Januari 2003 ECN-C--03-017

E-Box: Een residential gateway voor kostenbesparing en duurzaamheid

Integratie Internet en ICT-netwerken voor energiebesparingsdiensten: Architectuur en interface beschrijving Energie- en kostenbesparingspotentieel

I.G. Kamphuis

Verantwoording

De studie verricht in dit project is uitgevoerd in het kader van de NOVEM DEMOS-regeling onder nummer 0140-01-01-01-0013 als een haalbaarheidsproject. In het project is samengewerkt met van der Beijl Electronics uit Rotterdam en ITHO uit Schiedam.

Abstract

This report presents the results of a study of using new information and communication technology in small-scale energy management systems on the level of individual households. Detailed requirements are formulated for such an energy management system. A hardware and software architecture is proposed based on existing standards for delivering service applications. A large part of the energy management functionality for such a E-box for energy efficiency and cost control has been implemented in a software prototype.

The results of prototype simulation studies indicate that there is a cost saving potential and a potential for improved embedding of small scale, sustainable energy generators, if operations of appliances are co-ordinated in view of real-time market price signals. The potential (spread in cost plus or minus 15%) is highest for combined operation of small •-CHP (Stirling motor powered or fuel cell installations) satisfying a house's heat demand with laundry washing and drying processes in a real time electricity pricing situation. A similar increase in cost effectiveness can be achieved, if buffering of energy-carriers (electricity or heat) is used.

Possible market and business models for implementing the functionality of an E-box are dealt with and some possible implementation opportunities in a real-time price liberalised end user energy consumption market are discussed.

INHOUD

1. INLEIDING 7
1.1 Energie management en gebouwbeheerssystemen 7
1.2 Energiebeheer binnen kleinverbruikeromgevingen 8
1.2.1 Energie monitoring 8
1.2.2 Externe energie vraagsturing 9
1.3 Nieuwe elektriciteitsdistributie infrastructuren 10
1.4 Tariefopbouw en rollen in de energie-infrastructuur 10
1.5 ICT, lifestyle en bewonersgedrag 11
1.6 Ontwikkelingen op het gebied van software en hardware 12

2. VEREISTEN VOOR EEN E-BOX VANUIT HET OOGPUNT VAN ENERGIE MANAGEMENT 15
2.1 Verlichting 15
2.2 Ventilatie 15
2.3 Comfortbeheer (verwarming/koeling) 15
2.4 Bewaren van levensmiddelen (koelen en vriezen) 16
2.5 Warm tapwater 16
2.6 Elektrische apparatuur 16
2.7 Reiniging en droging 16
2.8 Planning energie opwekking en opslag in samenhang met de geldende prijzen 16
2.9 Monitoring en benchmarking energie verbruikende apparaten 17
2.10 Woning gebruiksstijl monitoring 17

3. SOFTWARE ARCHITECTUUR 19
3.1 Context, data en object model 19
3.2 Implementatie via een thin client-server model en ASP 21
3.3 De rol van OSG-I 22
3.4 Koppeling van de gateway met het huisnetwerk 23
3.5 Data transport in het netwerk en interfaces in apparaten 23

4. HET E-BOX SIMULATIE MODEL 25
4.1 Prijspaden van gas en elektriciteit 25
4.2 Beschouwde processen en hun onderlinge samenhang 27
4.2.1 Winter-scenario voor ruimteverwarming 28
4.2.2 Zomer-scenario voor ruimtekoeling 29
4.3 Elektrische vraag voor reiniging 30
4.4 Intermitterende elektriciteitsgebruikers (koelkasten, vriezers) 31
4.5 Warm tapwater vraag 31
4.5.1 Inzet van buffers voor warmte en elektriciteit 31

5. ENERGIE- EN KOSTENBESPARINGSPOTENTIEEL 32
5.1 Kostenscenario's bij prijssturing elektriciteitsafname alleen 32
5.2 Prijssturing bij verschillende scenario's 32
5.3 Buffering van warmte en elektriciteit 34

6. BUSINESS MODELLEN 36
6.1 Rollen van verschillende actoren 36
6.2 E-service centra en ESCO's (Energy Service Companies) 38
6.3 Dienstverleners 38
6.4 Het gebruikersperspectief 39
6.5 Stake holders 39
6.6 Micro-transacties 39

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1.1 *Prijsontwikkeling van de APX op een aantal dagen in januari 2002* 8
Figuur 1.2 *Prijsopbouw elektriciteitsprijs dubbel tarief-2001 en 2002, enkel-tarief 2002 en APX-piek en daltarieven* 10
Figuur 3.1 *Context diagram E-Box* 19
Figuur 3.2 *Klassendiagram E-Box* 20
Figuur 3.3 *OSGi en gerelateerde standaarden (© OSGi)* 22
Figuur 4.1 *Gebruikte elektriciteitsprijzen (dubbele meter en enkele meter)* 25
Figuur 4.2 *Prijsschema wintersituatie* 26
Figuur 4.3 *Prijsschema zomersituatie* 26
Figuur 4.4 *APX-prijzen op 9 januari 2002 (licht) en 21 augustus 2002(donker)* 27
Figuur 4.5 *Onderlinge afhankelijkheden in het simulatiemodel* 28
Figuur 4.6 *Verdeling van de warmteafgifte en intensiteit afgifte* 29
Figuur 4.7 *Verdeling van de koelvraag en de intensiteit van de vraag* 30
Figuur 4.8 *Relatieve opbrengst PV* 30
Figuur 4.9 *Vermogensvraag reiniging in de tijd en toegestane spreiding van de vraag* 31
Figuur 5.1 *Spreiding van de kosten (€ct/dag) bij bedrijf micro-WKK en reiniging gestuurd op APX-januari* 34
Figuur 6.1 *Rollen in de energievoorziening* 37
Figuur 6.2 *Smarthomes architectuur* 38
Figuur 6.3 *Het service delivery model © OSGi* 40

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 5.1 *Vergelijking prijzen (€ct/dag) voor bedrijf van een elektrische boiler voor verwarming van 100 liter water van 15 naar 60 °C* 32
Tabel 5.2 *Kosten (€ct/dag) bij verschillende prijsgestuurde verwarmingsscenario's* 33
Tabel 5.3 *Afstemming ruimtekoeling op PV-aanbod* 33
Tabel 5.4 *Kosten (€ct/dag) voor op elkaar afgestemde bedrijfsschema's van opwekkers en verbruikers* 33
Tabel 5.5 *Inzet van een energiebuffer voor opslag van energie in de vorm van elektriciteit resp. warmte* 34

SAMENVATTING

Dit rapport bevat een haalbaarheidsstudie naar de mogelijkheden van het gebruik van Internet-technologie en kleinschalige ICT-netwerken voor het opzetten van energie- en kosten-besparingsdiensten in woningen. Vanuit de context van bestaande energie monitoring en management toepassingen in utiliteitsgebouwen wordt een vertaalslag gemaakt naar woningen.

Aan de hand van een inventarisatie en definitie van een aantal voorbeeldtoepassingen is een globale vereistenspecificatie voor een energiemanagement systeem in woningen opgesteld. In deze vereistenspecificatie blijkt het optimaal koppelen van een datacommunicatie infrastructuur in de woning voor het uitwisselen van boodschappen tussen energie gebruikende systemen, naast een "first-mile"-connectie met de buitenwereld voor het aanleveren van stuurinformatie, via bijvoorbeeld Internet, een essentiële randvoorwaarde. Uitgaande van de vereistenspecificatie wordt een mogelijke hardware en software architectuur besproken. Een intelligente "gateway", de E-box, een intermediair, die de externe koppeling van het apparatennetwerk verzorgt, en tevens de sturing van apparaten via het netwerk in de woning op zich neemt, vervult in deze architectuur een sleutelrol. Aan de E-box kan ook een rol worden toegekend voor het meten en actief feedback geven over verbruiken, als aanvulling op of als vervanger voor de stroom- en/of gasmeter in een intelligente meterkast.

De E-Box architectuur is in een werkend simulatie programma is geïmplementeerd. Tevens zijn de tijdsafhankelijke energiekarakteristieken (vraag, aanbod, co-generatie) van systemen in woningen gekarakteriseerd. Aan de hand daarvan is een aantal veelbelovende mogelijkheden van bedrijf van de E-box in kaart gebracht voor bedrijfsscenario's in de zomer- en de wintersituatie. In deze scenario's wordt voor verschuifbare vraag (elektriciteit, warmte) het aanbod van locale duurzame bronnen maximaal gebruikt. Er zijn tevens scenario varianten berekend, waarin de effecten van meer real-time energieprijzen dan de nu gebruikelijke vaste of hoog/laag tarieven, zijn meegenomen. Afhankelijk van de mate waarin de energieprijzen meer op deze marktontwikkelingen zijn afgebeeld, blijkt de kostenbesparing tot zo'n 15 procent te kunnen oplopen. Worden ook mogelijkheden voor buffering van elektriciteit of tariefscenario's op dagen, waarop de APX grote schommelingen vertoonde, meegenomen dan is een kostenbesparing met nog eens een dergelijk percentage haalbaar.

Tot slot komt het businessmodel en eventuele vermarkting van een E-box aan de orde. De periode, waarbinnen een E-box uit energie management opbrengsten terugverdiend kan worden is te bekorten als aansluiting gezocht wordt bij vergelijkbare "energy-near", "narrow-band" service applicaties, die een vergelijkbare infrastructuur nodig hebben. Voor deze integratie speelt het OSG-i (Open Service Gateway initiative)-model, dat door steeds meer software en hardware fabrikanten wordt ondersteund, een belangrijke rol.

1. INLEIDING

In dit rapport wordt een nadere analyse uitgevoerd van de mogelijkheden van energie management in woningen, die ontstaan indien apparaten in een computernetwerk niet alleen met elkaar maar ook met de buitenwereld via ICT gekoppeld zijn en berichten kunnen uitwisselen. In deze context wordt onder energie management verstaan monitoring ten behoeve van analyse van verbruiken en diagnose van apparatuur alsook bijsturing van de instelpunten van apparaten op grond van de uitgewisselde informatie. Het doel van inzet van informatieverwerkende systemen en de communicatie infrastructuur is energie- en kostenbesparing en optimaal gebruik van lokaal duurzaam geproduceerd vermogen.

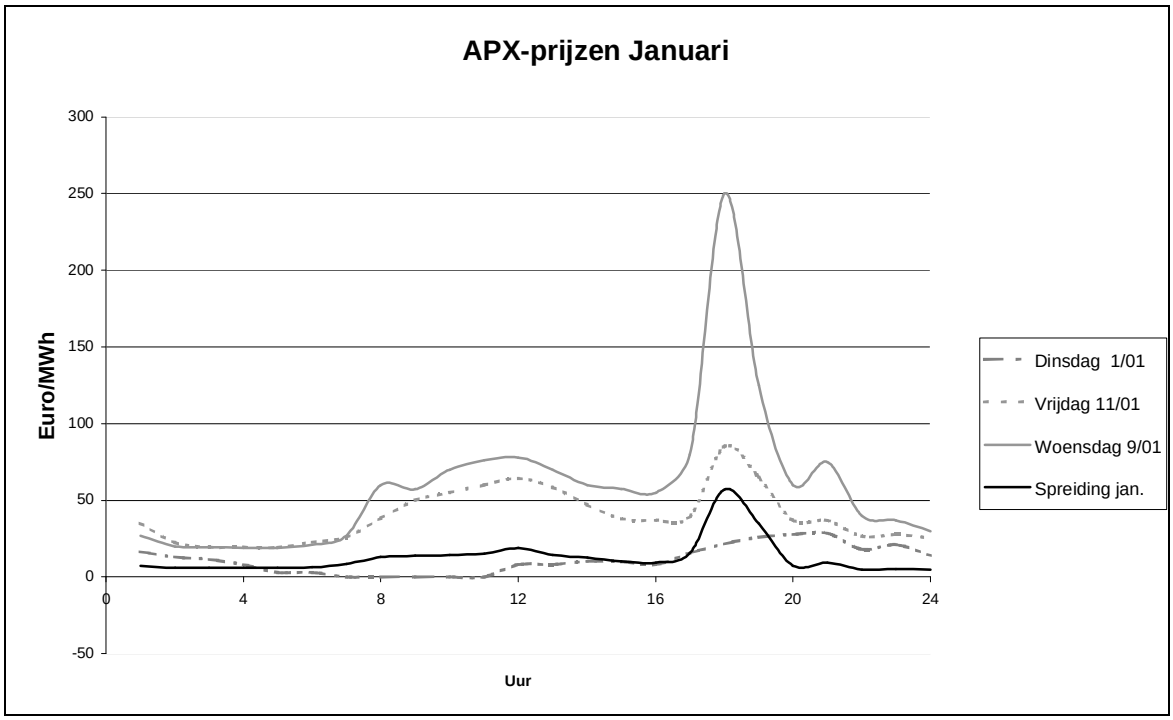
1.1 Energie management en gebouwbeheerssystemen

Bij utiliteitsgebouwen wordt onder gebouwbeheer verstaan het in stand houden van de installaties van een gebouw. Gebouwbeheerssystemen ondersteunen gebouwbeheerders in termen van storingsdetectie, probleemanalyse en -opvolging en het bepalen van tijds-afhankelijke instelpunten van locale regelingen binnen installaties. Regelingen van componenten van installaties (bijvoorbeeld verwarmingseenheden, ventilatiesystemen) vindt vaak binnen de locale context van een installatie**deel** plaats. Dit gebeurt vanwege betrouwbaarheid en robuustheid. Alleen de setpoints en de parameters voor bepaling van de werkpunten van de regelingen behoren onder de scope van een gebouwbeheerssysteem. Vaak worden deze instelpunten door gebouwbeheerders reactief, op basis van gebruikersklachten, en niet pro-actief, op basis van verwachte omstandigheden, beheerd [TVVL, 2002;VV, 2002].

Gebouwbeheerssystemen worden gebruikt om een energie management strategie te implementeren. Om een goede strategie te kunnen ontwerpen en de bereikte efficiency te kunnen controleren zijn energie management softwarepakketten beschikbaar, die monitoring-gegevens van het gebouwbeheerssysteem als functie van de tijd achteraf analyseren. In de utiliteitsbouw zijn gebouwbeheerssystemen en analyse door energie management software al jaren gemeengoed. Een energie management en monitoring traject wordt vaak uitgevoerd door inhuur van externe expertise en levert in de utiliteitsbouw een kosten- en energiebesparing in de orde van 10 tot 20 procent. In sommige gevallen wordt de beheers- en managementactiviteit als opdracht aangenomen op basis van een aandeel in de besparing door een service provider, die naast het gebouwbeheer ook het energie management op zich neemt. Gebouwbeheerssystemen zijn hiertoe via inbel-/terminal verbindingen met dienstverleners verbonden, die op afstand het gebouwbeheer uitvoeren.

De resultaten van de energie management evaluaties zitten echter nog niet in een on-line feedback lus. Door de liberalisering van de energiesector wordt de flexibiliteit, in de energieleveringscontracten vergroot. Vooral voor de grote energie afnemers is er de mogelijk-heid te kiezen uit een groot aantal leveranciers. Dit vormt nu al de drijvende factor achter een volgende generatie gebouwbeheerssystemen, die via Internet gekoppeld zijn voor toegang tot externe informatie als meteorologische verwachtingen en prijsontwikkeling. De mate, waarin de energieprijzen in de tijd variëren, wordt geïllustreerd door de APX-prijzen, die in Figuur 1 zijn gepresenteerd voor een aantal dagen in januari. De APX-markt is een day-ahead markt, waar de importstroom voor Nederland wordt verhandeld. Naast een day-ahead markt, heeft de APX een hour-ahead markt om de netbalans op nog kortere termijn in stand te kunnen houden. De netbeheerder koopt hier de capaciteit, die nodig is als leveranciers hun afgesproken programma niet halen. De prijzen laten een grote statistische variatie zien afhankelijk van het tijdstip op de dag en het dagtype. De mogelijkheden om de dynamiek van de prijsvorming te vertalen in een optimale inzet van de verschuifbare vraag dan wel het verschuifbare aanbod, nemen door het ontstaan van deze markten toe. Studies naar het voorkomen van situaties als in 2000 op de

Californische elektriciteitsmarkt laten zien, dat het tijdelijk uitschakelen van 1 à 2 procent van het verbruik uitval van delen van het net had kunnen voorkomen.
Naast de elektriciteitsmarkt wordt ook de gasmarkt geliberaliseerd. Voor aardgascontracten is het belangrijk de afname zo gelijkmatig mogelijk in de tijd te laten plaatsvinden ten einde met een zo klein mogelijke aansluitcapaciteit te kunnen volstaan. Kosten-minimalisatie ten opzichte van de real-time en day-ahead prijsontwikkeling van energiedragers wordt derhalve steeds meer betrokken bij het bepalen van de energiemanagement strategie in utiliteitsgebouwen [VV, 2002].



Figuur 1.1 *Prijsontwikkeling van de APX op een aantal dagen in januari 2002*

1.2 Energiebeheer binnen kleinverbruikeromgevingen

1.2.1 Energie monitoring

Experimenten om gebouwbeheer en energiemanagement binnen een kleinverbruikersomgeving van woningen gestalte te geven zijn er nationaal en internationaal [Sidler, 1998] geweest. Het blijkt, dat een eindverbruiker, die geconfronteerd wordt met gedetailleerder en frequenter informatie over het energieverbruik, zijn kosten en zijn energieverbruik ziet dalen. Dit effect blijkt aan het begin van een dergelijk monitoring traject groter dan aan het eind. Uit een in 1995 in Amsterdam uitgevoerde studie onder 250 huishoudens [IVAM, 1995] blijkt, door het maandelijks geven van feedback en tariefdifferentiatie een persistente besparing van 13% op het stroomverbruik is te realiseren. Dit wordt bevestigd middels een in 2001 binnen het EU-project PALAS uitgevoerd onderzoek onder 1800 huishoudens [Olsson, 2001] waaruit blijkt, dat gezinshoofden in Nederland meer informatie van hun energiebedrijf over hun energiegebruik in de tijd willen en maandelijks een rekening op basis van hun daadwerkelijk gerealiseerde gebruik. Tevens kennen de ondervraagden een taak toe aan energiebedrijven voor wat betreft vraagsturing, mits dit leidt tot minder kosten. Opvallend in deze onderzoeken is, dat een grote meerderheid noch enig inzicht heeft in de kWh-/gasprijs noch omtrent hun totaalverbruik.
In de huidige tariefstructuur voor elektriciteit beperken tijdsvariabele tarieven zich hooguit tot een piek- en een daltarief. Er zijn nog geen plannen voor invoering van tijdsafhankelijke gastarieven voor eindgebruikers. Bij grotere installaties (o.a. in de tuinbouw) worden pieken in de gasafname via het CDS (Commodity Diensten Systeem)-systeem van Gasunie wel afgestraft.

In Italië heeft ENEL op grote schaal (miljoenen huishoudens) intelligente meters geïnstalleerd voor tarief-monitoring (een meerverbruik per dag boven een bepaalde limiet levert een veel hoger tarief). Monitoring gegevens zijn ook voor de klanten beschikbaar via Internet.
In de VS is geëxperimenteerd met speciaal geïnstrumenteerde geautomatiseerde systemen [NIALMS, 2002], die, op grond van nauwgezette analyse van kleine verschuivingen in spanningsniveaus bij stroomafname door apparaten, in staat waren inschakelmomenten van elektrische apparatuur te detecteren. Met deze systemen kunnen verbruiken rechtstreeks aan apparaten worden toegeschreven. Klassiek voorbeeld van het nut van dit soort informatie is het detecteren, dat het waterbed verwarmd wordt, in een airconditioned, gekoelde ruimte. Dergelijke op secundaire informatie gebaseerde systemen hebben nog geen grootschalige ingang gevonden vanwege een te hoge aanschafprijs.

Naast verbruiksinformatie kan gedetailleerde, geautomatiseerde monitoring van de performance van installaties op afstand leiden tot vroegtijdige diagnose van storingen. Te denken valt hierbij aan CV-installaties en grote huishoudelijke apparaten als wasmachines en koelkasten/vriezers.

1.2.2 Externe energie vraagsturing

Naast monitoring kan energiemanagement ook betekenen het aansturen van schakelbare apparaten naar perioden met een laag tarief of naar perioden, waarin de aanbodmix[1] meer overeenkomt met de persoonlijke voorkeur. Voorbeelden van vermogen, waarvan het inschakeltijdstip binnen bepaalde grenzen variabel is, zijn:

- De elektrische verwarmde boiler. Op Europees niveau [Sidler, 1998] heeft deze veruit het meeste potentieel.
- De elektrische warmtepomp voor verwarming of koeling. De pompperiode is in de tijd verschuifbaar. Om de warmtebuffercapaciteit beperkt te houden kan op meerdere temperatuur niveaus buffering van warmte nodig zijn. De toepassing van de elektrische warmtepompen is vooral te vinden in goed geïsoleerde all-electric huizen met een beperkte warmtevraag 's winters en, eventueel, een koelvraag 's zomers.
- De naverwarmingstrap van de warmtepompboiler. Deze trap gebruikt stroom om water, dat door de warmtepomp is voorverwarmd, verder in temperatuur te laten stijgen tot het niveau van warm tapwater.
- De vriezer en de koelkast. Dit zijn apparaten, die bij het bereiken van een bepaalde maximum temperatuur aanslaan. Zonder dat dit gevolgen hoeft te hebben voor de houdbaarheid van de bewaarde producten kan het inschakelmoment, afhankelijk van de real-time prijsontwikkeling dan wel het aanbod van duurzaam opgewekte energie, binnen bepaalde grenzen verlaat dan wel vervroegd worden.
- De wasmachine en wasdroger. Het bedrijven van deze beide apparaten draagt voor 40 procent bij aan het totale elektriciteitsgebruik in woningen. Indien het tijdstip van het wasproces als geheel en bepaalde stappen hierin binnen een bepaalde periode geoptimaliseerd kunnen worden, dan is hier de kosteneffectiviteit te verhogen.
- Een oplaadeenheid voor bijvoorbeeld elektrisch vervoer, zoals die in toekomstige infrastructuur scenario's voor hybride vervoersystemen voorkomt. Het bijhouden van het verbruik en inkopen van goedkope elektriciteit kan marktgestuurd en dientengevolge kosteneffectiever.
- Centrale verwarming met energieopwekking via een micro-WKK of een brandstofcel. Verwarmingsstappen kunnen vervroegd dan wel uitgesteld worden afhankelijk van real-time energieprijzen en de stroombehoefte van andere apparaten. Gezien de bescheiden warmtevraag van nieuwbouw woningen met een lage EPC, zijn deze opties vooral in

[1] Onder aanbodmix wordt verstaan een te definiëren verhouding tussen verschillende typen aanbod van duurzame en niet-duurzame energie.

bestaande bouw met een behoorlijke warmtevraag actueel. Bovendien kunnen ze van warmte- en elektriciteitsbuffers gebruik maken.

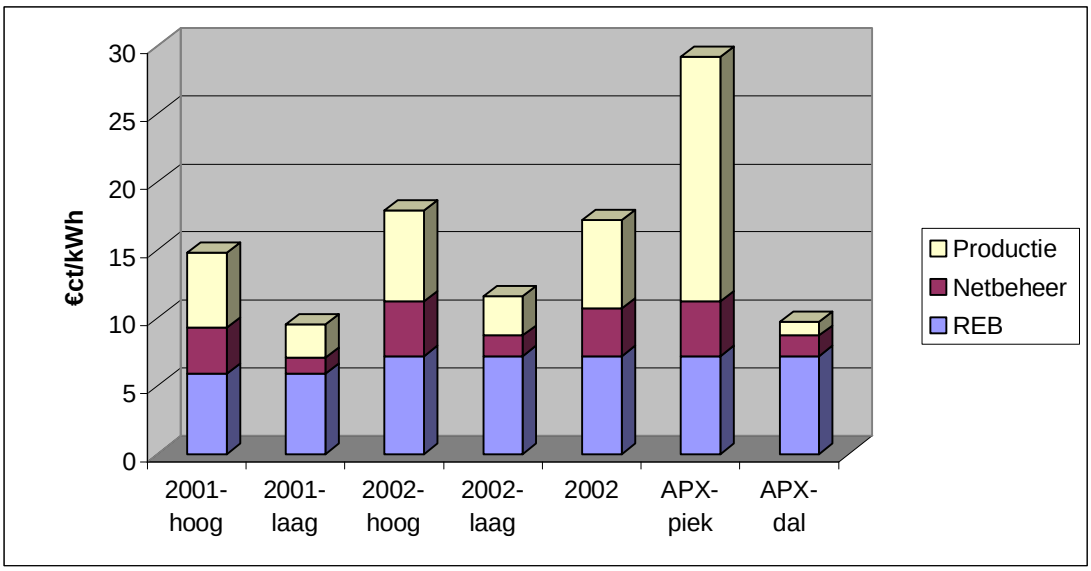
Voorbeelden van tariefgedreven aanbodsturing op kleine schaal zijn er tot nu toe vooral in landen als Zweden geweest. Hier is de liberalisering en vrije leverancierskeuze al langer actueel en wordt veel elektriciteit voor ruimteverwarming ingezet.

1.3 Nieuwe elektriciteitsdistributie infrastructuren

Tot nu toe zijn de boekhoudkundige modellen van energiebedrijven gebaseerd op een groot hoogspanningsdistributienet met een grote achtergrondreserve in de vorm van grote centrales. De modellen hebben een tijdshorizon voor investeringen van 30 tot 50 jaar [ADL, 1999]. Door de recente problemen met de stroomlevering in Californië is er binnen de energiewereld een toenemende aandacht voor gedistribueerde opwekking. Investeerders zijn sinds de liberalisering van de energiesector en de ontkoppeling van taken, die daarvan het gevolg was, nauwelijks bereid tot het onderhoud van en investeringen in een infrastructuur met een afschrijvingstermijn van 30-50 jaar. Flexibel inzetbaar middelgroot gedistribueerd vermogen is aantrekkelijker. Het optimaliseren van het gebruik van dit soort kleinschalig vermogen, bijvoorbeeld in de context van een wijk, vereist toegang tot meer informatie over het bedrijf van aangesloten stroom verbruikende en opwekkende apparatuur. Elektriciteitsdistributie infrastructuren zullen daardoor meer bottom-up dan top-down ontworpen en bedreven [CRISP, 2002] worden. Communicatie over de powerline of over een ander datatransport medium via bijvoorbeeld het Internet protocol kan dan essentieel zijn voor een betrouwbare netwerkplanning, leveringszekerheid en onderhoud.

1.4 Tariefopbouw en rollen in de energie-infrastructuur

De huidige tarieven voor huishoudelijk energiegebruik hebben een vastrechtdeel, dat in de orde ligt van 56 tot 67 Euro per jaar. Het al of niet hebben van een enkele of een dubbele meter maakt hierbij verschil. Van het vastrecht komt 20 procent ten goede aan de energie leverancier en 80 procent aan de distributeur voor het gebruik van de infrastructuur.



Figuur 1.2 *Prijsopbouw elektriciteitsprijs dubbel tarief-2001 en 2002, enkel-tarief 2002 en APX-piek en daltarieven*

Stroom tarieven liggen in de orde van zo'n 12 €ct laag tot 19 €ct hoog-tarief. In dit tarief zit 7.2 €ct REB, 2.5-5 €ct distributie en 2.9-6.7 €ct productiekosten. In de laatste twee componenten is

een tijdsafhankelijke c.q. marktcomponent aanwezig. Bij duurzame, lokale opwekking zouden de REB-component en distributiekosten vermeden dan wel verminderd kunnen worden.
In de geliberaliseerde situatie in Nederland is de rol van leverancier losgekoppeld van de rol van transporteur en de producent. Net als bij de telecom-sector betekent dit, dat er meerdere providers voor elektriciteit en gas kunnen komen. Voor duurzaam opgewekte stroom is dit al het geval (zie bijv. www.energiewereld.nl). Deze provider-rol kan zelfs per tijdsperiode per dag gaan wisselen [Agents, 1996]. In plaats van dat er maar een aanbieder is, betrekt een apparaat stroom bij de goedkoopste aanbieder of bij de meest duurzame opwekker. Providers kunnen zich ook profileren met de hoeveelheid duurzaam opgewekte energie, die ze aanbieden. In de VS treden al leveranciers naar voren, die zich profileren met een betere leveringskwaliteit en zelfs een gegarandeerde quality-of-service aanbieden. Leveringszekerheid, de gemiddelde tijd tussen storingen en herstel na storingen zijn dan gegarandeerd beter dan andere leveranciers.

1.5 ICT, lifestyle en bewonersgedrag

Vanuit een consumenten perspectief blijkt, dat er nog een duidelijke mismatch is tussen gebruikers en technologie [MC, 2001] voor wat betreft kleinschalige ICT-netwerken in woningen voor regeltoepassingen. Een aanzienlijk deel van de lange termijn Nederlandse onderzoeksinspanning binnen de communicatie technologie vindt plaats op het gebied van kleinschalige draadloze netwerken, gekoppeld via breedband met het Internet [Vrijband, 2001/IOP,2002]. De inspanning gaat uit van personal networks, die met behulp van ambient technology [Weiser, 1999] georganiseerd zijn. Ambient technology houdt in, dat zichzelf wegcijferende technologie onderdeel uitmaakt van bijvoorbeeld woonomgevingen.
Aangezien er een sterke gedragsgestuurde component in het energiegebruik zit, kan koppeling van informatie uit dit soort netwerken waardevolle informatie voor energie management opleveren en tevens de interactie met energie management aanpasbaar maken aan de beslisstijl [Olsson, 2001]. Daarnaast is een essentiële voorwaarde voor energie management, dat apparaten op de een of andere manier met elkaar verbonden zijn. Op dit moment is deze connectiviteit beperkt en alleen in het duurste marktsegment operationeel. Naast connectiviteit is de residential control gateway een essentieel knooppunt. De gateway is de van intelligentie voorziene toegangspoort naar woningen, die via een, eventueel al bestaande, always-on (breedband) connectie over de "last-mile" wordt gekoppeld met de buitenwereld. Op allerlei manieren wordt breedband Internet connectie bevorderd. De breedband-dichtheid neemt in Nederland daarom snel toe. De dichtheid is na de VS en Scandinavië het grootst ter wereld. Belangrijk voor regeltoepassingen is, dat connecties als ADSL en kabel op basis van always-on met een 24-uurs beschikbaarheid worden gelegd. Dit betekent, dat er ook voor energiediensten niet telkens een dial-up verbinding hoeft te worden opgebouwd, noch dat er connecttijd afhankelijke telefoon- of kabelkosten hoeven te worden opgebracht.

Een van de grote problemen bij het niet doorbreken van intelligente technologie in apparaten, is, dat de gebruikersvraag niet voldoende gearticuleerd is. Uit consumentenonderzoek [Olsson, 2001] blijkt, dat gebruikers wel open staan voor dit soort nieuwe technologie, maar dat ze zich nog moeilijk een beeld kunnen vormen van de mogelijkheden van toepassingen op dit gebied. Het definiëren van kleinschalige systemen voor energie management vraagt daarom om een goede interactie tussen ontwerpers en gebruikers.

Vanouds worden producten in de ICT-sector via een market-push mechanisme aan de man gebracht. Voor waar het betreft woningbouw, wordt het beeld in Nederland nog steeds sterk gedomineerd door "domotica"-systemen. Door het gebruik van deze term wordt de nadruk te zeer gelegd op het locale regelkarakter en op autonomie van dit soort geautomatiseerde systemen. Bovendien associeert men de term te gauw met woningen in het duurdere marktsegment. In Nederland hebben de beveiligingswereld, de installatie (HVAC)-wereld en de domotica-wereld naast elkaar disjuncte systemen op de markt gebracht, die moeilijk op elkaar aansluiten en ieder toegespitste standaarden hebben. Informatie uitwisseling met de buiten-wereld binnen dit soort systemen vindt plaats via het opbouwen van telefoonverbindingen op

vaste tijdstippen of incident gestuurd. Een always-on real-time Internet verbinding vergroot de mogelijkheden van on-line service applicaties.

Het maken van een goed energiemanagement systeem is een complex regelprobleem. Een goedgebalanceerde taakverdeling tussen de gebruiker en een geautomatiseerd systeem is essentieel. Vooral fout pro-actieve regelstappen dragen bij tot weinig vertrouwen bij de gebruikers [MC, 2001]. Het beschikbaar stellen van functionaliteit via een goede gebruikersinterface is een belangrijke stap. De gebruikersinterface problematiek bevindt zich op een ander niveau dan bij gebouwbeheer in de utiliteitssector. De gebruiker kan worden betrokken doordat er feedback wordt gegeven, doordat bepaalde regelacties door het systeem automatisch worden uitgevoerd of doordat bepaalde regelacties niet door het regelsysteem worden uitgevoerd, doch slechts worden gesuggereerd. Het blijkt, dat beoordeling van de manier, waarop met een gebruikersinterface van een geautomatiseerd systeem wordt omgegaan, sterk afhankelijk is van de beslisstijl van een persoon.

Op afstand opererende monitoring en regelsystemen kunnen scepsis ontmoeten. Deze scepsis komt voort uit twijfel over het halen van de betrouwbaarheidseisen voor dit soort systemen, de kwetsbaarheid voor mogelijke intrusie door niet-bevoegden (hackers) en uit gedrag van dit soort systemen (fout pro-actief) in weinig voorkomende combinaties van omstandigheden. Dit betekent dat bij het definiëren van kleinschalige gedistribueerde energiemanagement systemen, een grote nadruk behoort te liggen op "loosely coupled" autonoom bedrijf. Bij deze vorm van bedrijf ligt de verantwoordelijkheid voor de operationele taken zoveel mogelijk op lokaal niveau. Een op afstand opererend, centraal systeem, echter, genereert wel informatie voor berekeningen, die de werking van het lokale systeem verbeteren. Ten einde deze autonomie te realiseren, zal de benodigde hoeveelheid intelligentie in een apparaat groter moeten zijn dan voor een lokaal systeem zonder externe connecties.

1.6 Ontwikkelingen op het gebied van software en hardware

Net als wat voor kabelinternet en ADSL al gerealiseerd is in de vorm van breedband gateways ("modems") in woningen, zo vinden er ontwikkelingen plaats die hebben geleid tot narrow-band control gateways. Koppeling via Internet zorgt voor netwerk-transparantie voor applicaties. Dit betekent, dat het er niet toe doet, waar rekenprocessen en data-structuren zich in een netwerk bevinden. Transparantie wordt bereikt door interfaces tussen apparaten te definiëren die een bepaald communicatie protocol ondersteunen. In huisnetwerk omgevingen kan een service gateway ervoor zorgen, dat client-server applicaties van elkaars gegevens gebruik kunnen maken.

OSGi (het Open Services Gateway Initiative (www.osgi.org) gaat zelfs nog verder door een service applicatiemodel te definiëren dat, met een beperkte aanslag op computing resources, via een gateway, geïmplementeerd kan worden. OSGi is geheel toegespitst op het bieden van een raamwerk voor het verbinden van huisnetwerk gekoppelde apparatuur met apparatuur van externe dienstenleveranciers. OSGi bestaat uit een abstracte specificatie voor een aantal Java-klassen, die het mogelijk maken bundels van diensten op grote schaal, betrouwbaar en veilig ter beschikking te stellen aan eindgebruikers. OSGi kan geïmplementeerd worden op een relatief klein embedded operating systeem met een Java virtuele machine. OSGi faciliteert hot-pluggable devices en dynamische device configuratie. Dit betekent dat nieuwe versies van applicaties kunnen worden geïnstalleerd zonder dat een gateway opnieuw hoeft worden opgestart. Een zelfde mechanisme is ook gedefinieerd voor device drivers, die randapparatuur aansturen. Ten einde een grote mate van flexibiliteit te bereiken is het OSGi model geheel in Java gedefinieerd. Hierbij wordt van Java eigen dynamische class-loaders gebruik gemaakt. Als er op een gateway een OSGi raamwerk aanwezig is, dan kunnen service-applicaties er op een eenvoudige manier in geimplementeerd worden door een aantal gedefinieerde Java-interface objecten, toegespitst op een bepaalde applicatie, te implementeren. Data-transport van en naar Internet-browsers is in OSGi geïmplementeerd via Java-servlets. De gehele afhandeling van

taken binnen OSGi lijkt sterk op de afhandeling van taken binnen een klassiek real-time, embedded operating systeem. Met nadruk is er binnen OSGi aandacht besteed aan robuustheid en beveiliging, beschikbaarstelling op grote schaal binnen service applicaties en no-break/always-on beschikbaarheid.

Zonder dat er al sprake is van uitgebreide uitrol van dit soort gateways, ligt de prijs van een dergelijk apparaat op dit moment rond de 400 Euro. Behalve een of meer PC's, die tegenwoordig standaard in woningen aanwezig zijn, krijgen ook andere apparaten rekencapaciteit. Binnen E2Home zijn Electrolux en Ericsson bezig een productlijn op te zetten rond keukengecentreerde internet connectiviteit; Sony en Ericsson zijn bezig DVD's van hard-disks te voorzien voor het opslaan van films en TV-programma's, waar een gateway ook de betalingsaspecten van muziekdistributie verzorgt. OSGi staat ook in de belangstelling van autofabrikanten voor het op afstand monitoren van diagnostische informatie van auto's.

Recent is met de specificatie van IEEE standaard 802.15.4 [IEEE, 2002] ook de eerste stap gelegd voor low-cost connectivity van apparaten ten behoeve van regeltoepassingen. Vergeleken met eerdere standaarden als Bluetooth wordt extra aandacht besteed aan terugbrengen van de kosten van de communicatie knopen in het netwerk en aan vermindering van de onderhoudskosten. Vooral voor apparaten, die een batterijvoeding hebben, belooft deze standaard een aanzienlijke verbetering t.o.v de Bluetooth-standaard, die oorspronkelijk alleen tot doel had het aantal draden nodig voor communicatieverbindingen te beperken. Het benodigd vermogen voor Bluetooth in apparaten is zodanig, dat niet-netgekoppelde apparaten driemaal per jaar van nieuwe batterijen dienen te worden voorzien. De IEEE-standaard gaat ervan uit, dat het opgenomen vermogen zo laag is, dat een batterij de totale levensduur kan dekken. In een aantal EU-onderzoeksprojecten [Eyes, 2002] is men bezig zelf associërende en configurerende sensornetwerken te ontwikkelen, waarin er naar gestreefd wordt iedere sensor met een de totale levenscyclus omspannende stroomvoorziening uit te rusten.

2. VEREISTEN VOOR EEN E-BOX VANUIT HET OOGPUNT VAN ENERGIE MANAGEMENT

Onder een E-box verstaan we de verzameling hardware en software, typisch geplaatst als een kastje in de meterkast, die voor de bewoner de energierekening naar beneden brengt door terugkoppeling van verbruiksinformatie of door regeling van het verbruik.
Ten einde een E-box architectuur te bepalen, worden in dit hoofdstuk een aantal mogelijke onderlinge interacties tussen verschillende energie gebruikende systemen in een woning in kaart gebracht en worden de koppelingen met externe informatiebronnen, die gegevens voor optimaliseren van het bedrijf kunnen leveren, besproken.

2.1 Verlichting

Regeling van de verlichting kan gekoppeld worden met (gecombineerde) aanwezigheid van personen. In de utiliteitssector wordt vaak al een directe koppeling van de intensiteit van het elektrisch licht met de hoeveelheid binnenvallend daglicht op de werkplek toegepast. In woningen is dit niet zonder meer toepasbaar, daar verlichting ook een sfeerbepalend element heeft. Verlichting kan wel vanuit beveiligingsoogpunt met bewoningssimulatie of alarmering gekoppeld worden. Aanwezigheidafhankelijke verlichting in combinatie met bovengenoemde beveiligingsscenario's kan wel door een E-box beheerd worden.

2.2 Ventilatie

Ventilatie wordt in woningen in Nederland op een viertal manieren gerealiseerd. Bij balansventilatie met warmteterugwinning, zoals die in nieuwbouw wordt toegepast, is alleen substantieel energie te besparen door elektrische efficiency verbetering van de centrale ventilator. Energie management kan in dit segment wel plaatsvinden door koeling via extra ventilatie te sturen.

In oudere woningen, waar geen warmteterugwinning wordt toegepast, kan de hoeveelheid ventilatielucht aanwezigheidsafhankelijk worden geregeld (behoefte ventilatie). Verder kan het op afstand bewaken van de toestand van de filters in de warmte-terugwin eenheid en het ventilatiedebiet, de hoeveelheid lucht, die per uur verplaatst wordt, als een deel van de E-Box functionaliteit worden aangemerkt. Vermindering van het centrale ventilatiedebiet bij werking van afzuigapparatuur t.b.v. kookprocessen is tevens een mogelijk proces, dat door de E-Box kan worden geregeld. Dit wordt echter hierna in comfortbeheer verder besproken.

2.3 Comfortbeheer (verwarming/koeling)

Binnen het C-Box project [CBOX, 2002], dat binnen de NOVEM-Demos regeling wordt uitgevoerd, is een vertaling van dit thema uitgewerkt voor woningen. Een voorbeeld is opwarming/afkoeling door regeling van de zonwering in kamers van een woning geïntegreerd met de zoninstralings-verwachting en geplande aanwezigheid. Tevens bestaat de mogelijkheid per compartiment adaptief, afhankelijk van de ondervonden warmtekarakteristieken en de bouwfysische parameters, en de gebruikersvoorkeuren te regelen. Het instellen van veel comfort "regelapparatuur" blijkt in goed geïsoleerde gebouwen, door de trage response op regelacties, een andere uitwerking te hebben dan verwacht door de gebruiker [Jelsma, 2002]; de regelactie om de temperatuur 's ochtends te verhogen leidt ertoe, dat het 's middags te warm is.
Zoals eerder beschreven kan de regeling van interne opgewekte elektriciteit gekoppeld aan de interne warmtevraag, voordeel hebben van toegang tot externe informatie. Innovatieve systemen als de Stirling-motor gebruiken de afvalwarmte van de CV-ketel om elektriciteit op te wekken. Deze kan teruggeleverd worden of lokaal direct gebruikt worden. Sturing van een dergelijk

gecombineerd systeem kan kosteneffectiever als de warmte-/koudevraag, gedreven door de eisen voor het binnencomfort, en de elektriciteitsproductie, gedreven door de prijsontwikkeling op de energiemarkt, op elkaar worden afgestemd. Op apparatuur voor regeling van koeling zal gezien de hogere comforteisen vooral in de nieuwbouw in toenemende mate een beroep worden gedaan. Binnen het ontwerp en de simulaties in deze studie, is alleen de totale warmte- en koelvraag als functie van de dag meegenomen. De E-box delegeert het uitsplitsen van de warmte- en koelvraag aan de C-Box.

2.4 Bewaren van levensmiddelen (koelen en vriezen)

De regeling van koelkasten en vriezers zorgt ervoor, dat aan de vraag voor koeling altijd momentaan wordt voldaan. Kan de vraag uitgesteld dan wel vervroegd worden, dan kunnen real-time prijselementen de regelstrategie sturen of kan de geplande lokale energieopwekking hiervoor benut worden. Bij grootschalige opslag wordt dit mechanisme al toegepast.

2.5 Warm tapwater

Zoals eerder vermeld in 1.2 is afstemming van de aanmaak van warm tapwater door elektrische verwarming een van de eerste vormen, waar vraagmanagement geld oplevert. Verdere besparing is te bereiken door afstemming van de boilervulling op het afnamepatroon in het recente verleden. Denken we aan inzet van duurzame opwekkingsmethoden dan is een voorspelling van de opbrengst van een zonneboiler aan de hand van de verwachte zoninstraling t.b.v. het bepalen van de hoeveelheid tapwater door een dergelijk systeem realiseerbaar. Het rendement van gecombineerde PV-thermische systemen, die warm water en stroom leveren, heeft tevens een optimalisatie potentieel. Als de zonneboiler vol heet water zit, kan oververhitting van de panelen het elektrisch omzettingsrendement verlagen.

2.6 Elektrische apparatuur

Van het verbruik van audio en video apparaten is tussen de 10 en 20 procent te wijten aan het sluimerverbruik t.b.v. standby-stand voor afstandsbediening. Op het gebied van terugdringing van het sluimerverbruik is er de laatste jaren al veel gebeurd. Dit geldt vooral voor PC's en monitoren. Een geïntegreerde functie van de E-Box zou kunnen zijn het afwezigheidafhankelijk fysiek afschakelen van apparatuur (een centrale standby in plaats van op ieder apparaat een).

2.7 Reiniging en droging

Dit zijn, nog veel meer dan koeling een processen, dat in de tijd verschoven zouden kunnen worden. Dit verschuiven kan door afstemming van de start van het was/droogproces of de vaatwasser bij zo laag mogelijke real-time prijs. Verder kan de afstemming tussen het tijdstip van laden van de hot-fill van de reinigingsmachine vanuit een (zonne)boiler en het starttijdstip afhankelijk van het aanbod van duurzame energiebronnen geoptimaliseerd worden.

2.8 Planning energie opwekking en opslag in samenhang met de geldende prijzen

Dit speelt op dit moment vooral voor grotere gebouwen en de tuinbouw, waar vaak een warmtekrachtinstallatie staat. Inzet van deze installatie is te optimaliseren naar de gas- en elektriciteitsprijs en naar de warmtevraag met gebruik van een buffer. Nu is er een plateau- en daltarief voor opwekking en verbruik. Door de liberalisatie bestaat de kans, dat er in verschillende, op de verbruiker toegespitste contracttypes, meerdere zones en tarieven komen. Kleine locale opslagsystemen t.b.v. elektrisch vervoer (bijv. auto’s) kunnen dan gebruik maken van locale intelligente vormen van energie management. Een voorbeeld is ook de opslag van uit daglicht verkregen energie overdag en vrijgave ’s nachts van elektriciteit voor vervoer.

2.9 Monitoring en benchmarking energie verbruikende apparaten

Op dit moment wordt voor grotere installaties in gebouwen aan monitoring van het energiegebruik en van operationele parameters gedaan. Ze sluizen hun gegevens door aan een centraal soort meterkast. In de praktijk komen gemeten verbruikscijfers van apparaten niet overeen met de opgaven van de fabrikanten of leveren bij afwijkingen indicaties over het later optreden van problemen. Door monitoring wordt het mogelijk het gebruik te benchmarken en geïndividualiseerde adviezen te verstrekken omtrent gebruik van materialen en energie. Niet de kleine eindverbruiker zal dit soort monitoring activiteiten op woningschaal ontwikkelen, maar een dienstenleverancier, voortbouwend op al bestaande service contracten.

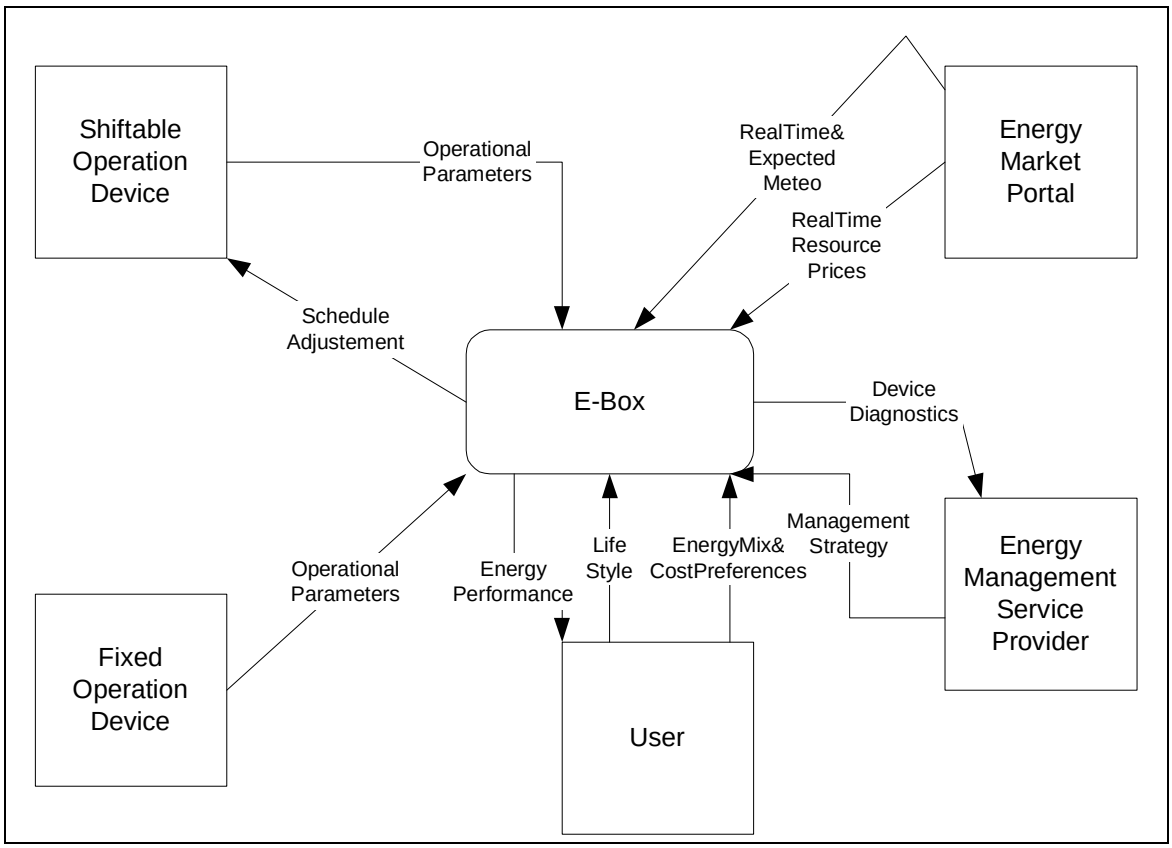
2.10 Woning gebruiksstijl monitoring

Beveiligingssystemen kunnen informatie geven over aanwezigheid van personen. Deze informatie kan samen met informatie van andere systemen, een beeld geven van de lifestyle van de bewoners. Studies wijzen uit, dat ten opzichte van het verbruik, dat komt uit de ontwerpfase EPC, er tijdens de bewoning van huizen toch een sterke spreiding is in de gerealiseerde, gebouwgebonden energiegebruiken. Op een geaggregeerd vlak kan de uit de ontwerpfase stammende EPC-norm, die een voorspellende waarde heeft voor het energiegebruik, afhankelijk van bouwkundige en installatietechnische maatregelen, worden gemonitord op de realisatie in de praktijk. Specifieke resultaten van deze monitoring zouden daarom kunnen leiden tot gerichte adviezen omtrent energiebesparing [Olsson, 2001].

3. SOFTWARE ARCHITECTUUR

3.1 Context, data en object model

De context, die ten grondslag ligt aan het E-Box principe is gegeven in het context-diagram in Figuur 3.1. In een context diagram zijn terminators/interfaces weergegeven met rechthoeken, datastromen met pijlen en het te beschrijven systeem met een afgeronde rechthoek.



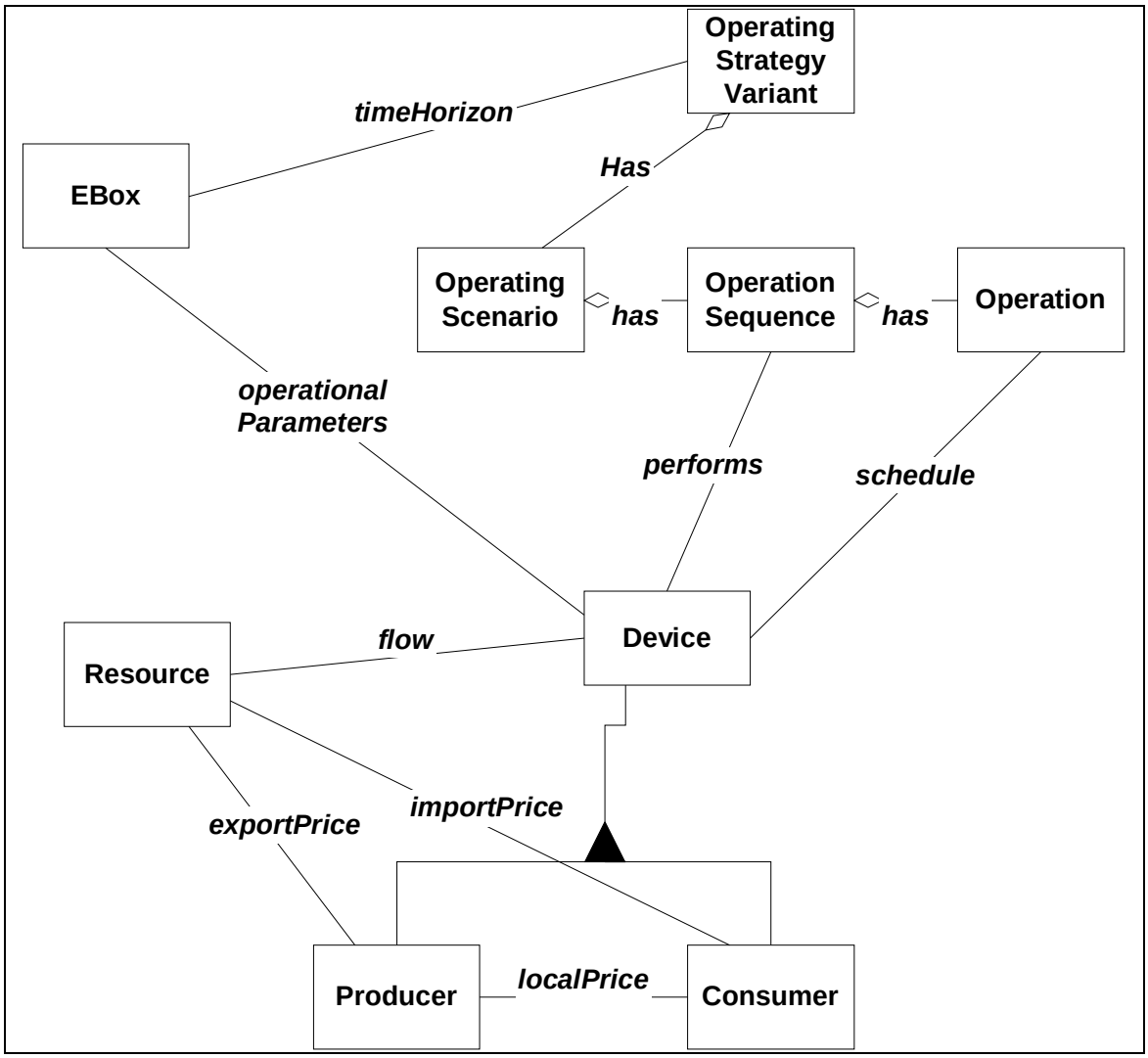
Figuur 3.1 *Context diagram E-Box*

Een E-Box is verbonden met een aantal entiteiten, waarmee informatie-uitwisseling plaats vindt. De E-Box verzamelt gegevens van apparaten omtrent hun operationele status. *FixedOperationDevices* hebben niet de mogelijkheid hun bedrijfsstrategie in de tijd aan te passen. Onder deze categorie vallen verlichting, audio, video, multimedia en PC's. Voor *ShiftableOperation Devices* kan de E-Box binnen bepaalde grenzen invloed uitoefenen op het bedrijf. In het algemeen kunnen apparaten energie consumeren of energie produceren of beide. Tevens zijn er apparaten, die energie in enigerlei vorm kunnen opslaan.
Voorbeelden van schakelbare apparaten zijn wasmachines, drogers, verwarmings- en koelapparatuur, warmtepompen, warmtepompboilers en gecombineerde warmte/stroom-producenten als micro-WKK-installaties en brandstofcellen. Om een optimale strategie te kunnen bepalen heeft de E-Box externe informatie nodig. Een deel daarvan is real-time price informatie. Deze wordt door een Energie Market portal geleverd. Een ander deel (RealTime & Expected Meteo) kan informatie zijn over momentane en verwachte weersomstandigheden. Laatstgenoemde informatie kan dienen voor regeling van de zonwering, regeling van de benodigde ventilatie, voorspelling van de hoeveelheid PV-energie en voor bepalen van de optimale stookstrategie.

De E-box levert apparaat specifieke parameters aan de energy management service provider. De service provider levert de E-Box met een bepaalde regelmaat de prognose van een aantal bedrijfsparameters. Teneinde de bewoner/gebruiker in staat te stellen zijn eigen geïndividualiseerde voorkeur omtrent energie-mix en kosten besparing te geven en inzicht te krijgen in de energie prestatie en de functionaliteit dient ook een interface naar de gebruiker gedefinieerd te worden. Voor de lifestyle van de gebruiker zijn bijvoorbeeld de comfort voorkeuren als de besparingscriteria (kosten, energiebesparing) alsmede de aan-/afwezigheid van belang. Een belangrijke parameter in dit kader is de gewenste energie-mix; de verhouding tussen duurzame opgewekte, groene en grijze stroom of tussen "groen" of grijs aardgas.

De gebruiker zal deze taakstelling via een eigen interface definiëren Binnen het haalbaarheidsproject houden we ons niet bezig met de exacte manier waarop dit soort informatie verzameld wordt. In verdere technische detailspecificatie projecten wordt hier nader op ingegaan.

In het klassendiagram in figuur 3.2 wordt de context verder uitgewerkt in een aantal objecten.



Figuur 3.2 *Klassendiagram E-Box*

In het klassendiagram worden de verschillende objecten, die een rol spelen in de E-Box aan elkaar gekoppeld. Een E-Box berekent met een bepaalde tijdshorizon een aantal varianten van het bedrijf van apparaten in de tijd. De E-Box kiest die Scenario-variant, die het best overeenkomt met de wensen van de gebruiker. Een variant beschrijft alle OperationSequences

van apparaten. Hierbij gaat het zowel om de stuurbare als niet-stuurbare apparaten. De laatste categorie speelt een rol teneinde een optimale energiemix te verkrijgen. Een *OperationSequence* van apparaten bestaat uit een of meer processtappen. Bijvoorbeeld het proces "wassen" kan bestaan uit water verwarmen, draaien, spoelen en centrifugeren. Deze nemen ieder een bepaalde fractie van het nominaal vermogen van het apparaat gedurende een bepaalde periode. Zowel een *OperationSequence* als een individuele *Operation* kunnen door de E-box schakelbaar zijn. *Operation*s leiden tot productie en/of consumptie van *Resource*s. Belangrijk hierbij is, dat *Producer*s, als er gelijktijdige vraag is van *Consumer*s, op grond van tariefverschillen, kunnen kiezen tussen aankoop op de energiemarkt via de *importPrice* of aankoop via Producers tegen de *exportPrice*. Vanwege transportkosten zal de *exportPrice* lager zijn dan de *importPrice*. Naast informatie ten behoeve van de optimalisatie van het scenario ontvangt de E-Box ook operationele parameters, die inzicht geven in het verbruik en in de onderhoudstoestand van de apparatuur.

Een EBox als energiemanager zorgt voor het bepalen van aanschakeltijdstippen van stuurbare apparaten. Voorgenomen *OperationSequence*s worden verzameld in een *Scenario*. *OperationSequence*s zijn verzamelingen van *Operation*s in een bepaalde volgorde. Een voorbeeld van een *OperationSequence* is bijvoorbeeld een wasprogramma met verwarmings, spoel en centrifugeringsstappen. Zowel *OperationSequence*s als *Operation*s kunnen schakelbaar zijn. Een *OperationSequence* werkt op een *Device*. Een *Device* kan zijn een *Consumer* of *Producer* van *Resource*s. Tevens kan een *Device* de ene resource consumeren en een of meerdere andere produceren. Voorbeeld hiervan is een micro-WKK of een brandstofcel, die gas consumeren en elektriciteit en warmte produceren. Tenslotte kan een resource op een vrije markt beschikbaar zijn en gekocht of teruggeleverd worden. Als in eigen productie kan worden voorzien, dan wordt kostentechnisch tegen het importtarief afgerekend. Vooral door strategisch met de inzet van een producerende verbruiker te gaan schuiven zijn kostenvoordelen te behalen. Op die manier kan een EBox locaal een stuk kosten en energie-mix optimalisatie doen. De kwantificering hiervan is te vinden in hoofdstuk 5.

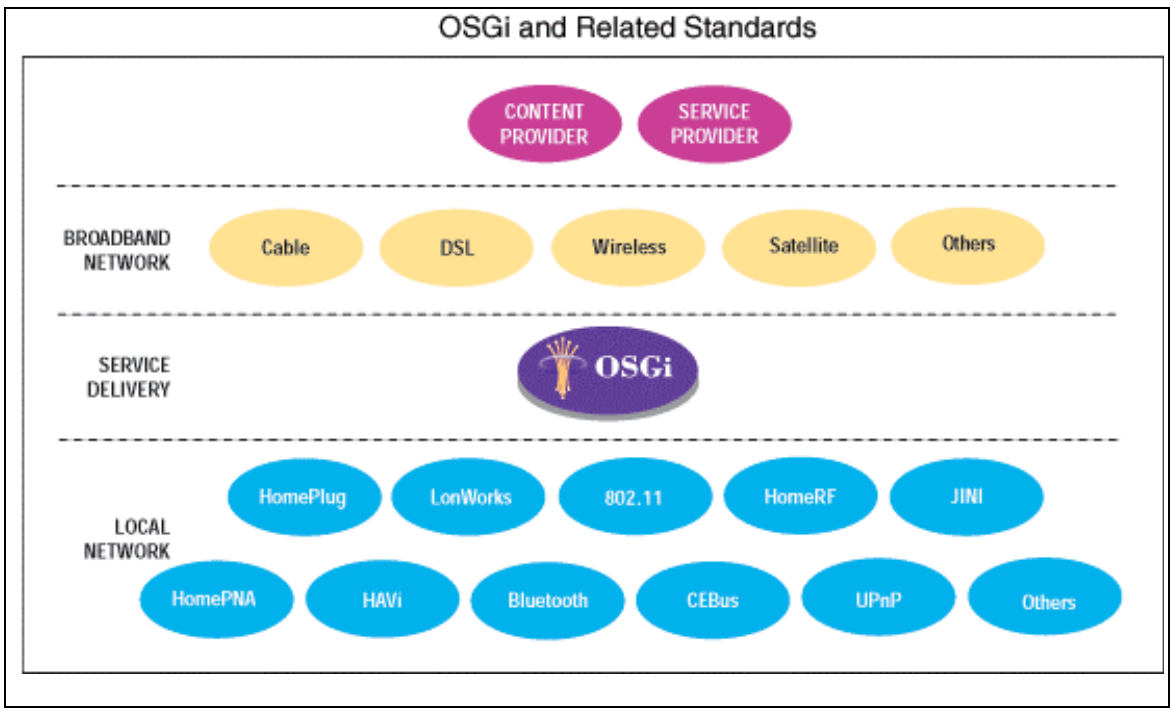
3.2 Implementatie via een thin client-server model en ASP

Bij gedistribueerde applicaties, rekenend op een aantal processoren in een netwerk, is een optimale verdeling van de rekentaken en de datastructuren, de applicatie context, van eminent belang. Het blijkt hierbij, dat "fat-client"-architecturen, waarbij de nadruk ligt op het overbrengen van de applicatielogica en data-structuren van de server naar de client, alleen voor een bepaald type applicaties voordelen bieden. Het brengen van een grote hoeveelheid applicatiecontext, bijvoorbeeld in de vorm van een Java-applet, naar een client blijkt echter vaak geen goed idee. Alleen al het software-onderhoud van de omgeving, waarin de client de code uitvoert, is al een onoverkomelijk struikelblok. Daarnaast is de extra hardware, die nodig is om de programma-code uit te voeren bezwaarlijk. Thin-clients in combinatie met servers op afstand genieten daarom vaak de voorkeur. Deze topologie kan hiërarchisch op meerdere niveau's in het netwerk worden afgebeeld: een aantal apparaten (als thin-clients) kan samen via een residential gateway worden aangesloten op een applicatieserver. Op zijn beurt kan de gateway voor kleine systemen in de woning als applicatieserver fungeren. In deze context is het een goede mogelijkheid data transport van de client via een WEBServer te implementeren. Ook is er een architectuur mogelijk, waarbij individuele apparaten worden aangesloten op een service-gateway, die een WEBServer bevat voor het data-verkeer naar buiten en een niet op IP gebaseerd protocol voor communicatie met de apparaten in huis is mogelijk. Voor invulling van het laatste stuk zijn er binnen korte tijd een groot aantal opties op de markt verschenen. De meest de op de voorgrond tredende zijn LONWorks, WebChip en ProSyst.
Binnen de software wereld zijn er op dit moment de Java gebaseerde J2ME en J2EE service implementatie modellen beschikbaar. Microsoft heeft een vergelijkbare architectuur binnen de .NET-architectuur ontwikkeld. Voordeel van dergelijke modellen is, dat communicatie over het ontwikkelen van applicaties plaats vindt in de vorm van eigenschappen van objecten in het

probleem domein en niet in termen van artefacten zoals netwerk-communicatie protocollen of embedded operating systeem primitieven.
Boven op J2EE of .NET bevinden zich ASP (Application Server Provider)-modellen, die door ontwikkeltools ondersteund worden. XML Web services maken het applicaties mogelijk te communiceren en gegevens te delen over het Internet onafhankelijk van het operating systeem of de programmeertaal. Tevens hebben deze pakketten een nauwe, transparante interactie met XML gebaseerde Web Services en daaronder liggende databases. Deze ontwikkelingen zorgen ervoor, dat het beheer van dit soort gedistribueerde applicaties mogelijk wordt.

3.3 De rol van OSG-I

OSGi is opgericht in maart 1999 met het doel een platform te bieden voor het ontwikkelen van open specificaties voor het leveren van dienstenbundels op het WEB. Daarbij fungeert de gateway als een brug tussen wide-area netwerken en local netwerken en apparaten. OSGi is opgericht door een vijftiental bedrijven; momenteel zijn er 60 bedrijven bij aangesloten. In Figuur 3.3 is te zien hoe OSGi de brug vormt tussen bijna alle in-home standaarden en wide-area netwerken.



Figuur 3.3 *OSGi en gerelateerde standaarden (© OSGi)*

Bovenaan in de figuur zijn de verschillende last-mile access typen aangegeven. Daaronder fungeert OSGi als een verzameling concepten, gemodelleerd als objecten in Java, met een aantal standaard programmeurs interfaces (API's). De definitie van de API's is erop gericht de levenscyclus van applicaties te managen, afhankelijkheden tussen diensten te beschrijven, de toegang en het aansturen van devices, resource management en beveiligingsaspecten te regelen. Interfaces naar het locale netwerk zijn generiek via een devicedriver model gedefinieerd. Als deze API's door gebruikers worden aangeroepen, worden er netwerk gebaseerde diensten aangeroepen. De gateway kan ook nieuwe versies van applicaties als .jar-files downloaden en installeren, terwijl het leveren van de service gewoon door kan gaan. De API's hebben als voornaamste taak het uitvoeren van dienstenapplicaties, het onderhouden en (her)configureren van apparaten. Tevens kunnen device drivers als .jar-bestanden op afstand geïnstalleerd en gedownload worden. OSGi vormt als het ware een operating systeem speciaal toegespitst op gateways.

Door de device- en netwerktype onafhankelijkheid van het locale netwerk is de communicatie tussen de service provider via de gateway transparant. Energiemanagement applicaties "zien" de eventueel verschillende interfaces en standaarden niet. Vergeleken met een PC-netwerk is er nauwelijks een rol voor een lokale systeembeheerder weggelegd; applicaties kunnen gecentraliseerd, grotendeels automatisch beheerd worden.

3.4 Koppeling van de gateway met het huisnetwerk

In de E-Box filosofie moet ieder energieverbruikend of producerend apparaat boodschappen kunnen uitwisselen met de centrale E-box. Op dit moment wordt door de elektronica-industrie gewerkt aan low-cost connectivity tussen apparaten. Zowel draadloos, via een bekabelde huisnetwerk infrastructuur als via bestaande telefoonlijnen in huis of via powerline communicatie (HomePlug) worden er op dit moment de nodige initiatieven ontwikkeld. De architectuur vereist echter geen grote data-communicatie bandbreedte of ingewikkelde data-communicatie protocollen tussen apparatuur. De veiligheids- en beveiligingsfilosofie is bottom-up. Een apparaat moet, als apparatuur op een hoger hiërarchisch niveau in het netwerk faalt, zelf verder kunnen. Alle apparatuur, die aangestuurd wordt door de E-Box, moet van een eerder genoemde standaard bus voorzien zijn.
Reeds jaren geleden zijn er speciaal voor toepassingen op kleine schaal in woningen "bussen" en datacommunicatie protocollen gedefinieerd. Voorbeelden hiervan zijn EHS, X10 en LON. Software die op dit soort apparatuur geïnstalleerd was kon via deze protocollen lokaal communiceren. De communicatie-software is speciaal voor een embedded real-time operating systeem geschreven. De hardware en software combinaties waren erg specifiek voor een bepaald type leverancier. De implementaties van toepassingen waren erg specifiek voor een bepaald protocol en voor een bepaald operating systeem. Door de opkomst van open standaarden verandert dit.
Zowel voor datacommunicatie als voor de inrichting van applicaties zijn er nu al standaarden of ze zijn ontwikkeling. Deze standaarden leggen het abstractieniveau hoger; communicatie en gedrag van een systeem zijn 'transparant' gemaakt en behoeven dientengevolge geen deel van de applicatie te vormen. Bij de systeemimplementatie wordt minder gebruik gemaakt van communicatie protocollen en operating systeem afhankelijke zaken en meer van uitontwikkelde componenten, die in de context van meerdere applicaties kunnen bestaan. Aan de componentkant zien we de ontwikkeling van micro-edities van Java en .Net op het microniveau van een apparaat en het verschijnen van grootschalige servicemodellen, geïmplementeerd in bijvoorbeeld het eerder genoemde J2EE en .Net/ASP. Het communicatie protocol, dat hierbij veelal wordt gebruikt, ook op niveau van de microprocessoren is het Internet-protocol.

De E-Box architectuur stelt hoge eisen aan dynamische (Net)configuratie, live-insertion van software updates en device drivers en gemak van installatie. OSG-I is vanuit deze eisen ontworpen en verschilt hierin aanzienlijk van bijvoorbeeld WebServer of PC-gebaseerde systemen. De afnemer van de service appliactie wordt niet in de hoek gedrongen van een PC-systeem en netwerkbeheerder. De filosofie van OSG-I is, dat na eenmalige installatie, geen verdere actie bij de afnemers nodig is.

3.5 Data transport in het netwerk en interfaces in apparaten

Binnen de consumenten elektronica industrie staan via communicatienetwerken bereikbare interfaces in apparaten uitgebreid in de aandacht. Belangrijke standaarden voor deze interfaces zijn Bluetooth, IEEE 802.11.15 [IEEE, 2002], als we naar draadloze communicatie kijken en HomePlug voor bedrade communicatie voor PLC-communicatie. De industrie streeft naar goedkope (< 3 dollar) eenvoudige modules, die aan apparaten kunnen worden toegevoegd. De energie-voorziening van de pico-processoren wordt over de gehele life-cycle gedekt door een batterij [Eyes, 2002]. Een belangrijk onderzoeksthema op dit moment is het definiëren van protocollen voor dynamisch configureren in een netwerk van dergelijke pico-processoren. Het gaat hierbij om het dynamisch optimaliseren van de netwerkconfiguratie als apparaten er aan toegevoegd of uit verwijderd worden. Belangrijk onderscheid hierbij is het al of niet mobiel zijn

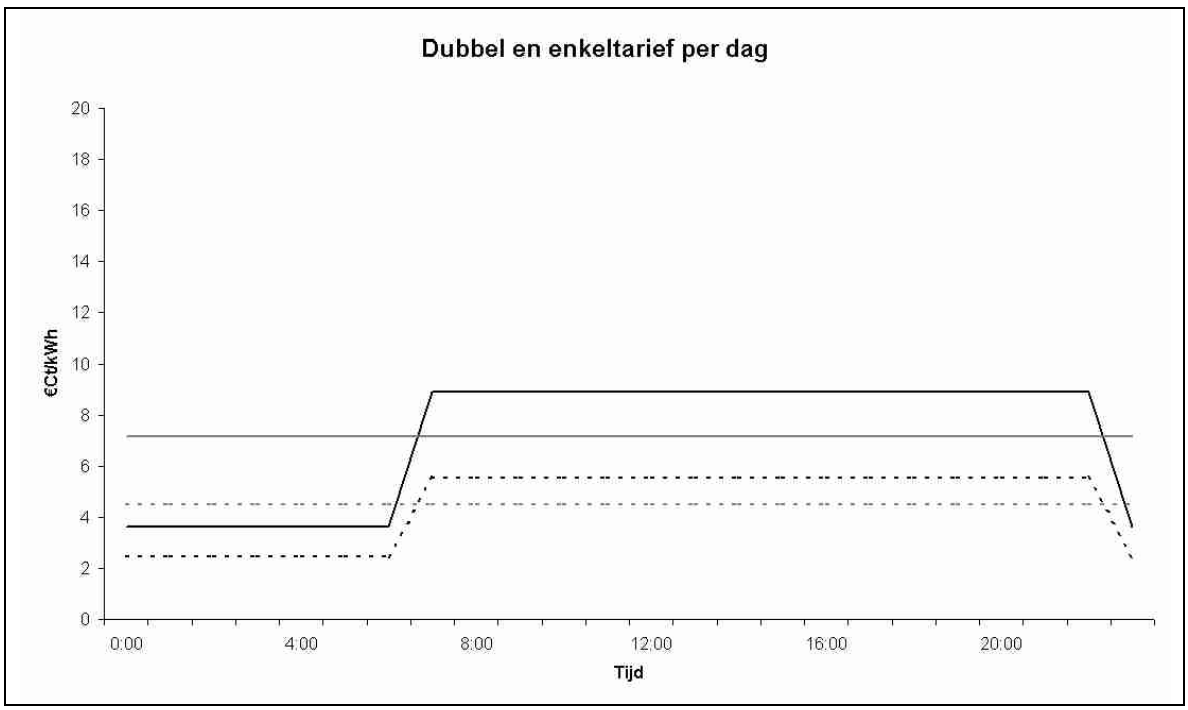
van deze pico-processornetwerken binnen deze statische dan wel dynamische device-configuratie omgeving.

4. HET E-BOX SIMULATIE MODEL

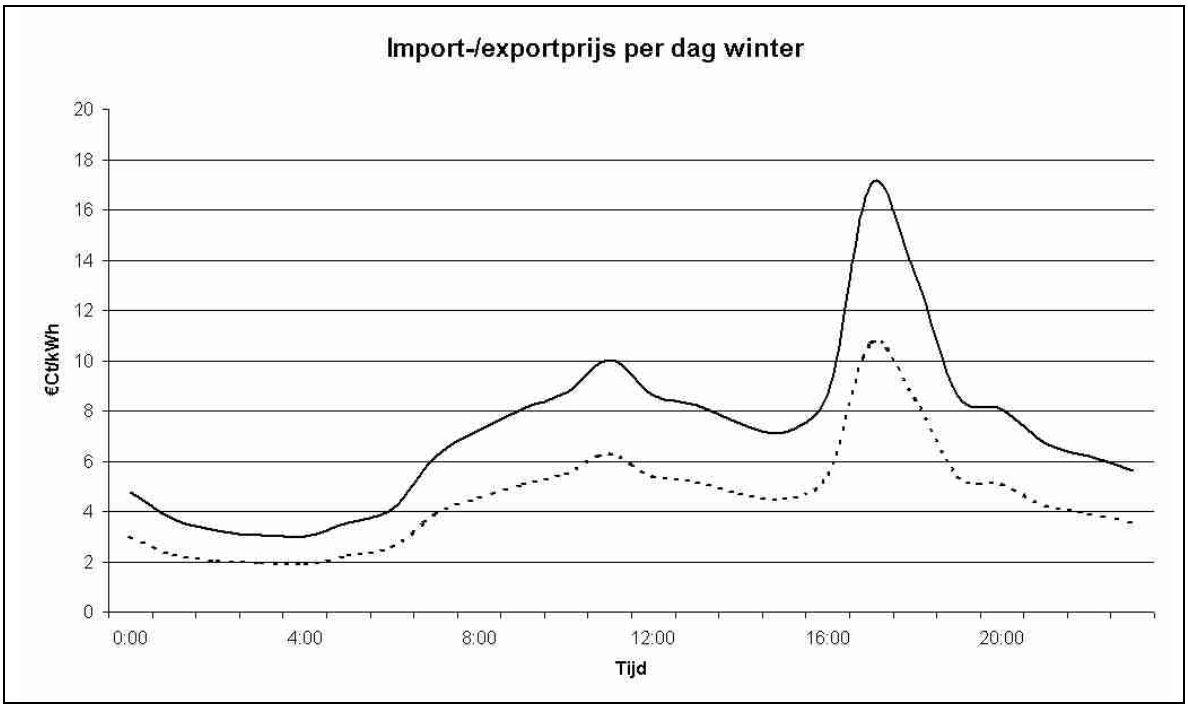
Er zijn, om inzicht te verkrijgen in besparingsmogelijkheden van energiemanagement op kleine schaal, een aantal gevallen met verschuifbare energievraag en met verschuifbaar aanbod doorgerekend. Daarbij zijn een aantal aannames gedaan en onderlinge verbanden gelegd, die in dit hoofdstuk worden toegelicht. In hoofdstuk 5 zijn de resultaten van de scenarioberekeningen te vinden.

4.1 Prijspaden van gas en elektriciteit

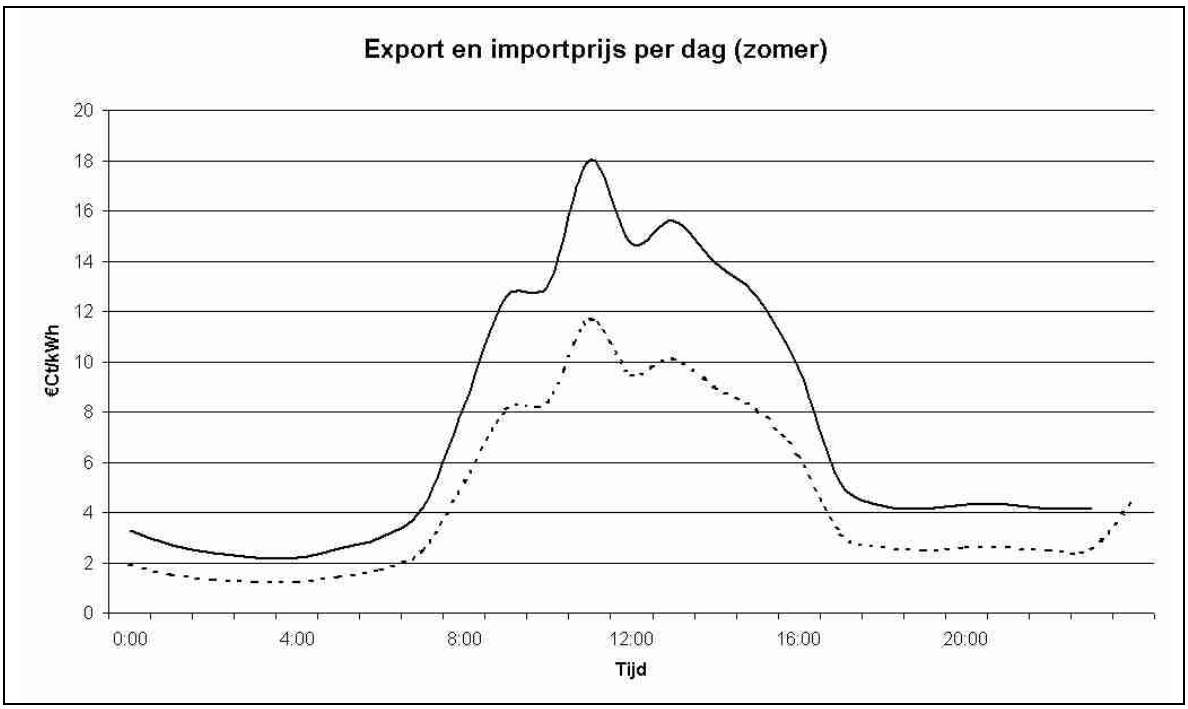
Binnen het E-Box simulatie model zijn representatieve tijdsafhankelijke elektriciteitsprijzen gebruikt voor zomer- en winterperiodes. Voor de gasprijs is een voor 2002 geldende prijs van 42 €ct/m^3 verminderd met de energieheffing gebruikt. Voor stroom zijn er vier prijspaden (zie Figuur 4.1 a,b en c), ieder bestaand uit een import-(verbruik) en een exporttarief (teruglevering). Het exporttarief is lager omdat er geen distributiekosten worden meegenomen. Eigen opwekking levert dus vermeden distributiekosten. Een eenheidstarief (SM) wordt vergeleken met een dubbelmeter tarief (DM) en, afhankelijk van de tijd van het jaar, waarin het gebruik plaats vindt, twee APX-tarieven. APX-tarieven (APX-S en APS-W) zijn bepaald voor de zomer en de wintersituatie door middeling over een maand. Omdat alleen de invloed van prijsdynamiek binnen de simulatie wordt bekeken, zijn de APX-tarieven geschaald, zo dat bij constante afname over een dag van een vast vermogen, binnen alle tarieven dezelfde totaalprijs tot stand komt. De transport- en distributiekosten in het APX-geval zijn bepaald aan de hand van toegerekende transport- en distributiekosten, voor de enkel- en dubbeltariefmeters.



Figuur 4.1 *Gebruikte elektriciteitsprijzen (dubbele meter en enkele meter)*



Figuur 4.2 *Prijsschema wintersituatie*

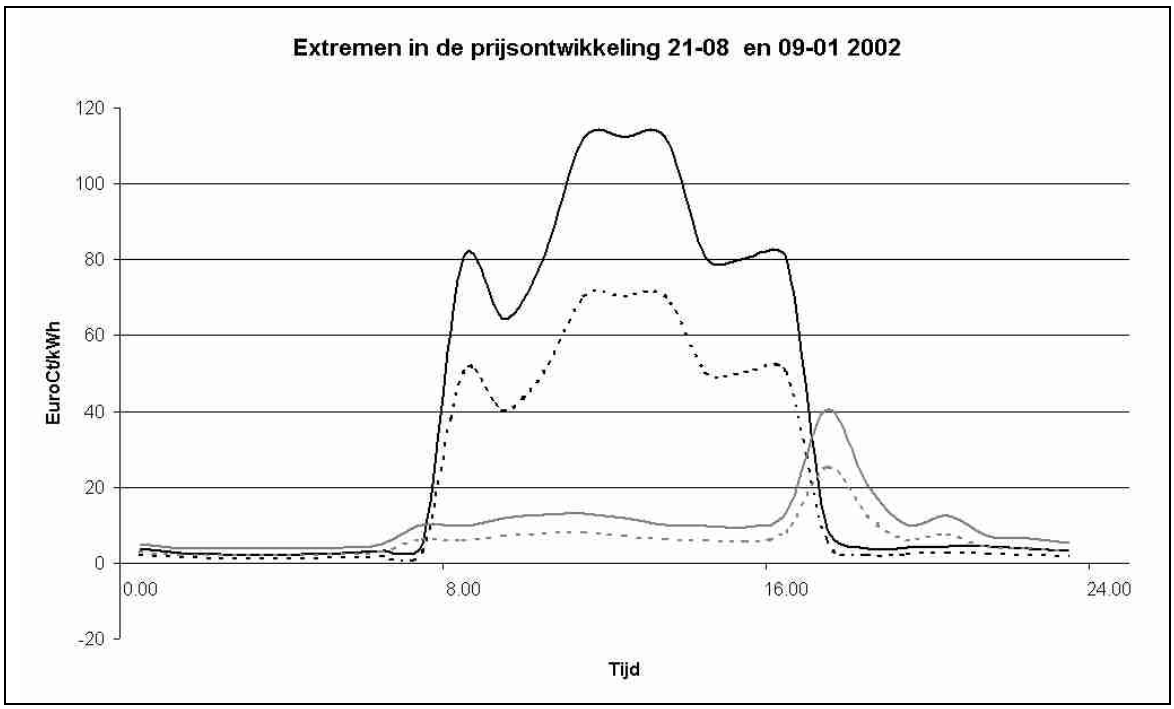


Figuur 4.3 *Prijsschema zomersituatie*

Het blijkt, dat het distributiedeel in een dubbel-tarief situatie voor een lage stroomprijs lager is dan voor een hoge stroomprijs. De transportkosten zijn daarom grofweg evenredig met de prijs verondersteld. In de import-electriciteitsprijs zijn dus de volgende componenten opgenomen:

- Een APX-deel gebaseerd op de tijd van het jaar en het tijdstip van de dag met een uursresolutie.
- Een tijdsafhankelijk distributiedeel gebaseerd op het distributiedeel voor hoog- en laagtarief.

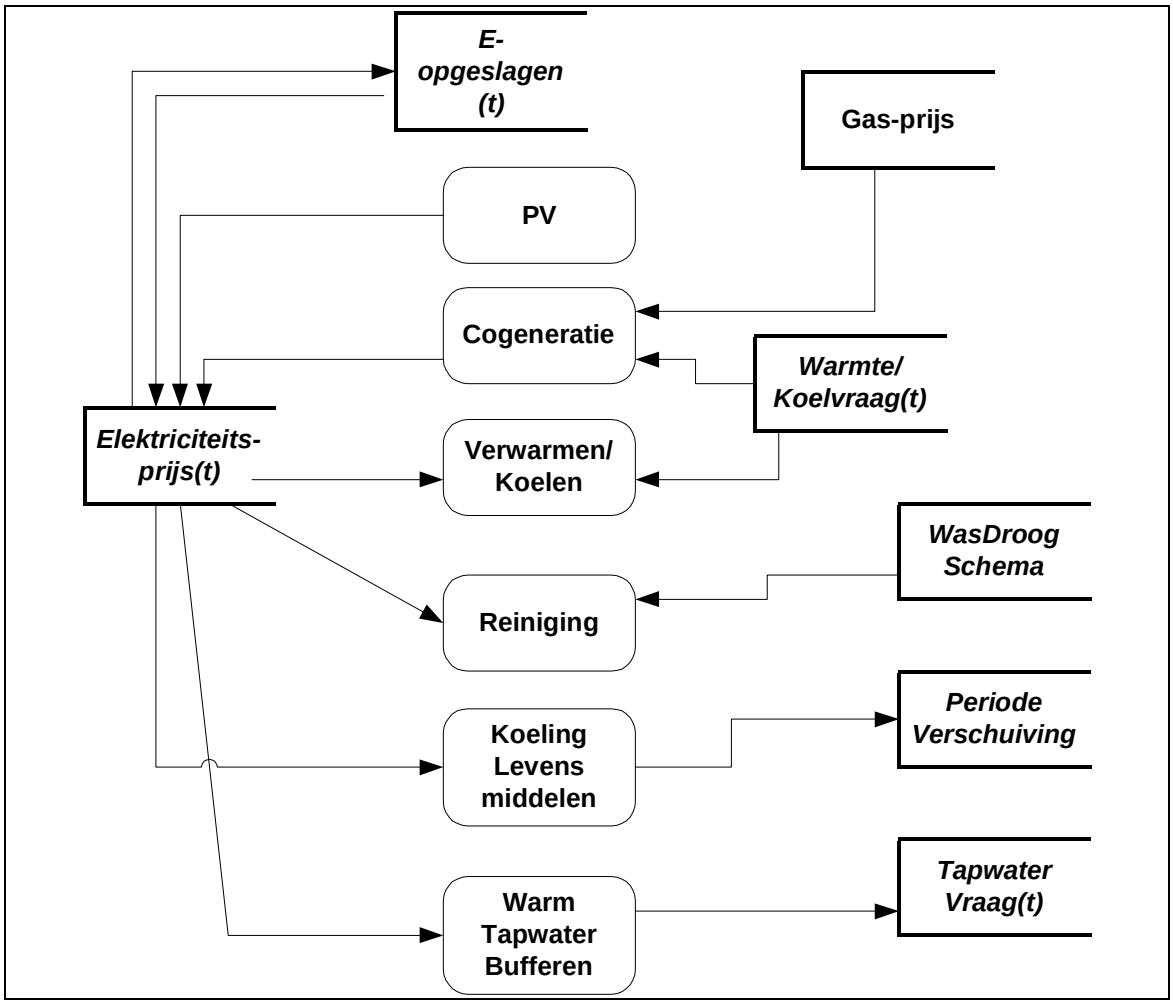
Bij de beschouwing wordt de REB (regulerende energiebelasting) en btw buiten beschouwing gelaten. Deze zou bij levering moeten worden opgeteld; bij duurzame productie zouden eventueel groencertificaten verzilverd kunnen worden. Omdat de component in beide gevallen een constante, niet tijdsafhankelijke factor representeert, zal deze niet van invloed zijn op de globale tendens in de resultaten. In de APX-schema's is er 's zomers vooral 's middags gelegenheid voordeel te halen door aan het net te leveren dan wel vraag te vervroegen of uit te stellen. 's Winters heeft het tussen 6 en 7 uur 's avonds het meeste nut lokaal aan het net te leveren. Om inzicht te verkrijgen in situaties met grote prijs fluctuaties zijn er ook berekeningen uitgevoerd met de APX-prijsprofielen, die de grootste prijsfluctuaties van de desbetreffende maanden opleverden. Deze zijn geïllustreerd in Figuur 4.4.



Figuur 4.4 *APX-prijzen op 9 januari 2002 (licht) en 21 augustus 2002(donker)*

4.2 Beschouwde processen en hun onderlinge samenhang

Zoals uiteengezet in hoofdstuk 2 zijn er alleen in de tijd verschuifbare processen in de woning meegenomen zoals die in een typische woning kunnen gelden. De samenhang en onderlinge invloed van de verschillende processen in het model is weergegeven in Figuur 4.5.



Figuur 4.5 *Onderlinge afhankelijkheden in het simulatiemodel*

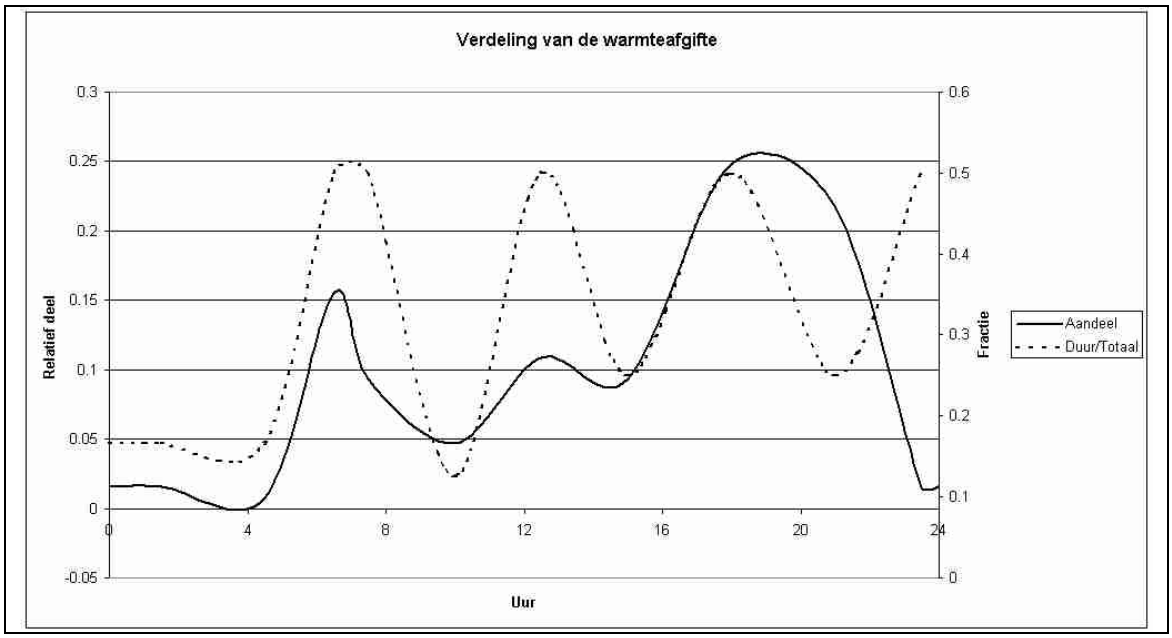
De cursief weergeven entiteiten in het model representeren de variabelen. De afgeronde rechthoeken komen overeen met de processen, die in de scenario's zijn opgenomen. Met de processen zijn scenario's geformuleerd, die logische koppelingen bevatten. Als voorbeeld kan men denken aan het op elkaar afgestemd bedrijven van co-generatie van warmte en stroom en apparatuur voor reiniging in de winter.

4.2.1 Winter-scenario voor ruimteverwarming

Het winter-scenario is grotendeels afhankelijk van het type gebruik van de woning en de lifestyle van de bewoners. Voor het voldoen aan de warmtevraag wordt een gemiddeld gasverbruik per stookdag van 6,64 m3/dag aangenomen [BAK, 2000]. Dit verbruik is vertaald in een over de dag te verdelen warmtevraag. Om aan de warmtevraag te voldoen in verschillende scenario's wordt naast een gasketel met co-generatie van elektriciteit, een elektrische verwarming en een elektrische warmtepomp met een COP van 2,5 gedefinieerd. Het elektrisch rendement van de warmtepomp werd gedefinieerd op 10%. Co-generatie kan via een brandstofcel of een •-WKK, gebaseerd op een brandstofcel of een Stirling motor, worden gerealiseerd.

Voor verwarming wordt een bedrijfsstrategie gevolgd zoals weergegeven in Figuur 4.6. De doorgetrokken lijn vertegenwoordigt het percentage van het afgenomen vermogen per tijdseenheid; de lijn modelleert de verdeling van de vereiste warmteproductie per dag. De stippellijn representeert de verhouding tussen duur van bedrijf en tijdsduur, waarbinnen dit bedrijf ingepland moet worden; de lijn modelleert dus als het ware de vraag-articulatie. Een gearticuleerde vraag leidt tot een stringente beperking van de tijdsduur, waarbinnen de

installatie moet worden bedreven; een niet gearticuleerde vraag duidt op een langere tijdsperiode, waarbinnen levering van de resource (in dit geval warmte) is toegestaan.

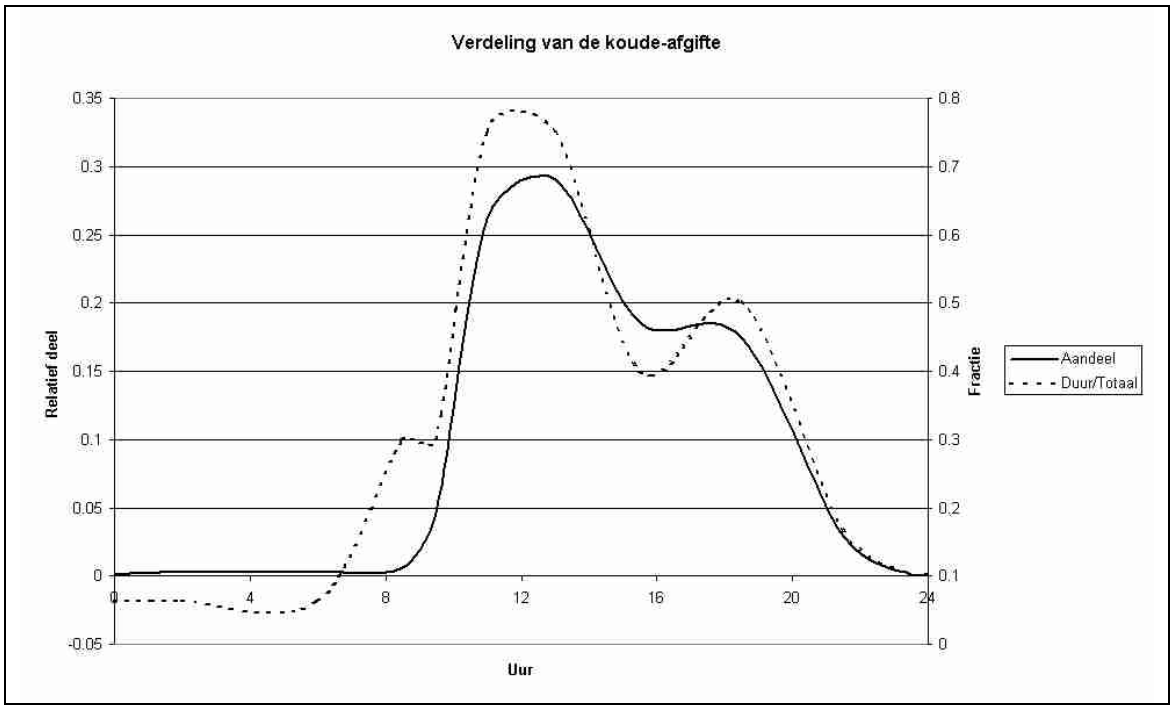


Figuur 4.6 *Verdeling van de warmteafgifte en intensiteit afgifte*

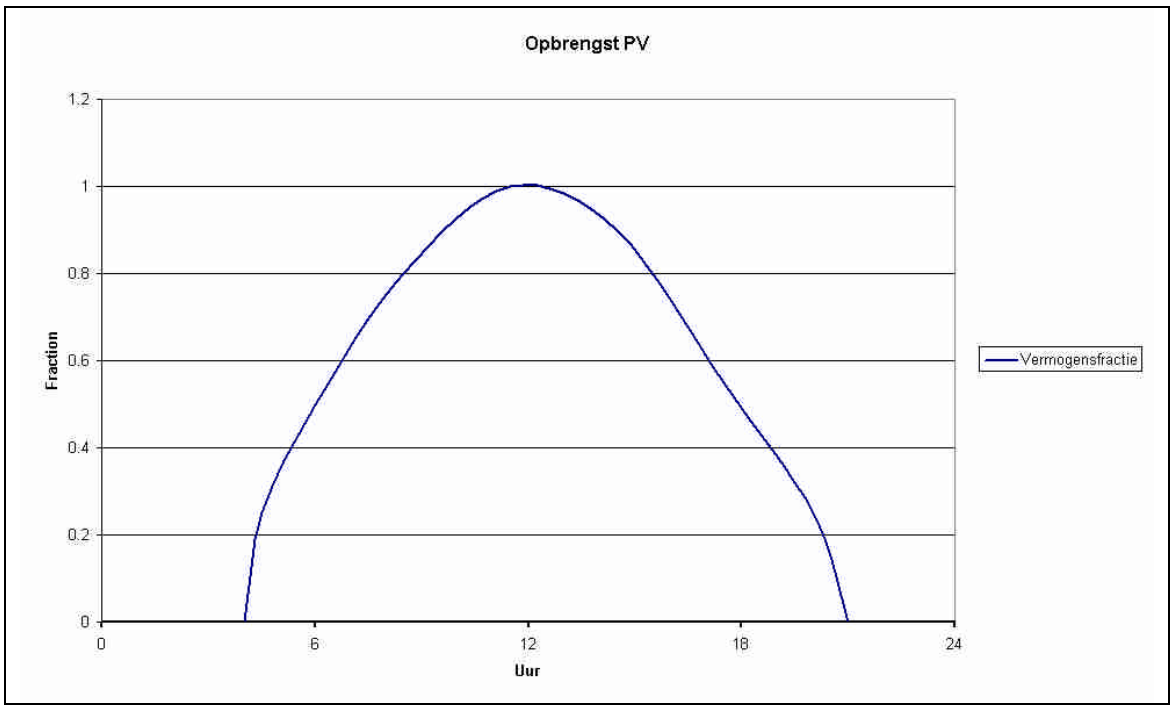
De grafiek representeert een situatie, die een duidelijk gearticuleerde vraag rond 8, 12:30 en 18 uur heeft. De bulk van de warmtevraag speelt zich 's avonds af. Afhankelijk van de life-style kunnen deze grafieken natuurlijk per huishouden enigszins verschillen.

4.2.2 Zomer-scenario voor ruimtekoeling

Volgens in het jaar 2000 uitgevoerd onderzoek [BEK, 2000] heeft 1 à 2 procent van de huishoudens airconditioning. Bij een warmtepomp moeten, om warmteproductie te verkrijgen, de condenser en de verdamper omgedraaid worden. Het gemiddelde verbruik in deze categorie is 648 kWh per jaar. Als koelvraag kan van de BEK-cijfers voor opgesteld koelvermogen in woningen op 7.2 kWh per dag (648 kWh voor 90 koeldagen) worden afgeleid. Het zomer-scenario is gedefinieerd met een grootste koelvraag in de periode tussen 14:00 en 16:00. Het gewenste koelvermogen per dag is afgeleid van het gemiddeld verbruik van koelapparatuur. De warmtepomp staat dan 800 uur per jaar aan met een vermogen van 810 W. In Figuur 4.7 zijn de verdeling van de koelvraag en de vraagarticulatie weergegeven.
In zomer-scenario's is ook rekening gehouden lokaal bedrijf van PV-cellen. De opbrengst van de PV-installatie is weergegeven in Figuur 4.7. Het elektrisch vermogen van de zonnecellen is gesteld op 300 Wp.



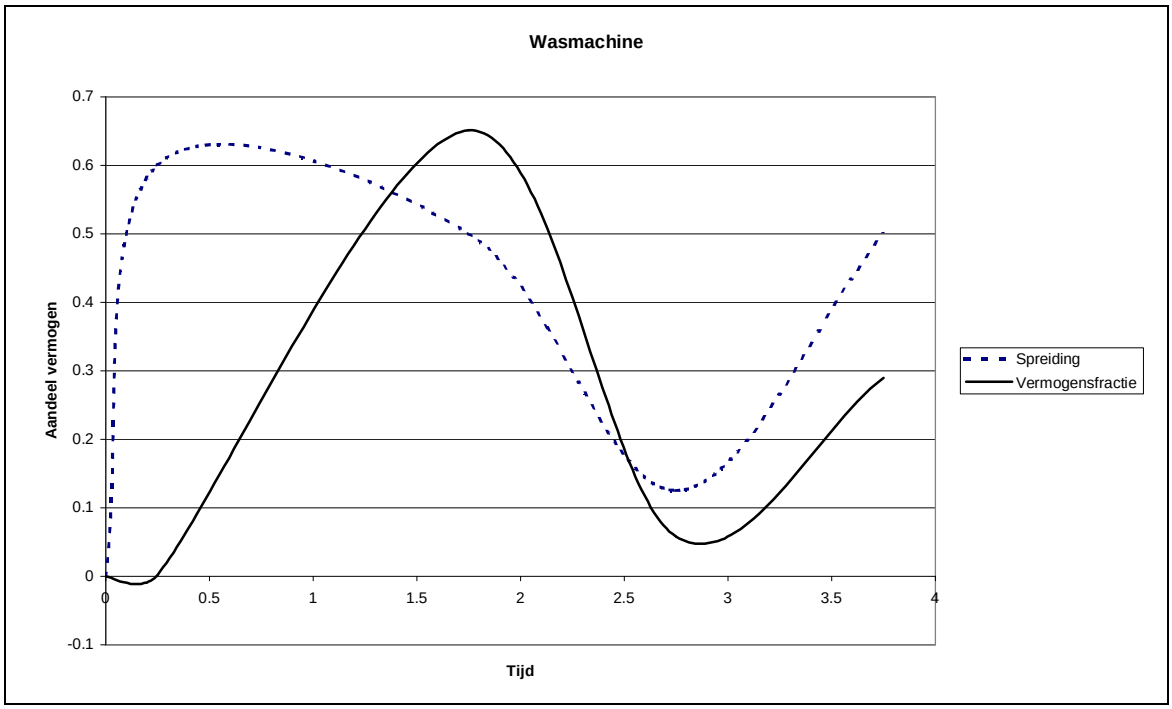
Figuur 4.7 *Verdeling van de koelvraag en de intensiteit van de vraag*



Figuur 4.8 *Relatieve opbrengst PV*

4.3 Elektrische vraag voor reiniging

Het wasproces is onderverdeeld in een aantal tussenstappen (wassen, spoelen, centrifugeren en drogen). De verdeling van de vraag is weergegeven in Figuur 4.9. Het maximum vermogen van de wasmachine is op 2000 Watt gesteld en het verbruik voor het gehele proces inclusief drogen is dan bijna 6,9 kWh. In de berekeningen werd het totale proces als verschuifbaar tussen 0 en 24 uur gedefinieerd. De tussenstappen hebben ieder een eigen maximale verschuifbaarheid.



Figuur 4.9 *Vermogensvraag reiniging in de tijd en toegestane spreiding van de vraag*

4.4 Intermitterende elektriciteitsgebruikers (koelkasten, vriezers)

Bij grotere installaties in de industrie (koelhuizen, assimilatiebelichting) worden met dit type apparaten de grootste besparingen door demand side management gehaald. Dit type apparaten heeft een binnen een bepaalde tijdsperiode planbaar inschakeltijdstip. Er zijn per dag een aantal van dit soort vaste periodes gedefinieerd. Achterliggende gedachte is, dat aan kwaliteitseisen omtrent het te bewaren product kan worden voldaan als er over een niet te lange periode kan worden voor- of nagekoeld. Een intermitterende vriezer/koeler is in het model opgenomen met een vermogen van 200 Watt, dat in iedere periode van 3 uur gedurende 0,5 uur wordt ingezet.

4.5 Warm tapwater vraag

Voor warm tapwater is een elektrische boiler met een inhoud van 100 liter een vermogen van 4 kW gedefinieerd. Er wordt van uitgegaan dat de totale voorraad per dag wordt benut en dat verwarming plaats vindt van 15 tot 60 graden Celsius.

4.5.1 Inzet van buffers voor warmte en elektriciteit

Er is uitgegaan van een elektriciteitsbuffer met een capaciteit van 6 kWh en een rendement voor teruglevering van 70%. Als warmtebuffer wordt een capaciteit van 45 GJ aangehouden, wat overeen zou kunnen komen met bijvoorbeeld een waterzak met een inhoud van 10 m^3 en een rendement voor teruglevering van 100% over een temperatuurtraject van 15 tot 60 graden.

5. ENERGIE- EN KOSTENBESPARINGSPOTENTIEEL

Met de kentallen van de in het vorige hoofdstuk besproken apparaten zijn een aantal scenario's doorgerekend. De apparaten representeren een tijdsafhankelijk vraag- of aanbodpatroon van energiedragers in de tijd of ze combineren de vraag naar een resource met aanbod van een of meer resources. Alle bedrijfsvarianten worden doorgerekend op kosten door bedrijfsvarianten in kleine tijdsstapjes te variëren. De optimale grootte van de tijdsstapjes komt voort uit een voorrekenstap, waarin de gevoeligheid werd bepaald. Uit de individuele resultaten werd tevens een standaardafwijking bepaald.

Prijspad	Minimaal	f	Gemiddeld	f	Maximaal	f	Sigma
APX Januari	16.01	0.43	37.90	1.01	84.97	2.27	16.81
APX0901	19.35	0.52	54.74	1.46	186.12	4.96	35.66
APX2108	11.32	0.30	196.99	5.25	589.41	15.72	218.92
APX Augustus	11.55	0.31	38.23	1.02	90.39	2.41	26.77
Dubbele Meter	18.95	0.51	38.31	1.02	46.78	1.25	12.59
Een Meter	37.50	1.00	37.50	1.00	37.50	1.00	0.00

Tabel 5.1 *Vergelijking prijzen (€ct/dag) voor bedrijf van een elektrische boiler voor verwarming van 100 liter water van 15 naar 60 °C*

5.1 Kostenscenario's bij prijssturing elektriciteitsafname alleen

Uitgaand van de in het vorig hoofdstuk gepresenteerde apparaten zijn een aantal kostenberekeningen over een dag gemaakt. Het eenvoudigste voorbeeld is de verwarming van een heet water buffer met gebruik van elektriciteit. De scenario's voor bedrijf van een elektrische boiler met een te vullen capaciteit van 100 liter per dag in een enkeltarief, dubbeltarief en APX-prijzenschema van januari en augustus zijn gegeven in Tabel 5.1. In kolom f staat de vermenigvuldigingsfactor ten opzichte van de enkelvoudig tarief variant.
Zoals verwacht leveren de twee APX-prijsschema's het grootste kostenbesparingspotentieel. Het financiële voordeel van een elektrische boiler met APX-sturing is in de zomerperiode het grootst. Nemen we ook de prijsontwikkeling mee op de dagen met de duurste real-time energieprijzen (9 januari voor de winterperiode; 21 augustus voor de zomerperiode), dan zijn er verschillen tot een factor 52.

5.2 Prijssturing bij verschillende scenario's

Tabel 5.2 geeft de combinaties van sturing van gekoppelde apparaten op grond van de bedrijfsscenario's in hoofdstuk 4 voor ruimteverwarming.

Apparaten	Prijspad	Min.	f	Gemiddeld	f	Max	f	Sigma
CV-gas	Gas	190.73	1.00	190.73	1.00	190.73	1.00	0.00
E-Warmtepomp	Dubbele Meter	207.65	1.09	207.65	1.09	207.65	1.09	0.00
E-Warmtepomp	Een Meter	188.17	0.99	188.17	0.99	188.17	0.99	0.00
E-Warmtepomp	APX-Januari	210.49	1.10	231.52	1.21	252.67	1.32	11.15
E-Warmtepomp	APX-0901	290.39	1.52	373.05	1.96	461.20	2.42	54.97
μ-WKK	Dubbele Meter	158.10	0.83	158.10	0.83	158.10	0.83	0.00
μ-WKK	Een Meter	160.94	0.84	160.94	0.84	160.94	0.84	0.00
μ-WKK	APX_Januari	150.73	0.79	154.08	0.81	157.41	0.83	1.76
μ-WKK	APX-0901	119.35	0.63	133.30	0.70	146.39	0.77	8.70
E-Ruimteverw.	Dubbele Meter	519.13	2.72	519.13	2.72	519.13	2.72	0.00
E-Ruimteverw.	Een Meter	470.43	2.47	470.43	2.47	470.43	2.47	0.00
E-Ruimteverw.	APX-Januari	526.24	2.76	581.16	3.05	638.25	3.35	32.62
E-Ruimteverw.	APX-0901	725.98	3.81	938.95	4.92	1,173.46	6.15	166.58

Tabel 5.2 *Kosten (€ct/dag) bij verschillende prijsgestuurde verwarmingsscenario's*

Zoals verwacht is kwantitatief het grootste voordeel te halen uit het op elektriciteitsprijs aansturen van elektrische verwarming. Omdat het tijdstip van warmtevraag overeenkomt met de top van het APX gebaseerde tarief en in het hoogtarief van de dubbele meter valt, scoort het vlakke elektriciteitstarief hier het laagst. De warmtepomp levert minder kosten dan gasverwarming doordat er een COP van 2.5 is genomen.

Apparaten	Prijspad	Min	f	Gemiddeld	f	Max	f	Sigma
Ruimtekoeling/PV	Dubbele Meter	38.06	1.27	38.40	1.28	38.68	1.29	0.20
Ruimtekoeling/PV	Een Meter	29.66	0.99	29.92	1.00	30.10	1.01	0.15
Ruimtekoeling/PV	APX-Augustus	54.90	1.84	55.55	1.86	56.34	1.88	0.41
Ruimtekoeling/PV	APX-2108	340.49	11.38	341.98	11.43	344.58	11.52	1.59

Tabel 5.3 *Afstemming ruimtekoeling op PV-aanbod*

De berekeningen voor het gedeeltelijk voldoen aan de koelvraag door PV zijn in Tabel 5.3 weergegeven. Door het samenvallen van koelvraag met de piek in de APX-prijzen leveren deze prijspaden de hoogste kosten. Een E-box heeft een geringe invloed op de kosten.

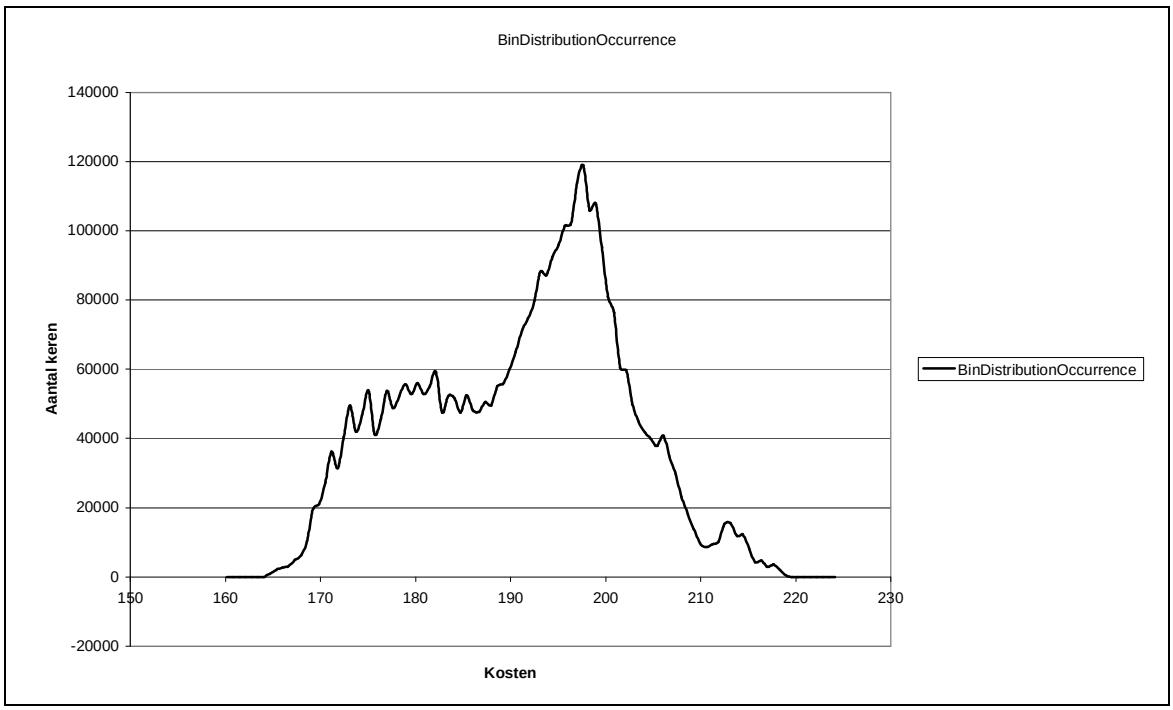
Apparaten	Prijspad	Min.	f	Gemiddeld	f	Max	f	Sigma
Lev. Midd. Koeling/PV	Dubbele Meter	-14.44	1.29	-13.78	1.23	-13.41	1.20	0.30
Lev. Midd. Koeling/PV	Een Meter	-11.36	1.01	-11.20	1.00	-11.03	0.98	0.12
Lev. Midd. Koeling/PV	APX-Augustus	-19.70	1.76	-19.01	1.70	-18.15	1.62	0.31
Lev. Midd. Koeling/PV	APX-2108	-125.45	11.20	-117.98	10.53	-110.75	9.89	3.46
μ-WKK + Wassen	Dubbele Meter	172.82	0.88	195.74	1.00	206.75	1.06	8.55
μ-WKK + Wassen	Een Meter	184.44	0.94	195.79	1.00	199.95	1.02	2.79
μ-WKK + Wassen	APX-Januari	164.64	0.84	191.32	0.98	219.40	1.12	10.90
μ-WKK + Wassen	APX-0901	135.31	0.69	187.89	0.96	265.75	1.36	23.39

Tabel 5.4 *Kosten (€ct/dag) voor op elkaar afgestemde bedrijfsschema's van opwekkers en verbruikers*

Indien we interne afstemming van vraag en aanbod meenemen dan zijn de combinaties PV met levensmiddelkoeling in de zomer en cogeneratie met reiniging in de winter de combinaties, die relatief het meest gebaat zijn bij prijssturing. Dit wordt geïllustreerd in Tabel 5.4. Optimalisatie van het bedrijf van PV met koeling van levensmiddelen levert relatief gezien wel een

aanzienlijk verschil. In absolute zin gaat het om €-centen per dag, tenzij de APX-ontwikkelingen op dagen met hoge prijsverschillen worden meegenomen. Door afstemming van micro-WKK met was- en droogprocessen is maximaal zo'n 30 procent voordeel (60 €-ct per wasbeurt als er gestookt wordt) te behalen. Een beeld van de spreiding van de kosten voor het geval co-generatie en reiniging in de winter periode is te vinden in Figuur 5.1.

Resumerend, is er in absolute zin de grootste kostenbesparing te halen bij het voldoen aan de warmtevraag door elektrische verwarming gestuurd door APX-prijssignalen. De relatief gezien grootste kostenbesparing is te halen bij het afstemmen van het wasproces op de elektriciteitsproductie van de co-generatie eenheid. Daarna volgt het bedrijven van de warmtepomp op prijssignalen van de APX. Het gezamenlijk bedrijven van de PV-installatie en een intermitterende koelkast levert in relatieve zin wel een besparing; in absolute zin echter niet.



Figuur 5.1 *Spreiding van de kosten (€ct/dag) bij bedrijf micro-WKK en reiniging gestuurd op APX-januari*

5.3 Buffering van warmte en elektriciteit

Apparaten	Prijspad	Min	f	Gem.	f	Max	f	Sigma
E-WP + W-buffer	Dubbele Meter	154.19	0.85	201.22	1.11	246.47	1.37	26.96
E-WP + W-buffer	Een Meter	145.31	0.80	180.52	1.00	204.11	1.13	21.49
E-WP + W-buffer	APX-Januari	129.75	0.72	223.68	1.24	322.06	1.78	30.90
PV+Ruimtek.+El-b.	Dubbele Meter	4.54	0.11	47.87	1.19	92.14	2.29	22.98
PV+Ruimtek.+El-b.	Een Meter	2.39	0.06	40.16	1.00	72.96	1.82	23.99
PV+Ruimtek.+El-b.	APX-augustus	39.77	0.99	63.56	1.58	114.09	2.84	17.66

Tabel 5.5 *Inzet van een energiebuffer voor opslag van energie in de vorm van elektriciteit resp. warmte*

In Tabel 5.5 zijn de meest veelbelovende gevallen uit het voorgaande uitgerekend met een opslagbuffer voor energie (zie 4.5.1). Zoals verwacht zijn de prijseffecten in alle scenario's, ook

die met een vaste elektriciteitsprijs, veel groter. Het meest ongunstige en meest gunstige scenario verschillen een factor 47 in prijs. Een geoptimaliseerd APX-prijsscenario voor bedrijf van een elektrische warmtepomp in combinatie met een warmtebuffer kan een besparing in de orde van 30 procent in het stroomverbruik opleveren. De kostenbesparing is dan zo'n 50 €ct per stookdag. In de praktijk echter zal een warmtepomp voor verwarming in Nederland alleen worden toegepast bij een warmtevraag, die lager is dan het gemiddelde.

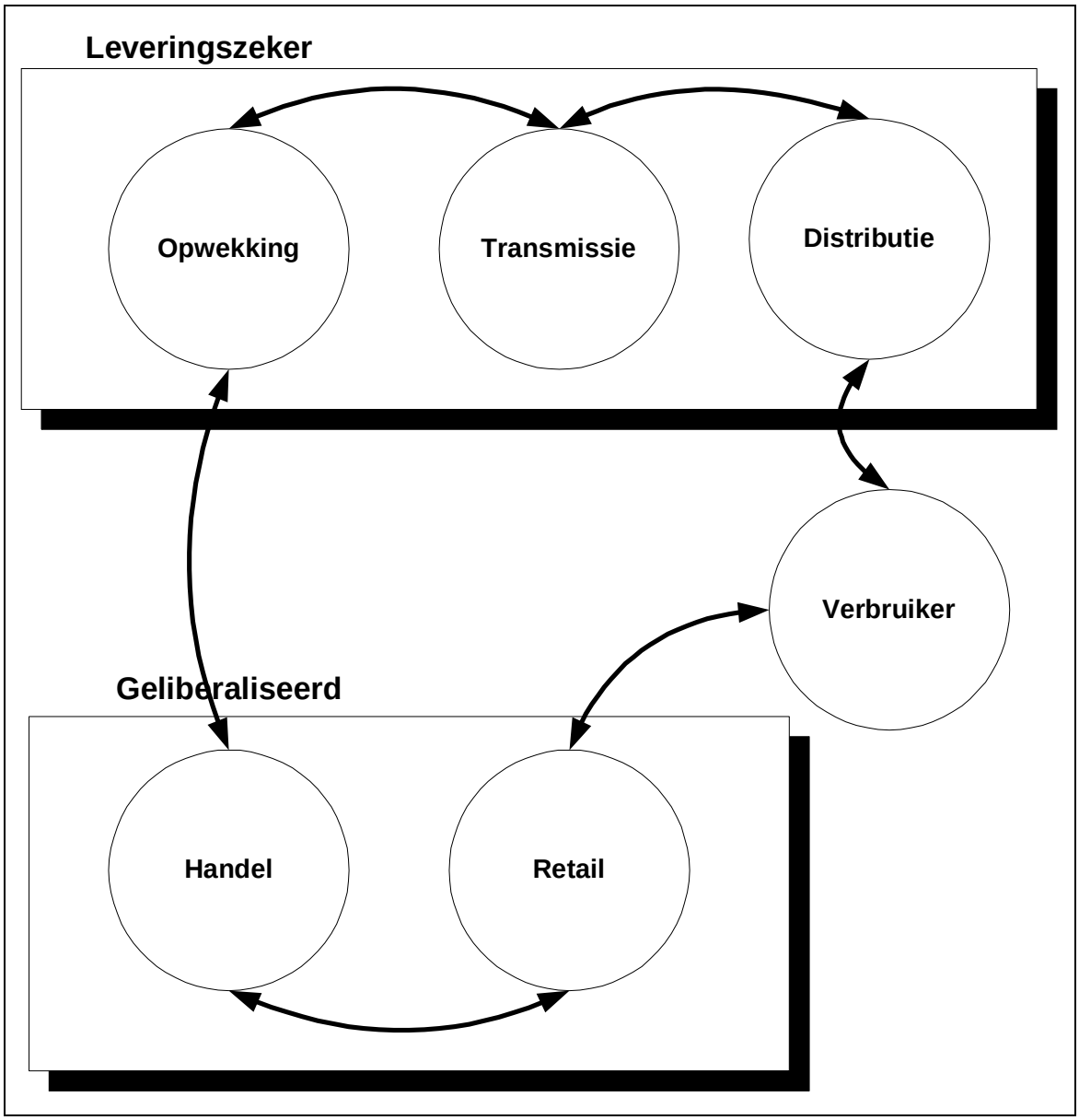
6. BUSINESS MODELLEN

De in het vorig hoofdstuk berekende mogelijkheden voor het gebruik van een E-box voor aansturing van apparaten laten zien, dat verwerking van APX marktprijzen in de tarieven kan leiden tot besparingen in de energiekosten. Het real-time prijsmechanisme levert tevens de mogelijkheid tot het bottom-up optimaliseren van het elektriciteitsnet speciaal daar waar het inzet van duurzame bronnen betreft. Tevens blijken er mogelijkheden voor applicaties, die van nieuwe technologie voor communicatie gebruik kunnen maken. Uit gebruikersonderzoeken blijkt een ontluikende marktvraag. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op mogelijke business modellen om gegeven de technologie-push en de marktvraag ook de zakelijke mogelijkheden vorm te geven. Dit hoofdstuk bouwt voort op eerder werk omtrent business modellering in het EU-PALAS-project [Sweet,2001].

6.1 Rollen van verschillende actoren

Uit de voorgaande hoofdstukken blijkt, dat er zowel aan de invoerkant als aan de uitvoerkant een differentiatie kan worden gemaakt van verschillende typen stroom. Men zou in QoS (quality of service) termen kunnen denken aan wasmachinestroom (levering verschuifbaar; grotendeels gebruikt voor omzetting in warmte) tot computerstroom (levering niet verschuifbaar; hoge eisen omtrent frequentie en voltage). Aan de opwekkingskant loopt het spectrum van windenergie-stroom (deels onvoorspelbaar; problemen met fase) tot gasturbine-stroom (snel opstartbaar, planbaar en volgens precieze specificaties te genereren). De gebruiker zal van deze technische aspecten niets willen weten; eerder zou deze een eenvoudig te gebruiken intelligente elektriciteit- en gasmeter willen hebben, die bijvoorbeeld naast kiloWatt-uren ook euro's en trends in verbruiken registreert en relateert aan referenties.

De verschillende rollen bij stroomlevering zijn weergegeven in Figuur 6.1. Vanwege de wettelijke eisen voor continuïteit van levering is de distributie infrastructuur sterk gereguleerd. Aan de andere kant is de prijsvorming van energie via het handelsmechanisme sterk geliberaliseerd en aan marktmechanismen onderhevig. Tevens zijn door de liberalisering een aantal rollen ontkoppeld. De distributiebedrijven, de handelsbedrijven en de meetbedrijven zijn in eerste instantie die bedrijven, die een E-box aan klanten beschikbaar zouden kunnen stellen. In principe zouden er per apparaat en per afrekenperiode op de markt comptabele meetgegevens moeten worden verzameld om de te realiseren voordelen te kwantificeren.
Voor distributiebedrijven heeft vraag-/aanbodsturing op kleine schaal alleen voordeel als het hen in staat stelt het net beter te bedrijven. Te denken valt dan aan "intelligent load-shedding"; het gecontroleerd beperken van de stroomvraag ten einde overbelasting van het net te voorkomen en het intelligent zekeren bij kortsluiting in het net.
Meetbedrijven profileren zich in de markt voor het midden- en kleinbedrijf steeds prominenter door op meer tijdstippen en on-line te meten. De kosten van sterk gedifferentieerd meten zullen echter door een meetbedrijf niet snel terugverdiend kunnen worden.
De op de markt actieve handelsbedrijven lijken in eerste instantie de meest voor de hand liggende aanbieders van een service gebruik makend van een E-box. Naar hun klanten kunnen ze zich onderscheiden doordat ze zich op het terrein, waarin ze goed zijn, aan hun klanten manifesteren. In het buitenland (Noorwegen) zijn woningbouwverenigingen nieuwe spelers op de energiemarkt geworden, die voor hun huurders gemeenschappelijk energie inkopen en met een E-box de verdere verdeling van energie onder hun huurders kunnen registreren en bepalen.
Vanuit de wens van terugdringing van het broeikas effect streeft men ernaar meer hernieuwbare bronnen (vaak met een kleine, onvoorspelbare capaciteit) in meer gedistribueerd opgezette stroomnetten in te zetten. Wil men deze met dezelfde betrouwbaarheid kunnen bedrijven als netten als grootschaliger netten, dan zal een parallelle ICT-infrastructuur hierbij nodig zijn.



Figuur 6.1 *Rollen in de energievoorziening*

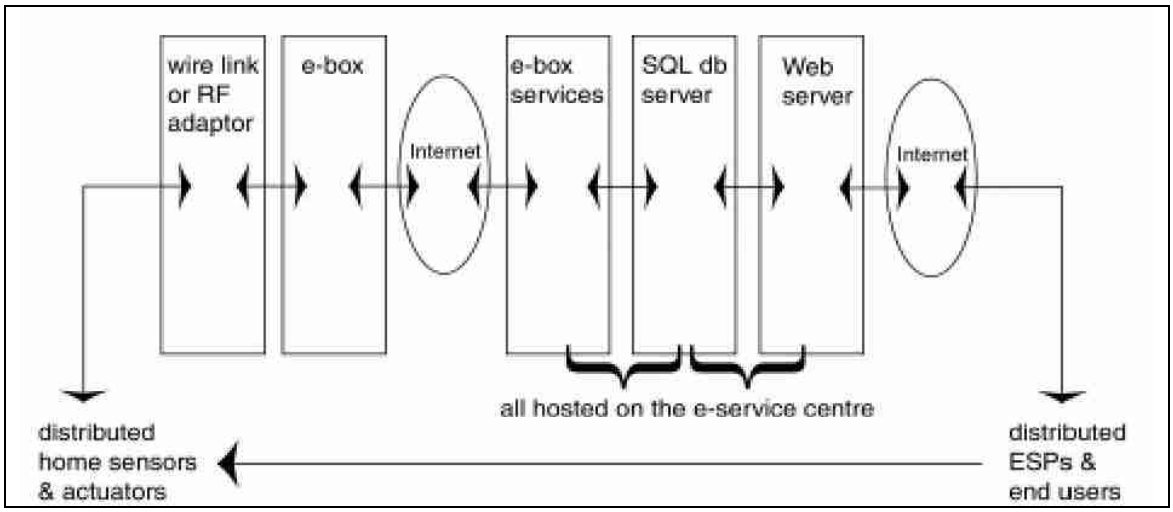
De in het vorige hoofdstuk berekende voor- en nadelen van de tijdsafhankelijke tarieven komen momenteel terecht bij de handelsbedrijven. Net als in landen, die eerder geliberaliseerd zijn, zal de traditionele stroom- en gasmarkt in Nederland een commodity-markt worden met lage marges. Dit kan ook betekenen, dat, indien een klant dit wenst, leveranciers risico's aan klanten zullen willen overdragen. Een manier om dat te doen is door het leveren van een stukje demand and supply management aan klanten in de vorm van een dienst, die via een E-box wordt verleend. De E-box maakt het ook andere partijen mogelijk zich op het geliberaliseerde deel van de markt te differentiëren. Te denken valt hierbij aan bijvoorbeeld woningbouwverenigingen, verenigingen van eigenaren en dergelijke.
Binnen de wereld van het beheer van utiliteitsgebouwen is gebouwbeheer en energie-management op afstand door energie service companies (ESCO's) gemeengoed. ESCO's zijn ook de aangewezen partijen om een elektriciteitsnet gekoppelde ICT-infrastructuur te onderhouden. In Nederland nemen energiebedrijven momenteel dergelijke ESCO's over om hun serviceaanbod te vergroten en hun klantenbestand beter uit te nutten.

6.2 E-service centra en ESCO's (Energy Service Companies)

Door e-Service centra wordt het e-Services netwerk onderhouden. Deze centra maken gebruik van hetzelfde platform en dezelfde infrastructuur, waar breedband applicaties gebruik van maken. In het EU-SmartHomes-project, dat in Zweden, Schotland en Tsjechië wordt uitgevoerd, wordt een praktijkexperiment uitgevoerd. Diensten, die daar worden uitgevoerd, zijn:

- Bewaking van het binnenmilieu.
- Metering van gas, elektriciteit en water.
- Regeling van de verwarmings- en koelingsstrategie.
- Energie gebruik per stadswijk, brandstoftype en emissies.
- Regeling van apparaten.
- Handel met duurzaam opgewekte energie.

Een architectuur-overzicht uit [SmartHomes,2001] is te vinden in Figuur 6.2.



Figuur 6.2 *Smarthomes architectuur*

6.3 Dienstverleners

De energiemarkt zal binnenkort ook voor eindgebruikers worden geliberaliseerd. Dit betekent, dat energiebedrijven zich zullen moeten onderscheiden van anderen. Dit kan door prijs-concurrentie, het leveren van extra diensten en flexibeler leveringsschema's en tarieven. Ook hier geldt, dat een ICT-infrastructuur om informatie over tarieven en gemeten gebruiken, als functie van de tijd, uit te wisselen belangrijker wordt.

Marktposities van energie-opwekkers worden beter, naarmate de grootte en handelsvolumes toenemen. Opwekking op kleine schaal in een grootschalig, hiërarchisch net heeft alleen al het probleem van het comptabel meten. De investeringen (400-800 Euro), die hiermee gemoeid zijn, hebben een terugverdientijd, die in geen relatie staat met het voordeel, dat in de loop der tijd verkregen wordt. In Nederland is de meteropname losgekoppeld van het energiebedrijf, dat de laagspanningsdistributie infrastructuur bezit. Als veel kleine opwekkers hun verbruik of de opbrengst van hun energie opwekkende systemen kunnen aggregeren, dan ontstaat er een infrastructuur, waar uitwisseling van status- en prijsinformatie een belangrijker rol gaat spelen dan in de huidige situatie. In de Scandinavische landen ziet men al, dat woning-bouwverenigingen een dergelijke rol voor zich gaan opeisen. Tevens ontstaan daar onder huizenbezitters samenwerkingsverbanden, die door collectieve contracten af te sluiten, lagere tarieven voor hun stroom weten te bedingen.

Daarnaast kunnen leveranciers zich niet alleen als apparaat verkopers profileren, maar zich ook als bedrijvers en onderhouders van de apparatuur gaan manifesteren. Wasmachine fabrikanten kunnen dan een wasservice gaan verkopen en door intelligente vraagsturing proberen zelf zo goedkoop mogelijk stroom in te kopen.

6.4 Het gebruikersperspectief

Volgens BEK en BAK-cijfers [BAK, 200/BEK, 200] zijn de energiekosten in Nederland te baseren op een gasverbruik van 1500 m^3 a 43.47 €-cent en 3300 kWh a 15.86 €-cent. (samen 1175 Euro). Doordat de gasprijs de laatste jaren sterker gestegen is dan de elektriciteitsprijs zal voor nieuwbouw de elektriciteitsprijs in de energiekosten een relatief zwaardere invloed hebben dan in de bestaande bouw omdat in dit segment het aandeel gas voor ruimteverwarming kleiner is. Gemiddeld zal bij een conservatief geschatte kostenbesparing van 10 procent en een terugverdientijd van 6 jaar een mogelijke aanschafprijs in de grootteorde van 500 Euro voor energiemanagement systemen in de gemiddelde Nederlandse woning te verantwoorden zijn. Voor huishoudens met eigen stroomopwekkingscapaciteit, dan wel opslagcapaciteit voor warmte of elektriciteit is de besparing groter en vergemakkelijkt een E-box de inbedding in het stroomnet. Als het systeem zodanig wordt geconfigureerd, dat een frequentere automatische meteropname wordt gefaciliteerd en extra informatie naar de gebruiker kan worden gepresenteerd, is er ook nog de mogelijkheid voor dienstverleners de service te verbreden en uit te breiden.

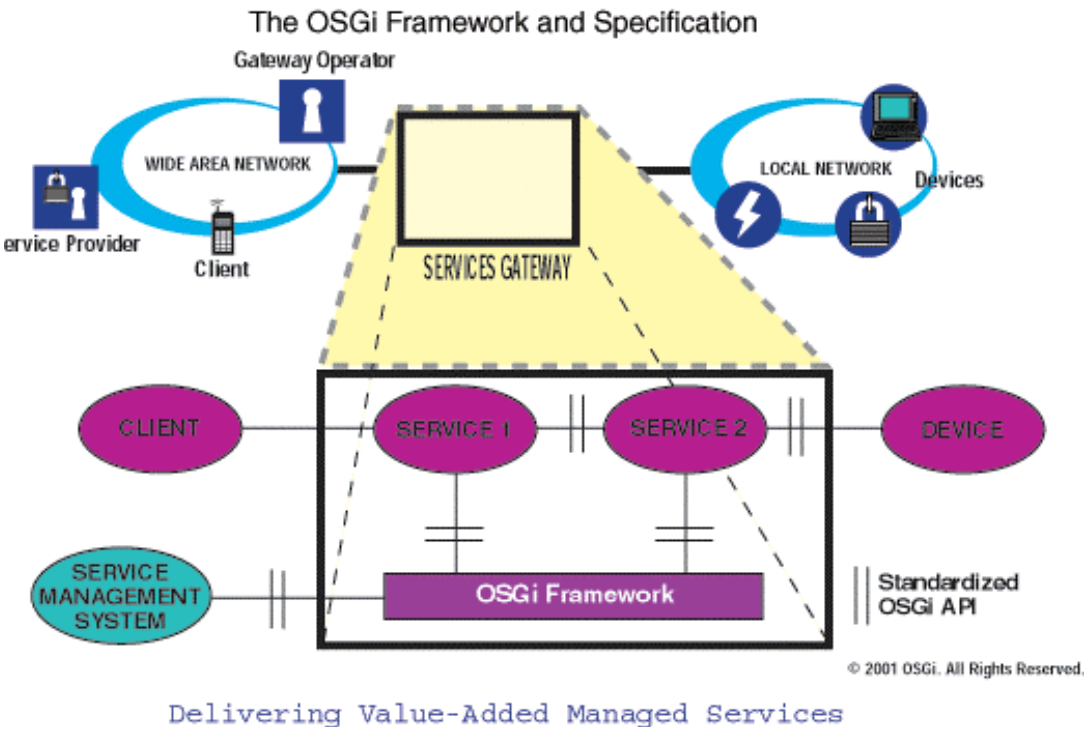
6.5 Stake holders

In de geliberaliseerde markt is het meten van het verbruik losgekoppeld van andere distributie activiteiten. Volgens de nieuwe elektriciteitswet kan ieder gecertificeerd bedrijf aan meter-opneming doen. Energiebedrijven kunnen de activiteit dus uitbesteden, maar ook gecertificeerde bedrijven kunnen de meteropname doen en hun resultaten verkopen. Voor de laatste categorie bedrijven ontstaan, als onafhankelijke categorie, op deze manier mogelijkheden

6.6 Micro-transacties

Momenteel is de gehele meteropname en verwerking een top-down, globaal gebeuren. De eindgebruiker betaalt op grond van een totaal geschat jaarverbruik in termijnen met een eindafrekening achteraf als een macro-transactie. Een overgang naar een strategie van vraag- en aanbodsturing op kleine schaal is hiermee strijdig. Een leverancier van energie zou een serviceaanbod kunnen doen aan klanten, die een eigen opwekkingseenheid hebben, om het bedrijf door een E-box te laten verzorgen. Ook het bedrijf van een aantal verbruikers met aanstuurbare vraag zou een dienstenleverancier kunnen aanbieden samen met een E-box. Bij een operationele E-box hoeft dan niet persé per apparaat gemeten te worden; alleen al de mogelijkheid bepaalde apparaten te sperren gedurende bepaalde perioden kan al bijdragen tot het creëren van een win-win situatie.

Een meer verfijnd mechanisme maakt gebruik van micro-transacties. Hierbij wordt de gehele verrekening van het stroomverbruik bottom-up opgezet. Micro-transactie verwerkende systemen zijn in de Telecom-wereld, zeker waar het de mobiele communicatie betreft, al jaren gemeengoed. Ook de muzieksector probeert, in verband met auteursrechten vergoedingen, in apparatuur ICT in te bouwen, die verrekening per keer gebruik regelt. In een bottom-up, micro-transactie infrastructuur heeft een E-box een veel meer natuurlijke plaats. Naar de eindgebruiker toe en naar de dienstverlenende instantie ontstaat veel meer transparantie. De E-box maakt het dan mogelijk transactie-informatie per apparaat op iedere gewenste tijdsschaal te presenteren. Doordat dan tevens een directe vertaling te maken is naar real-time kosten is tevens de zichtbaarheid voor de eindgebruiker te vergroten. Door servicebedrijven kan dan koeling tegen een tarief per dag worden aangeboden en door een installatiebedrijf comfort tegen een vast tarief per dag. Het service delivery model van OSGi (zie Figuur 6.3) is dan een context, waarbinnen een dergelijke applicatie gerealiseerd kan worden.



Figuur 6.3 *Het service delivery model © OSGi*

Momenteel wordt aan de invulling van dit model door de hardware en software sector gewerkt. Uitwerking voor energie management applicaties zou dan zeer veelbelovend zijn.

REFERENTIES

ADL, 1999	*Distributed Generation: Understanding the Economics*— White paper prepared by Arthur D. Little, Cambridge, MA, 1999. Zie http://www.eren.doe.gov/der/pubs.html
Agents, 1996	J.M. Akkermans, R. Gustavsson anf F. Ygge. HOMEBOTS: Intelligent decentralized services for energy management. (Beschikbaar via http://www.enersearch.se/~ygge)
BAK, 2000	Rapport Energieverbruik kleinverbruikers aardgas Nederland.
BEK, 2000	Rapport Energieverbruik kleinverbruikers electriciteit Nederland
CBOX, 2002	C.J. Warmer en I.G. Kamphuis. Eindrapport C-Box, in voorbereiding. NOVEM-project 140-01-01-01-010. ECN, 2002.C.J. Warmer en I.G. Kamphuis. Rapport ECN-CX-xxx.
CRISP, 2002	I.G. Kamphuis, J.M. Akkermans and L.F.M. Hamilton. CRitical Infrastructures for Sustainable Power. Awarded EU-EESD project proposal. European 5th Framework.
DOM, 2000	Trend@nalyse.domotica. Technologie en Samenleving. Den Haag 2000.
Eyes, 2002	P. Havinga, Sensor and networking architecture of a distributed service layer. EU-project EYES, 2002. (http://eyes.eu.org/architecture.htm)
IOP,2002	E.J. Sol. Programma IOP Generieke Communicatie. Senter, 2002.
IEEE, 2002	E. Callaway et. al. Standard IEEE 802.15.4. IEEE communications magazine, August 2002. 70-77.
IVAM, 1995	M.J. Uitzinger, M. Sprengers, J.M. Benschop en L. van Baren. Telemeting en monitoring bij huishoudens, Deel I, "Monitoring". IVAM Environmental Research, 1995.
Jelsma, 2002	J. Jelsma, A. Kets, I.G. Kamphuis, W.Wortel. Smart Work Package 4.2. Smart field test: experience of users and technical aspects. ECN-C-02-094.
MC, 2001	"Lieve klokthermostaat, mag ik nog even opblijven". Domotica, PC en energieverbruik vanuit een consumentenperspectief. Milieu centraal, 2001, Utrecht.
NIALMS, 2002	http://www.enetics.com/prodmainSPEED.html geeft een beschrijving van de Enetics speed producten
Olsson, 2001	M. Olsson and René Kamphuis. Consumer survey Energy Services with PLC. EU-project PALAS, deliverable D9. May, 2001.
Sidler, 1998	Demand-side management: Experimental Study of highly efficient Electrical Appliances in Household Use. ECODROME project SAVE-programme. Final Report. Cabinet Olivier Sidler. 26160 FLINES S/RIMANDOULE. France.
SmartHomes, 2001	SMARTHOMES-project. EU-ENK6-CT2000-00319. Zie ww.enerbuild.net.
Sweet,2001	P. Sweet and H. Akkermans. Deliverable D7 PALAS-project.
TVVL, 2002	TVVL Magazine, Jaargang 22. Thema: Gebouwprestatie simulatie. September 2002.
Vrijband, 2001	Stratix. Vrijband: een breedbandvisie voor Nederland. Schiphol, augustus 2001.
VV, 2002	W. Zeiler, W. Wortel, J.M. Akkermans en I.G. Kamphuis. Intelligent gebouwbeheer via agent technologie. Verwarming en Ventilatie, mei 2002.
Weiser, 1999	The Computer of the 21st Century. IEEE Pervasive Computing. 1,1, 19. 2002.

BIJLAGE A: APPARAAT DEFINITIES

Bijgaande basisgegevens zijn gebruikt voor de simulatieberekeningen. De software van de simulator en een beschrijving van de software is te downloaden van www.ecn.nl/dego/ebox.

```
Devices
// define all devices in the installation
// the Central Heating is driven by the heat demand
// usage day (m3)  6.638655462
Consumer CentralHeater
 Consumes Gas  MaximumPower 2.011713776 // use of  natural gas per hour

 FixedOperationSequence HeatingOperation Start 0
  ShiftableOperation    NightWarming    Duration    0.5    TimeSpan    6    TimeStep    2
MaximumPowerFraction 0.3 //fraction 0.15 // usage 0.301757066
  ShiftableOperation    StandupWarming    Duration    0.5    TimeSpan    1    TimeStep    0.5
MaximumPowerFraction 1 //fraction 0.5 // usage 1.005856888
  ShiftableOperation    BreakfastWarming    Duration    0.5    TimeSpan    1    TimeStep    0.5
MaximumPowerFraction 0.6 //fraction 0.3 // usage 0.603514133
  ShiftableOperation    MorningWarming    Duration    0.5    TimeSpan    4    TimeStep    2
MaximumPowerFraction 0.3 //fraction 0.15 // usage 0.301757066
  ShiftableOperation    LunchWarming    Duration    0.5    TimeSpan    1    TimeStep    0.5
MaximumPowerFraction 0.7 //fraction 0.35 // usage 0.704099822
  ShiftableOperation    AfternoonWarming    Duration    1    TimeSpan    4    TimeStep    2
MaximumPowerFraction 0.3 //fraction 0.3 // usage 0.603514133
  ShiftableOperation    DinnerWarming    Duration    1    TimeSpan    2    TimeStep    0.5
MaximumPowerFraction 1 //fraction 1 // usage 2.011713776
  ShiftableOperation    EveningWarming    Duration    1    TimeSpan    4    TimeStep    1
MaximumPowerFraction 0.5 //fraction 0.5 // usage 1.005856888
  ShiftableOperation    NightWarming    Duration    0.5    TimeSpan    1    TimeStep    1
MaximumPowerFraction 0.1 //fraction 0.05 // usage 0.100585689
 EndHeatingOperation           //total 3.3 // total usage 6.638655462
// total usage    Totalduration 6 Total 24

// define a heatpump
// the heatpump is driven by the heat demand     COP: 2.5
// verbruik per dag (m3)  6.638655462 equivalent to: 65.85546218 kWh Needed: 26.34218487
kWh
Consumer HeatPump
 Consumes Electricity  MaximumPower 7.982480265 // use of electricity per hour

 FixedOperationSequence HeatingOperation Start 0
  ShiftableOperation    NightWarming    Duration    0.5    TimeSpan    6    TimeStep    2
MaximumPowerFraction 0.3 //fraction 0.15 // usage 0.301757066
  ShiftableOperation    StandupWarming    Duration    0.5    TimeSpan    1    TimeStep    0.5
MaximumPowerFraction 1 //fraction 0.5 // usage 1.005856888
  ShiftableOperation    BreakfastWarming    Duration    0.5    TimeSpan    1    TimeStep    0.5
MaximumPowerFraction 0.6 //fraction 0.3 // usage 0.603514133
  ShiftableOperation    MorningWarming    Duration    0.5    TimeSpan    4    TimeStep    2
MaximumPowerFraction 0.3 //fraction 0.15 // usage 0.301757066
  ShiftableOperation    LunchWarming    Duration    0.5    TimeSpan    1    TimeStep    0.5
MaximumPowerFraction 0.7 //fraction 0.35 // usage 0.704099822
  ShiftableOperation    AfternoonWarming    Duration    1    TimeSpan    4    TimeStep    2
MaximumPowerFraction 0.3 //fraction 0.3 // usage 0.603514133
  ShiftableOperation    DinnerWarming    Duration    1    TimeSpan    2    TimeStep    0.5
MaximumPowerFraction 1 //fraction 1 // usage 2.011713776
  ShiftableOperation    EveningWarming    Duration    1    TimeSpan    4    TimeStep    1
MaximumPowerFraction 0.5 //fraction 0.5 // usage 1.005856888
  ShiftableOperation    NightWarming    Duration    0.5    TimeSpan    1    TimeStep    1
MaximumPowerFraction 0.1 //fraction 0.05 // usage 0.100585689
 EndHeatingOperation           //total 3.3 // total usage 6.638655462
// total usage    Totalduration 6 Total 24

// define a heat and power producing installation
// the CHP is driven by the heat demand
// verbruik per dag (m3)  6.638655462
Consumer CHP
 Consumes Gas  MaximumPower 2.011713776 // use of  natural gas per hour
 Produces  Electricity    MaximumPower  0.274397759  //  produce  with:    0.1  fraction
efficiency
 FixedOperationSequence HeatingOperation Start 0
  ShiftableOperation    NightWarming    Duration    0.5    TimeSpan    6    TimeStep    2
MaximumPowerFraction 0.3 //fraction 0.15 // usage 0.301757066
```

```
  ShiftableOperation   StandupWarming   Duration   0.5   TimeSpan   1   TimeStep   0.5
MaximumPowerFraction 1 //fraction 0.5 // usage 1.005856888
  ShiftableOperation   BreakfastWarming   Duration   0.5   TimeSpan   1   TimeStep   0.5
MaximumPowerFraction 0.6 //fraction 0.3 // usage 0.603514133
  ShiftableOperation   MorningWarming   Duration   0.5   TimeSpan   4   TimeStep   2
MaximumPowerFraction 0.3 //fraction 0.15 // usage 0.301757066
  ShiftableOperation   LunchWarming   Duration   0.5   TimeSpan   1   TimeStep   0.5
MaximumPowerFraction 0.7 //fraction 0.35 // usage 0.704099822
  ShiftableOperation   AfternoonWarming   Duration   1   TimeSpan   4   TimeStep   2
MaximumPowerFraction 0.3 //fraction 0.3 // usage 0.603514133
  ShiftableOperation   DinnerWarming   Duration   1   TimeSpan   2   TimeStep   0.5
MaximumPowerFraction 1 //fraction 1 // usage 2.011713776
  ShiftableOperation   EveningWarming   Duration   1   TimeSpan   4   TimeStep   1
MaximumPowerFraction 0.5 //fraction 0.5 // usage 1.005856888
  ShiftableOperation   NightWarming   Duration   0.5   TimeSpan   1   TimeStep   1
MaximumPowerFraction 0.1 //fraction 0.05 // usage 0.100585689
 EndHeatingOperation          //total 3.3 // total usage 6.638655462
// total usage   Totalduration 6 Total 24

// define an electric heater

// verbruik per dag (kWh)  65.85546218
Consumer Heater
 Consumes Electricity  MaximumPower 19.95620066 // use of  natural gas per hour

 FixedOperationSequence HeatingOperation Start 0
  ShiftableOperation   NightWarming   Duration   0.5   TimeSpan   6   TimeStep   2
MaximumPowerFraction 0.3 //fraction 0.15 // usage 2.993430099
  ShiftableOperation   StandupWarming   Duration   0.5   TimeSpan   1   TimeStep   0.5
MaximumPowerFraction 1 //fraction 0.5 // usage 9.978100331
  ShiftableOperation   BreakfastWarming   Duration   0.5   TimeSpan   1   TimeStep   0.5
MaximumPowerFraction 0.6 //fraction 0.3 // usage 5.986860199
  ShiftableOperation   MorningWarming   Duration   0.5   TimeSpan   4   TimeStep   2
MaximumPowerFraction 0.3 //fraction 0.15 // usage 2.993430099
  ShiftableOperation   LunchWarming   Duration   0.5   TimeSpan   1   TimeStep   0.5
MaximumPowerFraction 0.7 //fraction 0.35 // usage 6.984670232
  ShiftableOperation   AfternoonWarming   Duration   1   TimeSpan   4   TimeStep   2
MaximumPowerFraction 0.3 //fraction 0.3 // usage 5.986860199
  ShiftableOperation   DinnerWarming   Duration   1   TimeSpan   2   TimeStep   0.5
MaximumPowerFraction 1 //fraction 1 // usage 19.95620066
  ShiftableOperation   EveningWarming   Duration   1   TimeSpan   4   TimeStep   1
MaximumPowerFraction 0.5 //fraction 0.5 // usage 9.978100331
  ShiftableOperation   NightWarming   Duration   0.5   TimeSpan   1   TimeStep   1
MaximumPowerFraction 0.1 //fraction 0.05 // usage 0.997810033
 EndHeatingOperation          //total 3.3 // total usage 65.85546218
// total usage   Totalduration 6 Total 24

Producer PVSolar
 Produces  Electricity  MaximumPower  0.3


 FixedOperationSequence PVOperation Start 7
  FixedOperation PVEarlyMorning Duration 3 MaximumPowerFraction 0.3 // generated kWh
0.27
  FixedOperation PVMorning Duration 1 MaximumPowerFraction 0.6 // generated kWh 0.18
  FixedOperation PVAfternoon Duration 4 MaximumPowerFraction 0.9 // generated kWh 1.08
  FixedOperation PVLateAfternoon Duration 2 MaximumPowerFraction 0.8 // generated kWh
0.48
  FixedOperation PVEvening Duration 3 MaximumPowerFraction 0.6 // generated kWh 0.54
  // total output   13   2.55

 EndPVOperation
// model a intermittently operated cooler
Consumer Cooler
 Consumes Electricity MaximumPower 0.2
 ReplicatedShiftableOperationSequence CoolerOperation Start 0 End 24
  Replicate   ShiftableOperation   Cooling   Duration   0.5   TimeSpan   3   TimeStep   0.5
MaximumPowerFraction 1
  //total power  1.6
 EndCoolerOperation

// define a electricity buffer
Consumer BufferInput
// buffer capacity (kWh)   6
 Consumes Electricity MaximumPower 12
  FixedOperationSequence ChargingOperation Start 0
  ShiftableOperation Charging Duration 0.5 TimeSpan 24 TimeStep 2 MaximumPowerFraction 1
```

```
 EndChargingOperation
Producer BufferOutput
 Produces Electricity MaximumPower 12
  FixedOperationSequence DischargingOperation Start 0
  ShiftableOperation    DisCharging    Duration    0.5    TimeSpan    24    TimeStep    2
MaximumPowerFraction 1
 EndDischargingOperation


Consumer Washer
 Consumes Electricity MaximumPower 2
 ShiftableOperationSequence WasherOperation Start 0 End 24 TimeStep 1
 ShiftableOperation Rinsing Duration 0.1 TimeSpan 0.5 TimeStep 0.2 MaximumPowerFraction
0.1
 ShiftableOperation Washing Duration 1.5 TimeSpan 3 TimeStep 0.5 MaximumPowerFraction 1
 ShiftableOperation    Centrifuging    Duration    0.25    TimeSpan    2    TimeStep    1
MaximumPowerFraction 0.8
 ShiftableOperation Drying Duration 1 TimeSpan 2 TimeStep 0.5 MaximumPowerFraction 1
EndWasherOperation
```

BIJLAGE B: PRIJSDEFINITIES

```
PricePaths
// a two-meter differentiated pricing scheme
 DoubleMeterImport   DeltaT 1  // DM_Import_Scaled
  Start 0 End 1 Price 3.609999832  // 0:00
  Start 1 End 2 Price 3.609999832  // 1:00
  Start 2 End 3 Price 3.609999832  // 2:00
  Start 3 End 4 Price 3.609999832  // 3:00
  Start 4 End 5 Price 3.609999832  // 4:00
  Start 5 End 6 Price 3.609999832  // 5:00
  Start 6 End 7 Price 3.609999832  // 6:00
  Start 7 End 8 Price 8.909999584  // 7:00
  Start 8 End 9 Price 8.909999584  // 8:00
  Start 9 End 10 Price 8.909999584  // 9:00
  Start 10 End 11 Price 8.909999584  // 10:00
  Start 11 End 12 Price 8.909999584  // 11:00
  Start 12 End 13 Price 8.909999584  // 12:00
  Start 13 End 14 Price 8.909999584  // 13:00
  Start 14 End 15 Price 8.909999584  // 14:00
  Start 15 End 16 Price 8.909999584  // 15:00
  Start 16 End 17 Price 8.909999584  // 16:00
  Start 17 End 18 Price 8.909999584  // 17:00
  Start 18 End 19 Price 8.909999584  // 18:00
  Start 19 End 20 Price 8.909999584  // 19:00
  Start 20 End 21 Price 8.909999584  // 20:00
  Start 21 End 22 Price 8.909999584  // 21:00
  Start 22 End 23 Price 8.909999584  // 22:00
  Start 23 End 24 Price 3.609999832  // 23:00
// average  7.143333
 EndDoubleMeterImport
 DoubleMeterExport   DeltaT 1 // DM_Export_Scaled
  Start 0 End 1 Price 2.44
  Start 1 End 2 Price 2.44
  Start 2 End 3 Price 2.44
  Start 3 End 4 Price 2.44
  Start 4 End 5 Price 2.44
  Start 5 End 6 Price 2.44
  Start 6 End 7 Price 2.44
  Start 7 End 8 Price 5.51
  Start 8 End 9 Price 5.51
  Start 9 End 10 Price 5.51
  Start 10 End 11 Price 5.51
  Start 11 End 12 Price 5.51
  Start 12 End 13 Price 5.51
  Start 13 End 14 Price 5.51
  Start 14 End 15 Price 5.51
  Start 15 End 16 Price 5.51
  Start 16 End 17 Price 5.51
  Start 17 End 18 Price 5.51
  Start 18 End 19 Price 5.51
  Start 19 End 20 Price 5.51
  Start 20 End 21 Price 5.51
  Start 21 End 22 Price 5.51
  Start 22 End 23 Price 5.51
  Start 23 End 24 Price 2.44
// average  4.486666667
 EndDoubleMeterExport
// one-meter differentiated pricing scheme
 SingleMeterImport   DeltaT 1 // SM_Import
  Start 0 End 1 Price 7.143333333
  Start 1 End 2 Price 7.143333333
  Start 2 End 3 Price 7.143333333
  Start 3 End 4 Price 7.143333333
  Start 4 End 5 Price 7.143333333
  Start 5 End 6 Price 7.143333333
  Start 6 End 7 Price 7.143333333
  Start 7 End 8 Price 7.143333333
  Start 8 End 9 Price 7.143333333
  Start 9 End 10 Price 7.143333333
  Start 10 End 11 Price 7.143333333
```

```
  Start 11 End 12 Price 7.143333333
  Start 12 End 13 Price 7.143333333
  Start 13 End 14 Price 7.143333333
  Start 14 End 15 Price 7.143333333
  Start 15 End 16 Price 7.143333333
  Start 16 End 17 Price 7.143333333
  Start 17 End 18 Price 7.143333333
  Start 18 End 19 Price 7.143333333
  Start 19 End 20 Price 7.143333333
  Start 20 End 21 Price 7.143333333
  Start 21 End 22 Price 7.143333333
  Start 22 End 23 Price 7.143333333
  Start 23 End 24 Price 7.143333333
// average  7.143333333
 EndSingleMeterImport
 SingleMeterExport   DeltaT 1 // SM_Export
  Start 0 End 1 Price 4.486666667
  Start 1 End 2 Price 4.486666667
  Start 2 End 3 Price 4.486666667
  Start 3 End 4 Price 4.486666667
  Start 4 End 5 Price 4.486666667
  Start 5 End 6 Price 4.486666667
  Start 6 End 7 Price 4.486666667
  Start 7 End 8 Price 4.486666667
  Start 8 End 9 Price 4.486666667
  Start 9 End 10 Price 4.486666667
  Start 10 End 11 Price 4.486666667
  Start 11 End 12 Price 4.486666667
  Start 12 End 13 Price 4.486666667
  Start 13 End 14 Price 4.486666667
  Start 14 End 15 Price 4.486666667
  Start 15 End 16 Price 4.486666667
  Start 16 End 17 Price 4.486666667
  Start 17 End 18 Price 4.486666667
  Start 18 End 19 Price 4.486666667
  Start 19 End 20 Price 4.486666667
  Start 20 End 21 Price 4.486666667
  Start 21 End 22 Price 4.486666667
  Start 22 End 23 Price 4.486666667
  Start 23 End 24 Price 4.486666667
// average  4.486666667
 EndSingleMeterExport
// APX-based august-scheme
 APXAugustImport   DeltaT 1 // APXS_Import_Scaled
  Start 0 End 1 Price 3.285442095
  Start 1 End 2 Price 2.684015357
  Start 2 End 3 Price 2.373609849
  Start 3 End 4 Price 2.194061061
  Start 4 End 5 Price 2.221260748
  Start 5 End 6 Price 2.583751858
  Start 6 End 7 Price 2.994215196
  Start 7 End 8 Price 4.171411502
  Start 8 End 9 Price 8.257174773
  Start 9 End 10 Price 12.56691127
  Start 10 End 11 Price 13.01125853
  Start 11 End 12 Price 18.00396942
  Start 12 End 13 Price 14.6968679
  Start 13 End 14 Price 15.61013983
  Start 14 End 15 Price 13.95301558
  Start 15 End 16 Price 12.59400813
  Start 16 End 17 Price 9.722255862
  Start 17 End 18 Price 5.147463805
  Start 18 End 19 Price 4.282781111
  Start 19 End 20 Price 4.13773325
  Start 20 End 21 Price 4.336100725
  Start 21 End 22 Price 4.332861443
  Start 22 End 23 Price 4.119480151
  Start 23 End 24 Price 4.160202557
// average  7.143333
 EndAPXAugustImport
 APXAugustExport   DeltaT 1 // APXS_Export_Scaled
  Start 0 End 1 Price 1.923708667
  Start 1 End 2 Price 1.524155774
  Start 2 End 3 Price 1.317940436
  Start 3 End 4 Price 1.198658679
  Start 4 End 5 Price 1.216728567
  Start 5 End 6 Price 1.457546546
```

```
  Start 6 End 7 Price 1.730234479
  Start 7 End 8 Price 2.512295134
  Start 8 End 9 Price 5.22663826
  Start 9 End 10 Price 8.089776155
  Start 10 End 11 Price 8.38497459
  Start 11 End 12 Price 11.70184088
  Start 12 End 13 Price 9.504795271
  Start 13 End 14 Price 10.11151994
  Start 14 End 15 Price 9.010623115
  Start 15 End 16 Price 8.107777726
  Start 16 End 17 Price 6.199952797
  Start 17 End 18 Price 3.160727431
  Start 18 End 19 Price 2.586282615
  Start 19 End 20 Price 2.489921265
  Start 20 End 21 Price 2.621705061
  Start 21 End 22 Price 2.619553071
  Start 22 End 23 Price 2.47779497
  Start 23 End 24 Price 2.504848564
// average  4.486666667
 EndAPXAugustExport

// APX-based january-scheme
 APXJanuaryImport   DeltaT 1 // APXW_Import_Scaled
  Start 0 End 1 Price 4.771847235
  Start 1 End 2 Price 3.675118214
  Start 2 End 3 Price 3.225549307
  Start 3 End 4 Price 3.060746501
  Start 4 End 5 Price 3.015046198
  Start 5 End 6 Price 3.549285872
  Start 6 End 7 Price 4.09808078
  Start 7 End 8 Price 6.154124897
  Start 8 End 9 Price 7.239898367
  Start 9 End 10 Price 8.111177776
  Start 10 End 11 Price 8.715141714
  Start 11 End 12 Price 10.00946194
  Start 12 End 13 Price 8.610203175
  Start 13 End 14 Price 8.232158373
  Start 14 End 15 Price 7.490858764
  Start 15 End 16 Price 7.140281096
  Start 16 End 17 Price 8.657625065
  Start 17 End 18 Price 17.03635307
  Start 18 End 19 Price 13.45795674
  Start 19 End 20 Price 8.587118262
  Start 20 End 21 Price 8.05866938
  Start 21 End 22 Price 6.710666945
  Start 22 End 23 Price 6.213363133
  Start 23 End 24 Price 5.619259192
// average  7.143333
 EndAPXJanuaryImport
 APXJanuaryExport   DeltaT 1 // APXW_Export_Scaled
  Start 0 End 1 Price 2.997156639
  Start 1 End 2 Price 2.308310474
  Start 2 End 3 Price 2.02594007
  Start 3 End 4 Price 1.92242883
  Start 4 End 5 Price 1.893724859
  Start 5 End 6 Price 2.229276251
  Start 6 End 7 Price 2.573969662
  Start 7 End 8 Price 3.865353476
  Start 8 End 9 Price 4.547318552
  Start 9 End 10 Price 5.094561734
  Start 10 End 11 Price 5.473906344
  Start 11 End 12 Price 6.286857865
  Start 12 End 13 Price 5.407995341
  Start 13 End 14 Price 5.170548618
  Start 14 End 15 Price 4.704944642
  Start 15 End 16 Price 4.484749792
  Start 16 End 17 Price 5.437780626
  Start 17 End 18 Price 10.70038838
  Start 18 End 19 Price 8.452828097
  Start 19 End 20 Price 5.393495903
  Start 20 End 21 Price 5.061581657
  Start 21 End 22 Price 4.2149128
  Start 22 End 23 Price 3.902560507
  Start 23 End 24 Price 3.529408878
// average  4.486666667
 EndAPXJanuaryExport
 APX2108Import
```

```
 Start 0 End 1 Price 3.686629272
 Start 1 End 2 Price 2.672445765
 Start 2 End 3 Price 2.408153046
 Start 3 End 4 Price 2.140676077
 Start 4 End 5 Price 2.202768945
 Start 5 End 6 Price 2.680406389
 Start 6 End 7 Price 3.374572808
 Start 7 End 8 Price 4.958736999
 Start 8 End 9 Price 80.26624071
 Start 9 End 10 Price 64.34499257
 Start 10 End 11 Price 80.26624071
 Start 11 End 12 Price 112.2679495
 Start 12 End 13 Price 112.2679495
 Start 13 End 14 Price 112.2679495
 Start 14 End 15 Price 80.26624071
 Start 15 End 16 Price 80.26624071
 Start 16 End 17 Price 80.26624071
 Start 17 End 18 Price 9.257473997
 Start 18 End 19 Price 3.844249629
 Start 19 End 20 Price 4.127647845
 Start 20 End 21 Price 4.463586181
 Start 21 End 22 Price 4.30118945
 Start 22 End 23 Price 3.833104755
 Start 23 End 24 Price 3.299742942
EndAPX2108Import
APX2108Export
 Start 0 End 1 Price 2.071
 Start 1 End 2 Price 1.434
 Start 2 End 3 Price 1.268
 Start 3 End 4 Price 1.1
 Start 4 End 5 Price 1.139
 Start 5 End 6 Price 1.439
 Start 6 End 7 Price 1.875
 Start 7 End 8 Price 2.87
 Start 8 End 9 Price 50.17
 Start 9 End 10 Price 40.17
 Start 10 End 11 Price 50.17
 Start 11 End 12 Price 70.27
 Start 12 End 13 Price 70.27
 Start 13 End 14 Price 70.27
 Start 14 End 15 Price 50.17
 Start 15 End 16 Price 50.17
 Start 16 End 17 Price 50.17
 Start 17 End 18 Price 5.57
 Start 18 End 19 Price 2.17
 Start 19 End 20 Price 2.348
 Start 20 End 21 Price 2.559
 Start 21 End 22 Price 2.457
 Start 22 End 23 Price 2.163
 Start 23 End 24 Price 1.828
EndAPX2109\8Export
APX0901Import
 Start 0 End 1 Price 4.958736999
 Start 1 End 2 Price 3.844249629
 Start 2 End 3 Price 3.764643388
 Start 3 End 4 Price 3.685037147
 Start 4 End 5 Price 3.685037147
 Start 5 End 6 Price 4.00346211
 Start 6 End 7 Price 4.958736999
 Start 7 End 8 Price 10.21274889
 Start 8 End 9 Price 9.768546062
 Start 9 End 10 Price 11.8048737
 Start 10 End 11 Price 12.76014859
 Start 11 End 12 Price 13.07379718
 Start 12 End 13 Price 11.8048737
 Start 13 End 14 Price 10.21274889
 Start 14 End 15 Price 9.811533432
 Start 15 End 16 Price 9.416686478
 Start 16 End 17 Price 13.39699851
 Start 17 End 18 Price 40.46312036
 Start 18 End 19 Price 20.56156018
 Start 19 End 20 Price 10.21274889
 Start 20 End 21 Price 12.60093611
 Start 21 End 22 Price 7.028499257
 Start 22 End 23 Price 6.550861813
 Start 23 End 24 Price 5.426821694
EndAPX0901Import
```

```
 APX0901Export
  Start 0 End 1 Price 2.87
  Start 1 End 2 Price 2.17
  Start 2 End 3 Price 2.12
  Start 3 End 4 Price 2.07
  Start 4 End 5 Price 2.07
  Start 5 End 6 Price 2.27
  Start 6 End 7 Price 2.87
  Start 7 End 8 Price 6.17
  Start 8 End 9 Price 5.891
  Start 9 End 10 Price 7.17
  Start 10 End 11 Price 7.77
  Start 11 End 12 Price 7.967
  Start 12 End 13 Price 7.17
  Start 13 End 14 Price 6.17
  Start 14 End 15 Price 5.918
  Start 15 End 16 Price 5.67
  Start 16 End 17 Price 8.17
  Start 17 End 18 Price 25.17
  Start 18 End 19 Price 12.67
  Start 19 End 20 Price 6.17
  Start 20 End 21 Price 7.67
  Start 21 End 22 Price 4.17
  Start 22 End 23 Price 3.87
  Start 23 End 24 Price 3.164
 EndAPX0901Export


GasWinter2002  DeltaT 1
  Start 0 End 24 Price 28.73
EndGasWinter2002
EndPricePaths
Markets
GasMarket  Import GasWinter2002  Export None
DoubleMeter  Import DoubleMeterImport   Export DoubleMeterExport
SingleMeter  Import SingleMeterImport  Export SingleMeterExport
APXAugust  Import APXAugustImport  Export APXAugustExport
APXJanuary  Import APXJanuaryImport  Export APXJanuaryExport
EndMarkets
Resources
Gas  GasMarket  BufferCapacity  0
Electricity DoubleMeter  BufferCapacity  0
Electricity SingleMeter  BufferCapacity  0
Electricity APXAugust  BufferCapacity  0
Electricity APXJanuary  BufferCapacity  0
EndResources
```