReading>

### **Communicatie server**

Er zijn 2 manieren om met het productie systeem te communiceren, namelijk via een beveiligde verbinding via een VPN netwerk, of open via het internet.

In beide gevallen zijn er op de server nog de nodige verificaties op de aangeboden data zodat het niet mogelijk is om zomaar wille keurige data aan te bieden.

### Internet, VPN en MiFi

De gateways staan in verbinding met internet via een mobiele data verbinding, het zogenaamde MiFi kastje. Aan mobiele communicatie zitten hogere kosten verbonden dan aan een vaste verbinding in het huishouden. Om niet het huishouden te verplichten om het gebruik van internet open te stellen voor de geplaatste apparatuur, is gekozen voor deze mobiele data oplossing. Echter hoe minder data er over deze verbinding wordt gestuurd, des te goedkoper het gebruik.

Een VPN verbinding over internet is veilig, maar vanwege de encryptie kost het meer data om dezelfde gegevens over de lijn te sturen zonder VPN. Deze extra data vertaald zich in hogere mobiele data kosten.

Gedurende de test zijn er daarom systemen met en zonder VPN verbinding voor het versturen van data geïnstalleerd om te kijken hoe zich dit verhoudt tot elkaar. Later kan dan besloten worden om alle systemen standaard van een VPN verbinding voor data te voorzien.

## Gateway beheer op afstand

Aangezien de gateways en apparatuur bij huishoudens worden geïnstalleerd is het wenselijk om in geval van problemen met de apparatuur, op afstand een diagnose te kunnen stellen. Hiervoor hebben we alle gateways uitgerust met een mogelijkheid om een VPN-verbinding naar Meppel Energie op te zetten via VPNC (een vpn oplossing van Cisco welke in gebruik is bij Meppel Energie).

Aangezien de gateways via een mobiele data oplossing verbonden zijn met internet zal de VPN verbinding extra data verkeer met zich meebrengen als deze continue aan staat.

### **Gateway On-demand VPN**

Ten behoeve van het minimaliseren van het data verkeer hebben we software ontwikkeld waarmee het mogelijk is om 'on-demand' de VPN verbinding te starten (en te stoppen).

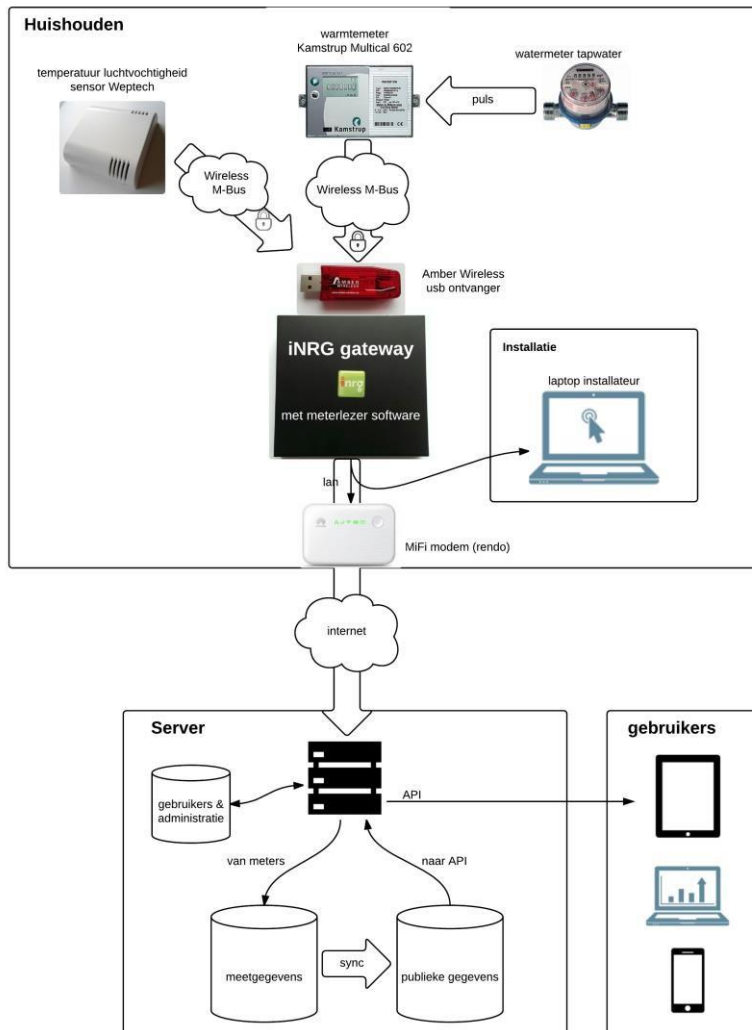
Dit werkt met een soort brievenbus systeem.

We kunnen voor elke gateway een bericht klaar zetten op de server.

Tijdens het sturen van reguliere data wordt er sowieso een internet verbinding opgezet. Tegelijkertijd kan de gateway berichten die klaar zijn gezet lezen en besluiten of de VPNverbinding voor beheerdoeleinden moet worden aangezet of uitgezet.

### 5.2.3 WP 3: data ontsluiting van het platform

Rendo heeft in nauwe samenwerking met iNRG de backoffice (servers, zie hieronder het schema) ingericht waar de energiedata wordt opgeslagen. Alle energiedata welke wordt verzameld door de iNRG gateway wordt verzameld en in een buffer op de gateway bij de mensen thuis gezet. Vervolgens maakt de gateway verbinding middels de mobiel WIFI module verbinding met de server. De data op de server wordt (real time) opgeslagen in een database. In samenwerking met Rendo en TU Twente is afgestemd hoe de TU toegang tot deze gegevens kan krijgen zodat ze. Hierdoor heeft de TU de beschikking over alle energiedata die nodig is om de benodigde analyses uit te kunnen voeren.



### 5.2.4 WP4: bewonersparticipatie, kennisverankering en monitoring

iNRG heeft een ondersteunende rol gespeeld in werkpakket 4. In dit werkpakket hebben we in samenwerking met de TU Delft, Rendo en de gemeente Meppel meegedacht. In verschillende fasen van het project zijn workshops tussen de projectleden en met de bewoners gehouden. De rol van iNRG is mede te bepalen welke impact nieuwe eisen/wensen van de gebruikers heeft op het energie systeem. Daarnaast hebben we meegedacht hoe gebruikers al dan niet hun gedrag (laten) geïnvoeden zodat ze energie besparen.

## 5.2.5 Conclusie

Wat hebben we gedaan:

- Hardware selectie
- Onderzoek data infrastructuur en in lab omgeving getest
- Onderzoek geschikte Linux systemen
- Linux image bouwen en testen
- Java platform samenstellen en testen
- Slimme meter onderzoek
- Slimme meter data automatisch verwerken
- Betrouwbare verbinding met verschillende protocolversies ontwikkelen
- Test tooling
- Onderzoek naar M-bus en Wireless m-bus
- Test tools
- Onderzoek encryptie en beveiliging M-bus devices
- Installatie energie systeem bij huishoudens
- Ondersteuning inrichten servers (backoffice)
- Software ontwikkeling
  - Communicatie slimme meter
  - Communicatie mbus
  - Data verwerking slimme meter
  - Data verwerking mbus
  - On-demand VPN systeem
  - Test omgeving webservices
  - JSON parsing
  - Time synchronization
  - Data buffering mechanism
  - Diverse protocollen
- Tools voor automatische commissioning van M-bus apparatuur, encrypty/decryptie software.

Veel tijd is gaan zitten in de ontwikkeling van de M-bus drivers en het testen. Verder kwamen we nog de nodige problemen tegen met het verwerken van de M-Bus data doordat de Kamstrup warmte meters anders waren geconfigureerd dan het test exemplaar. Hierdoor hadden we problemen met de data verwerking van de systemen die al in het veld stonden. Nader onderzoek leerde dat de meters door de fabrikant anders waren geconfigureerd waardoor onze software hier niet goed mee overweg kon. Vervolgens is de software uitgebreid en aangepast zodat ook meters die anders dan het test exemplaar zijn geconfigureerd op de juiste manier ontsloten kunnen worden.

## 5.3 Werkpakket 3: ontwikkeling intelligente aansturing

### 5.3.1. Samenvatting

Een belangrijk onderdeel binnen het TKI-project smart grid Meppelenergie is werkpakket 3, de ontwikkeling van een intelligente aansturing van het energiesysteem dat bestaat uit een biogas WKK, warmtepompen en WKO-installatie. De probleemstelling voor dit onderzoek is: Hoe kan een geïntegreerd intelligent energiesysteem dat gedeeltelijk gebruik maakt van hernieuwbare bronnen worden gebouwd dat gebruikers in de nieuwbouwwijk Nieuwveense Landen kan voorzien van een duurzame, betaalbare, comfortabele en toekomst vaste warmte- en koude voorziening? Voor het beantwoorden hiervan is het optimale ontwerp voor het hybride systeem onderzocht, zijn vergelijkingen getroffen met andere mogelijke concepten op CO<sub>2</sub>-uitstoot en zijn besturingsalgoritmen ontwikkeld.

De resultaten zijn omschreven in een proefschrift dat is gebaseerd op 11 publicaties waarin de volgende methoden, modellen, algoritmen, software implementaties en systeem analyses zijn onderzocht en omschreven:

1. De mogelijkheid tot thermische energieopslag via de vloerverwarming van de woningen om zodoende flexibiliteit voor de warmtepomp besturing te creëren. Hiervan is tevens bepaald wat de effecten zijn m.b.t. het energieverlies en de kosten van deze vorm van energieopslag.
2. Voor de migratie van het tijdelijke energiesysteem waarin de warmte wordt gegenereerd met aardgas ketels naar een duurzaam energiesysteem met een biogas WKK en warmtepompen, is een strategie ontwikkeld waarin de best mogelijke capaciteiten van de WKK zijn bepaald a.d.h.v. een optimalisatie waarin de warmtebehoefte van de woonwijk is gemodelleerd.
3. Om de transitie van bestaande woonwijken van een fossiele naar een duurzame energievoorziening (warmte en elektriciteit) te kunnen analyseren, is een generiek model ontwikkeld waarmee per uur de energiestromen inzichtelijk worden gemaakt en optimale capaciteiten van de duurzame opwekking en opslag mogelijkheden kunnen worden bepaald.
4. Voor de slimme besturing van de warmtepompen is een voorspellend model nodig van de woning warmtebehoefte. Voor dit doel is een vereenvoudigde modellering ontwikkeld en geïntegreerd met meer gedetailleerde modellen van woningen in TRNSYS.
5. Een ander onderdeel van de slimme warmtepomp besturing is een model voor thermische opslagvaten welke in de woningen met een warmtepomp zijn geplaatst. Hiervoor is een model ontwikkeld waarmee de laadtoestand en het energieverbruik van de warmtepomp voor het laden van elk vat voorspeld kan worden.
6. Naast thermische opslag kan elektrische energie worden opgeslagen in batterijen welke nabij de biogas WKK geplaatst kunnen worden. Om de laadtoestand en het energieverbruik tijdens laden te kunnen voorspellen is ook hiervoor een model ontwikkeld.
7. Om een grote hoeveelheid warmtepompen in een woonwijk slim te kunnen aansturen voor verschillende functies (ruimteverwarming en warm water), zodanig dat er geen grote elektrische piekbelastingen ontstaan, is een "model predictive control" methodiek ontwikkeld genaamd "time scale MILP" die schaalbaar is naar een grote hoeveelheid warmtepompen. De methodiek is tevens in algoritmen uitgewerkt en via simulaties geïntegreerd.
8. Het probleem van privacy gevoelige informatie is opgelost door de woningen zelf hun temperatuur toestanden en warmtebehoefte te laten voorspellen en alleen informatie over deadlines voor de warmtepomp door te geven aan de centrale besturing. De centrale besturing prioriteert de aansturing van de warmtepompen vervolgens op basis van het Earliest Deadline First (EDF) principe. Hiermee blijkt het tevens mogelijk de hoeveelheid aan/uit sturingen van de WKK en de warmtepompen sterk te verminderen

t.o.v. de time scale MILP besturing, wat de levensduur en efficiency van de WKK en warmtepompen ten goede komt. Daarnaast is het EDF-algoritme relatief eenvoudig en vergt het dusdanig korte rekentijden dat het algoritme op standaard verkrijgbare, low-cost mini-computers kan werken. Hiermee is de belangrijkste doelstelling van werkpakket 3 van het project Meppel energie gerealiseerd.

9. Als laatste demonstreren we de mogelijkheden van slimme sturing voor een casus met 16 woningen met als doel deze woningen los te koppelen van het elektriciteitsnet. Voor de energieopwekking worden zonPV-panelen en een centrale WKK ingezet, alsmede thermische opslag, elektrische opslag en sturing van de wasmachine en vaatwasser per woning. De woningen zijn via een kleinschalig warmtenet aangesloten op de WKK.

### 5.3.2 Inleiding

In de loop van de komende twintig jaar zal de Gemeente Meppel een unieke woonwijk met 3.400 woningen ontwikkelen, genaamd Nieuwveense Landen. Een belangrijk uitgangspunt bij de ontwikkeling van deze wijk is dat de toekomstige bewoners optimaal wooncomfort dienen te krijgen tegen lage kosten en minimale belasting voor het milieu, zie [1].

Om dit te bereiken hebben de gemeente Meppel en RENDO een energie-exploitatiemaatschappij opgericht, genaamd MeppelEnergie. Op basis van een aantal studies is bepaald dat een systeem met hybride warmtevoorziening op basis van biogas het beste aansluit op bovengenoemde ambitie. Hierbij wordt een biogas-WKK gebruikt om stroom en warmte te produceren. De warmte wordt gebruikt om een deel van de woningen via een warmtenet van verwarming en warm tapwater te voorzien. De elektriciteit wordt gebruikt om met behulp van warmtepompen warmte en koude te leveren aan een ander deel van de huizen. Met restwarmte uit gezuiverd rioolwater wordt de warmtebalans in de bodem gehandhaafd.

In de eerste fase van 444 woningen wordt een Smart Grid ontwikkeld en gedemonstreerd om deze warmtevoorziening zo efficiënt mogelijk te verzorgen. Daarnaast zal door middel van bewonersmonitoring, participatie en gaming geïnventariseerd worden op welke manier bewoners zijn aan te sporen tot besparen.

In het project werken een aantal partners samen aan de realisatie en leereffecten rondom dit innovatieve Smart Grid. Deze partners zijn MeppelEnergie, RENDO Duurzaam, de Gemeente Meppel, iNRG de TU Delft en de Universiteit Twente. Laatst genoemde is verantwoordelijk voor de uitvoering van werkpakket 3.

Een belangrijk onderdeel van het demonstratieproject is het optimaal aansturen van de verschillende apparaten (centrale WKK en decentrale warmtepompen). De Universiteit Twente doet al jaren onderzoek naar het optimaal aansturen van een diverse groep apparaten. Bij deze aansturing wordt gekeken naar meerdere energievormen, dus niet alleen elektriciteit. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een besturingsmethode, genaamd Triana. Hiermee is het mogelijk om verbruiken te voorspellen, plannen en aansturen.

De modellering- en optimaliseringstechnieken, zoals onderzocht aan de Universiteit Twente, kunnen worden ondergebracht in een energiemanagementsysteem. Meer onderzoek is nodig om de ontwikkelde modellen te verifiëren en verbeteren, zodat een betrouwbaar energiemanagementsysteem, zoals bruikbaar binnen MeppelEnergie, ontwikkeld kan worden.

Met behulp van het energiemanagementsysteem is het mogelijk om de energievraag van de woningen in de wijk te verlagen. Onderzoek van de afgelopen jaren heeft aangetoond dat een managementsysteem voor gebouwen een besparingspotentieel heeft tussen de 0% en 30%, waarbij een gemiddelde besparing tussen de 5% en 15% verwacht wordt.

Het onderzoek is uitgevoerd door Richard van Leeuwen (Promovendus aan de Universiteit Twente en werkzaam als docent/onderzoeker bij Saxion) en Jirka Fink (Post-Doc), begeleid door prof. dr. ir. G.J.M. Smit en prof. dr. J.L. Hurink. Daarnaast verrichten binnen het team meerdere Promovendi en Post-Docs onderzoek naar intelligente sturing van Netten. Het team bestaat uit onderzoekers uit verschillende disciplines (elektrotechniek, toegepaste wiskunde en technische informatica), die nauw samenwerken met de gedragswetenschappelijk en bedrijfskundige faculteiten.

In algemene termen is de opdracht binnen werkpakket 3:

- Het ontwikkelen van een systeem waarmee het hybride warmtenet tegen de laagste kosten en milieubelasting kan worden aangestuurd.
- Het veralgemeniseren van deze kennis voor toepassing in andere energieprojecten

### 5.3.3 Probleemstelling

De probleemstelling van het TKI-project MeppelEnergie is als volgt:

*Hoe kan een geïntegreerd intelligent energiesysteem dat gedeeltelijk gebruik maakt van hernieuwbare bronnen worden gebouwd dat gebruikers in de nieuwbouwwijk Nieuwveense Landen kan voorzien van een duurzame, betaalbare, comfortabele en toekomst vaste warmte- en koude voorziening?*

Ondanks de gedegen onderzoeken die ten grondslag liggen aan de realisatiestrategie voor het Smart Grid Nieuwveense Landen, zijn er nog een aantal technische, economische en maatschappelijke uitdagingen:

- De verschillende technologieën om via een multi-utility Smart Grid warmte te leveren aan bewoners zijn op dit moment voorhanden, maar er zijn geen werkende praktijkvoorbeelden
- Er is geen open platform voor multi-utility Smart Grids
- De optimale configuratie en aansturing van het hybride warmtenet is niet bekend, hoogstens in modelvorm
- Het is onduidelijk in hoeverre een dergelijk concept invloed heeft op comfort en bewonersparticipatie (valt buiten de scope van werkpakket 3)
- De optimale manier om bewoners te activeren is onbekend (valt buiten de scope van werkpakket 3)

De opgedane kennis in het project zal hierbij gebruikt worden bij de nadere ontwikkeling van het vervolgplan (2956 woningen), maar is zeker toepasbaar in alle nieuwbouwwontwikkelingen in Nederland en daarbuiten. Deze opschaalbaarheid is dan ook de reden dat de partijen bereid zijn hierin te investeren.

#### Onderzoeksvragen werkpakket 3:

- Wat is het optimale ontwerp voor een hybride warmtevoorziening?
- Leidt het door het consortium ontwikkelde systeem ook daadwerkelijk tot verlaagde kosten en lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot?
- Hoe kunnen de WKK, WKO en het gebruik van buffers in het systeem optimaal worden aangestuurd?

### 5.3.4 Doelstelling

De centrale doelstelling van het project is om leereffecten van het gebruik van een Smart Grid op te doen op basis waarvan in de toekomst energieleverende woonwijken kunnen worden gerealiseerd waarbij de bewoners centraal staan.

Ook sluit het project aan op de algemene doelstellingen van het innovatiecontract:

- Het hybride warmtesysteem voorkomt grootschalige investeringen in netverzwaring die nodig zijn als grootschalig warmtepompen worden aangesloten op het openbare net. Door het gebruik van een installatiekabel drukken deze kosten niet op de netbeheerder.
- De technologie van iNRG zal door dit project in kosten kunnen dalen en het bedrijf verwacht een omzetgroei als gevolg van de verdere ontwikkeling en demonstratie van hun product
- RENDO Duurzaam doet ervaring op met systeemintegratie van lokale energiesystemen en verwacht in deze markt een omzetgroei
- Door feedback naar eindgebruikers in energy games is het de verwachting dat het energieverbruik met ongeveer 10-15% zal dalen.
- Het project versterkt de voorsprongpositie van Nederland rondom Smart Grid demonstraties en biedt de UT en TU Delft de mogelijkheid om hun onderzoeksprogramma verder vorm te geven.

Voor de motivatie/doelstellingen geformuleerd vanuit de projectpartners wordt verwezen naar het projectplan TKI Smart Grid MeppelEnergie, zie paragraaf 6.2 [1].

### 5.3.5 Werkwijze

Als beoogd resultaat voor werkpakket 3 is in paragraaf 4.3 van het projectplan TKI Meppelenergie omschreven:

- Meer inzicht in de aansturingmogelijkheden van het hybride warmtesysteem.
- Inzicht in de mogelijkheden voor vervolgpacten door meer begrip van de mogelijkheden qua techniek, wet/regelgeving en economische optimalisatie.

De volgende aanpak is voor werkpakket 3 ontwikkeld:

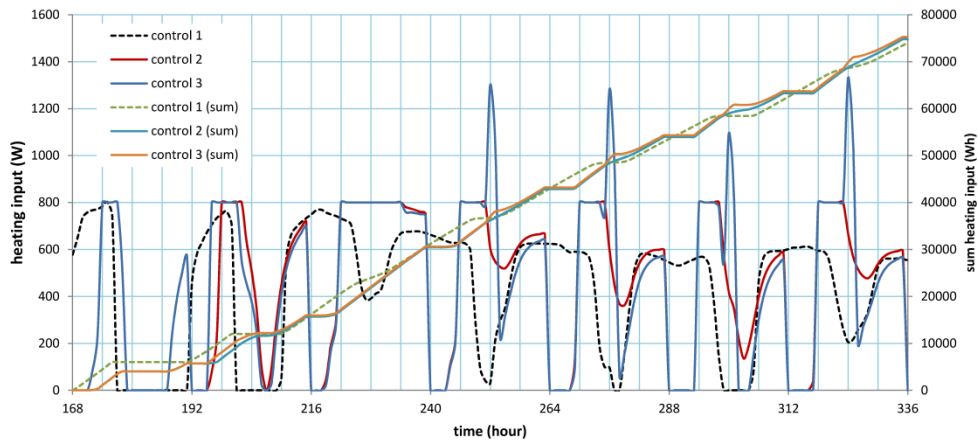
Fase	Activiteiten
1. Inventariserend onderzoek energieconcept	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bestuderen specificaties en concept schema's energiesysteem</li> <li>- Bestuderen van de eisen t.a.v. energieverbruik bewoners</li> <li>- Bestuderen specificaties energievoorziening</li> </ul>
2. Statische analyse energiesysteem	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Statische modelvorming a.d.h.v. representatieve klimaatdagen. Doel: voorspellen jaarverbruik</li> <li>- Statische analyse referentiesituatie (b.v. woningen voorzien van gasketels)</li> </ul>
3. Grove dynamische modellering	<ul style="list-style-type: none"> <li>- modellering warmteverbruik woning als functie van gebouwkwaliteit, woningoriëntatie, weerdata en dagritme</li> <li>- Modelering elektrisch energieverbruik bewoners via apparaten als functie van dagritme</li> <li>- modellering weergegevens (temperatuur, wind, zoninstraling)</li> <li>- modellering warmte- en elektriciteitsvoorziening, o.a. eigenschappen WKO systeem, warmtepompen, biogas WKK etc.</li> <li>- geheel integreren tot werkend simulatiemodel zodat output resultaat (grafieken) gegenereerd kan worden.</li> </ul>
4. Optimalisatie systeemconfiguratie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- via simulatie bepalen van de invloed van variaties in buffergroottes, modulatie van warmtepompen, vaststellen optimale configuratie (dimensies systeemcomponenten)</li> <li>- onderzoek naar de betrouwbaarheid via "what if" scenario's</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- verwerken van optimalisatie routines zoals ILP (Integer Linear Programming)</li> <li>- via simulatie bepalen van systeem- en regelgedrag</li> </ul>
5. Verfijning en validatie dynamisch model	<ul style="list-style-type: none"> <li>- verbeteren van de dynamische modellering met o.a. rendementen, warmteverliezen in meer detail, hogere nauwkeurigheden</li> <li>- validatie van het dynamisch model m.b.v. TRNSYS</li> <li>- verfijnen resultaten fase 4</li> </ul>
6. Aanvullend onderzoek	<ul style="list-style-type: none"> <li>- via simulaties bepalen wat de invloed van schaalgrootte is</li> <li>- bepalen invloed van diverse systeemkeuzes zoals modulerende warmtepomp vs. aan/uit regeling</li> <li>- analyse extreme situaties, b.v. afwijkend klimaatjaar, netwerk storingen, afwijkend bewonersgedrag</li> </ul>
7. Onderzoek Smart Grid aansturing Meppelenergie	<ul style="list-style-type: none"> <li>- toepassing van Triana (planning, forecasting en real time control) op de ontwikkelde dynamische modelomgeving</li> <li>- simulatie van resultaten met en zonder Smart Grid aansturing</li> <li>- simulatie van what-if scenario's met en zonder Smart Grid aansturing</li> <li>- vaststellen van de gevolgen van Smart Grid aansturing op de optimale systeemconfiguratie</li> </ul>
8. Ontwikkeling besturingsalgoritmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- beschrijving regelsystemen (inputs/outputs, control parameters)</li> <li>- beschrijving signalen en sensoren</li> <li>- beschrijving systeem architectuur</li> <li>- ontwikkeling besturingsalgoritmen Smart Grid aansturing</li> </ul>

### 5.3.6 Resultaten

De resultaten omvatten publicaties waarin methoden, modellen, algoritmen en software implementaties zijn omschreven. Deze resultaten worden onderstaand besproken en samengevat.

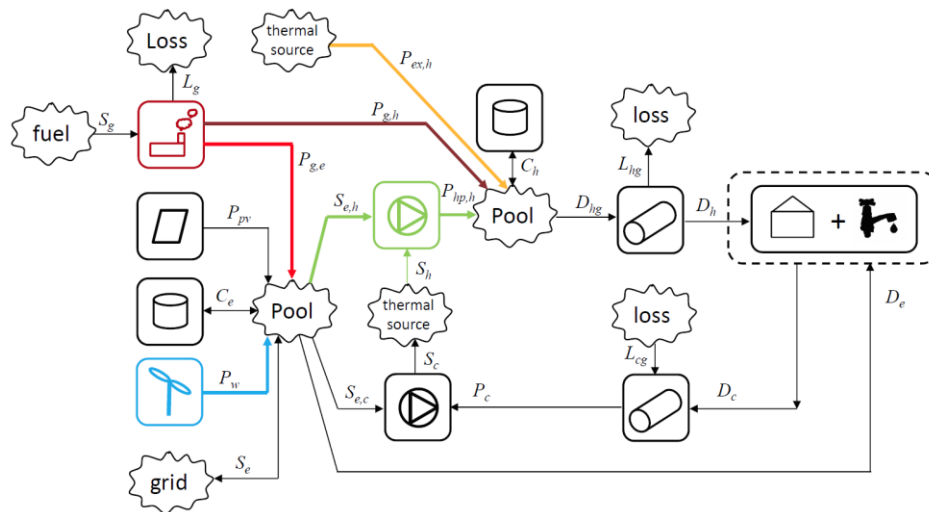
1. De woningen in Meppel zijn gebouwd met een vloerverwarmingssysteem. In de vloer kan warmte worden opgeslagen en deze opslag kan gebruikt worden als flexibiliteit binnen de slimme aansturing van de warmtepomp. In [5], worden de effecten van deze vorm van energieopslag onderzocht. De mogelijkheid tot warmteopslag in de vloer wordt begrensd door de comfort temperatuurgrenzen binnen de woning. Simulaties laten ook zien dat de buitentemperatuur en vooral de hoeveel zoninstraling op een dag grote invloed uitoefenen op de hoeveelheid warmte die nog in de vloer kan worden opgeslagen. De simulaties laten ook zien dat de hoeveelheid warmte die kan worden opgeslagen substantieel is, zonder dat comfortgrenzen worden overschreden. Het extra warmteverlies naar de omgeving is laag indien de woning goed geïsoleerd is. Bovendien kan de kleine hoeveelheid warmteverlies die het gevolg is van de opslag, financieel worden gecompenseerd. Doordat dit goed vooraf is te bepalen, kan een aanbod naar de bewoners worden opgesteld zodat zij hun woning zonder financiële consequenties ter beschikking stellen voor deze vorm van energieopslag die erop gericht is in een woonwijk vraag en aanbod van energie te balanceren.



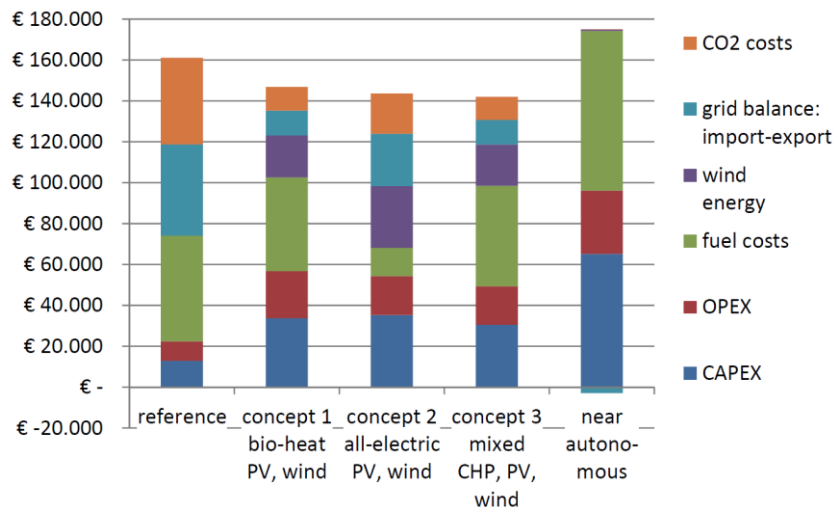
*Figuur 3.1: resultaten voor een koude winterperiode, warmtepomp energie-opslag in de vloerverwarming van een woning, Control 1=zelfsturing (PI-regeling), Control 2=slimme sturing verschoven naar momenten met veel zonne-energie, Control 3=als Control 2 met momenten waarin extra warmte in de vloer wordt opgeslagen. Linker schaal: warmte injectie vanuit de warmtepomp, rechter schaal: cumulatieve warmte injectie. In alle gevallen bleef de comfort temperatuur in de woonruimte binnen de toegestane marges.*

2. Het energiesysteem van Meppel is gebaseerd op biogas cogeneratie (WKK), een warmtenet en warmtepompen gevoed vanuit een collectieve bodembron. De centrale WKK zet biogas van de rioolwaterzuivering (RWZI) om in elektriciteit voor de warmtepompen en warmte voor het warmtenet. De ontwikkeling van de woonwijk werd beïnvloed door enkele jaren van economische crisis (2012-2015) die vooral de bouwsector heeft getroffen. Omdat daardoor gedurende de looptijd van het project minder woningen werden verkocht dan oorspronkelijk gepland, zijn de biogas leiding, de WKK en de woningen met een warmtepompen uitgesteld. Tegen het einde van het project bestaat de woonwijk uit ca. 120 woningen die allen zijn aangesloten op een tijdelijk energiesysteem bestaande uit een warmtenet dat wordt gevoed met aardgas ketels. De migratie vanuit deze situatie tot een duurzaam warmtenet is onderwerp van onderzoek geweest, resulterend in een publicatie [8] waarin een strategie hiervoor via simulaties is onderbouwd. In het onderzoek worden scenario's uitgewerkt voor een schaal van 40 tot 176 woningen. Via een simulatie- en optimalisatiemodel welke de winstgevendheid maximaliseert worden de best mogelijke capaciteiten voor de WKK en ondersteunende ketel bepaald alsmede de vollast bedrijfsuren per jaar. Hieruit is een migratie scenario ontwikkeld voor het energiesysteem beginnend als warmtenet met een centrale ketel en eindigend als warmtenet met een centrale WKK ondersteund met een ketel. Van dit scenario is de duurzaamheid in termen van CO<sub>2</sub> emissie vergeleken met andere, mogelijke energieconcepten.
  
3. In [12] ontwikkelen we een generieke methode voor het bepalen van optimale capaciteiten van Urban Energy systemen waarin de meest voorkomende vormen van energieopwekking en energieopslag zijn verwerkt. De methode heeft als input de elektrische energiebehoefte en de warmtebehoefte van een woonwijk. In [12] wordt dit uitgewerkt voor een casus waarin de energieprofielen voor 200 woningen zijn bepaald. Voor drie mogelijke energieconcepten (bio-heat, all-electric en gecombineerd) worden de optimale capaciteiten van de energie opwekking en opslagmethoden bepaald, alsmede de volgorde van de inzet van stuurbare energiebronnen en opslag. De methode minimaliseert de jaarlijkse kosten van het energiesysteem inclusief de kosten van de CO<sub>2</sub>-emissie. De kosten en milieubelasting (CO<sub>2</sub>-emissie) van de concepten worden onderling vergeleken en met de nationale referentie (verwarming via aardgas ketels en stroom uit het landelijk elektriciteitsnet). Het derde, gecombineerde concept wordt verder doorontwikkeld naar een volledig autonoom concept dat geen gebruik meer maakt van fossiele energie. Uit de uur profielen van het elektrische energieverbruik (inclusief eigen opwekking) worden conclusies getrokken

over de mogelijkheid om via slimme sturing van b.v. warmtepompen of opslag van energie, de optredende generatie- en verbruikspieken verder te verlagen.



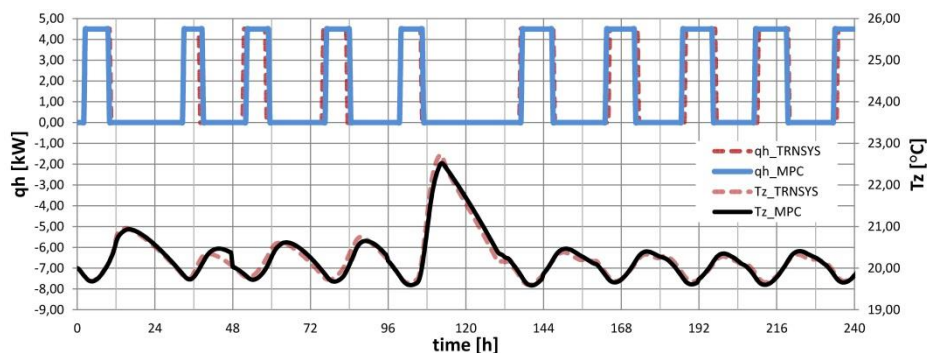
*Figuur 3.2: schematisch overzicht van het urban energy energiemodel. Verschillende energie-opwekkers en opslagsystemen kunnen hierin worden ingeschakeld. Het model bepaalt de optimale capaciteiten hiervan en toont uurwaarden van de energiestromen. Hieruit kunnen mogelijkheden voor slimme aansturing worden afgeleid. Links zijn de opwekkers getekend, in het midden de distributienetten, rechts de energievraag (elektrische en thermisch) van de woningen.*



*Figuur 3.3: resultaten concept vergelijking op kosten (reference=stadsverwarming op aardgas ketels, stroom uit landelijk net, concept 1=stadsverwarming op houtsnippers, elektriciteit deels uit zonPV en deels uit wind energie, concept 2=all electric woningen, elektriciteit deels uit zonPV en wind energie, concept 3=stadsverwarming met biogas WKK, aangevuld met elektriciteit deels uit zonPV en wind energie, concept 4=vrijwel autonoom concept met biogas WKK, zonPV en wind energie.*

- Om een grote hoeveelheid warmtepompen in een woonwijk slim te kunnen aansturen voor verschillende functies (ruimteverwarming en warm water), zodanig dat er geen grote elektrische piekbelastingen ontstaan, moet de besturing kennis hebben van de resterende flexibiliteit die geboden wordt in de woning, welke bestaat uit de temperatuur status van de woning, van de vloerverwarming, de weersverwachting en de status van het warm water buffer. Deze kennis van de resterende flexibiliteit ontstaat door meting van de actuele situatie en voorspellingen van mogelijke, toekomstige situaties. Hiervoor een voorspellend model per woning nodig waarin de belangrijke invloeden tot uitdrukking komen, zoals het gebruik van de

woning in de tijd (aanwezigheid, luchtverversing, gewenste temperatuur, ingeschakelde apparatuur), het warm water verbruik en de weersverwachting enige tijd vooruit. Door modelvoorspellingen te integreren in een wiskundige optimalisatie waarin de toestand van de warmtepomp als stuurvariabele is opgenomen, ontstaat een inzetplanning voor elke warmtepomp als oplossing voor een bepaald globaal optimalisatie-doel. Voor dit laatste kan bijvoorbeeld het minimaliseren van de vermogenspieken voor de komende tijdperioden worden genomen. In [6] onderzoeken we mogelijke modellen voor de woning warmtebehoefte op geschiktheid voor deze vorm van sturing van de warmtepompen. Voor de modellen maken we gebruik van thermische netwerken waarbij we de invloed van de orde van het model (aantal capaciteiten) onderzoeken op de nauwkeurigheid. Voor de verificatie wordt gesimuleerde data gebruikt afkomstig van een gedetailleerd model dat is opgesteld in de simulatietool TRNSYS. Daarnaast constateren we dat er een modelvorm mogelijk is waarvan de parameters direct uit fysische gegevens berekend kunnen worden en waarmee voldoende nauwkeurige voorspellingen als resultaat behaald kunnen worden.

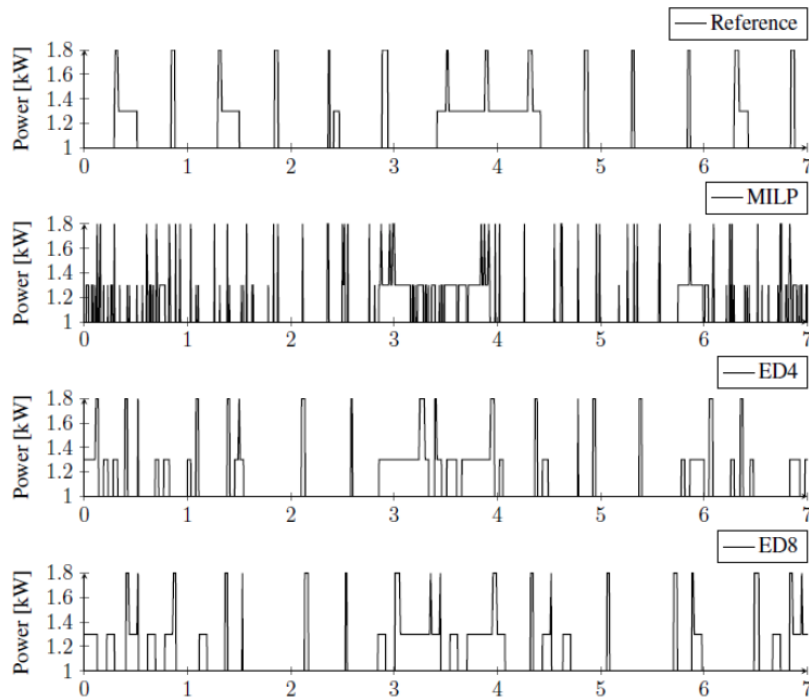


Figuur 3.4: resultaten “model predictive control (MPC)” van de warmtepomp van een woning. Boven (linker schaal) de sturing van de warmtepomp, blauw=MPC, rood=simulatie van werkelijkheid. Onder (rechter schaal) het temperatuurverloop in de woning (zwart=MPC, roze=simulatie van werkelijkheid). De temperatuur volgt een dagelijks patroon met een uitschieter vanwege zonninstraling op de 5e dag.

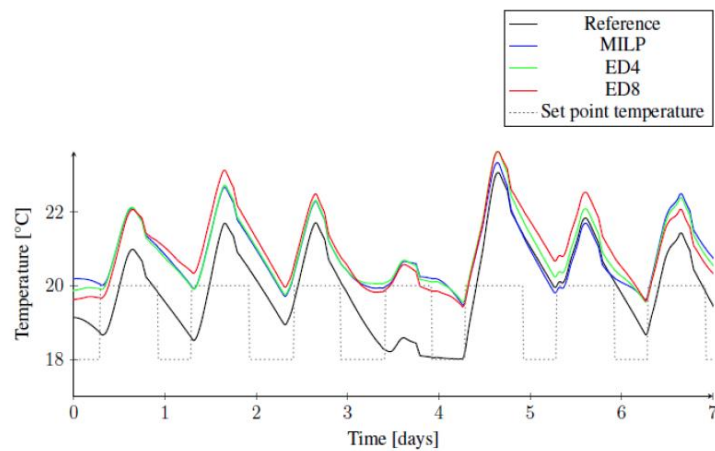
5. Naast een model voor woning verwarming, is een model nodig voor het warm waterverbruik en het bijhouden van de status van het warm water buffer. Voor dit laatste ontwikkelen we in [9] een voorspellend model waarbij de volgende signalen in de praktijk nodig zijn: debiet en temperatuur van de waterstroming aan de inlaat en uitlaat van het buffer en het elektrisch verbruik van de warmtepomp. De beschrijving is geverifieerd met gemeten data van een warmtepomp/buffer combinatie waarbij is aangetoond dat de gesimuleerde resultaten zeer goed overeen komen met de metingen. Daarnaast demonstreren we in een case study de toepassing van dit model binnen een slimme warmtepomp regeling.
6. Een ander onderdeel van een slim energiesysteem is elektrische opslag in accu’s. Om accu’s slim aan te sturen is een vergelijkbaar model nodig als het model van een warm water buffer. In [10] onderzoeken we de mogelijkheid om het model dat is geïntroduceerd in [9] te herschrijven voor het laden en ontladen van accu’s. Voor het laden en ontladen van loodzuur accu’s met een constante stroomsterkte is aangetoond dat het model zeer nauwkeurig toepasbaar is. Echter, accu’s gedragen zich tijdens stilstand en bij ontladen met wisselende stroomsterktes anders dan een warm water buffer. Een aanvullende beschrijving die hiermee rekening houdt, is verder ontwikkeld in [11]. Voor de verdere verificatie van dit model worden nog aanvullende experimenten uitgevoerd.
7. Binnen het oorspronkelijke energieconcept van Meppel ontstaat een planningsprobleem om de elektrische energie van de WKK zo goed mogelijk door de warmtepompen te laten gebruiken. De warmtepompen zetten deze elektrische energie om in warmte voor ruimteverwarming (winterperiode) en warm water (gehele jaar). Voor het warme water beschikt iedere woning naast de warmtepomp over een buffervat. In

[2] en [4] publiceren we een onderzoek naar directe besturing van de warmtepompen door de netbeheerder. Er ontstaat een grootschalig optimalisatieprobleem vanwege een toenemend aantal warmtepompen. In dit onderzoek ontwikkelen we twee mogelijke algoritmen gebaseerd op lineair programmeren. De ene noemen we global MILP (mixed integer linear programming), de andere time scale MILP. Deze laatste methode vraagt aanzienlijk minder rekentijd op een computer. Beide methoden zijn onderzocht via een simulatiestudie waarin 100 warmtepompen worden aangestuurd via modelvoorspellingen van het warmteverbruik (model predictive control). Beide methoden worden vergeleken met een referentie die bestaat uit een conventionele regeling van de warmtepompen via een PI-algoritme (Proportioneel-Integrerend) voor iedere warmtepomp afzonderlijk. Voor de modelvoorspellingen is gebruik gemaakt van een thermisch netwerk van elke woning waarin tevens schema's zijn geïmplementeerd per woning voor de aanwezigheid van mensen en het gebruik van apparaten en de luchtverversing in de woning. Zoals verwacht resulteert de referentie in een dynamisch verlopend elektriciteitsverbruik met een grote hoeveelheid, hoge piekbelastingen op het elektrische net, het gevolg van veel simultaan ingeschakelde warmtepompen. Beide verbeterde methoden leveren een grote verbetering op in de vorm van een vrijwel vlak belastingsprofiel. Het onderlinge verschil in de kwaliteit van de behaalde doelstelling tussen beide MILP methoden is zeer klein, echter het time-scale algoritme is aanzienlijk sneller dan het globale algoritme en geniet daardoor de voorkeur.

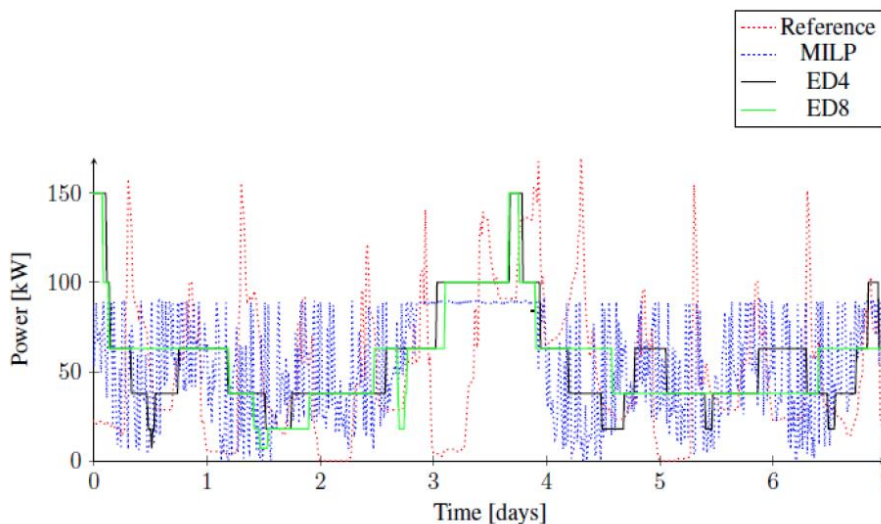
8. Hoewel de time-scale MILP methode het mogelijk maakt om grote aantallen warmtepompen slim aan te sturen zonder veel rekenkundige overhead, zijn er ook nadelen aan het sturen van warmtepompen vanuit een centraal werkend algoritme waarin voorspellende modellen van elke woning zijn opgenomen. Het belangrijkste nadeel is dat woningen informatie moeten sturen over hun actuele status en toekomstige gewenste toestand. Omdat dit persoonlijke gegevens zijn die men liever niet met een extern systeem continu wil delen, ontwikkelen we in [3] een sturingsmethode die gebaseerd is op de earliest deadline first methodiek (EDF). Hiermee is het mogelijk om de informatie over de warmtebehoefte van een woning lokaal te houden. De woning informeert het centrale systeem alleen over het tijdstip waarop de deadlines in de toekomst liggen voor aansturing van de warmtepomp. Dit is een vorm van informatie waaruit niet direct valt op te maken of mensen wel of niet thuis zijn. Het centrale systeem kan uit het overzicht van de deadlines van alle woningen, de prioriteiten bepalen voor aansturing van de warmtepompen. Een ander effect dat wordt gedemonstreerd in [3] is dat de hoeveelheid aan/uit sturingen van de WKK en de warmtepompen hierdoor sterk vermindert t.o.v. de eerdere MILP methoden, wat de levensduur en efficiency van de WKK en warmtepompen ten goede komt. Daarnaast is het EDF-algoritme relatief eenvoudig en vergt het dusdanig korte rekestijden dat het algoritme op standaard verkrijgbare, low-cost mini-computers kan werken. Hiermee is de belangrijkste doelstelling van werkpakket 3 van het project MeppelEnergie gerealiseerd.



Figuur 3.5: resultaten warmtepompsturing in de koudste week van 2012, vergelijking tussen Reference control (PI-regeling), MILP (Mixed Integer Linear Program control) en twee varianten van EDF (Earliest Deadline First) control. Deze laatste tonen duidelijk een beter regelgedrag dan MILP, gunstig voor de levensduur van de warmtepompen.

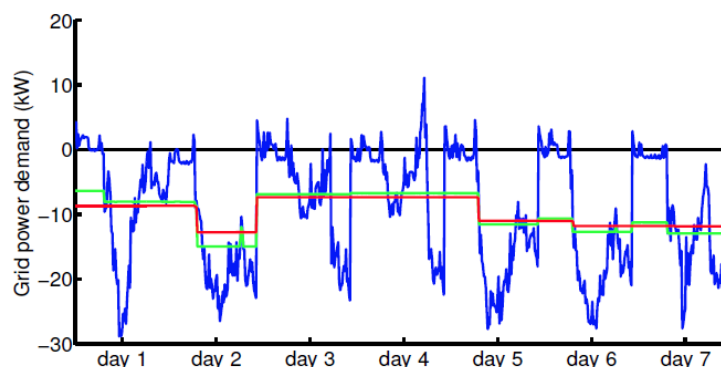


Figuur 3.6: resultaten woning temperatuur in de koudste week van 2012, zelfde vergelijking als figuur 3.5. De Reference control is op de 3e dag niet in staat de setpoint temperatuur te volgen. Te zien is ook dat EDF en MILP weinig verschil tonen en voor het comfortniveau in de woning even goed zijn.

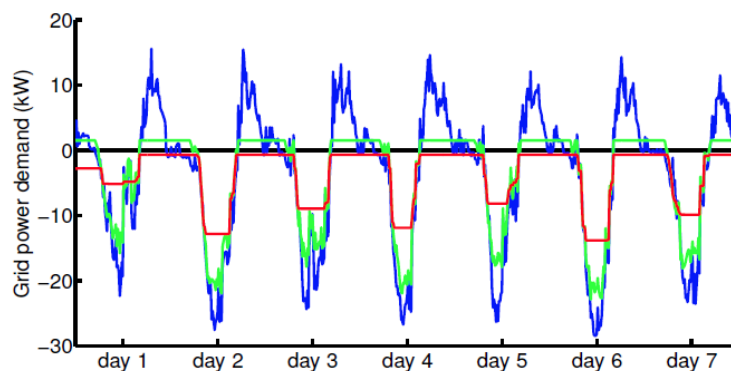


*Figuur 3.7: resultaten biogas WKK-sturing in de koudste week van 2012. Te zien is dat Reference control leidt tot vrij hoge pieken, MILP leidt tot zeer frequent schakelen (ongunstig voor efficiency en levensduur), EDF leidt tot het minder vaak optreden van pieken en zeer rustig regelgedrag. De hoogste pieken in de EDF-regeling kunnen verder verlaagd worden door meer regeltoestanden in het algoritme toe te staan.*

9. In [7] demonstreren we de mogelijkheden van slimme sturing voor een casus met 16 woningen met als doel deze woningen los te koppelen van het elektriciteitsnet. Voor de energieopwekking worden zonPV-panelen en een centrale WKK ingezet, alsmede thermische opslag, elektrische opslag en sturing van de wasmachine en vaatwasser per woning. De woningen zijn via een kleinschalig warmtenet aangesloten op de WKK. Voor dit energiesysteem bepalen we de benodigde capaciteiten zoals de hoeveelheid zonPV panelen, en de capaciteiten van de WKK, de thermische en de elektrische opslag. Via simulaties wordt gedemonstreerd hoe slimme sturing ervoor kan zorgen dat een zo vlak mogelijk elektriciteitsprofiel ontstaat waarmee het gedurende grote delen van het jaar mogelijk is om nagenoeg zonder uitwisseling van energie met het landelijk elektriciteitsnet te functioneren. De algoritmen hiervoor (profile steering) [13] zijn ontwikkeld in het kader van het Triana project van de Universiteit Twente [14] en zijn toepasbaar binnen projecten als Meppel energie als alternatief voor de eerder ontwikkelde EDF sturing van de warmtepompen. De profile steering algoritmen zijn breder toepasbaar dan het EDF algoritme voor die gevallen waarbij niet alleen warmtepompen maar ook energieopslag en slimme, huishoudelijke apparaten gestuurd worden.



*Figuur 3.8: resultaten koude winterweek, blauw=referentie, groen=slimme sturing, rood=zelf als groen + slimme batterij sturing. De effectiviteit van de slimme sturing om de elektriciteitspieken is hier duidelijk zichtbaar.*



*Figuur 3.9: resultaten zonnige zomerweek. Hierin is te zien dat slimme sturing van apparaten (groen) wel helpt om de pieken te verlagen, maar dat het slim sturen van de batterijen daarnaast een groter effect heeft.*

### 5.3.7 Conclusies en aanbevelingen

De conclusies en aanbevelingen van werkpakket 3 worden besproken aan de hand van de volgende onderzoekslijnen:

1. Ontwikkeling van een slimme aansturing voor het hybride warmtenet. Dit sluit aan bij de onderzoeksvraag: *hoe kunnen de WKK, WKO en het gebruik van buffers in het systeem optimaal worden aangestuurd?* De Universiteit Twente heeft in een aantal vormen (global MILP, time-scale MILP, EDF, profile steering) de mogelijkheid ontwikkeld voor de slimme aansturing voor de centrale WKK, buffer en de decentrale warmtepompen met hun buffers. Deze stuurbare conversie en opslagunits vormden de kern van het aansturingprobleem. De WKO viel daarbuiten omdat met name de pompbesturing van de WKO, de warmtevraag van de warmtepompen kan volgen en de aansturing daarvan geen onderdeel hoeft te zijn van het smart grid regelsysteem. Het EDF algoritme (Earliest Deadline First) lijkt voor deze situatie het best toepasbaar door de mogelijkheid om de warmtepompen centraal aan te sturen. Daarnaast is EDF het meest eenvoudige algoritme van de genoemde methoden en hoeft er geen privacy gevoelige informatie van bewoners te worden gecommuniceerd.

Een belangrijk onderdeel van alle genoemde methoden is de model voorspelling van de warmtebehoefte van de woningen. Aangetoond is dat een thermisch netwerkmodel van een woning hiervoor geschikt is, eventueel aangevuld met een zelflerend model voor het gebruikersdeel (aanwezigheid bewoners, ventilatiestanden, inschakelen elektrische apparaten) binnen de warmtebehoefte. Voor dit zelflerende deel zijn echter meerdere temperatuursensoren in de woning nodig, wat hogere kosten met zich meebrengt. Indien het model zichzelf kalibreert op basis van meetdata van een enkele temperatuursensor per verdieping dan is de nauwkeurigheid van het voorspellend model waarschijnlijk voldoende en is een zelflerend model voor het gebruikersdeel wellicht niet nodig. Dit zou in de praktijk verder onderzocht moeten worden.

Veralgemeinerings van de kennis is geborgd door de publicaties die zijn geschreven voor dit onderdeel. Doordat het smart grid systeem niet daadwerkelijk is geïmplementeerd door het uitblijven van de realisatie van het hybride warmtesysteem, hebben we de aansturing alleen kunnen testen met simulaties. Wel is er in het project ervaring op gedaan met een platform voor smart grids. Vier woningen zijn voorzien van een systeem waarmee temperaturen in de woning worden gemeten. Dit systeem en de communicatielijnen zijn zodanig opgezet dat er voldoende mogelijkheden zijn voor implementatie van de algoritmen welke een warmtepomp per woning kunnen aansturen. Dit is geen open platform maar het platform maakt wel gebruik van open source programmeertalen en protocollen en low cost hardware. Een open platform (generiek toepasbaar) voor multi-commodity energiesystemen zoals Meppel energie kan een volgende

stap zijn voor marktpartijen om te ontwikkelen. Hierin kan dan ook meer aandacht uit gaan naar “system robustness” en data veiligheid.

2. Ontwikkeling van een multi-commodity energiesysteem capaciteitsmodel voor urban energy projecten. Dit sluit aan bij de onderzoeksvraag: *wat is het optimale ontwerp voor een hybride warmtevoorziening?* Deze onderzoeksrichting ontstond met name door het trage bouwtempo als gevolg van de bouwcrisis. Meppel energie begon met een tijdelijk, eenvoudig energieconcept: een warmtenet waarbij de warmte door aardgas ketels wordt opgewekt. Investerings in een WKO en biogasleiding bleven door het trage bouwtempo uit. Ook bleek dat grotere woningen met een warmtepomp niet werden verkocht. De vraag ontstond naar welk duurzaam energiesysteem kan het tijdelijke systeem migreren? Om dit te onderzoeken zijn twee capaciteitsmodellen ontwikkeld. De eerste is bedoeld om de migratie naar een WKK te onderbouwen.

Met het tweede model kunnen allerlei combinaties van energiesystemen worden onderzocht. Door binnen het optimalisatiedoel de kosten en de CO<sub>2</sub>-belasting mee te nemen, worden systemen gevonden die zo goed mogelijk aan meerdere eisen voldoen. Hieruit blijkt dat een all-electric concept met een centrale warmtepomp en een slim warmtenet op een zo laag mogelijke temperatuur (55°C) een aantrekkelijke kandidaat is, in combinatie met een WKO voor de aanvoer van bronenergie en koeling in de zomer. Een alternatief is een hout gestookte ketel (houtsnippers, houtpellets) in combinatie met een slimme sturing van het warmtenet op zo laag mogelijke thermische verliezen. Voor de koeling kan gebruik worden gemaakt van de koude op de bodem van een zandwinning in de omgeving van de woonwijk. In beide concepten is ook sprake van grootschalige zonPV winning in combinatie met power to heat en opslag in accu's om de piekbelastingen op het landelijk net te verminderen. Hiervoor zou aanvullend nog een netcapaciteitsstudie uitgevoerd moeten worden. Daarnaast zou meer ervaring met dergelijke concepten in de praktijk opgedaan moeten worden. Hiervoor kunnen in eerste instantie voorbeelden elders in Europa nader onderzocht worden a.d.h.v. meetdata die verkregen wordt van deze projecten. Vervolgens zouden enkele locaties in Nederland ingericht kunnen worden waarin een slim aangestuurd, hybride energiesysteem wordt gerealiseerd. Hiermee kan verdere ervaring worden opgebouwd om richting te geven aan de energietransitie.

3. Onderzoek naar de kosten, baten en milieu impact van duurzame energieconcepten. Dit sluit aan bij de onderzoeksvraag: *leidt het door het consortium ontwikkelde systeem ook daadwerkelijk tot verlaagde kosten en lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot?*

Dit onderzoek is uitgevoerd met de eerder genoemde capaciteitsmodellen. Aangetoond is dat het ontwikkelde systeem inderdaad leidt tot een substantieel lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot. Helaas is het wel zo dat de kosten van het biogas en de benodigde leiding vanaf de RWZI sterk doorwerken in de kosten en winstgevendheid van het energiesysteem. Daarom zijn concepten onderzocht zoals een all-electric concept ondersteund met grootschalige zonPV en WKO en een hout gestookt warmtenet en lake source koeling die tot een zelfde mate van CO<sub>2</sub>-besparing leiden maar op lagere kosten uit komen. In het onderzoek is ook de netbelasting onderzocht en de invloed van het slim sturen van de energiestromen, met name de zonPV opwekking en energievraag van de warmtepomp. De rol van power to heat en elektrische opslag komt hierin sterk naar voren om de piekbelasting sterk te reduceren. Andere promovendi van de Universiteit Twente hebben daarnaast de rol van elektrische opslag in het kader van vehicle to grid onderzocht, met het oog op toekomstig, grootschaliger gebruik van elektrische voertuigen. De oplossingen zoals “EDF control” en “profile steering” die binnen het project Meppel energie en uit de projecten van andere promovendi zijn ontwikkeld, leveren een belangrijke bijdrage aan de ontwikkeling van concepten en slimme regelsystemen voor de Nederlandse energietransitie. Dit geeft met name invulling aan de vraag hoe bestaande woonwijken de transitie kunnen maken van verwarming via gas en elektrische energie vanuit het landelijk net naar een lokale, duurzame energievoorziening, zonder dat hiervoor de elektriciteitsnetten aanzienlijk verzwakt moeten worden. De regeltechniek (algoritmen) hiervoor is in voldoende staat van “technology readiness” om deze te implementeren in enkele pilot projecten binnen woonwijken van enige omvang.

## 5.4 Werkpakket 4: bewonersparticipatie, kennisverankering en monitoring

### 5.4.1 Inleiding en uitgangspunten

Het Werkpakket 4 heeft zich conform de uitgangspunten gericht op de interactie tussen het smart system en het bewonersgedrag. De activiteiten zijn uitgevoerd door de TU Delft, met op onderdelen medewerking van iNRG en de Gemeente Meppel.

Naast het monitoren van de economisch-ecologische prestaties, het bewonersonderzoek en het design van een speciale Game met de bewoners, heeft het team van de TU Delft bijgedragen aan publicatie en verspreiding van de resultaten van dit deel van het project, door middel van afstudeerprojecten en de openbare presentatie en diffusie daarvan, door publicaties van stafmedewerkers en betrokken promovendi, en door presentaties op congressen en workshops. Tevens zijn de tussen-resultaten steeds besproken in de Stuurgroep van het project Nieuwveense Landen.

Het team van de TU Delft heeft bestaan uit: Prof. Dr.Ir. Han Brezet (werkpakket-leider), Dr.Ir. Daphne Geelen, Dr.Ir. Bas Flipsen, Ir. Arno Scheepens, Lector Ir. Han van der Meer, Dr.ir. Natalia Romero Herrera en een drietal afstudeerders, allen van de Faculteit Industrieel Ontwerpen, Design for Sustainability programma. De Gemeente Meppel heeft in diverse fasen aan Werkpakket 4 bijgedragen, onder andere door het mede-organiseren van de bewonersavonden met de TU Delft over de werking van de installatie en besparingsgedragsmogelijkheden.

De doelstellingen van Werkpakket 4 zijn daarmee gerealiseerd, met dien verstande dat door vertraging van de bouw en de oplevering van het verbruiks-informatie-gedeelte van het smart system, het programma van de TU Delft minder voortvarend kon worden uitgerold dan gepland. In goed overleg met de SmartGrid Meppel Stuurgroep en de opdrachtgever, zijn de aanpak en planning van Werkpakket 4 hierop –met de benodigde improvisatie- in de tijd aangepast, zonder aan de inhoud af te hoeven doen.

### 5.4.2 Bijdragen en resultaten

De volgende inhoudelijke bijdragen zijn gerealiseerd:

1. Analyse van de economische en ecologische prestaties van het project
2. Bewonersonderzoek en –evaluatie, inclusief knelpunten
3. Stimulering bewonersparticipatie door middel van een Game.

#### Ad I. Economische en ecologische prestaties

Door afstudeerder Panagiotis Vogiatzakis is een verkennend onderzoek gedaan naar de interactie tussen het in Nieuwveense Landen toegepaste smart warmte-systeem en het bewonersgedrag. In het bijzonder is een aantal energie-controle systemen en scenario's voor het warmte-afgiftesysteem ontwikkeld, gemodelleerd en geanalyseerd. Doel hiervan was om het optimale, meest veelbelovende systeem vast te stellen, in termen van een combinatie van lage energiekosten gekoppeld aan zo hoog mogelijk bewonerscomfort.

Bij het opstellen van de scenario-berekeningen is het door de TU Delft ontwikkeld EVR – Ecocosts Value Ratio model als uitgangspunt gehanteerd. De EVR-methode gaat uit van de wens op met duurzame systemen zo laag mogelijke eco-kosten te koppelen aan een zo hoog mogelijke, door de gebruikers gepercipieerde, waarde.

In de analysefase heeft een uitgebreid literatuuronderzoek plaatsgevonden, terwijl in de synthesefase van het onderzoek verschillende scenario's inzake het management van het warmtesysteem zijn opgesteld. Verschillende pakketten van mogelijke energie-efficiënte maatregelen zijn verkend, in combinatie met een tweetal hydronische warmte afgifte-systemen, met een zo laag mogelijke EVR-score als uitgangspunt. Vervolgens zijn er twee typen woningen ontworpen en gemodelleerd op basis van deze uitgangspunten. Met behulp van een simulatieprogramma voor energiegebruik door woningen, zijn de scenario's en energie-efficiënte pakketten doorgerekend, incl. enige gevoeligheidsanalyses. Op basis van het EVR-model zijn de uitkomsten vervolgens geëvalueerd.

De algemene uitkomst van het onderzoek en het modelleringsproces is dat de realisatie van een efficiënte, interne warmtecontrole-strategie voor de betrokken woningen mogelijk is, waarbij diverse energiezuinige maatregelen –zoals extra warmte-isolatie- worden gecombineerd met een zo laag mogelijk energiegebruik, zonder dat dit ten koste gaat van het binnenshuis warmtecomfort van de bewoners. In het meest gunstige geval, waarbij de individuele warmtecontrole per vertrek wordt geregeld in combinatie met een dag- en nacht-regeling, kan een energiebesparing van 40% worden bereikt, met behoud van acceptabel warmtecomfort. In combinatie met vloerverwarming of radiatoren, kwam dit uit het onderzoek als de meest aantrekkelijke optie voor de huizen van Nieuwlandse Venen, als uitbreiding van de al bestaande of nog nieuw te bouwen percelen in het project.

## **Ad II. Bewonersonderzoek en –evaluatie, inclusief knelpunten**

Door afstudeerder Loes Wagter is onderzoek gedaan naar de bewonersparticipatie in het project Nieuwlandse Venen. In het bijzonder was het onderzoek gericht op de vraag hoe de interactie met en de betrokkenheid van de bewoners bij het experiment zou kunnen worden versterkt. Op het moment van onderzoek waren 90 woningen gerealiseerd.

Het bewonersonderzoek-project is opgezet vanuit een co-design perspectief, waarbij probleemoplossingen niet alleen louter aan de bewoners worden geleverd, maar waarbij de bewoners juist actief hieraan bijdragen en deelnemen en de onderzoeker zich opstelt als een actieve, ontwerpende onderzoeker. De onderzoeker neemt hierbij een empathische en interactieve houding aan.

Allereerst zijn interviews gehouden met de stakeholders van het SmartGridMeppel consortium om het ontwikkelproces van Nieuwveense Landen in kaart te kunnen brengen. Daarbij is, naast een standaard semi-structurele benadering, gebruik gemaakt van een tool-kit met kaarten. Vervolgens zijn bewoners bezocht en geobserveerd, om hun behoeften inzake het smart warmtesysteem en hun energiekennis te kunnen vaststellen. Via een enquête is daarna nader inzicht verkregen in de vraag “met wie en op welke wijze bewoners wensen te communiceren” over energie-gerelateerde onderwerpen. Via een focusgroep aanpak zijn de antwoorden uit de enquête vervolgens gevalideerd. Tevens is zowel input als feedback gekregen door deelname aan meerdere bewonersavonden, waarbij de tussenresultaten zijn gepresenteerd en bediscussieerd. De focusgroep bijeenkomst heeft daarbij deels de vorm van een co-creatie sessie aangenomen, hetgeen weer heeft geleid tot inzicht in uitdagingen als het creëren van de ideale buurt en bewoners-feedback over smart grids experimenten.

Met het SmartGrid Meppel ontwikkel team is een brainstormsessie gehouden, met de bevindingen van het bewonersonderzoek als uitgangspunt voor de discussie.

Ook zijn de resultaten besproken in externe brainstorms bij Eneco en Heijmans, om ze in een breder perspectief te kunnen plaatsen.

Dit heeft geresulteerd in een Smart Grid Co-Creation Guide, als uitkomst van het project Nieuwveense Landen. De gids helpt toekomstige Smart Grid ontwikkelteams om bewoners optimaal –en intensief- in het ontwikkelproces te betrekken.

Daarbij wordt een specifieke rol toegekend aan de bewoners in elke fase van de projectontwikkeling: visie-ontwikkeling; planvorming; realisatie; en optimalisatie.

In deze vier fasen, moeten volgens de Smart Grid Co-Creation Guide vijf onderwerpen betreffende “smart living” in een smart system worden besproken:

- **De kosten van het systeem.** Transparantie staat hier voorop.
- **De werking van het systeem.** Het gaat hier om de uitleg van de technische werking, wat dit voor de bewoners betekent, hoe zij er mee moeten omgaan en het kunnen managen.
- **De duurzaamheid van het systeem.** Daarbij moet vooral aandacht besteed worden aan de visualisatie en perceptie van de duurzaamheid van het systeem in de buurt/wijk en die van de wijk als geheel.
- **De informatie die het systeem geeft aan de bewoners.** Hierbij is cruciaal hoe bewoners om moeten/kunnen gaan met digitale informatie van het warmtesysteem binnenshuis, thermostaten, regelaars etc., ook als onderdeel van het totale wijk-systeem: wat kunnen ze bijdragen en hoe?
- **Besparingstips.** Suggereer acties en maatregelen die tot duurzaam gedrag kunnen bijdragen.

Het deelonderzoek van Wagter wijst voorts uit dat het essentieel is de communicatie in het project SmartGrid Meppel, maar ook in vervolgprojecten, te toetsen aan vier communicatie-eisen, die zijn geïdentificeerd tijdens de bewonersavonden en focus groep bijeenkomst: (1) transparantie; (2) consistentie; (3) specificiteit; en (4) geloofwaardigheid.

Tenslotte worden in de Smart Grid Co-Creation Guide drie methoden en tools gepresenteerd, die bijdragen aan interactieve bijeenkomsten en bewonersbijeenkomsten. Een empathische en co-creatieve aanpak staat daarbij voorop:

- **“De gebruiker”:** vijf persona’s die het ontwikkelteam helpen om het besluit- en visie-vormingsproces meer empathisch en bewonersgericht te maken.
- **“De keuze-avond”:** een matrix die het ontwikkelteam helpt met het maken van een overzicht van technische opties, voor discussie met de bewoners over hun preferente keuzes.
- **“Het energiesysteem”:** een co-creatief papieren prototype waarmee bewoners hun ideale “home energy management” systeem kunnen samenstellen en ervaren. De uitkomsten zijn zowel voor het ontwikkelteam als de bewoners relevant.

### Ad III. Stimulering bewonersparticipatie door middel van een Game

Afstudeerder Daan Muilkens heeft de bewonersparticipatie verder geconcretiseerd door het ontwerp van een Game. Hij heeft daarbij voortgebouwd op de bevindingen en de Co-Creation Guide uit het voorgaande project van Loes Wagter. De titel van zijn thesis luidt: “Empowering Residents of Smart Grid Neighborhoods to achieve Energy Efficiency – increasing fairness in collective action.” In dit deelproject zijn vooral nieuwe mogelijkheden onderzocht waarmee bewoners kunnen bijdragen aan de energie-efficiency van het warmwatervoorzieningsgedeelte van het Smart Grid system Meppel. Daarbij is de focus vooral gericht geweest op de “peak load” in het warmwater-gebruik. Tijdens de peak load gebruiken de pompen in het systeem een aanzienlijke hoeveelheid vermogen gedurende korte tijd. Dit brengt niet alleen relatief veel energieverlies met zich mee maar vereist ook hoge financiële investeringen in piek-apparatuur die maar een beperkt gedeelte van de tijd wordt ingezet. De studie van Muilkens wijst uit dat met simpele aanpassingen aan de gebruikerskant al een aanzienlijk verbeterde “matching” van de warmwater-vraag en aanbod-vermogenscurve kan worden bereikt, met een

energiebesparing van 10% van de pompenergie. In het geval van Nieuwveense Landen zou zo, met een uiteindelijke wijkomvang van 3.300 huizen, jaarlijks een bedrag van ca. € 83.000 aan operationele kosten kunnen worden bespaard. Daarnaast kan zo ook nog aanzienlijk worden bespaard op investeringen in pompapparatuur.

Besloten is om in de eerste plaats de ochtend-piek in het warmwatergebruik nader te onderzoeken, die vooral wordt veroorzaakt door het simultane “douche” gedrag van de bewoners. Door middel van een simulatiespel, dat met een groep bewoners werd gespeeld, konden verschillende alternatieve strategieën en scenario's voor het bestaande douchegebruik –met zijn typische hoge ochtendpieken- worden geformuleerd.

Het vooronderzoek leidde tot een ontwerp-opdracht voor een nieuwe, collectief onderling af te stemmen, manier van douchen in de wijk, met daarbij de door de bewoners aangegeven randvoorwaarde dat het nieuwe systeem de lasten en lusten eerlijk zou moeten verdelen.

Voor het ontwerp van het nieuwe systeem hebben vervolgens een literatuurverkenning en nieuwe brainstorming met bewoners plaatsgevonden.

Na talloze iteraties in het ontwerpproces, gericht op consumenten-gedragsverandering, heeft Muilkens uiteindelijk in verschillende stappen een game in de vorm van een app ontworpen, die in deelfasen is getest inzake eerlijkheid, overige functionaliteiten en vormgeving. De app stelt buurtbewoners in staat om onderling, vooraf –maar gevarieerd- “faire” afspraken te maken over wie in de buurt op welke moment 's ochtends warmwater voor de douche zal gebruiken. Door middel van een “face value” validatie is vastgesteld dat de app, de “ShowerPower”, met succes verder kan worden geïntroduceerd bij de uitbreiding van het project Nieuwveense Landen en bij soortgelijke SmartGrid projecten.

#### **Samenvatting van de resultaten:**

- 3 nieuwe product-dienst-combinaties zijn gerealiseerd: (1) het EVR-gebaseerde isolatie- en zonerings-concept; (2) de bewoners-participatie-aanpak voor smart-grid projecten introductie; en (3) de ShowerPower app voor verlaging van de belangrijkste piekbelasting in het warmwatergebruik;
- er is niet alleen gestudeerd, maar betrokken onderzoekers en ontwerpers hebben intensief met de bewoners gecommuniceerd en samen aan oplossingen gewerkt, ook in de omstandigheid dat door de vertraagde voortgang van de bouw improvisatievermogen, extra inzet en flexibiliteit nodig waren –en er ook bleken te zijn;
- 3 studies en 4 rapporten zijn opgeleverd, met de nodige publicaties (zie onder 4.);
- er is actief bijgedragen aan de kennis-diffusie zowel binnen het project als bij de stakeholders en belangstellenden daarbuiten

### **5.4.3 Kennisverankering- en verspreiding**

Naast communicatie over de (tussen-)resultaten via de al bovengenoemde serie bewoners- en belangstellenden-avonden zijn de van de uitkomsten van de activiteiten van Werkpakket 4 diverse wetenschappelijke rapporten en publicaties verschenen en verspreid (zie hoofdstuk 6.2). De rapporten betreffen drie afstudeerrapporten en een co-design gids.

## Hoofdstuk 6 Toelichtingen

### 6.1 Verschillen projectplan vs. realisatie

Deze paragraaf gaat dieper in op de verschillen tussen de uitgangspunten volgens het projectplan en de uiteindelijke realisatie.

Belangrijkste oorzaak voor deze verschillen is het lagere bouwtempo in de wijk als gevolg van de crisis in woningbouw. Door dit lagere tempo was de initiële warmte- en koudevraag te beperkt om direct een energiecentrale neer te zetten zoals beoogd in het projectplan. Daarom is ervoor gekozen om een modulair energiesysteem te ontwikkelen waarbij in lijn met het bouwtempo de warmteproductie mee kan groeien (zie paragraaf 5.1.3, pagina 17). De ontwikkeling van dit modulaire energiesysteem was niet voorzien in het projectplan. Wel is het zo dat veel van de in de tijdelijke energiecentrale gebruikte componenten kunnen worden hergebruikt in de volgende fase van het modulair energiesysteem.

Van de realisatie van de infra volgens het (stappen)plan modulair energie systeem zijn de eerste stappen inmiddels uitgevoerd en afgerond. De HT en LT netten zijn aangelegd en operationeel. Het bron net en de installatiekabel voor de warmtepompen voor de vrijstaande woningen zijn voorbereid. Het draadloze smart grid is operationeel bij de 4 pilot woningen.

Daarnaast is er meer tijd gaan zitten in het uitzoeken van de juist communicatie infrastructuur. Omdat de hoeveelheid data van een meting op het smart grid beperkt is, maar wel continue beschikbaar moet zijn, heeft dit impact op de keuze van de infrastructuur. Onderzoek wees uit dat een bedrade infrastructuur (koper of glas) om grote investeringen zou vragen. Om flexibel te kunnen blijven is gekozen voor een draadloze G3 modem. Hier kon de iNRG unit via een UTP verbinding direct aan verbonden worden.

## 6.2 Kennisverspreiding, overzicht publicaties

### Publicaties Universiteit Twente

- [1] Smart Grid MeppelEnergie, projectplan. 2-7-2012.
- [2] J. Fink, R.P. van Leeuwen, J.L. Hurink, and G.J.M. Smit. "Linear programming control of a group of heat pumps". *Journal Energy, Sustainability and Society*, (2015) 5:33, 2015.
- [3] J. Fink and R. P. van Leeuwen. "Earliest Deadline Control of a Group of Heat Pumps with a Single Energy Source". In: *Energies* 9.7 (2016), p. 552. ISSN: 1996-1073. DOI: 10.3390/en9070552. URL: <http://www.mdpi.com/1996-1073/9/7/552>.
- [4] R. P. van Leeuwen, J. Fink and G. J. M. Smit. "Central model predictive control of a group of domestic heat pumps, case study for a small district". In: 4th International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems (SMARTGREENS 2015), Lisbon, Portugal. Lisbon, Portugal: Insticc Institute for Systems, Technologies of Information, Control and Communication, 2015, pp. 136–147.
- [5] R.P. van Leeuwen, J. Fink, J.B de Wit, and G.J.M. Smit. "Thermal storage in a heat pump heated living room floor for urban district power balancing, effects on thermal comfort, energy loss and costs for residents". In *Proceedings Smartgreens 2014, 3rd International Conference on Smart Grids and Green IT Systems*, Barcelona, Spain, 3-4 April, 2014, pages 43-50.
- [6] R.P. van Leeuwen, J.B. de Wit, J. Fink, and G.J.M. Smit. "House thermal model parameter estimation method for model predictive control applications". In *Proceedings IEEE Powertech 2015 conference*, Eindhoven, the Netherlands, June 29 - July 2, 2015, 2015.
- [7] K.X. Perez, M. Baldea, T.F. Edgar, G. Hoogsteen, R.P. van Leeuwen, T. van der Klauw, B. Homan, J. Fink and G.J.M. Smit. "Soft-islanding a Group of Houses through Scheduling of CHP, PV and Storage". In: *Proceedings IEEE Energycon 2016*. 2016. DOI: 10.1109/ENERGYCON.2016.7513972.
- [8] Richard P. van Leeuwen, Jirka Fink, Jan B. de Wit, and Gerard J.M. Smit. "Upscaling a district heating system based on biogas cogeneration and heat pumps". *Journal Energy, Sustainability and Society*, (2015) 5:16, 2015.
- [9] R. P. van Leeuwen, I. Gebhardt, J. B. de Wit and G. J. M. Smit. "A Predictive Model for Smart Control of a Domestic Heat Pump and Thermal Storage". In: *Proceedings of the 5th International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems - Volume 1: SMARTGREENS*, 2016, pp. 136–145. ISBN: 978-989-758-184-7. DOI: 10.5220/0005762201360145.
- [10] B. Homan, R. P. van Leeuwen, G. J. M. Smit, L. Zhu and J. B. de Wit. "Validation of a predictive model for smart control of electrical energy storage". In: *2016 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*, Leuven, Belgium. Leuven, Belgium: IEEE Power Electronics Society, 2016.
- [11] B. Homan, R.P. van Leeuwen, M.V. ten Kortenaar and G.J.M. Smit. "A comprehensive model for battery State of Charge prediction". In: *submitted to IEEE Powertech 2017 conference*. 2017.

[12] R.P. van Leeuwen, J.B. de Wit and G.J.M. Smit. "Energy scheduling model to optimize transition routes towards 100% renewable urban districts". In: submitted to International Journal of sustainable energy planning and management (2016).

[13] Gerards, M.E.T. and Toersche, H.A. and Hoogsteen, G. and van der Klauw, T. and Hurink, J.L. and Smit, G.J.M. (2015) Demand side management using profile steering. In: PowerTech, 2015 IEEE Eindhoven, 29 June - 2 July 2015, Eindhoven, the Netherlands. 457759:1-457759:6. IEEE Power & Energy Society.

[14] Hoogsteen, G. and Molderink, A. and Hurink, J.L. and Smit, G.J.M. (2014) Managing energy in time and space in smart grids using TRIANA. In: Proceedings of the IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, ISGT-Europe 2014, 12-15 Oct 2014, Istanbul, Turkey. pp. 1-6. IEEE Power & Energy Society. ISBN 978-1-4799-7720-8.

### Publicaties TU Delft

[1] Design of an efficient Control Strategy for the Heating System of Nieuwveense Landen. P. Vogiatzakis. Graduation Report TU Delft, December 2013.

[2] The Development of Smart Grid Systems – connecting the Resident and the Development Team. L. Wagter. Graduation Report TU Delft, September 2015.

[3] Smart Grid ontwikkeling – een gids om smart grids te ontwikkelen samen met consumenten. L. Wagter. Report TU Delft, September 2015.

[4] Empowering Residents of Smart Grid Neighborhoods to achieve Energy Efficiency – increasing Fairness in collective Action. D. Muilkens. Graduation Report TU Delft, May 2016.

*Bij de eindpresentaties van de drie graduate projecten zijn ca. 150 belangstellenden aanwezig geweest.*

Over het project zijn twee PhD-publicaties verschenen, die gepresenteerd zijn op twee internationale conferenties, en die onderdeel uitmaken van de proefschriften van D. Geelen (afgerond) en A. Scheepens (nog te verdedigen):

[5] **Scheepens, A.E., Flipsen, S.F.J., Vogiatzakis, P. & Brezet, J.C.** An ecocost-value ratio (EVR) approach to the design of a product-service system for environmentally sustainable residential heating energy use. Conference Paper presented at the E2KW Energy and Environment Knowledge Week, Toledo, Spain, November 2013.

[6] **Geelen, D.V., Scheepens, A.E., Kobus, C...B.A., Obinna, U.P., Mugge, R., Schoormans, J.P.L. & Reinders, A.H.M.E.** Smart energyhouseholds' pilot projects in the Netherlands with a design-driven approach. In: Innovative Smart Grid technologies Europe, the 4th IEEE/PES (pp. 1-5). 2013.

[7] Voorts heeft Prof. Brezet bij ca. 10 keynote lezingen in Nederland en Europa expliciet aandacht besteed aan de voortschrijdende inzichten van het Meppel SmartGrid project, over de periode 2012-2016.

### Publicaties MeppelEnergie

Website:

[www.meppelenergie.nl](http://www.meppelenergie.nl)





## 6.3 Projectorganisatie, deelnemers en contactpersonen

### Projectorganisatie

In het project Nieuwveense Landen werken de samenwerkingspartners gezamenlijk aan het realiseren van het project rondom het Smart Grid en de implementatie van de ontwikkelde kennis:

- **MeppelEnergie** (penvoerder) is opgericht door de Gemeente Meppel en RENDO en financiert en faciliteert de fysieke infrastructuur van het project en is verantwoordelijk voor de uiteindelijke exploitatie.
- **RENDO Duurzaam B.V.** zal de technische vormgeving en uitvoering van de installatie verzorgen en in samenwerking met iNRG het open platform demonstreren.
- De **gemeente Meppel** is opdrachtgever van de ontwikkeling van de wijk en richt zich op het stimuleren van bewonersparticipatie en feedback.
- **iNRG** zal zijn open platform voor Smart Grid-toepassingen licht doorontwikkelen en demonstreren.
- De **Universiteit Twente (UT)** zal een onderzoek doen naar de optimale aansturing van het systeem. De uitkomsten van dit onderzoek kunnen vervolgens gevalideerd worden in het “living lab” Nieuwveense Landen.
- De **Technische Universiteit Delft (TUD)** zal de invloed van het warmtesysteem en inzicht in het gebruik op de bewoners monitoren en sturen.
- De **Stichting Energy Valley** jaagt duurzame ontwikkelingen in Noord-Nederland aan en zal een belangrijke rol vertolken in het verder doorontwikkelen van de business case voor de vervolgfase, de juridische mogelijkheden om deze business case te verbeteren en de afstemming met de overige Smart Grid proeftuinen in Noord-Nederland.

Deelnemer	Contactpersoon	Rol	e-mail
	Harry van der Geest Paul Korsten	PV PV	hvdgeest@rendo.nl pjmkorsten@rendo.nl
	Harry van der Geest Marco Lijflander	WPL PGL	hvdgeest@rendo.nl mlijflander@rendo.nl
	Kees Offringa	PGL	k.offringa@meppel.nl
	Jeroen Janssen Lusanne van Benthem	WPL PGL	jeroen.jansen@i-NRG.com lusanne.van.benthem@i-nrg.com
	Gerard Smit Richard van Leeuwen	PGL WPL	g.j.m.smit@utwente.nl r.p.vanleeuwen@saxion.nl

	Han Brezet	WPL	j.c.brezet@tudelft.nl
	Mark de la Vieter	PGL	mark@delavieter.com

### Organisatievorm

Binnen het project zijn een tweetal structuren gecreëerd:

- Binnen de stuurgroep zijn de besluiten inzake de voortgang van het project genomen. Iedere deelnemer heeft 1 persoon afgevaardigd om zitting te nemen in de stuurgroep. Als voorzitter van de stuurgroep is de directeur van MeppelEnergie opgetreden. De stuurgroep heeft 2x per jaar vergaderd.
- Voor ieder werkpakket is een werkpakketleider aangewezen. De werkpakketleiders hebben binnen de projectgroep 4x per jaar een afstemmingsoverleg en leggen 2x jaarlijks verantwoording af aan de stuurgroep.

### De verdeling van opbrengsten voortkomend uit dit project

Alle samenwerkingspartners mogen de door haar zelf gegenereerde projectresultaten van het demonstratieproject en de hierbij opgedane kennis gebruiken buiten het project. De opgedane kennis rondom het proces, optimale aansturing en bewonersparticipatie zal daarnaast verantwoord gedeeld worden met collega netbeheerders, investeerders en andere betrokkenen. Het intellectueel eigendom dat voortvloeit uit de doorontwikkeling van het open platform zal bij iNRG blijven.

Alleen voor MeppelEnergie zijn financiële opbrengsten te verwachten uit de levering van warmte- en koude. Deze zullen volledig ten goede komen aan MeppelEnergie als bijdrage voor een normale exploitatie van het energiesysteem.

# Hoofdstuk 7      Conclusie en aanbevelingen (vervolgactiviteiten)

Hieronder volgen eerst de conclusies en aanbevelingen die voor het gehele project van toepassing zijn. Dit betreft vooral de samenwerking, projectorganisatie en de omgevingsfactoren. Daarna volgen de aanbevelingen en conclusies per werkpakket.

## 7.1 Algemeen

Het projectteam kenmerkte zich door een samenstelling van volledig verschillende partijen met ieder hun eigen leerdoelen en eigen belangen. Dit geeft een goede dynamiek in het team en vraagt om een juiste afstemming tussen de partijen. Door het projectoverleg periodiek in te plannen blijven de onderlinge verbindingen behouden en de voortgang gewaarborgd.

Ieder project zal vroeg of laat geconfronteerd worden met niet voorziene situaties. In ons geval was dat het veel lagere bouwtempo veroorzaakt door de crisis in de bouw. Door in die situatie toch open te staan voor elkaars belangen en leerdoelen is het toch mogelijk om de doelen te behalen.

## 7.2 Werkpakket 1

### **Nieuwe materie**

Bij de ontwikkeling van het warmtenet is tijdens de uitvoering extra tijd genomen om alle installateurs een informatiesessie te geven waarin de do's en dont's van het koppelen aan een warmtenet zijn besproken. Helaas is gebleken dat er bij installateurs op dit moment nog beperkte ervaring is bij de ontwikkeling en aanleg van binneninstallaties voor verwarming en koeling. Ook bij bewoners is er niet altijd voldoende ervaring in het gebruik van vloerverwarming en comfortkoeling. Er zijn meerdere informatieavonden voor bewoners gehouden waarbij ook installateurs aanwezig waren. Daar is dieper in gegaan over het gebruik van het systeem

### **Meetdata**

Bij het ontsluiten van de meetdata van de 4 pilot woningen zijn er veel meetdata beschikbaar gekomen. Toch is daarbij ook gebleken dat de robuustheid van de veldunits nog verbeterd moet worden zodat de betrouwbaarheid van de beschikbare meetdata opgevoerd wordt. Daarnaast verdient het aanbeveling om ook meting uit te voeren bij vrijstaande woningen. Dit type woningen is momenteel echter nog niet opgeleverd in het project.

### **Rol netbeheerder in toekomstige warmtenetten**

Het energiesysteem zal verder doorgroeien en daarbij meer gebruik maken van duurzame energiebronnen. Hiermee komt er een einde aan de rol van het tijdelijke energiesysteem in zijn huidige vorm en zal de definitieve duurzame energiecentrale de leverende rol gaan overnemen. Welke rol MeppelEnergie, met een netbeheerder als aandeelhouder, in de toekomst kan en mag invullen is op dit moment nog niet bekend. Met name de rol van leverancier van energie staat voor een netbeheerder ter discussie. De ontwikkeling, aanleg en beheer van het warmtenet is een rol die van nature veel dichterbij de huidige werkzaamheden van de netbeheerders ligt en daar ook zou kunnen komen te liggen. Juist in een situatie met meerdere

warmteproducenten en leveranciers zou een onafhankelijke partij het warmtenet, als een open warmtenet, kunnen beheren.

### 7.3 Werkpakket 2

De wijzigingen in de bouwplannen (zie hierboven) hebben consequenties gehad voor de ontwikkeling van de software. Apparaten (bijv. warmtepompen) werden uiteindelijk niet geplaatst omdat de woningen die dit systeem zouden gebruiken niet werden verkocht. Het vooronderzoek en de eerste testen van ontsluiting m.b.t. de ontsluiting van deze apparaten is achteraf niet nodig gebleken.

Veel tijd is gaan zitten in de ontwikkeling van de M-bus drivers en het testen. Verder kwamen we nog de nodige problemen tegen met het verwerken van de M-Bus data doordat de Kamstrup warmtemeters anders waren geconfigureerd dan het test exemplaar. Hierdoor hadden we problemen met de dataverwerking van de systemen die al in het veld stonden. Nader onderzoek leerde dat de meters door de fabrikant anders waren geconfigureerd waardoor onze software hier niet goed mee overweg kon. Vervolgens is de software uitgebreid en aangepast zodat ook meters die anders dan het test exemplaar zijn geconfigureerd op de juiste manier ontsloten kunnen worden.

### 7.4 Werkpakket 3:

De conclusies en aanbevelingen van werkpakket 3 worden besproken aan de hand van de volgende onderzoekslijnen:

Ontwikkeling van een slimme aansturing voor het hybride warmtenet. Dit sluit aan bij de onderzoeksvraag: hoe kunnen de WKK, WKO en het gebruik van buffers in het systeem optimaal worden aangestuurd?

De Universiteit Twente heeft in een aantal vormen (global MILP, time-scale MILP, EDF, profile steering) de mogelijkheid ontwikkeld voor de slimme aansturing voor de centrale WKK, buffer en de decentrale warmtepompen met hun buffers. Deze stuurbare conversie en opslagunits vormden de kern van het aansturingsprobleem. De WKO viel daarbuiten omdat met name de pompbesturing van de WKO, de warmtevraag van de warmtepompen kan volgen en de aansturing daarvan geen onderdeel hoeft te zijn van het smart grid regelsysteem. Het EDF algoritme (Earliest Deadline First) lijkt voor deze situatie het best toepasbaar door de mogelijkheid om de warmtepompen centraal aan te sturen. Daarnaast is EDF het meest eenvoudige algoritme van de genoemde methoden en hoeft er geen privacy gevoelige informatie van bewoners te worden gecommuniceerd.

Een belangrijk onderdeel van alle genoemde methoden is de model voorspelling van de warmtebehoefte van de woningen. Aangetoond is dat een thermisch netwerkmodel van een woning hiervoor geschikt is, eventueel aangevuld met een zelflerend model voor het gebruikersdeel (aanwezigheid bewoners, ventilatiestanden, inschakelen elektrische apparaten) binnen de warmtebehoefte. Voor dit zelflerende deel zijn echter meerdere temperatuursensoren in de woning nodig, wat hogere kosten met zich meebrengt. Indien het model zichzelf kalibreert op basis van meetdata van een enkele temperatuursensor per verdieping dan is de nauwkeurigheid van het voorspellend model waarschijnlijk voldoende en is een zelflerend model voor het gebruikersdeel wellicht niet nodig. Dit zou in de praktijk verder onderzocht moeten worden.

Veralgemenisering van de kennis is geborgd door de publicaties die zijn geschreven voor dit onderdeel.

Doordat het smart grid systeem niet daadwerkelijk is geïmplementeerd door het uitblijven van de realisatie van het hybride warmtesysteem, hebben we de aansturing alleen kunnen testen met simulaties. Wel is er in het project ervaring op gedaan met een platform voor smart grids. Vier woningen zijn voorzien van een systeem waarmee temperaturen in de woning worden gemeten. Dit systeem en de communicatielijnen zijn zodanig opgezet dat er voldoende mogelijkheden zijn voor implementatie van de algoritmen welke een warmtepomp per woning kunnen aansturen. Dit is geen open platform maar het platform maakt wel gebruik van open source programmeertalen en protocollen en low cost hardware. Een open platform (generiek toepasbaar) voor multi-commodity energiesystemen zoals Meppel energie kan een volgende stap zijn voor marktpartijen om te ontwikkelen. Hierin kan dan ook meer aandacht uit gaan naar “system robustness” en data veiligheid.

Ontwikkeling van een multi-commodity energiesysteem capaciteitsmodel voor urban energy projecten. Dit sluit aan bij de onderzoeksvraag: wat is het optimale ontwerp voor een hybride warmtevoorziening?

Deze onderzoeksrichting ontstond met name door het trage bouwtempo als gevolg van de bouwcrisis. Meppel energie begon met een tijdelijk, eenvoudig energieconcept: een warmtenet waarbij de warmte door aardgas ketels wordt opgewekt. Investerings in een WKO en biogasleiding bleven door het trage bouwtempo uit. Ook bleek dat grotere woningen met een warmtepomp niet werden verkocht. De vraag ontstond naar welk duurzaam energiesysteem kan het tijdelijke systeem migreren? Om dit te onderzoeken zijn twee capaciteitsmodellen ontwikkeld. De eerste is bedoeld om de migratie naar een WKK te onderbouwen. Met het tweede model kunnen allerlei combinaties van energiesystemen worden onderzocht. Door binnen het optimalisatie-doel de kosten en de CO<sub>2</sub>-belasting mee te nemen, worden systemen gevonden die zo goed mogelijk aan meerdere eisen voldoen. Hieruit blijkt dat een all-electric concept met een centrale warmtepomp en een slim warmtenet op een zo laag mogelijke temperatuur (55°C) een aantrekkelijke kandidaat is, in combinatie met een WKO voor de aanvoer van bronenergie en koeling in de zomer. Een alternatief is een hout gestookte ketel (houtsnippen, houtpellets) in combinatie met een slimme sturing van het warmtenet op zo laag mogelijke thermische verliezen. Voor de koeling kan gebruik worden gemaakt van de koude op de bodem van een zandwinning in de omgeving van de woonwijk. In beide concepten is ook sprake van grootschalige zonPV winning in combinatie met power to heat en opslag in accu's om de piekbelastingen op het landelijk net te verminderen. Hiervoor zou aanvullend nog een netcapaciteitsstudie uitgevoerd moeten worden. Daarnaast zou meer ervaring met dergelijke concepten in de praktijk opgedaan moeten worden. Hiervoor kunnen in eerste instantie voorbeelden elders in Europa nader onderzocht worden a.d.h.v. meetdata die verkregen wordt van deze projecten. Vervolgens zouden enkele locaties in Nederland ingericht kunnen worden waarin een slim aangestuurd, hybride energiesysteem wordt gerealiseerd. Hiermee kan verdere ervaring worden opgebouwd om richting te geven aan de energietransitie.

Onderzoek naar de kosten, baten en milieu impact van duurzame energieconcepten. Dit sluit aan bij de onderzoeksvraag: leidt het door het consortium ontwikkelde systeem ook daadwerkelijk tot verlaagde kosten en lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot?

Dit onderzoek is uitgevoerd met de eerder genoemde capaciteitsmodellen. Aangetoond is dat het ontwikkelde systeem inderdaad leidt tot een substantieel lagere CO<sub>2</sub>-uitstoot. Helaas is het wel zo dat de kosten van het biogas en de benodigde leiding vanaf de RWZI sterk doorwerken in de kosten en winstgevendheid van het energiesysteem. Daarom zijn concepten onderzocht zoals een all-electric concept ondersteund met grootschalige zonPV en WKO en een hout gestookt warmtenet en lake source koeling die tot een zelfde mate van CO<sub>2</sub>-besparing leiden maar op lagere kosten uit komen. In het onderzoek is ook de netbelasting onderzocht en de invloed van het slim sturen van de energiestromen, met name de zonPV opwekking en energievraag van de warmtepomp. De rol van power to heat en elektrische opslag komt hierin sterk naar voren om de piekbelasting sterk te reduceren. Andere promovendi van de Universiteit Twente hebben daarnaast de rol van elektrische opslag in het kader van vehicle to grid onderzocht, met het oog op toekomstig, grootschaliger gebruik van elektrische voertuigen. De oplossingen zoals “EDF control” en “profile steering” die binnen het project Meppel energie en uit de projecten van andere promovendi zijn ontwikkeld, leveren een belangrijke bijdrage aan de ontwikkeling van concepten en slimme regelsystemen voor de Nederlandse

energietransitie. Dit geeft met name invulling aan de vraag hoe bestaande woonwijken de transitie kunnen maken van verwarming via gas en elektrische energie vanuit het landelijk net naar een lokale, duurzame energievoorziening, zonder dat hiervoor de elektriciteitsnetten aanzienlijk verzaamd moeten worden. De regeltechniek (algoritmen) hiervoor is in voldoende staat van “technology readiness” om deze te implementeren in enkele pilot projecten binnen woonwijken van enige omvang.

## 7.5 Werkpakket 4

Door de TU Delft worden op basis van de bevindingen uit Werkpakket 4 en op basis van voortschrijdend algemeen inzicht de volgende aanbevelingen gedaan.

### I. Smart Grid Co-Creation Guide

Pas de stappen alsmede methoden en tools van de Smart Grid Co-Creation Guide toe bij de voorziene uitbreiding van het Meppel Smart Grid project en voeg de op basis van de aanvullende ervaringen verkregen kennis inzichten voortdurend toe (“living document”).

### II. Energie-efficiënt warmwatergebruik

Het verdient aanbeveling de ShowerPower app in een vervolgpilot binnen Nieuwveense Landen op grotere schaal verder te testen en –bij verder gebleken succes– verder uit te rollen. Daarnaast kan overwogen worden, om het warmwater-gebruiksbewustzijn bij de bewoners nog verder te verhogen, in te haken op het “Energie Battle” concept van Grendel Games (Leeuwarden) en/of de meer algemene smart energy game benadering van Shiftt (Delft).

### III. Energie-efficiënte ruimteverwarming

Bevorder de implementatie van het voorgestelde “Smart Isolation & Zonering” concept daar waar mogelijk in het project.

### IV. Energie-efficiënt elektriciteitsgebruik

Introduceer, als een logische vervolgstap op de focus in het Nieuwveense Landen project op slimme warmte, de al bekende elementen voor een ook qua elektriciteit Smart systeem in het project, voortbouwend op cases zoals Hoogkerk, inclusief: een aantrekkelijk Renewable Pakketservice voor bewoners (smart electricity interface, PV, elektrische opslag), smart washing, drying, lighting, cooling, smart purchase van elektrische apparatuur, internet-of-things-nanogrid, dynamic pricing, prosumer trading, weather forecasting etc.

### V. Landelijke en internationale diffusie

Bevorder verdere toepassing van de Smart Grid Co-Creation Guide, de ShowerPower en het “Smart Isolation & Zonering” concept in het nationale Smart Grid programma en in internationale EU-programma’s.