Juli 2003 ECN-C--03-036

De C-Box:
Een geïntegreerde binnenklimaatregeling gebruik makend van een ICT-netwerk

Architectuur en analyse van realisatiemogelijkheden binnen woningen

C.J. Warmer
I.G. Kamphuis

Verantwoording

Het C-Box project is uitgevoerd als O en O project binnen de DEMOS-regeling 2001 van NOVEM als project nummer 0140-01-01-01-0011. Dit rapport is een combinatie van de twee in het projectvoorstel genoemde op te leveren documenten. Tot samenvoeging is besloten om de in de systeemontwikkeling gebruikelijke lineaire opbouw van requirements, analyse, ontwerp beter uit te laten komen. Het C-Box project is bij ECN geregistreerd onder nummer 7.4887. In het project is nauw samengewerkt met vanderBeyl Electronics/ITHO uit Rotterdam.

Abstract

This document describes the development of a set of concepts for an integrated management system for thermal comfort in houses, the C-Box.
An information model is given for the C-Box in which, apart from a central heating system, also other components are taken into account, such as ventilation and solar radiation control. Besides integration of components, also control within a wider context is defined. Access to external information, model building information and, especially, the user perception is modelled. The C-Box references the Fanger comfort model in which, besides air temperature, radiation temperature, humidity, air velocity, user activity and clothing level are taken into account. The comfort management model is an adaptive model, thus anticipating and avoiding unwanted effects in the near future (several hours up to one day).

Special attention is paid to the interaction between de C-Box and the occupants of a house. Occupants in a house can have a dynamic behaviour, both in presence and in activities. In many cases the comfort wishes can be derived from a general style of living of the occupants. In order to have a adequate comfort management, temporary changes in the comfort wish need to be detected in time. There is a need for a practical, understandable and simple user interaction, which in may cases is a bottleneck in the development of technical systems. Advances in the area of ‘ambient technology’ can lead to a new way of integration of technology and user acceptance, which bridges this gap.

In this report a number of simulation calculations have been performed to assess the impact of this new philosophy in terms of cost and comfort. The calculations are performed using representative houses in the Netherlands taking into account the differences in life-style. Occupants who are already efficient in their energy use can gain extra energy savings up to 5%, without little or no comfort reduction. More careless occupants can even gain more. An essential constraint is that information can be obtained on the user profile and user wish.

The information model is worked out further in a number of protocol and interface definitions, which form the basis for an experimental setting. In this experimental setting, a C-Box has three connection types: a connection to the temperature sensor and heating installation, a standard IP-connection and a connection to a home network bus.

Before going into implementation a number of bottlenecks in the C-Box concept have to be solved. Energy saving will nor easily become a major reason for investment in home networks. However, in the near future it might integrate with emerging home network markets for security and care systems and entertainment. Also the cost in money and energy of the hardware are expected to be solved in the near future, since wireless components and sensors are becoming cheaper in cost and energy use (lifetime batteries)..
In appendix B a proposal has been defined for a demonstration project for the C-Box concept acting within the constraints identified in this report: technical realisation; integration with security and care systems; proof of cost and energy saving in practice; and the essential user interaction.

INHOUD

LIJST VAN TABELLEN		4
LIJST VAN FIGUREN		4
SAMENVATTING		5
1.	INLEIDING	7
1.1	Huidige comfort regel systemen	8
1.2	Parallelle ontwikkelingen in de ICT	8
1.3	Het gebruikersperspectief	9
1.4	Ontwikkelingen op de energiemarkt	10
1.5	Eerdere studies naar energiebesparingmogelijkheden door "domotica"	10
1.6	Uitgangspunten	11
2.	INFORMATIEMODELLERING VAN DE REGELING VAN HET THERMISCH BINNENCOMFORT	12
2.1	Inleiding	12
2.2	Problemen met huidige locale comfortregelingen	12
2.3	Definitie context	13
2.4	Het C-Box objectmodel	17
2.4.1	Het gebouwmodel	18
2.4.2	Het installatiemodel	18
2.4.3	De comfortperceptie	20
2.5	Dynamisch gedrag	20
3.	DE GEBRUIKERSINTERACTIE	22
3.1	Fanger-invloeden in de gebruikersinterface	22
3.2	Beheersinvloeden in de gebruikersinterface	23
3.3	De comfort utiliteitsfunctie	24
3.4	Gebruikersprofielen	25
3.5	Life-style en comfort	26
3.6	Scenario’s/strategieën	27
4.	SIMULATIE VAN REAL-TIME COMFORT BEHEER VAN DE WONING	29
4.1	Opbouw van het model in TRNSYS	29
4.2	Vertaling van het model naar de C-Box	30
4.3	Het simulatie scenario	31
4.4	Verificatie EPC	31
4.5	Referentiesituatie voor een winterdag	33
4.6	Resultaten voor een winterdag	33
4.6.1	Variatie kosten en energiegewicht	34
4.6.2	Variatie toegestane afwijkingen	35
4.7	Referentiesituatie voor het voorjaar	37
4.8	Resultaten voorjaar	37
4.8.1	Variatie kosten en energiegewicht	38
4.8.2	Variatie toegestane afwijkingen	39
4.9	C-Box potentie voor energie- en kostenbesparing	40
5.	TOEPASSING BIJ HET PRIJSMINIMALISEREND AANSTUREN VAN COMFORTBEHEER MET INZET VAN ENERGIE BUFFERS	42
6.	HARDWARE ARCHITECTUUR, INTERFACES EN COMMUNICATIEPROTOCOLLEN	44
6.1	Connectiviteit en architectuur	44
6.1.1	Bestaande hardware/software protocollen	44
6.1.2	C-Box <> Cv-ketel	44

6.1.3 C-Box <> Huisnetwerk 45
6.1.4 C-Box <> Buitenwereld 46
6.1.5 Conclusie 46
6.2 Software implementatie 47
6.2.1 Applicatieserver 47
6.2.2 Gateway 47
6.2.3 Embedded interface 48
6.3 Mogelijke problemen bij invoering 48
7. SAMENVATTING EN CONCLUSIES 49
8. REFERENCES 51
BIJLAGE A INPUT SCENARIO FILE VOOR COMFORT 54
BIJLAGE B DEFINITIE PILOT-PROJECT 65

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 1. PMV-waarden bij verschillende met-waarden en Icl-waarden, waarbij de stralingstemperatuur gelijk is verondersteld aan de ruimtetemperatuur 22
Tabel 2. PMV-waarden bij verschillende waarden voor relatieve vochtigheid en luchtsnelheid met met-waarde 1,2 en Icl waarde 1,1, waarbij de stralingstemperatuur gelijk is verondersteld aan de ruimtetemperatuur 23
Tabel 3. Bouwkundige gegevens van de simulatiewoning 30
Tabel 4 Lifestyle in de simulatie 31
Tabel 5 EPC richttemperaturen met Fanger-index bij Icl=1,0 en Wm = 1,0..... 32

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 1-1 Verdeling percentage ontevreden volgens Fanger..... 10
Figuur 2-1 Context van een Cv-regeling..... 14
Figuur 2-2 Context van de C-Box..... 15
Figuur 2-3 COMFY-3 gebouw- en installatiemodel..... 19
Figuur 4-1 temperatuurverloop EPC 1,6 woning bij EPC scenario in de winter..... 32
Figuur 4-2 Temperatuurverloop bij exacte regeling volgens simulatiescenario..... 33
Figuur 4-3 Ingestelde waarden voor gewenst comfort en toegestane afwijkingen voor scenario's 1a, 2a en 3a..... 34
Figuur 4-4 Temperatuurverloop begane grond in scenario's 1a, 2a en 3a..... 35
Figuur 4-5 PMV-verloop begane grond in scenario's 1a, 2a en 3a..... 35
Figuur 4-6 Temperatuurverloop begane grond in scenario's 2a, 2b, 2c en 2d..... 36
Figuur 4-7 PMV-verloop begane grond in scenario's 2a, 2b, 2c en 2d..... 36
Figuur 4-8 Voorjaar: temperatuurverloop bij exacte regeling volgens simulatie-scenario 37
Figuur 4-9 Voorjaar: PMV verloop bij exacte regeling volgens simulatie-scenario 37
Figuur 4-10 Voorjaar: temperatuurverloop begane grond in scenario's 1a, 2a en 3a..... 38
Figuur 4-11 Voorjaar: PMV-verloop begane grond in scenario's 1a, 2a en 3a 38
Figuur 4-12 Voorjaar: temperatuurverloop begane grond in scenario's 2a, 2b, 2c en 2d..... 39
Figuur 4-13 Voorjaar: PMV-verloop begane grond in scenario's 2a, 2b, 2c en 2d 39
Figuur 4-14 Verdeling percentage ontevreden volgens Fanger..... 40
Figuur 5-1 Individueel warmtebeheer in een vertrek met een warmtebuffer 42
Figuur 6-1 Hardware standaarden voor een Comfortnetwerk..... 45
Figuur 6-2 De IPIX IC 46

SAMENVATTING

In de utiliteitsbouw hebben gebruik van centrale energiemanagement- en gebouwbeheers-systemen geleid tot een verbetering van energie- en kostenefficiency. In het SMART project [SMART,2002a, SMART,2002c] is gedemonstreerd dat een intelligent beheer middels een adaptief comfort management systeem in een kantooromgeving kan leiden tot een verbeterd thermisch comfort waarbij bovendien op energie en kosten wordt bespaard. Dit wordt vooral bereikt door kennis te benutten van het dynamisch gedrag van een gebouw, zijn installaties en zijn bewoners.

In dit document wordt beschreven hoe de concepten, die ontwikkeld zijn voor de utiliteitsbouw, kunnen worden gebruikt voor het geïntegreerd beheren van die systemen, die samen het thermisch binnencomfort in woningen regelen.

Er wordt een informatiemodel gedefinieerd voor de C-Box als comfort management systeem voor woningen. Belangrijk hierin is om de woning en zijn installaties zodanig te modelleren dat het dynamisch gedrag van de woning kan worden bepaald. Door niet alleen aandacht te besteden aan luchttemperatuur, maar ook aan andere 'comfortdragers' zoals stralingstemperatuur, luchtvochtigheid en tocht en het activiteitenniveau en de manier waarop de bewonder gekleed gaat, sluit het thermisch comfort beter aan op de perceptie van comfort door de bewoner. Bovendien zorgt het vooruitziend karakter van de comfortregeling ervoor dat de gebouwdynamica in de regeling wordt opgenomen, waardoor ongewenste effecten voor de langere termijn (een aantal uren vooruit) kunnen worden voorzien en voorkomen.

Een belangrijk punt in de aansturing van de C-Box is de bewoner. Er bestaan enkele grote verschillen tussen een gebruiker/bewoner in een kantooromgeving en de bewoner in zijn eigen huis. De laatste kent een veel dynamischer gedrag, niet alleen in aanwezigheid, maar ook in activiteiten. In een woning worden allerlei activiteiten ondernomen. Vaak kan aan de hand van de lifestyle van een bewoner hieruit een basis comfortwens over een dag worden bepaald. Voor een goede comfortregeling is het vooral van belang om de veranderingen in deze comfortwens op tijd te (onder)kennen. Dit vraagt om een vorm van gebruikersinteractie, vaak een bottleneck in de ontwikkeling van technische systemen. Doelmatigheid, begrijpelijkheid en simpelheid en staan hierin voorop. Ontwikkelingen in 'ambient intelligent technologie kunnen echter leiden tot een geheel nieuwe integratie van techniek in de gebruikerswereld.

Er wordt een aantal simulatie berekeningen uitgevoerd om de invloed van de C-Box benadering in termen van kosten en gerealiseerd thermisch binnencomfort te bepalen. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een doorsnee huis uit de Nederlandse woningvoorraad (een NOVEM doorzonwoning uit 1985). Bij de berekeningen is rekening gehouden met de gebruiksstijl van de woning.
De simulaties wijzen uit dat de C-Box in staat is om op energie-efficiënte wijze het thermisch binnencomfort in woningen te beheren. Bovenstaande indicaties wijzen op veel algemenere mogelijkheden voor het C-Box concept voor efficiënte energiebenutting voor comfort. Afhankelijk van de context waarin het wordt ingezet zal de reële energiebesparing variëren. In de standaard situatie kan een reeds efficiënt met energie omgaande bewoner geholpen worden om het energiegebruik nog meer toe te spitsen op de specifieke comfortwens, waarbij een extra energiebesparing van 5% kan worden behaald. De wat zorgeloze bewoner kan in belangrijk grotere mate geholpen worden als aangesloten kan worden bij zijn of haar comfortbeleving en informatie achterhaald kan worden betreffende zijn/haar bewonersprofiel en bewonerswens.
Extra mogelijkheden voor energie-efficiëntie ontstaan in een complexere omgeving, waarbij meerdere aanbieders van comfort samen of in concurrentie comfort kunnen leveren. Intelligente integratie van deze systemen en koppeling aan marktinformatie kan leiden tot een efficiënter inzet van energie, waaronder de keuze voor duurzaam, en kosten.

Het architectuurmodel is ook geanalyseerd op technische en functionele implementeerbaarheid. Hiertoe is een onderverdeling in functionele componenten en interfaces gemaakt, die in dit rapport nader geanalyseerd zijn. Omdat vooral de beschikbaarstelling van dit soort technologie aan de bewoner/gebruiker nauw luistert, wordt aan dit aspect extra aandacht besteed. Ten opzichte van eerdere rapporten, worden deze besparingen niet alleen bereikt bij energiezuinig ingestelde bewoners, maar ook bij alle bewoners, die de techniek niet expliciet tegenwerken.
Aan de hand van bovengenoemde architectuur wordt de basis voor een experimentele configuratie beschreven, die verder wordt uitgewerkt. De configuratie bestaat uit een "gateway", die, in zijn eenvoudigste vorm, de bestaande verbinding tussen de kamerthermostaat en de Cv-ketel onderbreekt en via een standaard UTP-verbinding met het Internet is verbonden. In een uitgebreidere setting is er een verbinding heeft met het huisnetwerk via een bestaande industrie standaard.
Implementatie van de C-Box kent nog een aantal knelpunten. Het is niet te verwachten dat specifiek met het doel van energiebesparing zwaar geïnvesteerd zal worden in huisnetwerken en on-line verbindingen naar de buitenwereld. Maar in de nabije toekomst zullen dergelijke netwerken, gedreven door andere markten (beveiliging, zorg, entertainment) steeds meer gemeengoed worden. Ook de kosten in geld en energie van de hardware kunnen een probleem vormen bij invoering. Maar ook hier is te verwachten dat draadloze componenten en sensoren steeds goedkoper op de markt komen en het energieverbruik ervan zal minimaliseren.

Als vervolg op deze studie is in bijlage B een projectvoorstel uitgewerkt voor een demonstratieproject, waarbij de mogelijkheden van het C-Box concept in de praktijk worden getoetst binnen een aantal in dit rapport naar voren gekomen randvoorwaarden: technische mogelijkheden van de C-Box; integratie met systemen ten behoeve van zorg en veiligheid; het aantonen van energie- en kostenbesparing in de praktijk; en de aandacht voor de omgang van de bewoner met het systeem.

1. INLEIDING

De doelstelling van het C-Box project kan als volgt worden geformuleerd:
Het verrichten van onderzoek naar en ontwikkeling van een logisch en fysiek model voor een comfortnetwerk voor woningen, waarin communicatie tussen een centrale op domotica gebaseerde geïntegreerde comfortregeling en de elektronische regelcomponenten van apparatuur voor klimatisering centraal staat.

Het project is opgedeeld in een aantal stappen, die tevens een verdere specificatie van de doelstelling aangeven:
- Inventarisatie van bestaande regelhardware en –software van bestaande componenten in klimaatregelapparatuur en de uitbreidingsmogelijkheden voor communicatie met externe systemen.
- Definitie van de interface met zo'n extern systeem, de C-Box, en van een fysiek en logisch informatiemodel hiervan.
- Verificatie en validatie van dit model aan de hand van simulatiestudies.
- Het uitwerken van de gebruikersaspecten, i.e. de mogelijkheden tot stuurbaarheid van het comfortnetwerk door de bewoner en de terugkoppeling van door het comfortnetwerk gegenereerde informatie naar de bewoner.

Dit rapport kan tevens gezien worden als een voortraject om te komen tot een demonstratieproject voor intelligent comfortbeheer.

In gebouwbeheerssystemen in de utiliteitsbouw wordt al sinds jaar en dag gebruik gemaakt van geautomatiseerde systemen voor beheer van het binnenklimaat. Deze systemen bestaan uit een centraal systeem, waarin de configuratie van het gebouw is gedefinieerd en dat door de gebouwbeheerder van invoer wordt voorzien, en uit een aantal gelokaliseerde subsystemen, die ieder een eigen real-time regeling hebben, afhankelijk van door het centrale systeem ingestelde setpoints [InsiteView; SMART,2002a; SMART,2002c]. In de loop der jaren is door het slim bepalen van de strategie van gebouwbeheerssystemen veel energie bespaard. Tevens blijkt centralisatie van het bepalen van de strategie van een gebouwbeheerssysteem op afstand succesvol. Gebouwbeheer kan hiermee extern door een hierin gespecialiseerd bedrijf als dienst worden uitgevoerd.

In dit rapport wordt getracht een vertaalslag te maken naar woningen. Hiertoe wordt de regeling opgesplitst in een strategie en een lokaal deel en wordt veel meer informatie betrokken bij de optimalisatie van de regeling. Aanleiding hiervoor is de toenemende penetratie van ICT in woningen in de vorm van netwerktechnologie en rekencapaciteit in apparaten en de toenemende mogelijkheden om via allerlei manieren interactie met de gebruiker te hebben. Hierdoor wordt realisatie van een management systeem voor thermisch binnencomfort, gebruik makend van standaardtechnologie, vergemakkelijkt. Voor het ontwerp van een dergelijk systeem, de C-Box (comfort-box), dient een informatieanalyse gemaakt te worden van de entiteiten betrokken bij het handhaven van het thermisch binnencomfort in woningen in ruimere zin dan gebruikelijk.

In hoofdstuk 2 wordt, uitgaande vanuit de context waarin de C-Box moet gaan functioneren, de informatieanalyse uitgewerkt in een gebouw- en installatiemodel voor de C-Box in woningen. Hoofdstuk 3 voegt hieraan de bewonersanalyse en de interactie tussen de gebruiker en de C-Box toe.
In hoofdstuk 4 wordt het complete C-Box model gevalideerd voor een standaard doorzonwoning in de jaren '80 en worden via simulatie met de C-Box een aantal referentiescenario's doorgerekend voor verschillend bewonersgedrag. Na een kort intermezzo in hoofdstuk 5, waarin aandacht wordt besteed aan bufferingstrategieën voor ruimteverwarming,

komen in hoofdstuk 6 de technische eisen ter sprake voor toepassing van een comfortnetwerk middels de C-Box. in een bestaande omgeving.
Door deze indeling hopen wij tegemoet te komen aan de verschillende doelgroepen die een rol spelen bij de totstandkoming van een markt voor comfortnetwerken in woningen. De software en hardware ontwikkelaars worden een compleet informatiemodel en een architectuur aangeboden in resp. hoofdstuk 2 en 6; de productontwerper c.q. marketing afdeling kunnen aan de hand van hoofdstuk 3 een vertaalslag maken van techniek naar gebruiker; Hoofdstuk 4 voegt een dynamisch comfortaspect toe aan de wereld van de statische gebouwmodellering en de installateur.

1.1 Huidige comfort regel systemen

De apparatuur voor het regelen van het thermisch binnencomfort in woningen, veelal alleen verwarming en soms ventilatie, bestaat op het moment in Nederland uit los van elkaar opererende systemen al of niet voorzien van intelligente regelaars. In veel gevallen wordt binnenklimaatapparatuur volgens simpele aan/uit strategieën of ten hoogste via een modulerende regeling aangestuurd op grond van zeer beperkte informatie (de gemeten binnentemperatuur op een punt) en op grond van tijdens de ontwerpfase van de woning bepaalde statische capaciteitsberekeningen.
Het vermoeden bestaat, dat model en strategie gebaseerd regelen van dit soort apparatuur in interactie met de bewoners en rekening houdend met alle binnenklimaat beïnvloedende factoren, een bijdrage levert aan het verminderen van het totale energiegebruik en tot kostenverlaging kan leiden [Boertjes,1999]. Te denken valt aan optimale inzet van (hybride) ventilatie, regelbare natuurlijke ventilatie en zoninstraling in relatie tot traditionele verwarming en air conditioning, warmteopslag en warmteterugwinning, rekening houdend met omstandigheden binnenshuis en buitenshuis.
In een duurzame energiehuishouding is een, per woning, toenemend aantal systemen betrokken bij de klimaatbeheersing van woningen (bijv. CV, warmtepomp, ventilatiesystemen, warmtebuffers en warmteterugwinningssystemen). Het bereiken van een optimale regeling in termen van comfort, duurzaamheid en kosten kan steeds minder op een statische manier in het ontwerpstadium, doch veeleer via het toekennen van dynamiek tijdens het gebruik. Het met elkaar verbonden zijn van componenten in de comforthuishouding, voor uitwisseling en afstemming van regelingen, wordt dan essentieel. De huidige tendens naar steeds energiezuinigere woningen met lage temperatuur verwarmingssystemen maken de regeling van het binnencomfort tevens moeilijker. Er is een lange naijltijd tussen het moment, dat een instelling wordt veranderd en het moment, dat effect optreedt. Kostenefficiënt gebruik van buffers of het gebruiken van buffers met opslag op verschillende temperatuurniveaus vereist verder complexere regelingen. Toekomstige PV-thermische systemen hebben een optimumtemperatuur voor het langsstromende water, voor wat betreft het opwekkingsrendement van de zonnecellen. Het dynamisch aanpassen van de watertoevoer heeft duidelijk potentieel tot verbeterde performance als de temperatuur van de PV-panelen preciezer geregeld kan worden in verschillende instralingomstandigheden. Ook vanuit de kant van nieuwe technologieën voor duurzame opwekking (micro-WKK, warmtepompen) is er vraag naar toepassing van intelligentere regelingen [E-Box,2003].

1.2 Parallelle ontwikkelingen in de ICT

De invloed van de informatietechnologie op het dagelijks leven neemt toe en de verdere inbedding in allerlei dagelijkse activiteiten is niet tegen te houden. Hierbij speelt naast de snelle ontwikkelingen op het gebied van hardware en communicatie technologie ook de verdere penetratie van het Internet en met name het voorzien van apparatuur van een IP-stack, waarmee het wijdverbreide IP-protocol voor berichtenuitwisseling kan worden gebruikt, een belangrijke rol. De schatting is dat in de nabije toekomst meer apparaten draadloos met het Internet zijn verbonden dan PC's. Europa loopt hierbij voorop. Investeringen, die op dit moment, gedreven door andere toepassingen van informatie technologie, voor het verbeteren van de communicatie infrastructuur worden gedaan, leidt tot het ontstaan van gegevensstromen, die tot informatie

voor energiebeheer en met name comfortbeheer in woningen te bundelen zijn. In Nederland leveren de Vrijband [Vrijband,2001] en GenCom initiatieven van de Nederlandse overheid een stimulans voor het ontwikkelen van resp. meer breedbandcapaciteit en meer mogelijkheden voor koppeling van kleine schaal (draadloze) netwerken voor generieke communicatie.

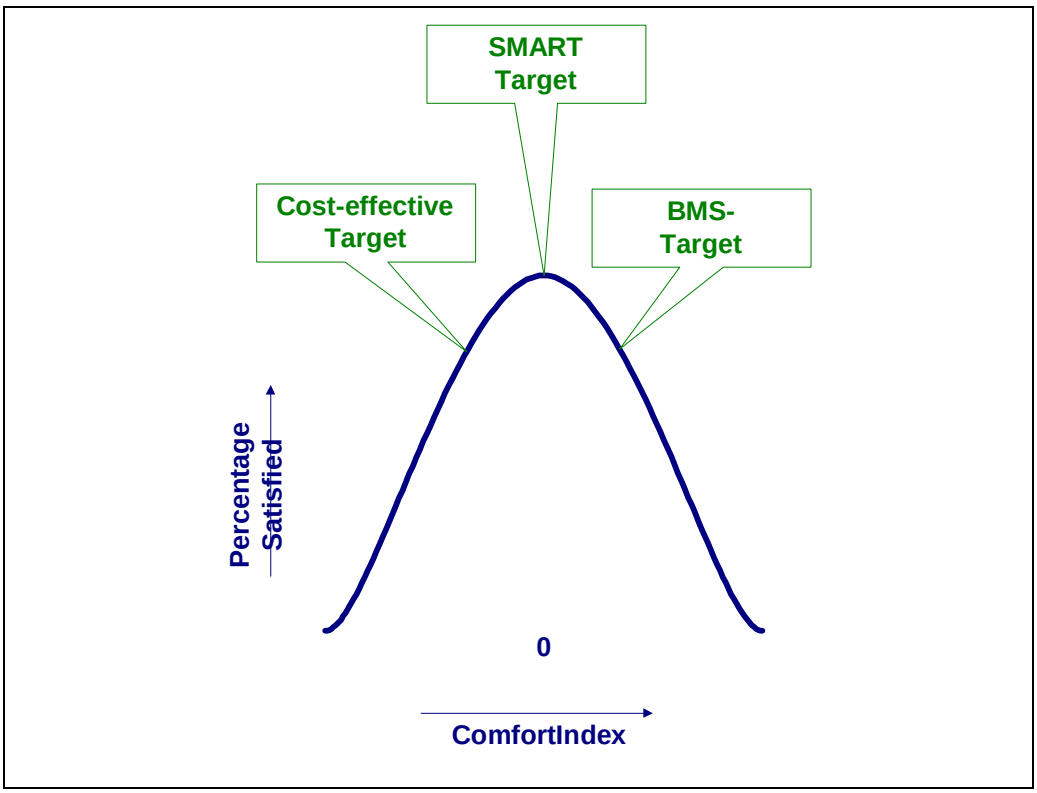
Op dit moment zijn er nog weinig initiatieven voor het definiëren van standaarden met het doel klimaatbeheersingapparatuur op te nemen in huisnetwerken. Er bestaat echter ruimschoots de mogelijkheid in andere sectoren vigerende technieken te gebruiken. In Nederland zijn een aantal inventarisaties uitgevoerd naar een applicatieplatform voor energiediensten gebruik makend van een huisnetwerk. Door Uythoff [Uythoff,1999a; Uythoff,1999b] is voor INVENIT in het kader van het domotica platform een uitgebreide inventarisatie gedaan van de inzet van domotica voor energiebesparing en naar de rol van huisnetwerken hierin. Voor een toepassing op het gebied van het regelen van het thermisch binnencomfort alleen zal er geen communicatie infrastructuur in woningen worden aangelegd. Echter, energiemanagement toepassingen hebben een natuurlijke verbinding met beveiligingssystemen (denk aan automatisch te openen ramen, aanwezigheidsafhankelijk bedrijf) en zorgsystemen. Door UNETO-VNI worden op dit moment in aanbevelingen voor levensduur bestendig wonen al aanbevelingen gedaan voor het voorzien in loze leidingen voor het verbinding van bouwelementen als kozijnen en deuren met een centraal huisautomatiseringssysteem [Uneto-VNI].

Bij de ontwikkeling van huisnetwerken, waarin ook “intelligente” apparaten zijn opgenomen, wordt door de leidende fabrikanten als Philips en Siemens vooral de aandacht gericht op de witgoed- en bruingoedsector in de duurdere marktsegmenten. Fysiek kunnen apparaten binnen kleine schaal netwerken nu al op velerlei manier aan elkaar gekoppeld worden. Er zijn standaarden voor draadloze communicatie, communicatie via bestaande infrastructuren (bijv. powerline communicatie [PALAS,2000a] en draadloos [IEEE802; Bluetooth].

1.3 Het gebruikersperspectief

Het blijkt, dat woningen, neergezet met dezelfde energieprestatie coëfficiënt (EPC), in de praktijk, bewoond door verschillende typen huishoudens, een grote spreiding in daadwerkelijk energiegebruik hebben. Naast de techniek is ook de gebruiker een essentieel onderdeel in het regelen van het binnenklimaat. Vanuit de thermisch binnencomfort kant is het aanknopingspunt voor geïndividualiseerd regelen van het binnencomfort het Fanger-model[*]. In dit model staat de individuele perceptie van comfort centraal. Het bevat als omgevingsfactoren naast de luchttemperatuur de stralingstemperatuur, de relatieve luchtvochtigheid en de lokale luchtsnelheid (i.v.m. tocht). Verder spelen in het model in de tijd (tijdstip op de dag, jaargetijde) persoonsafhankelijke factoren als activiteitsniveau, metabolisme en kleding een rol. Met comfortsturing, gebruik makend van momentane berekening van de Fanger-index [Fanger,1972; NEN-EN-ISO 7730], is binnen de utiliteitssector ervaring opgedaan [SMART,2002a; SMART,2002c, SMART,2002c]. Fanger onderscheidt een PMV-waarde, die rond de 0 zit en de PPD, het percentage ontevreden personen. In figuur 1-1 wordt de verdeling van deze PPD-waarde geïllustreerd.

[*] Hoewel Fanger niet onomstreden is als maat voor thermisch binnencomfort, geeft het aanzienlijk meer houvast dan een regeling alleen gebaseerd op de ruimtetemperatuur. Het concept van de C-Box is zodanig dat hierin zonder essentiële aanpassingen het Fanger model vervangen kan worden door een alternatief comfortmodel. Een alternatieve en geaccepteerde beoordelingsmethodiek in de plaats van het Fanger model is op dit moment niet voor handen.



Figuur 1-1 Verdeling percentage ontevreden volgens Fanger

Uit het SMART gebruikersonderzoek is gebleken dat de gebouwmanager neigt te reageren op klachten omtrent te lage temperaturen in een gebouw door te sturen op een hogere comfort-temperatuur, de BMS-target. De SMART target, zonder sturing op kosten- en energie-efficiency stuurt op optimaal comfort. De SMART software kan ook worden aangestuurd op kosten- en energie-effectiviteit, de Cost-effective target. Figuur 1-1 illustreert, dat met dezelfde afwijking van het comfort t.o.v. de ideale waarde, een zelfde waardering van het binnencomfort (percentage dissatisfied) is te verkrijgen tegen minder kosten.

1.4 Ontwikkelingen op de energiemarkt

Door de liberalisering van de elektriciteits- en gasmarkt verandert de waardeketen en ontstaan nieuwe marktpartijen. De grootste toegevoegde waarde zit niet meer in opwekking/winning of distributie van energiedragers, maar in verbetering van afstemming tussen momentane vraag en aanbod, het verlenen van diensten, (termijn)handel en IT enabled E-commerce. Voor de grootgebruikers van energie is deze transitie al nagenoeg voltooid; de middelgrote gebruikers zijn op dit moment druk bezig hun leverancier aan te passen aan de specifieke benodigde diensten. Voor de eindgebruiker zal dit in de nabije toekomst (1-1-2004) zijn beslag krijgen. Recent uitgevoerd consumentenonderzoek [PALAS,2001] bevestigt, dat er in de markt van kleine energiegebruikers, ondanks het feit, dat er nog geen aanbod van concrete diensten is, al belangstelling is. Zeker gezien het te verwachten switchgedrag (ongeveer een kwart van de klanten van energiebedrijven zal van leverancier veranderen) zullen energiebedrijven zich kunnen onderscheiden met aanbod van energie gerelateerde diensten. Energiebedrijven hebben zich door overnames al verzekerd van aanknopingspunten in deze markt.

1.5 Eerdere studies naar energiebesparingmogelijkheden door "domotica"

Door het ingenieursbureau Holsteijn en Kemna [Holsteijn,1997] is in NOVEM-kader gekeken naar energiebesparingmogelijkheden bij klimaatbeheersing in woningen door gebruik van

intelligente apparaten . Ze constateren, dat alle te bereiken besparingen met de gangbare Cv-systemen klein zijn en niet opwegen tegen de investeringskosten. Alleen op het gebied van per vertrek regelbare centrale verwarming maken zij een uitzondering. Constatering is tevens, dat bij een energie besparend ingestelde huishouding domotica het energieverbruik verhoogt en dat alleen bij verspillend gedrag effect te bereiken is. Later uitgevoerde proefprojecten in België weerspreken deze conclusie [LivingTomorrow]. Er blijft echter een duidelijk gebrek aan metingen in proefprojecten.

1.6 Uitgangspunten

In dit document wordt een raamwerk voor een C-Box gedefinieerd. De C-Box vervult een centrale rol in het bepalen van de strategie van de verschillende apparaten betrokken bij het regelen van het binnencomfort. Uitgaand van dezelfde functionele eisen van handhaving van het binnencomfort als in het SMART project [SMART,2002a], wordt in dit rapport gestart met het opzetten van een implementatie onafhankelijk informatiemodel. De functionaliteit wordt daarna vertaald naar technische specificaties van een C-Box, die verbonden is met de apparatuur, die direct het comfort regelt. De "**C-Box**" (comfort-box) vervult dus een intermediair bij de geïntegreerde regeling van de klimaatsbeheersingsinstallatie. Ten einde met externe entiteiten te kunnen communiceren worden er interfaces en communicatielijnen met andere systemen gedefinieerd. Invulling van deze communicatie in termen van fysieke verbindingen en protocollen behoort ook tot onderwerp van deze studie.
Naast optimalisatie van de regeling van het binnencomfort biedt een C-Box architectuur mogelijkheden tot andere functionaliteit. Te denken valt hierbij aan verfijnde storingsanalyse aan de hand van verwachte en gemeten realisatie van de comfort beïnvloedende apparatuur, onderhoud op afstand en het verlenen van interactieve diensten als energiebesparingadvies.

De link met de gebruiker en zijn manier van bewonen worden tevens in kaart gebracht. Zoals eerder besproken houden verwarmingssystemen zich bezig met temperatuurregeling, waarbij de gebruiker als gebouwbeheerder wordt aangesproken. Meer informatie technologie toevoegen aan een temperatuurregeling en daarmee de rol van de bewoner als energiebeheerder complexer maken, zou geen recht doen aan de mogelijkheden, die ontstaan als gevolg van nieuwe ontwikkelingen binnen de informatietechnologie, speciaal de ambient technologie.
Deze studie spitst zich toe op het optimaal beheersen van het thermisch binnencomfort binnen een zo breed mogelijke (ambient) context. Dit betekent, dat er bij de ontwikkeling van comfort management systemen een duidelijker gedragskant kan worden meegenomen. Idealiter zou een comfort managementsystemen van alle bewoners op ieder moment de *comfort*-perceptie moeten weten. Het aandragen van alleen verbeteringen van de lucht *temperatuur*regeling is in dit document niet de bedoeling. De regeling zal veeleer een voorspellende, gedragsvolgende strategieberekening dienen te zijn met alleen een gebruikersinteractie, die er gericht is de comfortperceptie van de gebruiker te achterhalen en vast te leggen ten opzichte van een aantal standaardprofielen. In plaats van de gewenste temperatuur gaat de regeling uit van de life-style van de bewoners in termen van comfortvoorkeuren en kosten. De life-style wordt vanuit een standaardpatroon aan de hand van de responses van de gebruiker langzaam bijgesteld en gaandeweg steeds beter afgestemd. Het bepalen van de informatiestromen, waaruit de voor comfortbeheer belangrijke life-style aspecten worden gedistilleerd, is een kritische succesfactor. Hierop wordt ingegaan in paragraaf 3.5. Standaard life-style patronen kunnen zijn: gezin met kinderen, tweeverdiener, ouderen etc, waarvan al referentiescenario's [SCP,1999] beschikbaar zijn. Een user interface en de eronder aanwezige regeltechniek zal vooral “forgiving” dienen te zijn ten opzichte van gebruikersacties. Interpretatie van gebruikersacties dient op een goede manier plaats te vinden en eventuele correctie moet alleen plaatsvinden na fiat van de gebruiker. Tevens bestaat er voor de gebruiker altijd de mogelijkheid tot overrulen van een ingezette strategie.

2. INFORMATIEMODELLERING VAN DE REGELING VAN HET THERMISCH BINNENCOMFORT

2.1 Inleiding

Bij een informatiemodellering is het gebruikelijk eerst een van de techniek onafhankelijke analyse uit te voeren van de processen, die al of niet geautomatiseerd zijn of moeten gaan worden en van de entiteiten, die in deze processen een rol spelen. Aan de hand daarvan wordt een implementatievrij model opgesteld, dat deze processen aan elkaar koppelt in termen van data-uitwisseling tussen componenten. In een informatieanalyse worden verder gebruikersgedrag en het de regelacties van de apparatuur als gevolg van "events" gemodelleerd. Aan de hand van een informatieanalyse kunnen tenslotte de vereisten voor een hardware en software architectuur worden bepaald. In het hierna te ontwikkelen model gaat het erom te komen tot een preëmptieve (anticiperende) regelstrategie voor iedere individuele comfortregelcomponent aan de hand van de in de inleiding genoemde aandachtspunten. Nadruk ligt op het bepalen van een optimale strategie. Het gaat om het uitgeven van setpoints, niet om de directe regelalgoritme van de naregeling, die vaak al in een PID-schema van de individuele locale controllers is gedefinieerd.
In de discussie beschouwen we een woning als een verzameling verblijfsruimten, die is ingebed in zijn omgeving. De formulering van de probleemstelling om tot een C-Box te komen is dan.

> "*Het automatisch regelen van het individueel comfortniveau op elke plaats in de woning, op elk moment, in alle jaargetijden, dag en nacht binnen tevoren vast te leggen grenzen van* ***kosten*** *en* ***comfort***"

2.2 Problemen met huidige locale comfortregelingen

Op dit moment hebben bestaande regelingen van het thermisch binnencomfort in woningen vanuit technisch oogpunt en vanuit gebruikersoogpunt een aantal tekortkomingen, waardoor niet altijd optimaal comfort wordt geleverd. Voor wat betreft de techniek zijn deze tekortkomingen:

- Een lange responstijd. Het effect van een regelactie kan lange tijd op zich laten wachten en op het moment, dat het gevolg er is, niet meer gewenst zijn. Vooral energie-efficiënte lage temperatuur verwarmingssystemen hebben hier problemen mee. Het gebruikerssignaal "warmer" op een bepaald tijdstip betekent eigenlijk, dat 2 uur daarvóór het setpoint van de regeling aangepast had moeten worden. Het slechtste resultaat is dat het twee uur later te warm wordt.
- Ze hebben een beperkte context en dientengevolge een zekere grofheid. Moderne Cv-ketels hebben modulerende branderregelingen in plaats van nog niet zo lang geleden gebruikelijke aan/uit regelingen. Aan deze wordt een setpoint afgegeven op basis van beperkte informatie. Sommige verwarmingssystemen hebben een regeling van de temperatuur van het uitgaande water, die afhankelijk is van de momentane gemeten buitentemperatuur. Een seizoensafhankelijke instelling van de ketelwater temperatuur wordt soms ook al toegepast. Echter de temperatuurverwachting of de verwachting van de zoninstraling (bijvoorbeeld op dagbasis) wordt niet betrokken bij het bepalen van de verwarmings- of koelingstrategie. Tevens zijn ze niet geïntegreerd met ventilatie; er is geen waarschuwing als er gestookt wordt met de ramen open.
- Ze baseren zich op de luchttemperatuur alleen; niet op de comfort-index van Fanger, die als een samenstel van lucht- en stralingstemperatuur, tochtindicatoren en relatieve luchtvochtigheid is bepaald [Fanger,1972; NEN-EN-ISO 7730]. In woningen spelen relatieve vochtigheid en luchtsnelheid bij de bepaling van deze index geen grote rol; de stralings- en luchttemperatuur echter wel. Door instraling kan een luchttemperatuurmeting een verkeerde indruk van het gerealiseerde binnencomfort geven.

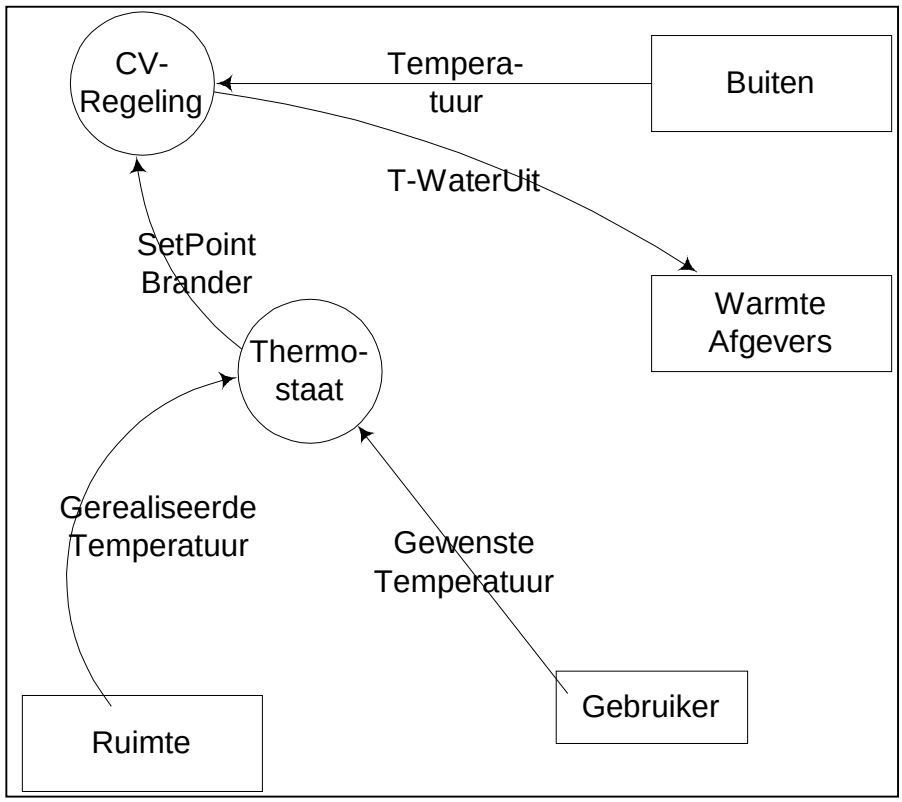
- Ze zijn gebaseerd op ruimtetemperatuurmeting alleen en op een enkele plaats; niet op meerdere metingen in verschillende vertrekken. De kwaliteit van de meting is verder vaak verstoord, doordat de ruimtetemperatuurmeting vaak geïntegreerd is met de thermostaat. De temperatuurmeting is vaak zo slecht, dat alleen de afwijking t.o.v. van de gerealiseerde temperatuur wordt gepresenteerd. In sommige thermostaten is zelfs aparte software aanwezig om te grote schommelingen in de gemeten luchttemperatuur naar de gebruiker toe te maskeren.
- Ze hebben geen kennis van het gedrag van het gebouw op de regelactie. In Nederland is er een groot aantal, qua ontwerp, zeer verschillende typen woningen. Afhankelijk van het soort de bouw en de oriëntatie hebben ze ieder een andere respons op regelacties. Als wél rekening wordt gehouden met dit soort bouwfysische gegevens als transmissie en warmtecapaciteit en oriëntatiegegevens, dan kunnen deze in een voorspellende regelstrategie worden ingebouwd.
- Afgezien van een systeem, dat luchttoetreding door ramen regelt [Duco], is geen regeling van koeling gedefinieerd. Vooral bij de huidige goed geïsoleerde nieuwbouw begint het beperken van het aantal overschrijdingsuren 's zomers een belangrijk punt te worden.

Vanuit gebruikers/gebruiksoogpunt gelden de volgende tekortkomingen:
- Regelingen houden geen rekening met de daadwerkelijke aanwezigheid of activiteitenpatroon; ze hebben echter soms wel een "agenda" met door de gebruiker ingestelde aanwezigheids- en afwezigheidsuren.
- De context van de regeling is puur op luchttemperatuur, niet op energiekosten of op andere indicatoren, zoals bijvoorbeeld een voorkeur voor aan te leveren "groene" energie. Er is geen differentiatie op de belangrijkheid van het realiseren van een zekere mate van thermisch binnencomfort als functie van het tijdstip op de dag.
- De terugkoppeling met de kosten en de energiezuinigheid ontbreekt of kan slechts op een omslachtige manier via het per regio beschikbare referentieverbruik worden verkregen.
- De gebruiker wordt als momentane temperatuurregelaar aangesproken; niet als een beoordelaar van het huidig binnencomfort. De response, die de regeling vraagt, is een temperatuurinstelling; niet het geven van een waardeoordeel als “Ik vind het hier nu te koud”. Zeker in goed geïsoleerde woningen kan het reageren op een temperatuurperceptie signaal leiden tot een te hoge temperatuur later [Jelsma,2002]. Een waardeoordeel kan echter geïndividualiseerd worden en het tijdstip, waarop het gegeven is, kan gelogd worden. Op deze manier wordt meer door een intelligent systeem te gebruiken informatie verkregen voor regeling in de toekomst. Tevens geeft het informatie over het gebruik van een bepaalde ruimte.

De C-Box komt al deze problemen in grote mate tegemoet.

2.3 Definitie context

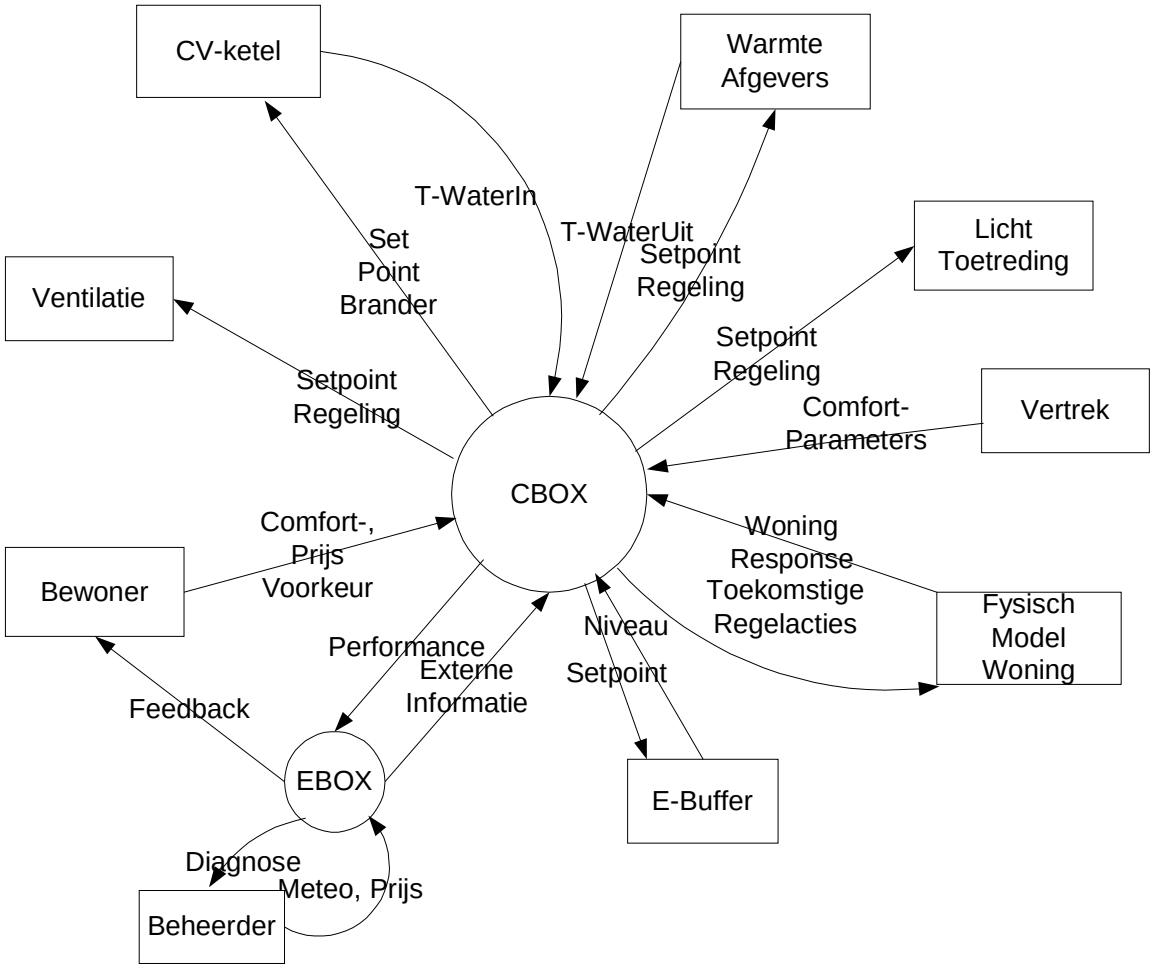
Een contextdiagram van een conventioneel thermostaat gebaseerd Cv-systeem is te vinden in Figuur 2-1. De buitentemperatuur bepaalt de maximale temperatuur, waarmee het ketelwater wordt afgegeven. Uit de meting van de binnentemperatuur en het setpoint, dat door de gebruiker wordt gegeven, komt een setpoint voor de branderautomaat van de Cv-ketel naar voren. Regeling van de watertemperatuur op basis van de buitentemperatuur, ten einde energie te besparen in het voor- en naseizoen als een lagere aanvoer van het radiatorwater voldoende is, wordt als extra optie soms meegenomen; er is dan een extra sensor voor de buitentemperatuur aanwezig. De temperatuur van het uitgaande water wordt alleen bewaakt ter voorkoming van oververhitting; niet om te controleren hoeveel warmte er door de radiatoren is afgegeven aan de hand van de gemeten temperatuur.



Figuur 2-1 Context van een Cv-regeling

De uitgebreidere context van de C-Box is geschilderd in Figuur 2-2. In het contextdiagram zijn zoveel mogelijk aspecten van een gedistribueerde comfortregeling meegenomen. De leveranciers en ontvangers van informatie in dit contextdiagram zijn:

- De Cv-ketel. De Cv-ketel heeft in de meeste gevallen een modulerende brander-automaat, die bij de nieuwere modellen tussen een bepaalde minimum capaciteit, die vaak in de buurt van de 30% ligt, en 100 % kan worden bedreven. De temperatuur van het aanvoerwater naar de componenten van de verwarmingsinstallatie wordt beschikbaar gesteld aan de C-Box. Op de rekencapaciteit van de microprocessor in de Cv-ketel wordt zo weinig mogelijk een beroep gedaan teneinde deze in staat te stellen het veilig regelen van het verbrandingsproces met minimale kans op storingen uit te voeren. In de hier geschetste architectuur wordt de data-acquisitie van de buitentemperatuur via een aantal queries via Internet uitgevoerd. Daarnaast zal ook de verwachting van de buitentemperatuur via dit mechanisme plaatsvinden. De Cv-ketel levert dus bij (gedeeltelijk) aanzetten na verloop van tijd een bepaalde aanvoerwater temperatuur.



Figuur 2-2 Context van de C-Box

§ Individuele warmte-afgevers. Dit zijn de opwarmers van de lucht en de leveranciers van stralingswarmte. Het kunnen radiatoren zijn, maar ook vloerverwarmings- of muurverwarmingssystemen. De retourtemperatuur van de radiatoren wordt gemeten en het temperatuursetpoint van de regelkraan wordt versteld indien nodig. Door deze meetparameters is de warmtestroom naar het vertrek te bepalen. Dit levert feedback aan het rekenmodel en kan tevens als controle dienen op niet gewenste effecten. Als voorbeeld kan dienen een lage retourtemperatuur, terwijl de gemeten binnentemperatuur niet toeneemt (verwarmen bij een geopend raam). Dit soort events kunnen leiden tot het opbouw van performance informatie en feedback aan de eindgebruiker. Bij een centrale Cv-ketel met per vertrek een regeling van de warmtetoevoer via een thermostatische radiatorkraan vergt dit een extra regelslag. Het betreft een verfijning van de nu bestaande modulerende branderregelingen aan de hand van de temperatuur in een bepaald vertrek in plaats van een centraal vertrek.

§ Lichttoetreding. De lichttoetreding is in dit geval relevant om de hoeveelheid van buiten ingestraalde warmte (bijdrage aan de stralingstemperatuur) te bepalen en de maximale lichttoetreding in verband met het comfortniveau van de verlichting te bepalen. Naast verhoging 's zomers kan er 's winters verlaging van de stralingstemperatuur optreden. Dit effect treedt op door een lage "sky-temperatuur" bij een donkere onbewolkte hemel.

§ Sensor(en) voor comfort meting per vertrek. Hierbij is het zaak een goede meetstrategie te kiezen. De mate, waarin het comfort wordt ervaren, kan van plaats tot plaats in een vertrek aanzienlijk verschillen. Dit kan afhangen van zoninstraling, plaatsing van de

radiatoren en de aanvoerwater temperatuur (radiatoren geven een comfortbijdrage via warmtestraling). Een regeling, waarbij de radiatortemperatuur te zeer fluctueert, kan het ondervonden comfort aanzienlijk naar beneden brengen. Hier ligt nog een duidelijk optimalisatiepunt, hoewel modulerende regelingen hier al voor een deel aan tegemoet komen.

§ Een representatieve meting van de luchttemperatuur alleen zal voldoende zijn. Informatie m.b.t. de stralingstemperatuur kan uit meteorologische gegevens en de stand van de zonwering worden gehaald.

§ De bewoners. De bewoner en zijn/haar perceptie/beoordeling van het comfort staat centraal. Dit gebeurt aan de hand van zijn comfortvoorkeur profiel, dat uitgaand van een aantal standaard profielen (voor tweeverdieners gezin, gezin met kleine kinderen, ouderen etc.) wordt geconfigureerd. Deze profielen worden in hoofdstuk 4 benoemd. De standaard profielen worden door de beherende instantie opgesteld aan de hand van regionale klimaatgegevens, de statische parameters van de bouwfysica en andere statische parameters. Aan de hand van de gebruikersresponses, stelt de C-Box zich in op een aantal tendensen, die in het stookgedrag voor bepaalde periodes aanwezig zijn. Te denken valt aan het naseizoen, de winter en het voorseizoen. De rol van de bewoner in handhaving van het binnencomfort zal zo beperkt mogelijk zijn. Het comfort regelsysteem zal zich meer op het automatisch aanpassen aan het gedrag van de gebruiker moeten richten, dan dat het de gebruiker 'lastig valt' met een directe invloed op de regeling. Het gedrag van de gebruiker kan invloed uitoefenen op de C-Box door:
  – Aanwezigheid. Net als bij bestaande klokthermostaten kunnen per week verschillende dagschema's worden uitgevoerd. Dit kan tot op vertrekniveau worden bepaald. Via een eenvoudige procedure achterhaalt het systeem de binnenkomst c.q. aanwezigheid van de bewoner(s) in de woning en in de vertrekken en het verlaten ervan. Een mogelijkheid zou kunnen zijn, dat een bewoner bij vertrek zijn moment van terugkeer aangeeft. Er bestaan ook mogelijkheden dit op afstand uit te voeren via draadloze telecommunicatie.
  – Het comfortprofiel en de maximale afwijking daarop. Het verloop van beide profielen is tijdsafhankelijk. Rond acht uur 's ochtends en 's avonds kan de toegestane afwijking bijvoorbeeld kleiner zijn dan tijdens andere perioden. Voor het comfortprofiel wordt de index van Fanger [Fanger,1972; NEN-EN-ISO 7730] gebruikt, die van -3 tot +3 loopt. In het comfortprofiel is tevens het activiteitenniveau opgenomen.
  – Het kostenprofiel en energiebesparingsprofiel. In bepaalde perioden is het willen instellen van een lagere temperatuur niet een doel op zich, maar slechts een middel om besparing in kosten en/of energie te realiseren. In combinatie met het bedrijf van opslagbuffers en warmtepompen in de installatie kunnen bijvoorbeeld tijdsafhankelijke energieprijzen hierbij een rol gaan spelen.

- Ventilatie zal niet als doel hebben de ventilatie luchtsnelheid in termen van het Fanger-model te regelen. Het bouwbesluit schrijft de capaciteit van de ventilatie voor. Binnen grenzen van luchtkwaliteit, zoals vermijding van te hoge kooldioxideconcentraties, zorgt ventilatie voor transport van warme en koude lucht. Ventilatie wordt op twee manieren gerealiseerd:
  – Centrale ventilatie. Het debiet van de ventilatie is vaak slechts in twee stappen te beïnvloeden. Of centrale ventilatie per vertrek daadwerkelijk via regelbare ventielen wordt uitgevoerd of dat gemiddeld wordt over de gehele capaciteit wordt in het midden gelaten. Bij centrale ventilatie is in steeds meer nieuwbouwwoningen al sprake van warmteterugwinning door voorverwarming van de inblaaslucht.
  – Individuele ventilatie per vertrek. Hierbij gaat het om automatisch te openen gevelopeningen als ramen en roosters in ramen. Deze kunnen vooral worden gebruikt om 's ochtends anticiperend te koelen in de zomer, wanneer de

buitentemperatuur lager is dan binnentemperatuur. Bij raamopeningen is deze manier van ventileren gebonden aan een maximale windsnelheid buiten ten einde tocht te voorkomen.

§ Regelbare zonlichttoetreding per vertrek. Deze wordt gebruikt voor verwarming in voor- en naseizoen en ter beperking van het aantal overschrijdingsuren ten gevolge van oververhitting in de zomer. De werking is gebonden aan een te handhaven minimale en maximale hoeveelheid licht tijdens aanwezigheid van personen overdag. Lichtmodellering hangt natuurlijk sterk samen met andere aspecten als activiteiten en sfeerverlichting. Op dit moment houdt de C-Box zich nog niet bezig met lichtregeling op basis van gebruikerswensen. Deze vormt echter wel een randvoorwaarde voor toepassing.

§ Extern via de E-Box (energy management gateway) beschikbare informatie. Hierbij gaat het om de actuele temperatuur, directe en diffuse zoninstraling, en de relatieve luchtvochtigheid en de verwachte waarden van deze grootheden voor de komende dagen. Verder kunnen we hier ook denken aan aankomstmelding van bewoners van de woning (user interface via bijv. GSM/WAP of PalmTop).

- De "gebouwbeheerder". Deze krijgt informatie over de performance van de C-Box. Verder heeft deze beheerder de zorg over het onderhouden en actualiseren van de extern beschikbare informatie, zoals meteorologische verwachtingen over zoninstraling (direct en indirect), wind en temperatuur. De gedefinieerde taak bouwt voort op de servicetaak, die nu al op Cv-apparatuur door installateurs en energiebedrijven wordt uitgeoefend. Een als in [E-Box,2003] geschetst servicemodel zou een van de manieren kunnen zijn om een dergelijke set taken uit te oefenen.

- Energiebuffer. Uit [E-Box,2003] blijkt tevens een besparingseffect in geval van een buffer voor energie bij tijdsafhankelijk prijzen. Voor een bufferregeling zijn het huidige niveau van de buffer en de momentane instroom c.q. uitstroom van belang.

- Het fysiek gebouwmodel wordt gedefinieerd in termen van de fysieke parameters van de scheiders tussen de verschillende segmenten (wanden, ramen, vloeren, deuren) [SMART,2002a; SMART,2002c]. Tevens worden in het model de luchtstromen ter bepaling van de warmte-uitwisseling tussen segmenten en naar de buitenwereld gedefinieerd. Een ander belangrijk punt in de modellering is de oriëntatie van de woning ten opzichte van de zon. Gegeven het fysieke model kunnen geplande regelacties worden doorgerekend in termen van te realiseren temperaturen. Door deze berekeningen over een langere periode vooruit te maken, kan een optimale en anticiperende strategie voor comfortregeling worden bepaald. In het algemeen kan met een beperkte onnauwkeurigheid worden geaccepteerd. Het gaat vooral om de richtinggeving, die de strategie bepaalt. Zo kan oververhitting in de middag (zon) worden voorkomen door ’s ochtends hiermee rekening te houden in het stookgedrag.

2.4 Het C-Box objectmodel

Veelal worden voor thermodynamische berekeningen in een gebouw zware simulatiepakketten ingezet zoals TRNSYS. Voor comfort management schieten deze pakketten vaak hun doel voorbij vanwege de te gedetailleerde input en de weinig flexibele opzet van een pakket voor gebruik in een real-time omgeving. In het SMART project [SMART,2002a; SMART,2002c] is hiertoe het COMFY-3 model ontwikkeld dat aan deze bezwaren tegemoet komt. COMFY-3 is de derde versie van het oorspronkelijke COMFY comfort management systeem [Boertjes,1999].

Hoewel het COMFY-3 model in SMART gebruikt is in een utiliteitsomgeving, kan het ook worden ingezet voor woningen. Hieronder volgt een korte weergave van het objectmodel, dat opgebouwd is uit het gebouwmodel en het installatiemodel.

2.4.1 Het gebouwmodel:

Het gebouwmodel is gericht op het dusdanig beschrijven van de ruimtes in een gebouw, dat de warmtestromen in voldoende nauwkeurige mate kunnen worden berekend. Nauwkeurig betekent hier: zodanig dat de maximale afwijking tussen berekende en gerealiseerde temperatuur op een termijn van enkele uren niet meer dan enkele tienden °C bedraagt. Voor deze berekeningen dienen de – statische – gebouwmodel gegevens aangevuld te worden met dynamische gegevens zoals klimaat en gebruiksaspecten van het gebouw. Het gebouwmodel bestaat uit de volgende entiteiten:

Een **segment** is een (deel van een) ruimte waarin een apart en eenduidig thermisch comfort heerst. Een comfortregeling via een of meer controllers (zie beneden) zorgt voor de aansturing hiervan. Een segment heeft een bepaald klimaat in termen van luchttemperatuur, stralingstemperatuur, luchtvochtigheid en windsnelheid. Bouwfysisch wordt een segment bepaald door een vast volume en een vaste warmteopnamecapaciteit in muren en andere vaste objecten in de ruimte.
Voor een beter begrip onderscheiden we bovendien een **space** van een segment, in die zin dat een space hetzelfde is als een segment, maar zonder mogelijkheden tot comfortregeling. Het klimaat in een space is echter wel afhankelijk van controller instellingen in b.v. aangrenzende segmenten. Een niet-verwarmde zolder kan bijvoorbeeld als een space worden beschreven.

Een **terminator** is een ruimte met een niet door comfortregelaars te beïnvloeden klimaat, zoals een onverwarmde kelder of een kruipruimte. Ook buiten wordt gemodelleerd als een terminator. Voor de thermische berekeningen is alleen het klimaat van een terminator van belang, speciaal de luchttemperatuur. Indien een te openen rooster of raam naar een terminator bestaat, kan ook de luchtvochtigheid van belang zijn.

Segmenten en terminators worden van elkaar gescheiden door **separators**. Een separator wordt virtueel genoemd als er geen fysieke scheiding (muur, glas) bestaat, b.v. een voor- en achterruimte van een woonkamer. Een separator wordt bouwfysisch beschreven door een oppervlakte en een warmte-transmissiecoëfficient.

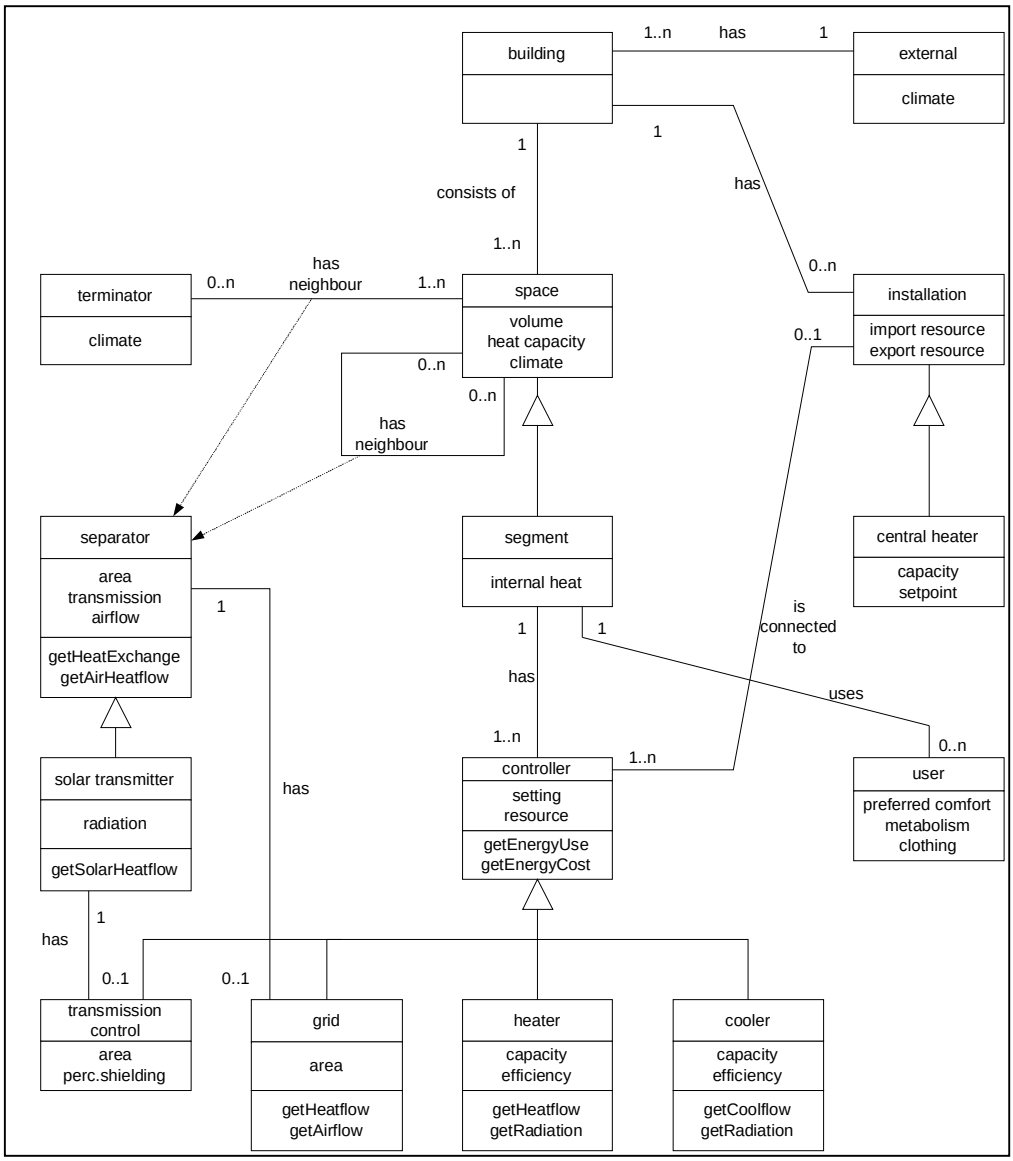
Een **solar transmitter** is een separator / terminator waardoorheen de zon middels instraling invloed heeft op het comfort in een segment. Uiteraard is de hoeveelheid zoninstraling door een solar transmitter van belang voor de comfortbepaling in het segment.

2.4.2 Het installatiemodel

Een gebouw bestaat behalve uit een statisch gebouwmodel ook uit apparatuur die een of meer comfort aspecten kan beïnvloeden. Deze apparatuur kan centraal aanwezig zijn in een gebouw (b.v. de Cv-ketel), of decentraal gekoppeld aan een bepaalde ruimte (radiator). In COMFY-3 is ten behoeve van het SMART project een aantal apparaten gemodelleerd, zoals een verwarmingselement, een air conditioner, zonwering. Het model is zodanig van opzet, dat het betrekkelijk eenvoudig is om uitbreidingen toe te voegen, zoals radiatoren (niet alleen verwarming maar ook straling) en regelbare ventilatiegrids. De apparatuur wordt gescheiden in de volgende basis entiteiten:

De regeling van het comfort in een segment geschiedt door **controllers**, die lokaal een of meer comfort aspecten kunnen beïnvloeden. Voorbeelden van controllers zijn warmteafgevers (luchttemperatuur), radiatoren (lucht- en stralingstemperatuur), zonwering (stralingstemperatuur), ventilatiegrid regelaars (luchttemperatuur, luchtvochtigheid, windsnelheid). Een controller gebruikt een energie resource zoals gas, elektriciteit of warmte.

Controllers kunnen gekoppeld zijn aan een **installatie,** die voorzien kan worden van een gemeenschappelijke setting voor een aantal controllers. Voorbeeld is een Cv-ketel, die de watertemperatuur bepaalt ten behoeve van een aantal lokale radiatoren. Ook een elektriciteitsnet of warmtenet kunnen we modelleren als een installatie, waarbij decentraal door de controllers energie wordt afgenomen en centraal bepaald wordt uit welke bron deze energie afkomstig is (wkk-elektriciteit en warmte, PV-elektriciteit, warmte in bodemopslag, elektriciteitsnet, etc.) en tegen welke prijs. Een installatie zet een energie import resource om in een energie output resource, e.g. een Cv-ketel zet gas om in warmte voor Cv-leidingen.



Figuur 2-3 COMFY-3 gebouw- en installatiemodel

Een aparte bron van warmtetoevoer bestaat uit de aanwezige warmtelast in een ruimte. Deze wordt niet alleen bepaald door aanwezige apparaten, zoals de computer, de tv of de koelkast, maar ook door het aantal personen in de ruimte. Ook deze interne warmtelast wordt in het model meegenomen.

2.4.3 De comfortperceptie:

Het is in de praktijk gebruikelijk om het comfort af te meten aan de luchttemperatuur in een ruimte. De **comfortperceptie** wordt echter mede door een aantal andere aspecten bepaald: de stralingstemperatuur, luchtvochtigheid en tocht in de ruimte; de door een persoon gedragen kleding en zijn activiteitsniveau. Al deze aspecten zijn vertegenwoordigd in de Fanger index, een maat voor de comfortperceptie van een individu. Deze maat wordt ook wel genoemd '**PMV**' (**Predicted Mean Vote**). Het C-Box comfort management model maakt gebruik van deze maat voor sturing van het comfort.

Met behulp van bovenstaand gebouw- en installatiemodel is het mogelijk om het comfort in de verschillende ruimtes van een gebouw te bepalen, afhankelijk van een beginconditie en de controller- en installatiesetpoints. Hoewel het gebruik maakt van sterk vereenvoudigde thermodynamische berekeningen, kan het in de praktijk goed voldoen indien kleine afwijkingen regelmatig worden bijgestuurd door de gemeten realiteit.
Als we bovendien de comfortperceptie en de comfortwensen van de gebruiker over een langere periode kennen, kan de C-Box een optimale regelstrategie bepalen om de gebruiker het gewenste comfort te leveren. In de optimalisatie wordt een afweging gemaakt van de kosten, het energiegebruik en het verschil tussen gewenst en geleverd comfort.

2.5 Dynamisch gedrag

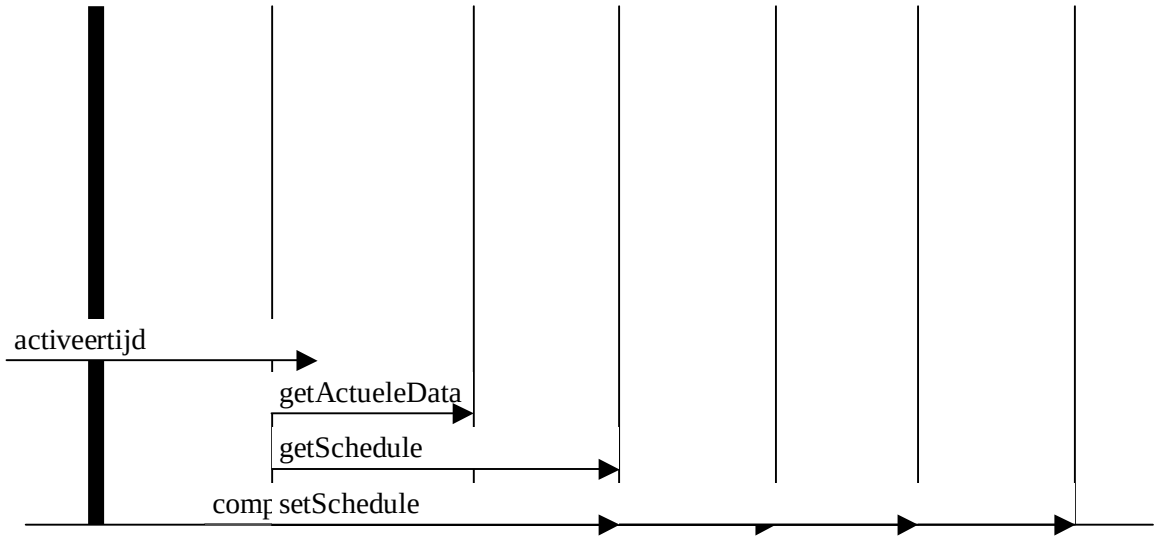
Naast een context-analyse en het objectmodel vormt ook het definiëren van het dynamisch gedrag onderdeel van een informatieanalyse. Interacties tussen actoren leiden tot het kunnen voorkomen van een groot aantal events, zowel vanuit het comfort management systeem zelf als geïnitieerd door de gebruiker van het systeem. Een event leidt tot acties die veelal een toestandsverandering van het systeem veroorzaken. Het is zaak om deze events, acties en toestanden van het systeem afdoende te beschrijven. Hoewel een volledige analyse van alle events buiten het bestek van dit document valt wordt hier toch een voorbeeld gegeven ter illustratie.

<u>Scenario: patroonwijziging</u>
De gebruiker verandert zijn gebruikspatroon
De comfort optimizer berekent optimale instellingen van de lokale controllers
De comfort optimizer berekent nieuwe setpoints voor de centrale installatie
De comfort manager brengt de nieuwe setpoints in in de centrale installatie
De comfort manager herstart met nieuwe patroon + lokale en centrale instellingen

<u>Scenario: incidentele wijziging door gebruiker</u>
De gebruiker geeft een ruk aan het systeem
De comfort manager beredeneert wat de bedoeling is van de gebruiker
De comfort optimizer berekent optimale instellingen van de lokale controllers
De comfort optimizer berekent nieuwe setpoints voor de centrale installatie
De comfort manager brengt de nieuwe setpoints in in de centrale installatie
De comfort manager herstart met nieuwe lokale en centrale instellingen

<u>Scenario: comfort management</u>
De comfort manager wacht tot ingestelde periode voorbij is
De comfort manager vergelijkt geoptimaliseerde berekening met momentaan gemeten waarden
Indien afwijking te groot of indien herstart punt is bereikt

De comfort optimizer berekent optimale instellingen van de lokale controllers
De comfort optimizer berekent nieuwe setpoints voor de centrale installatie
De comfort manager brengt de nieuwe setpoints in in de centrale installatie
De comfort manager herstart met nieuwe lokale en centrale instellingen
De comfort manager gaat nieuwe wachtperiode in



Klok SEBOS Meet Systeem. Scheduler Optimizer Cv-ketel Controller

3. DE GEBRUIKERSINTERACTIE

3.1 Fanger-invloeden in de gebruikersinterface

Metabolisme (M-rate en W-rate) en **kledingniveau** (Icl-waarde) beïnvloeden in grote mate het comfortgevoel van een gebruiker. De optimale comforttemperatuur (de temperatuur waarbij de PMV-index de waarde 0 heeft bij constante overige factoren) is zeer gevoelig voor deze twee parameters, hetgeen de volgende tabel toont.

temperatuur		**19 °C**	**20 °C**	**21°C**	**22°C**	**23°C**	**24°C**
clo	**met**						
1,1	**1,0**	-1,01	-0,76	-0,51	-0,26	**-0,01**	0,25
	1,1	-0,70	-0,48	-0,25	**-0,03**	0,20	0,43
	1,2	-0,45	-0,25	**-0,04**	0,16	0,37	0,57
	1,3	-0,24	**-0,06**	0,13	0,31	0,50	0,69
	1,4	**-0,07**	0,10	0,27	0,45	0,62	0,79
1,2	**1,0**	-0,83	-0,60	-0,36	**-0,12**	**0,12**	0,37
	1,1	-0,54	-0,33	**-0,12**	**0,10**	0,31	0,53
	1,2	-0,31	**-0,12**	**0,08**	0,27	0,47	0,67
	1,3	-0,12	**0,06**	0,24	0,41	0,59	0,78
	1,4	**0,04**	0,21	0,37	0,54	0,70	0,87
1,3	**1,0**	-0,68	-0,45	-0,22	**0,01**	0,24	0,48
	1,1	-0,40	-0,20	**0,00**	0,21	0,42	0,63
	1,2	-0,18	**0,00**	0,19	0,37	0,56	0,75
	1,3	**0,00**	0,16	0,33	0,50	0,68	0,85
	1,4	0,15	0,30	0,46	0,62	0,78	0,94

Tabel 1. PMV-waarden bij verschillende met-waarden en Icl-waarden, waarbij de stralingstemperatuur gelijk is verondersteld aan de ruimtetemperatuur

Bij een metabolisme M = 1,1 met en een I_{cl} = 1,1 lezen we een optimale temperatuur af van 22 °C. Als we de M met 0,1 punt verhogen, dan daalt de optimale temperatuur met een volle graad. Als de I_{cl} met 0,1 punt verhoogd wordt, daalt de optimale temperatuur met een halve graad.

Als we de gebruiker met instellingen voor metabolisme en kledingniveau confronteren, dan is de kans groot dat dit door verkeerd gebruik tot teveel comfortwisseling leidt. Het lijkt beter om met een beperkt aantal categorieën te werken, ook al omdat in een woning men zelden zeer zware werkkleding aan zal hebben of zware inspanning verricht. We stellen de volgende categorieën voor:

- activiteitsniveau: inactief, lichte werkzaamheden, zware werkzaamheden,
- kledingniveau: lichte kleding, iets extra's, zwaardere kleding (trui e.d.).

Andere factoren die een rol spelen in het comfortgevoel zijn de **luchtvochtigheid** en de **luchtsnelheid**. In onderstaande tabel is te zien dat de invloed van deze parameters op het comfortgevoel veel minder groot is. Bovendien zal het in veel woningen lastig zijn om deze waarden te meten en dus te weten. Wel kunnen we in het algemeen een redelijke schatting geven voor deze waarden. De luchtvochtigheid zal variëren tussen de 40% en 60%. Op basis van de seizoenen en de weersverwachting kan de C-Box hier een voldoende nauwkeurige benadering voor vinden. De luchtsnelheid in woningen zal beperkt zijn, behalve wanneer met bewust ramen open zet. Een goede basiswaarde voor de luchtsnelheid is 0,1 m/sec. De gebruiker zal niet belast worden met deze instellingen.

temperatuur		19 °C	20 °C	21°C	22°C	23°C	24°C
vochtig-heid	lucht-snelheid						
40 %	**0,05**	-0,43	-0,22	**-0,01**	0,20	0,41	0,62
	0,07	-0,43	-0,22	**-0,01**	0,20	0,41	0,62
	0,09	-0,43	-0,22	**-0,02**	0,18	0,39	0,59
	0,11	-0,47	-0,27	**-0,06**	0,14	0,35	0,56
	0,13	-0,52	-0,31	**-0,10**	**0,11**	0,32	0,53
	0,15	-0,56	-0,35	-0,14	**0,07**	0,29	0,50
50 %	**0,05**	-0,38	-0,17	**0,04**	0,26	0,47	0,68
	0,07	-0,38	-0,17	**0,04**	0,26	0,47	0,68
	0,09	-0,38	-0,17	**0,04**	0,24	0,45	0,66
	0,11	-0,42	-0,22	**-0,01**	0,20	0,41	0,62
	0,13	-0,47	-0,26	**-0,05**	0,16	0,38	0,59
	0,15	-0,51	-0,30	**-0,08**	0,13	0,35	0,57
42 %	**0,05**	-0,33	**-0,12**	**0,10**	0,31	0,53	0,75
	0,07	-0,33	**-0,12**	**0,10**	0,31	0,53	0,75
	0,09	-0,33	**-0,12**	**0,09**	0,30	0,51	0,72
	0,11	-0,37	-0,17	**0,05**	0,26	0,47	0,69
	0,13	-0,42	-0,21	**0,01**	0,22	0,44	0,66
	0,15	-0,46	-0,24	**-0,03**	0,19	0,41	0,63

Tabel 2. PMV-waarden bij verschillende waarden voor relatieve vochtigheid en luchtsnelheid met met-waarde 1,2 en Icl waarde 1,1, waarbij de stralingstemperatuur gelijk is verondersteld aan de ruimtetemperatuur

De temperatuur komt op twee verschillende manieren voor in de Fanger functie. De **luchttemperatuur** in een ruimte kan worden gemeten. De **stralingstemperatuur** is niet zo eenvoudig te meten, maar hiervoor kan een redelijke schatting gegeven worden op basis van de verwachte zoninschijning, de radiatorstraling en de muren.

3.2 Beheersinvloeden in de gebruikersinterface

Wat veel gebruikers willen is comfort tegen een lage prijs. Ook efficiënt energiegebruik is voor veel gebruikers een belangrijke doelstelling, zoals o.a. het PALAS gebruikersonderzoek laat zien [PALAS,2001]. Een comfort management systeem zal zich dus moeten richten op gewenste **comfortinstellingen** en een begrenzing aan de **comfortafwijking**. Deze afwijking kan gebruikt worden om meer energie aan te wenden wanneer deze goedkoper is en energiegebruik te beperken zonder dat het comfort hiervan te veel te lijden heeft. De mate waarin dit gebeurt kan worden beïnvloed door het instellen van een **energie-** en **kostenindicatie**.

De energiebedrijven hebben een aantal jaren geleden de zgn. 'stook zuinig' acties bij hun klanten geïntroduceerd. In deze acties wordt – uitgaande van een gemiddeld basisverbruik in een jaar – door middel van het leveren van weekcijfers over gas- of warmtegebruik de gebruiker aangespoord om zich te richten op een streefverbruik dat b.v. 10% lager ligt dan het basisverbruik. Als de gebruiker geen extra efficiency maatregelen neemt, kan dit alleen bereikt worden door verstandig te stoken of iets minder comfort te accepteren.
Centraal bij de ' stook zuinig' acties staat het begrip 'graaddag', waarmee een voorspelling van het actuele verbruik wordt gedaan op basis van het basisverbruik, gecorrigeerd voor de actuele buitentemperatuur. De volgende tekst is afkomstig van het internet (http://www.obragas.nl, www.intergas.nl).

Elke graad die de gemiddelde etmaaltemperatuur beneden de 18 graden ligt wordt een graaddag genoemd. Een gemiddelde etmaaltemperatuur van 17 graden levert dus één graaddag op (18-17), een gemiddelde etmaal temperatuur van 16 graden twee graaddagen (18-16), enz. De gemiddelde temperatuur wordt gemeten door het KNMI op een groot aantal weerstations verspreid over het hele land.

Wil de graaddagen methode nauwkeurig werken dan moet elke graaddag een gelijk deel van het totale jaarverbruik aan aardgas voor z'n rekening nemen. Een graaddag in juli moet dus vergelijkbaar zijn met een graaddag in januari. Dat is echter niet zonder meer het geval. Per graaddag wordt in de winter meer aardgas verstookt dan in de zomer. Om de graaddagen van de verschillende maanden toch vergelijkbaar te maken moeten sommige maanden dus zwaarder meetellen dan andere. Dat wordt bereikt door de graaddagen te vermenigvuldigen met de volgende wegingsfactoren:

November tot en met februari	*1,1*
Maart en oktober	*1,0*
April tot en met september	*0,8*

Het zou ideaal zijn als een comfort management systeem zou kunnen aansluiten bij de uitgangspunten van de 'stook zuinig' actie door zich te richten op het basisverbruik, en door de het reductiepercentage dat ten grondslag ligt aan een door de gebruiker te bepalen streefverbruik te vertalen naar een energie- en/of kostenindicatie zoals boven bedoeld. De in het SMART-project [SMART,2002a; SMART,2002c] gebruikte utiliteitsfunctie en de daarin verwerkte energie- en kostenindicatie geven weinig inzicht in hun uitwerking. De relatie tussen comfort, comfortafwijking en energie en kosten is hierin lastig te begrijpen Daarom onderzoeken we voor de C-Box een alternatieve utiliteitsfunctie die beter inzicht biedt.

3.3 De comfort utiliteitsfunctie

De keuze van de utiliteitsfunctie wordt vooral bepaald door het doel dat het dient: een zwaardere 'straf' bij hogere comfortafwijking en bij hogere kosten en energiegebruik. In het SMART project [SMART,2002a] is een tamelijk kunstmatige utiliteit gebruikt. In deze studie hebben we een beter inzichtelijke comfort utiliteitsfunctie gebruikt. Voor de formulering van deze alternatieve utiliteitsfunctie baseren we ons op het principe van de *sum-of-squares*, die een maat geeft voor de variatie van het comfort rond het gewenste comfort:

$$u_{comf}(c) = \begin{cases} -\dfrac{d^2}{d_{\max}^2} & for\ 0 \le d \le d_{\max} \\ -\dfrac{d^2}{d_{\min}^2} & for\ d_{\min} \le d \le 0 \end{cases}$$

Hierbij is

$d = \lvert c - c_{pref} \rvert$	met c_{pref} het gewenste comfort en c het bereikte comfort
d_{min} en d_{max}	zijn de toegestane comfortafwijkingen naar beneden (te koud) en naar boven (te warm)
$u_{comf}(c)$	schaalt op 1 als de maximale of minimale toegestane afwijking wordt bereikt.

Indien we ook het energie- en kostengebruik in de over-all utiliteitsfunctie betrekken, dan krijgt deze de vorm:

$$u_{net}(c) = \sum_i u^i_{comf}(c) - P \cdot \sum_i wp_i \cdot u^i_{cost} - E \cdot \sum_i we_i \cdot u^i_{energy}$$

met

$u^i_{comf}(c)$	de comfort utiliteitsfunctie als boven in periode i
u^i_{cost}	de kosten voor comfort in periode i
u^i_{energy}	het energiegebruik voor comfort in periode i
P	de schaalfactor voor de kosten
E	de schaalfactor voor het energiegebruik
wp_i	de wegingsfactor voor de kosten in periode i
we_i	de wegingsfactor voor het energiegebruik in periode i

De schaalfactoren zijn nodig om de comfort-, kosten- en energie-utiliteit over de gehele berekeningstijd met elkaar in overeenstemming te brengen. De wegingsfactoren bepalen het belang van kosten- en energiereductie en vervangen de kostenindicatoren in de oorspronkelijke over-all utiliteitsfunctie. Hoe lager deze wegingsfactoren, hoe beter comfort geleverd zal worden, omdat de comfort utiliteit in dat geval zwaarder weegt.

Ter bepaling van de schaalfactoren kijken we naar de schommeling in het comfort die het gevolg is van het inzetten van een eenheid meer of minder aan energieverbruik over het totale te beschouwen tijdsframe (b.v. 24 uur). Merk op dat de inzet van een eenheid energie in een periode zonder compensatie in een latere periode ook het comfort beïnvloedt in alle latere periodes. Deze comfort beïnvloeding is bovendien sterk afhankelijk van de buitentemperatuur en van de woningisolatie.
Bij lage buitentemperaturen heeft verandering van energie inzet sneller gevolgen voor het comfort dan bij hogere buitentemperaturen. Evenzo voor minder geïsoleerde gebouwen in vergelijking met goed geïsoleerde gebouwen. Kortom: als we een relatief hoog energieverbruik verwachten, dan zal de energieschaalfactor E kleiner moeten zijn om bij eenzelfde percentage energiebesparing eenzelfde mate van comfortverlies te krijgen. De energieschaalfactor E zal derhalve getuned moeten worden op de EPC van de woning en het aantal graaddagen in het te beschouwen tijdsframe.
Verscheidene tests voor de EPC = 1,6 woning geven de volgende indicatie voor E :

winter,	graaddagen 24 $\rightarrow$ Comfort : Energie = 4 : 1 $\rightarrow$ E = 1/ 4
winter,	graaddagen 19 $\rightarrow$ Comfort : Energie = 9 : 1 $\rightarrow$ E = 1/ 9
voor/naseizoen	graaddagen 9 $\rightarrow$ Comfort : Energie = 17 : 1 $\rightarrow$ E = 1/17
voor/naseizoen	graaddagen 4 $\rightarrow$ Comfort : Energie = 22 : 1 $\rightarrow$ E = 1/22

Derhalve stellen we voor de wintersituatie $E = 1 / (28 - graaddagen)$ en voor het voor- en naseizoen $E = 1 / (26 - graaddagen)$. Als het aantal graaddagen boven de 27 komt houden we $E = 1$ aan. Deze situatie is zeldzaam in Nederland. Bij 0 graaddagen houden we E = 1/26 aan.

De schaalfactor P voor de kosten kan worden afgeleid uit de kosten per eenheid energie. Als de gemiddelde prijs per kWh ligt op 0,1 € , dan kan de schaalfactor P op 10*E worden gesteld. Een m^3 gasprijs kunnen we omrekenen naar een kWh-equivalent.

3.4 Gebruikersprofielen

In het licht van bovenstaande paragrafen kan het comfort worden beïnvloed door de volgende parameterinstellingen:

- Het door de gebruiker gewenste comfort.
- Als de toegestane afwijkingen groter zijn, wordt comfortverlies door de gebruiker als minder zwaar beoordeeld.

- Als het energie- en/of kostengewicht groter is, dan wordt meer energie- en/of kostenbesparing gerealiseerd waarbij de gebruiker comfort inlevert.
- Metabolisme (activiteitsniveau) en kledingniveau bepalen voor een groot deel het ervaren comfort. De life-style van de bewoner bepaalt weer voor een groot deel wanneer hij of zij in welke mate actief is en hoe hij of zij zich kleedt.
- Aanwezigheid bepaalt of er überhaupt comfort moet worden geleverd of dat kan worden teruggevallen op een minimum niveau, vergelijkbaar met b.v. de thermostaat op 16 °C.

Beschouwen we een wintersituatie. Als de gebruiker afwezig is, en het dus niet nodig is om comfort te leveren, kan de thermostaatinstelling van 16 °C vertaald worden naar een comfort waarde van PMV = -2. De toegestane afwijking naar beneden zal beperkt zijn, aangezien anders het comfort onwenselijk laag zou kunnen worden. De toegestane afwijking naar boven kan veel groter zijn. De C-Box zal hieraan niet toegeven als dit energie of geld kost. Wel moeten we rekening houden met overgangen naar gewenst comfortniveau. Als een gebruiker b.v. om 17:00 uur thuiskomt en een aangenaam comfort wil hebben, kan om 16:00 of 16:30 uur wel een minimum comfort worden ingesteld, maar een grote toegestane afwijking naar boven op dit tijdstip stelt de C-Box in staat om zonder veel utiliteitsverlies naar het hogere gewenste niveau toe te regelen.

Voor de energie- en kostengewichten blijkt uit de simulatiestudies dat de volgende vuistregel opgaat:
Een gewichtsverdeling energie : kosten van 1,5 : 0,5 levert een redelijke energiebesparing op zonder dat het comfort op enig moment te ver terugloopt. Het comfort zal wel in lichte mate onder het optimale comfort liggen. Eventueel kan een verhouding 2,5 : 0,5 een iets grotere energiebesparing geven met iets meer comfortverlies.
Een gewichtsverdeling energie : kosten van 1,0 : 1,0 levert eenzelfde energiebesparing op. Bij variërende kosten kan de kostenbesparing aanzienlijk groter worden, maar dit gaat wel gepaard met hogere pieken en lagere dalen in comfort.
Een gewichtsverdeling energie : kosten van 2,0 : 0,0 levert een weer eenzelfde energiebesparing op, zonder dat naar extra kostenbesparing wordt gekeken. Het comfortniveau blijft zo constant mogelijk, net onder het optimale niveau.
Zie ook de discussie in hoofdstuk 4.

De overige parameters worden in de volgende paragraaf behandeld.

3.5 Life-style en comfort

In de optimale regeling van het comfort staat de bewoner / gebruiker centraal. De C-Box wordt voorzien van een aantal life-styles met bijbehorend gedrag en comfort wensen. In deze life-styles worden o.a. vastgelegd de aanwezigheid, het gewenste comfortniveau en het gangbare activiteits- en kledingniveau. Ook kunnen de ‘bandbreedte’ van het comfort en de energie- en kosten kostenindicaties uit de vorige paragraaf worden bepaald op basis van life-style. Herkenbare life-styles zijn:

- Tweeverdieners: weinig thuis, luxe comfort.
- Tweeverdieners met kinderen: thuis buiten schooltijden, hoger activiteitsniveau, normaal comfort
- Gezinssituatie: overdag thuis, hoog activiteitsniveau, normaal comfort
- Alleenstaande: weinig thuis, normaal tot beperkt comfort
- Oudere: overdag thuis, extra warm comfort tegen lagere prijs

De gebruiker van de C-Box kan een van deze life-styles als basis kiezen voor zijn eigen leefpatroon. Via leereffecten kan de C-Box tijdens gebruik kleine correcties maken. Door herkenning van de gebruikersperceptie worden nieuwe patronen gedestilleerd die leiden tot aanpassing van het basispatroon. Uiteraard moet de C-Box ook beantwoorden aan directe

gebruikerswensen, die buiten een patroon vallen. In dit rapport wordt de ‘hoe’-vraag niet beantwoord.

Een life-style is gebaseerd op vaste patronen. Een groot aantal dagen zal volgens deze standaardpatronen verlopen. De C-Box zal echter ook incidentele veranderingen moeten kunnen verwerken, zowel door direct ingrijpen van de gebruiker, als door overschakeling naar een ander patroon (e.g. vakanties).

Op grond van bovenstaande overwegingen komen we tot de volgende instellingsparameters en categorieën voor de C-Box:

Besparingswens:

Lux	**Efficiënt**	**E-Efficiënt**	**K-Efficiënt**
we = 0,1	we = 1,5	we = 2,0	we = 1,0
wp = 0,1	wp = 0,5	wp = 0,0	wp = 1,0

Comfortafwijking:

Lux	**Normaal**	**Spartaans**
c_{pref} = 0,1	c_{pref} = 1,0	c_{pref} = 2,0

Warm- resp. koudbloedigheid

Warm	**Normaal**	**Koel**
c_{pref} = 0,2	c_{pref} = 0,0	c_{pref} = -0,2

Activiteit:

Inactief	**Lichte werkzaamheid**	**Zwaardere werkzaamheid**
met = 1,0	met = 1,2	met = 1,4

Kleding:

Licht	**Iets extra**	**Zwaardere kleding**
I_{cl} = 1,0	I_{cl} = 1,1	I_{cl} = 1,2

Aanwezigheid / afwezigheid:
registratie per tijdseenheid, weekend-week ritme;

Slapend / niet slapend:
registratie per tijdseenheid, weekend-week ritme;

De eenvoudigste manier om deze informatie te achterhalen is door het de gebruiker te vragen en als basis in een life-style vast te leggen. De gebruiker moet dan de gelegenheid hebben om via een doelmatige en simpele gebruikersinterface instellingen aan te passen aan veranderende omstandigheden. Ontwikkelingen in de richting van 'ambient intelligent' technologie (omringende of omgevende intelligentie) kunnen evenwel leiden tot geheel andere vormen van gebruikersinteractie. Dit concept gaat uit van een technologie die uit de omgeving van personen een gebruikersperceptie bepaalt en daarop naar wens reageert, zonder dat deze technologie voor de gebruiker zichtbaar is. Deze technologie wordt reeds beproefd, o.a. in het Philips Home Lab [Philips HomeLab].

3.6 Scenario’s/strategieën

Vraagarticulatie door de gebruikersinterface en aanpassen aan het leef- en activiteitenpatroon van de gebruiker zijn belangrijk. Deze vraagt niet om op temperatuur te regelen maar op comfort, gegeven zijn actuele activiteitspatroon, en energiebesparingswens. Vragen hierbij zijn:

Hoe schat je de momentane comfort beleving en hoe geef je de gebruiker invloed op het instellen daarvan. 's Nachts wil een gebruiker geen lagere temperatuur, maar energie of kosten besparen. Als we een stapje verder gaan: de mate, waarin comfort belangrijk is, is ook tijdsafhankelijk. Verder spelen plaatsafhankelijke aspecten een rol: een berekening van het effect van locale regelacties in termen van gerealiseerd comfort, gebruik maken van informatie uit het fysieke gebouwmodel, kan modelgebaseerde regelen mogelijk maken. In het rekenmodel, dat voor utiliteitsgebouwen nu al in de SMART-software zit, wordt dit punt meegenomen.

Een intelligent regelsysteem zal een gebruikersactie moeten vertalen naar een realistische comfortregeling. Hiertoe wordt de C-Box systeem ingezet. Op basis van de gebruikersprofielen over een langere periode (b.v. een dag) en de verwachte weersituatie wordt de optimale energievraag per tijdseenheid (b.v. een kwartier) voor ieder segment apart in de woning bepaald. Deze energievraag wordt vervolgens vertaald in een optimale regeling voor de centrale installaties van de totale woning.

De werking van het gedistribueerde gebouwsysteem wordt gegeven door een scenario, dat uit een aantal regels bestaat, waarin de entiteiten en de processen gekoppeld worden in de vorm van procedures en constraints (beperkingen). Aan de hand van de eerder gepresenteerde prototype schermen worden de attributen van het regelsysteem vanuit de verschillende invalshoeken bepaald. Uiteindelijk kan een scenario worden opgesteld in statements van een hoog niveau programmeertaal, die het mogelijk maakt regels voor de energiehuishouding van een gebouw vast te leggen. Met de regels van het systeem kunnen verschillende scenario's bepaald worden, puur gebruik makend van simulatie. Scenario's kunnen opgezet worden voor situaties, waarin wel gebruik gemaakt wordt van energiemanagement en situaties waar dit niet zo is.

Ten einde simulaties uit te voeren met bovenstaand informatiemodel is gebruik gemaakt van de binnen het SMART-project beschikbare software. Er is een fysiek gebouwmodel gemaakt van een NOVEM-doorzonwoning met een EPC van 1.6. De woning vertegenwoordigt een doorsnee woning binnen het Nederland beschikbare areaal. Tevens worden resultaten gegeven van toepassing van ICT voor tijdsafhankelijke regeling van energieopslag in een omgeving met tijdsafhankelijke tarieven en comfortvoorkeuren.

4. SIMULATIE VAN REAL-TIME COMFORT BEHEER VAN DE WONING

Ten einde het gedrag van het comfort beheer model in hoofdstuk 2 te testen is met behulp van binnen het SMART-project beschikbaar gekomen software een aantal simulaties uitgevoerd op basis van de NOVEM-doorzonwoning zoals die begin jaren ‘80 in Nederland werd gebouwd. Deze woning wordt gekenmerkt door een EPC van 1.6, hetgeen overeenkomt met een aardgasverbruik voor ruimteverwarming van ca. 1400 m^3.
In hoofdstuk 5 worden resultaten gegeven van toepassing van ICT voor tijdsafhankelijke regeling van energieopslag in een omgeving met tijdsafhankelijke tarieven en comfortvoorkeuren.

De keuze voor de NOVEM-doorzonwoning is gedaan op grond van de volgende argumenten:
- Het besparingspotentieel bij deze woningen is aanzienlijk hoger dan van de huidige generatie woningen: 10% van 1400 m3 tikt zwaarder aan dan 10% van 600 m3.
- De woning vertegenwoordigt een doorsnee woning binnen het Nederland beschikbare areaal, met een nog aanzienlijke levensduur.
- Toepassing van het COMFY-3 concept kan ook in oudere woningen zonder onoverkomelijke technische problemen worden uitgevoerd.

De thermische ‘reactietijd’ in bovenstaande NOVEM-doorzonwoning is sneller dan in zwaar geïsoleerde woningen met een grote bouwmassa. Anders gezegd: oudere woningen hebben een ‘korte termijn’ geheugen waar het thermische behaaglijkheid betreft. Dit betekent dat vooral directe aansturing van het comfort van belang is. Merk op dat dit een geheel andere setting is dan in kantoorgebouw 42 van ECN, dat in het SMART-project is gemonitord. In dit gebouw, met een grote bouwmassa en dus hoge thermische opslagcapaciteit, zijn de langere termijn effecten van comfortregeling en dus het anticiperend vermogen, van groter belang.

De belangrijkste vragen, die in de simulatie worden onderzocht, zijn:
- Wat is het energiebesparingspotentieel van comfort beheer in een woning?
- Hoe kan de aansturing van het comfort beheer aansluiten bij de beleving van de bewoner?

De eerste vraag is belangrijk omdat het de hoofddoelstelling is van het ECN energieonderzoek.
De tweede vraag is belangrijk ten einde problemen in de mens - machine interactie te voorkomen dan wel te minimaliseren. Het komt te vaak voor dat technische vernieuwingen stuklopen op het ‘niet begrijpen’ van de werking van een systeem. De vraag hierbij is of het wel wenselijk is dat de gebruiker de werking van een systeem moet kunnen doorgronden, of dat via een zo simpel mogelijke interface een systeem zo intelligent moet zijn dat het de gebruiker begrijpt, al dan niet via een ingebouwd leerproces.

4.1 Opbouw van het model in TRNSYS.

De referentiewoning voor de simulatiestudie is gemodelleerd en doorgerekend met behulp van het TRNSYS pakket en van daaruit omgezet naar een gebouwmodel volgens COMFY-3. Het (vereenvoudigde) model wordt als volgt gekenmerkt:
- De woning is opgebouwd uit drie segmenten: de begane grond, de eerste verdieping en een zolder. Het comfort in ieder segment is – binnen de beperkingen van de woning – apart regelbaar.
- Ieder segment heeft zgn. separators naar boven (plafond resp. dak) en naar beneden. De begane grond en eerste verdieping hebben separators aan de voorkant (voorgevel) en aan de achterkant (achtergevel). De begane grond heeft bovendien een apart gemodelleerde voor- en achterdeur.

- Er vindt luchtuitwisseling plaats tussen eerste verdieping en zolder.
- Natuurlijke ventilatie wordt gesimuleerd door een (vaste) luchtstroom van buiten naar de begane grond en naar de eerste verdieping, gebaseerd op een ventilatievoud van 0.61. Er vindt geen voorverwarming plaats van ventilatielucht.
- Verwarming vindt plaats op de begane grond en op de eerste verdieping door middel van radiatoren die gevoed worden vanuit een centraal verwarmingssysteem, een verhoogd rendement ketel (80%). Als model voor de radiatoren is hetzelfde model gebruikt als voor het IIGO project (Radson model).

4.2 Vertaling van het model naar de C-Box.

De gebouwgegevens voor de simulatiestudie zijn weergegeven in onderstaande tabel. Alle gegevens zijn afgeleid van het TRNSYS model voor de doorzonwoning.

	Volume	**Warmtecap.**	**Areacap.**
Segment: Begane Grond	119.2 m^3	1.45E07	158.74
Separator	**Begrenzing**	**Oppervlakte**	**k-waarde**
Voorgevel	buiten	5.47 m^2	0.488 W/m^2K
Achtergevel	buiten	8.61 m^2	0.488 W/m^2K
Plafond	eerste verdieping	44.19 m^2	2.782 W/m^2K
Vloer	kruipruimte	44.19 m^2	2.034 W/m^2K
Voordeur	buiten	2.31 m^2	0.998 W/m^2K
Achterdeur	buiten	1.32 m^2	0.998 W/m^2K
Voorraam	buiten	5.55 m^2	2.8 W/m^2K
Achterraam	buiten	1.87 m^2	2.8 W/m^2K

	Volume	**Warmtecap.**	**Areacap.**
Segment: 1e verdieping	119.2 m^3	1.50E07	141.91
Separator	**Begrenzing**	**Oppervlakte**	**k-waarde**
Voorgevel	buiten	8.46 m^2	0.488 W/m^2K
Achtergevel	buiten	9.34 m^2	0.488 W/m^2K
Plafond	zolder	44.19 m^2	2.782 W/m^2K
Vloer	begane grond	44.19 m^2	2.782 W/m^2K
Voorraam	buiten	3.88 m^2	2.8 W/m^2K
Achterraam	buiten	3 m^2	2.8 W/m^2K

	Volume	**Warmtecap.**	**Areacap.**
Segment: Zolder	66.3 m^3	6.34E06	99.85
Separator	**Begrenzing**	**Oppervlakte**	**k-waarde**
Dak	buiten	55.66 m^2	0.531 W/m^2K
Vloer	eerste verdieping	44.19 m^2	2.782 W/m^2K

Tabel 3. Bouwkundige gegevens van de simulatiewoning

Het gas gestookte centraal verwarmingssysteem is een central heating installation. De radiator is een comfort aspect controller, die warmte importeert vanuit de central heating installation en deze warmte afgeeft aan het segment. De andere primitieven uit COMFY als een regelbare ventilatieopening en de regelbare zonwering zijn in de simulatiestudie niet meegenomen. Implementatie in bestaande woningen is ook niet zonder meer vanzelfsprekend, gezien de kosten die dit met zich meebrengt. Regeling op real-time marktprijzen[*] wordt meegenomen

[*] Hierbij is uitgegaan van elektriciteit als energie resource. In een gas infrastructuur zijn real-time marktprijzen minder waarschijnlijk. Het werken met een real-time elektriciteitsprijs is bedoeld om het effect ervan op de regeling te bepalen.

door een beperkte differentiatie in tarieven. In de comfort index berekening worden alleen de Tair (gecorrigeerd, gemeten), Trad (uit model), RHum (van buiten) gebruikt. De Vair zal geen rol spelen, behalve ’s zomers.

4.3 Het simulatie scenario

In de simulatiestudie beschouwen we een traditionele gezinssituatie met een profiel volgens onderstaande tabel.

Periode	Comfort	Activiteit	Kleding	Slapend / aanwezigheid
00:00 – 07:00	Minimum	n.v.t.	n.v.t.	Slapend
07:00 – 09:00	Normaal	Licht	Licht	Aanwezig
09:00 – 12:00	Normaal	Zwaar	Licht	Aanwezig
12:00 – 13:00	Normaal	Licht	Licht	Aanwezig
14:00 – 17:00	Normaal	Zwaar	Licht	Aanwezig
17:00 – 23:00	Normaal	Licht	Licht	Aanwezig
23:00 – 24:00	Minimum	n.v.t.	n.v.t.	Slapend

Tabel 4 Lifestyle in de simulatie

Niet aanwezig of slapend betekent dat mimumum comfort = -2, *Icl* = 1,0 en *met* = 1,0 wordt aangehouden, overeenkomend met een richttemperatuur van ca. 16 °C. Dit komt overeen met de basis richtlijn voor EPC berekeningen.

Voor de simulatiestudie beschouwen we een winterdag uit het testreference jaar: 4 maart. De gemiddelde temperatuur op deze dag is 1 °C, hetgeen overeenkomt met 17 graaddagen. Vermenigvuldigd met de winterfactor van 1,1 levert een totaal van 19 graaddagen. De gemiddelde kosten voor een kWh energie bedragen € 0.05. Dit levert voor de schaalfactoren uit de netto utiliteitsfunctie de volgende verhoudingen op:

comfort : energie : kosten = 9 : 1 : 20

We houden tijdens de simulatiestudie een aantal parameters constant, zoals aangegeven in hoofdstuk 3: luchtvochtigheid = 40%; luchtsnelheid = 0,1 m/sec; toegestane comfortafwijking (in PMV-termen) naar beneden 1,0 en 0,1 resulterend in minimaal comfort resp. gewenst comfort; toegestane afwijking naar boven 2,0 en 1,0 resulterend in minimaal comfort resp. gewenst comfort (bij overgang van mimimum comfort naar gewenst comfort wordt de toegestane afwijking naar boven nog hoger gezet).

4.4 Verificatie EPC

In de simulatiestudie bepalen we het verbruik op een winterdag, 4 maart, in januari, met een gemiddelde temperatuur van 1 °C, wat overeenkomt met 17 graaddagen. Dit vermenigvuldigd met de wegingsfactor van 1,1 levert een totaal van 19 graaddagen voor de dag uit onze simulatiestudie.
Bij een normaal jaar hoort ook een normaal aantal graaddagen. Gemiddeld zijn er in Nederland ca. 3.200 gewogen graaddagen per jaar. Gebruiken we dit gegeven uitgaande van een jaarverbruik van 1400 m^3 gas (ruimteverwarming gebonden), dan zullen we naar verwachting ca. 8.3 m^3 gas verstoken op de simulatiedag, i.e. een equivalent van ca. 90 kWh.

Voordat we een simulatiestudie doen, kunnen we het model verifiëren met behulp van een EPC-scenario. Dit scenario baseert zich op de volgende thermostaat temperaturen in een woning:

	Woonverdieping		Slaapverdieping	
	temperatuur	PMV	temperatuur	PMV
00:00 tot 07:00:	16 °C	-2,0	16 °C	-2,0
07:00 tot 19:00:	19 °C	-1,2	16 °C	-2,0
19:00 tot 23:00:	21 °C	-0,68	16 °C	-2,0
23:00 tot 24:00:	16 °C	-2,0	16 °C	-2,0

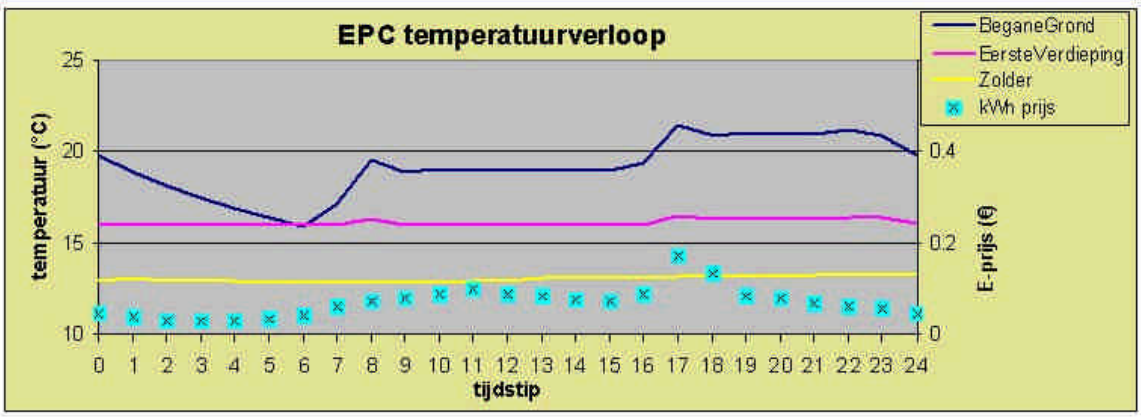
Tabel 5 EPC richttemperaturen met Fanger-index bij Icl=1,0 en Wm = 1,0

In tegenstelling tot TRNSYS rekent het COMFY comfort management model niet uit welke warmtelast nodig is om een bepaalde ruimtetemperatuur te bereiken, maar bepaalt COMFY een optimale comfortsetting binnen toegestane afwijkingen, gericht op de Fanger-index voor comfort. Uit de settings voor iedere periode kan vervolgens de warmtelast worden bepaald. Dit betekent dat we voor het EPC-scenario het volgende moeten doen:

- comfortinstellingen zoeken (metabolisme, kleding, richtcomfort) die overeenkomen met bovenstaande temperatuurinstellingen;
- de toegestane afwijkingen zodanig kiezen, dat bovenstaande temperatuurprofielen overeenkomen met de optimale sturing van het ingestelde comfort; hierbij worden het kosten- en energiegewicht op 0 gezet.

In bovenstaande tabel is het richtcomfort voor COMFY bij de verschillende temperatuur-stellingen gegeven bij Icl = 1,0 (kledingniveau) en Wm = 1,0 (metabolisme)

Onderstaande grafiek laat het resultaat zien van een optimalisatie met behulp van COMFY.



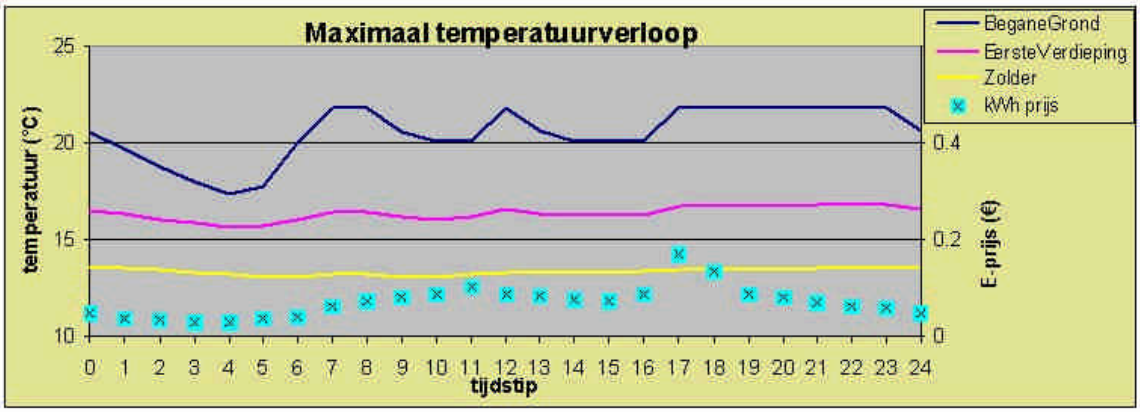
Figuur 4-1 temperatuurverloop EPC 1,6 woning bij EPC scenario in de winter

Het totale energiegebruik voor de ruimteverwarming is bepaald op 93,97 kWh equivalent (85,40 kWh voor de woonverdieping en 8,58 kWh voor de slaapverdieping). Dit is weliswaar iets hoger dan de eerder gevonden 90 kWh voor een woning uit 1985, maar ligt ruim binnen de marge van 10% die wij acceptabel achten voor een benadering via een vereenvoudigd segmentenmodel. Eerdere verificaties van modellen tussen TRNSYS- en COMFY-berekeningen in het IIGO project hebben al laten zien dat COMFY niet significant slechter presteert dan TRNSYS. In de simulatiestudies gaat het bovendien vooral om vergelijken van situaties. Een kleine systematische afwijking in het model zal dan voor de onder handen zijnde scenario-studies een vergelijkbare afwijking vertonen, waardoor verschillen tussen scenario's met veel grotere nauwkeurigheid zijn behept.

4.5 Referentiesituatie voor een winterdag

Op dezelfde manier als in de verificatie EPC kunnen we het COMFY model gebruiken om een referentiesituatie te berekenen voor de simulatiestudies door de utiliteitsfunctie aan te sturen zonder energie- of comfortweging en met minimale toegestane comfortafwijkingen. In dat geval bepaalt COMFY een maximale fit aan het gewenste comfort. Vervolgens kunnen we door energie-, kosten- en comfortpreferenties te variëren inzien op welke manier COMFY hierop reageert.
De referentiesituatie geeft een maat voor het verwachte energiegebruik bij een directe beantwoording aan de comfortvraag. In de referentiesituatie wordt, evenals in de simulaties in de volgende paragraaf, uitgegaan van de eerder gedefinieerde life-style in Tabel 4 voor zover het niet de energie-, kosten- en comfortsturing betreft. We gebruiken in de referentiesituatie lage toegestane afwijkingen vanaf het gewenste comfort (zeker naar beneden); geen of minimaal gewicht voor energie en kosten. Merk op dat de referentiesituatie een exacte afspiegeling representeert van een vast comfortprofiel van de gebruiker.

De life-style leidt tot een ander comfortpatroon dan het EPC scenario. De gebruiker wil 's ochtends rond 8 uur en 's middags rond 1 uur een aangenaam comfort. 's avonds wordt een hogere temperatuur als comfortabel geacht dan in het EPC scenario. Een en ander leidt tot een hoger energieverbruik van (equivalent) 99,81 kWh. Dit is ruim 5% hoger dan voorgerekend in het EPC scenario: hoger comfort kost nu eenmaal meer energie.



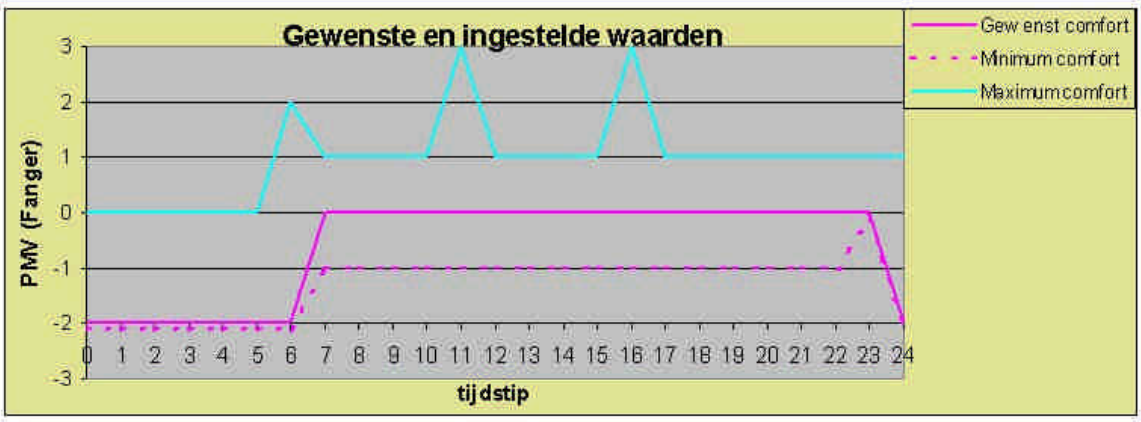
Figuur 4-2 Temperatuurverloop bij exacte regeling volgens simulatiescenario

4.6 Resultaten voor een winterdag

We hebben gezien dat, om energie en kosten te besparen, de gebruiker een aantal verschillende parameters tot zijn beschikking heeft:

- gewichten *we* en *wp* voor energieverbruik en kosten,
- toegestane afwijkingen d_{max} naar boven en d_{min} naar beneden.

Voor onze eerste serie simulaties houden we de toegestane afwijkingen vast volgends de volgende grafiek. Zolang het basiscomfort –2 is ('s nachts) staan we niet veel lagere waarden toe. De pieken in toegestane afwijking naar boven zijn hoog ingesteld om voorverwarming toe te staan als we verwachten dat de temperatuur omhoog gaat. Zo niet, dan zou de voorverwarming teveel worden afgestraft. Dit gebeurt om 6-7 uur, om 11-12 uur en 16-17 uur.



Figuur 4-3 Ingestelde waarden voor gewenst comfort en toegestane afwijkingen voor scenario's 1a, 2a en 3a

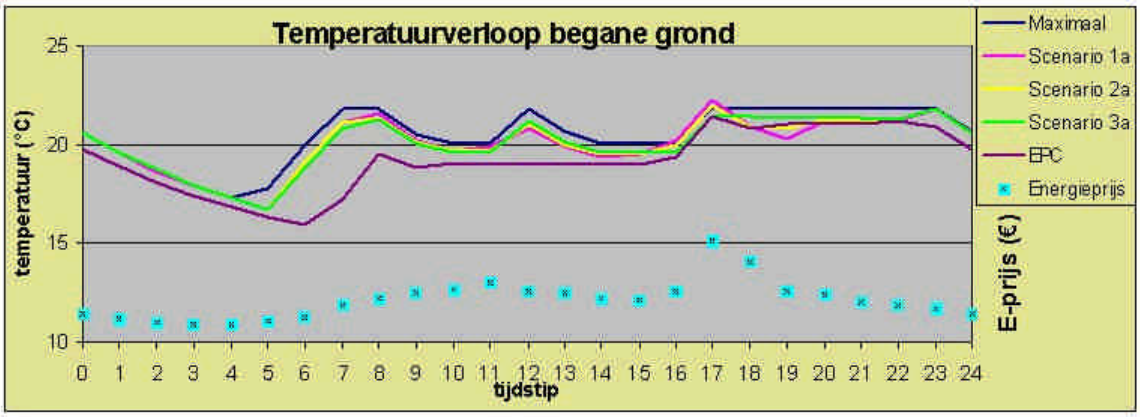
Op de eerste verdieping stellen we het comfort vast op –2, met een toegestane afwijking naar beneden tot –2,5. Naar boven stellen we een ruime grens.

4.6.1 Variatie kosten en energiegewicht

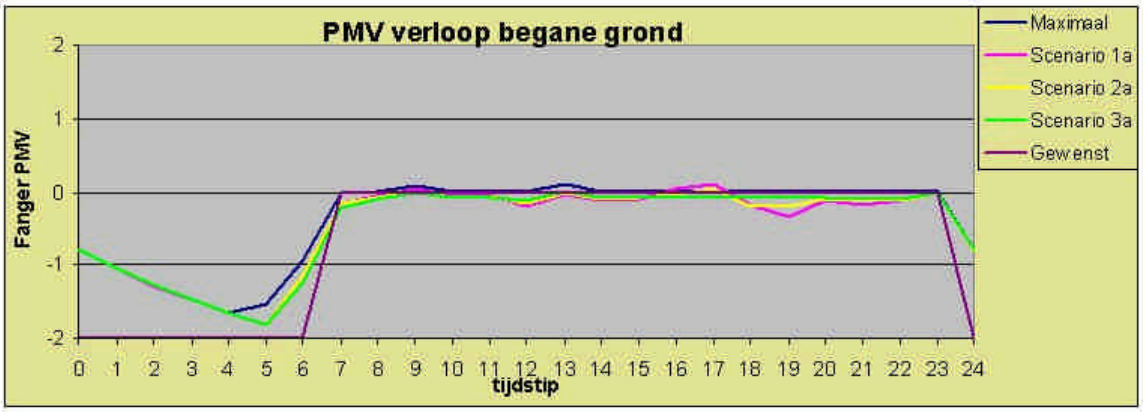
NB. beginsituatie van elk scenario is verschillend – temperaturen 00:00 uur – 24:00 uur gelijk.
We variëren de verdeling van de energie- en kostengewichten:

Scenario	energie	kosten	Energie (kWh)	Energie besparing	Kosten besparing
Scenario 1a:	we = 1,0	wp = 1,0	96,26 kWh	3,6 %	11,9 %
Scenario 2a:	we = 1,5	wp = 0,5	96,14 kWh	3,7 %	8,5 %
Scenario 3a:	we = 2,0	wp = 0,0	96,30 kWh	3,5 %	1,6 %

Voor alle drie scenario's is de energiebesparing vrijwel gelijk. Er zijn wel grote verschillen in de kostenbesparingen. In figuur X zien we de gevolgen voor het temperatuurverloop en het comfortverloop voor de drie scenario’s



Figuur 4-4 Temperatuurverloop begane grond in scenario's 1a, 2a en 3a



Figuur 4-5 PMV-verloop begane grond in scenario's 1a, 2a en 3a

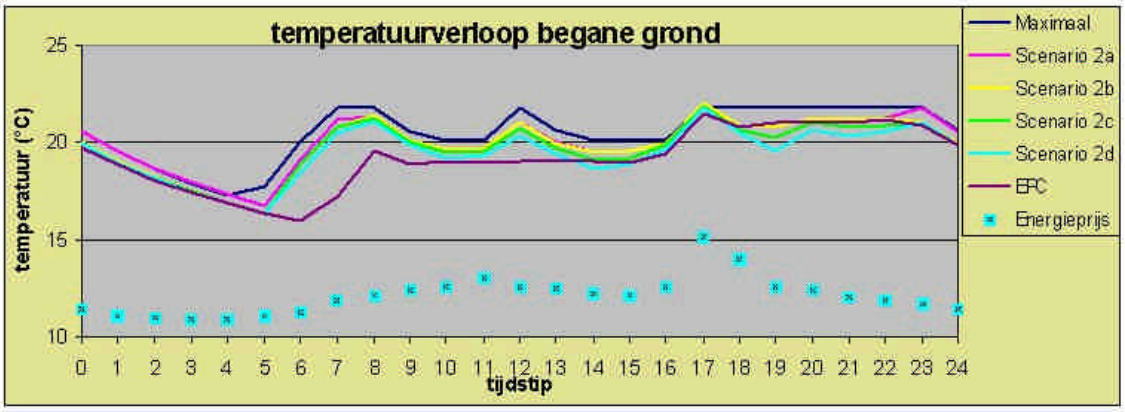
Het valt op, dat de temperatuurschommeling groter wordt naarmate de kosten een groter aandeel in de gewichten heeft. Vooral scenario 1a laat een behoorlijke terugval zien in temperatuur rond 19:00 uur, omdat in de voorliggende perioden de energiekosten hoog oplopen. Toch blijft de temperatuur nog boven de 20 °C.
Scenario 3a laat een consistent beeld zien van een temperatuurverloop vlak onder de optimale temperatuur. Er is geen reactie op de hogere energiekosten voor 17:00 uur.
Scenario 2a lijkt een goed midden te houden tussen comfort en energie- en kostenbesparing. Daarom gaan we met dit scenario verder en bekijken vervolgens de invloed van variatie in toegestane afwijkingen.

4.6.2 Variatie toegestane afwijkingen

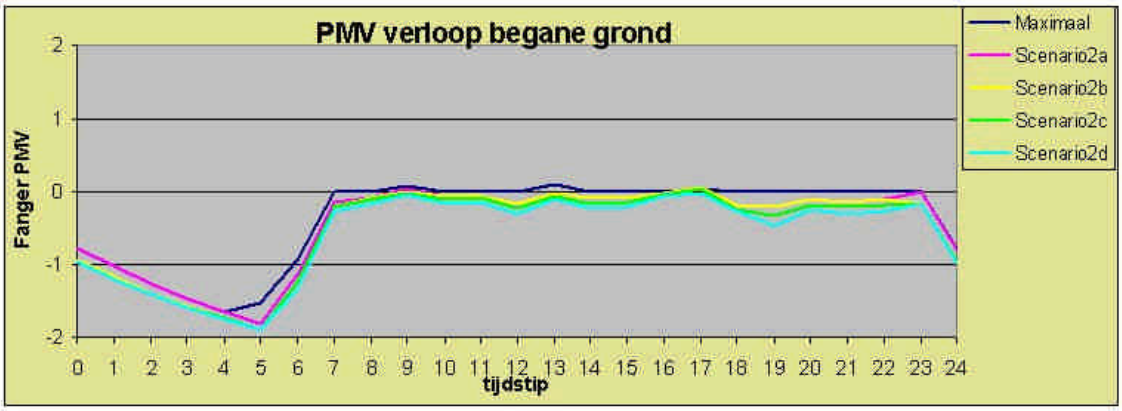
De vorige paragraaf laat zien dat scenario 2a, met een instelling van het energie- en kostengewicht *we* = 1,5 en *wp* = 0,5, tot een redelijke afweging leidt tussen energieverbruik, kosten, comfort en comfortschommeling. We houden daarom deze gewichten constant en variëren de toegestane afwijkingen om te zien wat de effecten zijn van een bredere of smallere comfortband.
We zullen de toegestane afwijking naar boven vast houden, aangezien het comfort management toch niet zal streven naar een te hoog comfort. We leggen de volgende scenario's vast:

Scenario	energie	kosten		Energie (kWh)	Energie besparing	Kosten besparing
Scenario 2a:	we = 1,5	wp = 0,5	d_{min} = 1,0/0,1	96,14 kWh	3,7 %	8,5 %
Scenario 2b:	we = 1,5	wp = 0,5	d_{min} = 1,0/0,5	95,99 kWh	3,8 %	8,9 %
Scenario 2c:	we = 1,5	wp = 0,5	d_{min} = 1,25/0,5	95,03 kWh	4,8 %	12,7 %
Scenario 2d:	we = 1,5	wp = 0,5	d_{min} = 1,5/0,5	93,07 kWh	6,8 %	16,6 %

We gebruiken twee instellingen voor d_{min}: de eerste, voor overdag, als comfort gewenst wordt, varieert van 1,0 tot 1,5; de tweede, voor 's nachts, als comfort op een minimum niveau staat (PMV = -2), verhogen we tot 0,5. In de eerdere scenario's 1a, 2a en 3a stond deze op 0,1.



Figuur 4-6 Temperatuurverloop begane grond in scenario's 2a, 2b, 2c en 2d



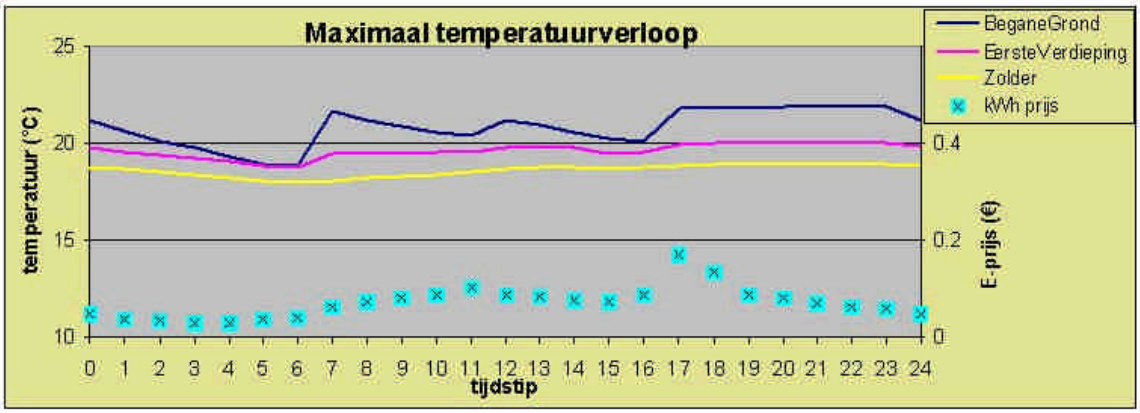
Figuur 4-7 PMV-verloop begane grond in scenario's 2a, 2b, 2c en 2d

Scenario's 2a en 2b ontlopen elkaar niet veel in besparingen. Het grootste verschil ligt in de scherpere daling laat op de avond van de laatste. De energie die dit bespaart, is een schijnbesparing, aangezien in scenario 2b 's ochtends vroeg derhalve op een lager niveau gestart moet worden.
Scenario 2d laat weer teveel temperatuurschommeling zien, waarbij deze onacceptabel terugvalt onder de 20 °C aan het begin van de avond (wederom onder invloed van de hoge energieprijzen tussen 17:00 en 19:00 uur.
Scenario 2c lijkt nog redelijk acceptabel, hoewel de temperatuur ietwat laag blijft voor optimaal comfort. Wanneer energie- en zeker kostenbesparing gewenst is, zal de bewoner dit accepteren, en het comfortgevoel verbeteren door b.v. een trui aan te trekken.

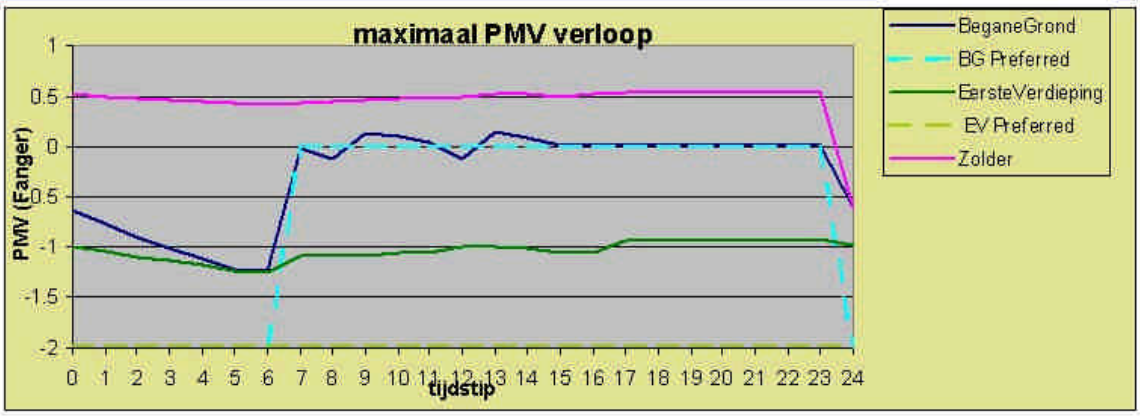
4.7 Referentiesituatie voor het voorjaar

In de wintersituatie hebben we gezien dat energiebesparing door minder stoken al snel leidt tot een temperatuur- en comfortval. Vooral scenario's 3a en 2d tonen dit aan. In het voor- en najaar, bij hogere buitentemperaturen en een krachtiger zon kunnen we een mindere temperatuurval verwachten. De tweede simulatie hebben we daarom uitgevoerd voor een voorjaarsdag met redelijke zonneschijn.

We starten opnieuw met de referentiesituatie, die een maat geeft voor het verwachte energiegebruik bij een directe beantwoording aan de comfortvraag. We gebruiken dezelfde instellingen en life-style als in de wintersituatie: 's ochtends rond 8 uur en 's middags rond 1 uur een aangenaam comfort, 's avonds een comforttemperatuur rond de 22 °C. Onderstaande figuur geeft het temperatuur- en comfortverloop aan bij een maximale tegemoetkoming aan de comfortwens. Het gewenste comfort van PMV = 0 wordt niet altijd exact gehaald, omdat een afweging moet worden gemaakt tussen iets te koud rond 8 uur, 13 uur en 17 uur en iets te warm in de periodes daartussen. Het energieverbruik is 39,03 kWh.



Figuur 4-8 Voorjaar: temperatuurverloop bij exacte regeling volgens simulatie-scenario



Figuur 4-9 Voorjaar: PMV verloop bij exacte regeling volgens simulatie-scenario

4.8 Resultaten voorjaar

We richten ons op dezelfde scenario's als in de wintersituatie, met variërende:

- gewichten *we* en *wp* voor energieverbruik en kosten,

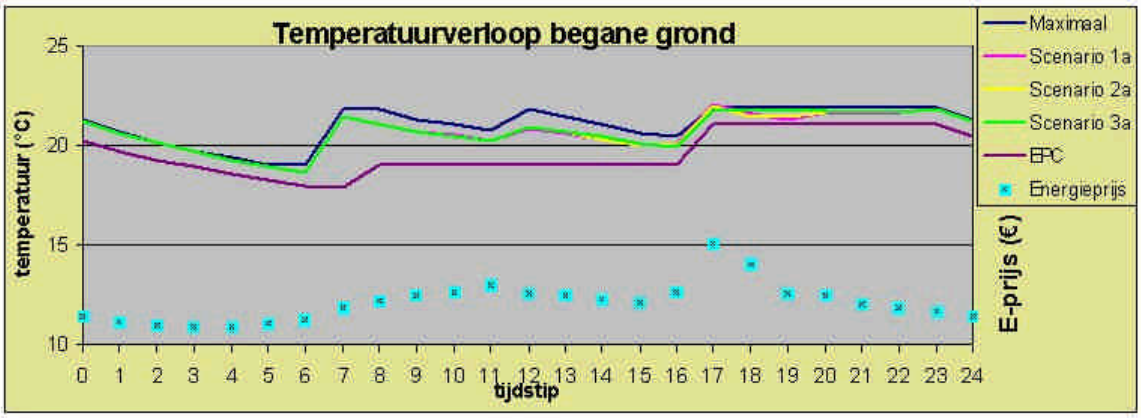
- toegestane afwijkingen d_{max} naar boven en d_{min} naar beneden.

4.8.1 Variatie kosten en energiegewicht

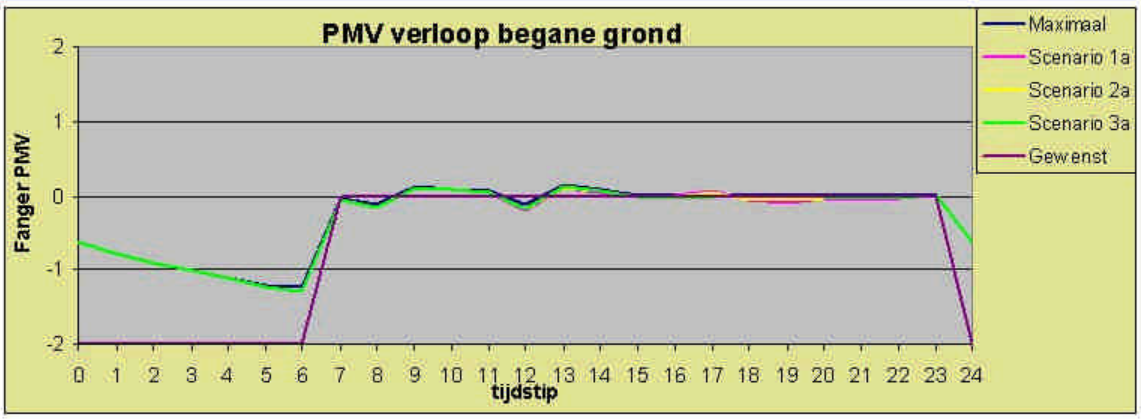
We variëren weer de verdeling van de energie- en kostengewichten:

Scenario	energie	kosten	Energie (kWh)	Energie besparing	Kosten besparing
Scenario 1a:	we = 1,0	wp = 1,0	37,40 kWh	4,2 %	13,1 %
Scenario 2a:	we = 1,5	wp = 0,5	37,59 kWh	3,7 %	9,8 %
Scenario 3a:	we = 2,0	wp = 0,0	37,85 kWh	3,0 %	3,0 %

Voor alle drie scenario's is de energiebesparing vrijwel gelijk. Er zijn wel grote verschillen in de kostenbesparingen. In figuur X zien we de gevolgen voor het temperatuurverloop en het comfortverloop voor de drie scenario's



Figuur 4-10 Voorjaar: temperatuurverloop begane grond in scenario's 1a, 2a en 3a



Figuur 4-11 Voorjaar: PMV-verloop begane grond in scenario's 1a, 2a en 3a

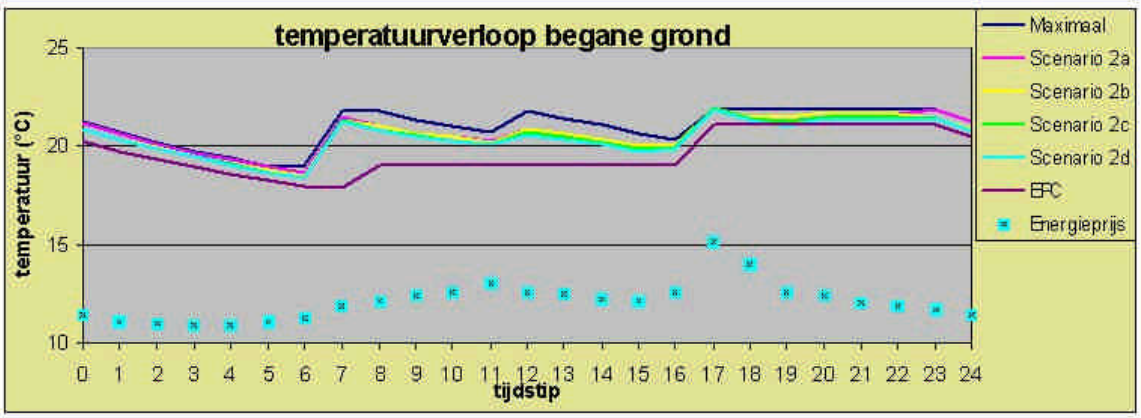
Het valt op, dat de temperatuurschommeling aanzienlijk minder is dan in de wintersituatie, zelfs zodanig dat ook scenario 3a nog zeer acceptabel is.
Alle scenario's laten een consistent beeld zien van een temperatuurverloop vlak onder de optimale temperatuur. Winst wordt gehaald uit het feit dat de piektemperaturen overdag niet worden gehaald. Het comfortverlies hierdoor (iets te koud) wordt gecompenseerd door een beter comfort in de tussenperiodes (minder te warm).

4.8.2 Variatie toegestane afwijkingen

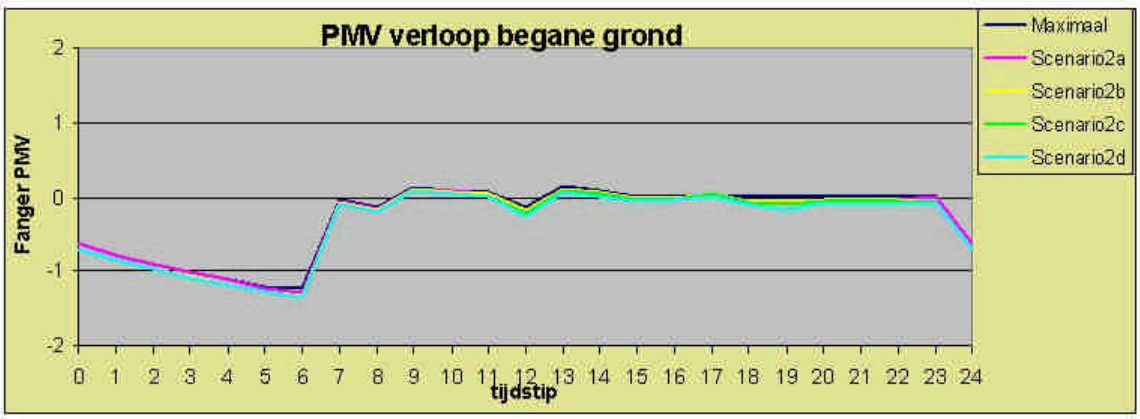
Ook nu weer leggen we het energie- en kostengewicht *we* = 1,5 en *wp* = 0,5 vast en variëren de toegestane afwijkingen. We leggen de volgende scenario's vast:

Scenario	energie	kosten		Energie (kWh)	Energie besparing	Kosten besparing
Scenario 2a	we = 1,5	wp = 0,5	d_{min} = 1,0/0,1	37,59 kWh	3,7 %	9,8 %
Scenario 2b	we = 1,5	wp = 0,5	d_{min} = 1,0/0,5	36,88 kWh	5,5 %	10,9 %
Scenario 2c	we = 1,5	wp = 0,5	d_{min} = 1,25/0,5	36,14 kWh	7,4 %	14,6 %
Scenario 2d	we = 1,5	wp = 0,5	d_{min} = 1,5/0,5	35,58 kWh	8,8 %	18,4 %

We gebruiken weer twee instellingen voor d_{min}: de eerste, voor overdag, als comfort gewenst wordt, varieert van 1,0 tot 1,5; de tweede, voor 's nachts, als comfort op een minimum niveau staat (PMV = -2), verhogen we tot 0,5. In de eerdere scenario's 1a, 2a en 3a stond deze op 0,1.



Figuur 4-12 Voorjaar: temperatuurverloop begane grond in scenario's 2a, 2b, 2c en 2d



Figuur 4-13 Voorjaar: PMV-verloop begane grond in scenario's 2a, 2b, 2c en 2d

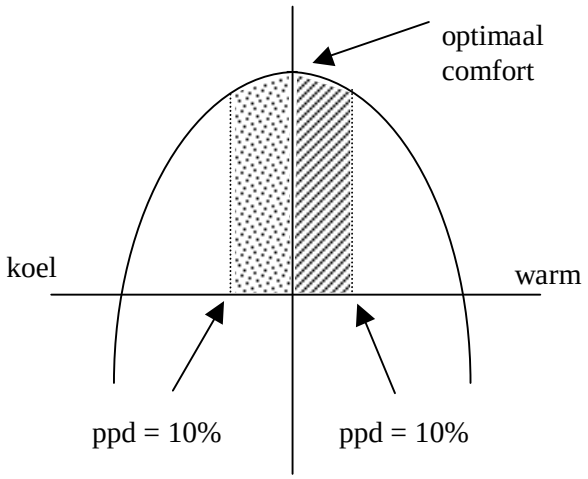
We zien opnieuw hetzelfde beeld in alle scenario's. Ze ontlopen elkaar niet veel in comfort. Het grootste verschil ligt in de dalingen laat op de avond.

Conclusie:

Percentueel gezien wordt een grotere energiebesparing gehaald – scenario 2d – dan in de wintersituatie, van bijna 9%, zonder dat het comfort teveel inboet. We kunnen derhalve de toegestane afwijkingen verder variëren als het aantal graaddagen minder is.

4.9 C-Box potentie voor energie- en kostenbesparing

In een eerdere studie [SMART,2002a; SMART,2002c] hebben we gezien dat in een kantoortuin omgeving in een wintersituatie, als ‘s ochtends gestreefd wordt naar optimaal comfort, dit na de middag kan leiden tot een te warm comfort door zoninstraling en een zware gebouwmassa. In onderstaande figuur is dit effect aangegeven: het comfort speelt zich af in het gearceerde gedeelte. Door ’s ochtends iets onder het optimale comfort te regelen kan ’s middags wel een goed comfort verkregen worden. Dit wordt in de figuur aangegeven door de gestippelde zone. Door in de stookstrategie met dit effect rekening te houden, kan energie bespaard worden zonder comfort in te leveren.



Figuur 4-14 Verdeling percentage ontevreden volgens Fanger

In een kantoortuin situatie kunnen we gebruik maken van een ‘gemiddelde comfortbeleving’ van een grotere groep mensen, en kunnen we een keuze maken tussen ‘een paar mensen die het iets te koud hebben’ en ‘een paar mensen die het iets te warm vinden.

In de simulaties in dit hoofdstuk hebben we gekeken naar een standaard woning met elektrische verwarming, zonder andere mogelijkheden voor comfortsturing. In een dergelijke woning is het lastig, zo niet onmogelijk, om meer comfort te bieden tegen minder energiegebruik. De gebouwmassa is te laag en de zoninstraling te weinig om hetzelfde effect te creëren als in het SMART-kantoorgebouw. Bovendien hebben we te maken met individueel gebruik, waardoor een ‘gemiddeld percentage ontevreden gebruikers’ geen rol speelt. De gebruiker is wel of niet tevreden.

We hebben als referentiescenario in de simulaties gekozen voor een ‘intelligent’ gebruiker van een klokthermostaat, waarbij al een zeker gebruiksprofiel geprogrammeerd is. Centrale vraag in dit rapport is: Wat is de meerwaarde van de C-Box voor comfortregeling in woningen? We komen tot de volgende punten:

- Door een afweging mogelijk te maken van energie en comfort, is een energiebesparing van 4% - 5% in de winter en het dubbele in voor- en najaar haalbaar, terwijl het comfort zonder meer acceptabel blijft. De energiebesparingsdoelstelling sluit aan bij de actie ‘stook zuinig’. Deze optie zal in de praktijk door een kleine groep worden gebruikt, die energiebesparing echt aan het hart gaat.

- Het gebruiksprofiel in een klokthermostaat is beperkt tot het vastleggen van een richttemperatuur per tijdseenheid. Ervaring moet uitwijzen welke temperatuur de gebruiker als comfortabel beschouwt. Comfort indicatoren als kleding en activiteit zijn worden niet betrokken anders dan in het hoofd van de gebruiker, terwijl ze wel dicht bij de beleving van de gebruiker staan. Aan- en afwezigheid kan door de gebruiker alleen worden aangegeven door de thermostaat hoger of lager te zetten. Niet iedereen denkt eraan de thermostaat laag te zetten als hij of zij een uurtje weg is.
  De C-Box geeft meer mogelijkheden om het comfort te regelen op basis van een gebruiksprofiel en andere omgevingsinformatie. Een C-Box gebruikersinterface kan voorzien worden van voorinstellingen voor bepaalde typen werkzaamheden (b.v. stofzuigen). In de verlichting is deze tendens reeds zichtbaar in home lighting systemen met b.v. de sfeerverlichting. Als de gebruiker een uurtje weg is en dit kenbaar maakt aan de C-Box, kan deze in zijn strategiebepaling hiermee rekening houden.

- In Nederland wordt vrijwel alleen van gas gebruik gemaakt voor woningverwarming. Aangezien tijdsafhankelijke gasprijzen niet te verwachten zijn, is de kostenvariatie in de simulatie niet direct toepasbaar. Het kostenbesparingspotentieel is dan ook niet meer of minder dan het energiebesparingspotentieel: energie wordt eenduidig vertaald in kosten.
  We hebben toch gemeend om variatie in kosten in de scenario's onder te brengen omdat het te verwachten is dat de naaste toekomst elektriciteit een rol zal gaan spelen in de warmteproductie in woningen, b.v. door introductie van micro-warmte-kracht.

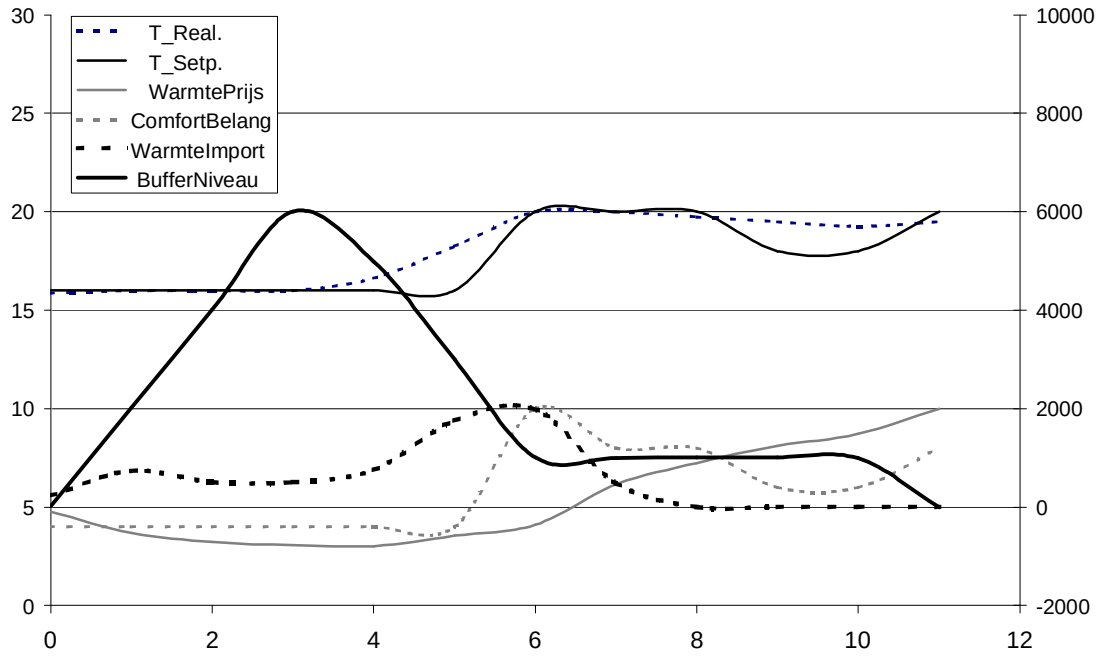
- Het energiebesparingspotentieel kan hoger oplopen indien meerdere comfort leveranciers meespelen dan alleen de Cv-ketel met radiatoren. Introductie van nieuwe technieken, zoals warmtepompen, hybride systemen (micro-warmte-kracht), hoge en lage temperatuur warmteopslag vereist optimale afstemming tussen de verschillende deelsystemen ten behoeve van thermisch comfort in huis. Bovendien bestaat dan een grotere behoefte aan adaptieve regelingen. De C-Box is in staat om op ieder moment de meest efficiënte keuze te maken uit de verschillende comfortleveranciers.

- In de simulaties hebben we alleen verwarming bekeken. Comfortverbetering in de zomer kan worden gerealiseerd door automatische aansturing van de zonwering of een zonnescherm of door koeling via natuurlijke ventilatie b.v. zomernachtventilatie. Hoewel dit geen directe energiebesparing oplevert, kan dit voorkomen dat op grote schaal koelapparatuur in woningen wordt geïnstalleerd.

De simulaties wijzen uit dat de C-Box in staat is om op energie-efficiënte wijze het thermisch binnencomfort in woningen te beheren. Bovenstaande indicaties wijzen op veel algemenere mogelijkheden voor het C-Box concept voor efficiënte energiebenutting voor comfort.
Afhankelijk van de context waarin het wordt ingezet zal de reële energiebesparing variëren. In de standaard situatie kan een reeds efficiënt met energie omgaande gebruiker geholpen worden om het energiegebruik nog meer toe te spitsen op de specifieke comfortwens. Extra energiebesparing tot 5% lijkt haalbaar. De wat zorgeloze gebruiker kan in belangrijke mate geholpen worden als aangesloten kan worden bij zijn of haar comfortbeleving en informatie achterhaald kan worden betreffende het gebruikersprofiel en de gebruikerswens. Een goede interface met de gebruiker is hierbij noodzakelijk. Een eerste aanzet hiertoe kan worden gemaakt door het bieden van eenvoudig aan te sturen keuzes; op de wat langere termijn zal het mogelijk worden om een adequate ambient omgeving voor de gebruiker te creëren.
Extra mogelijkheden voor energie-efficiëntie ontstaan in een complexere omgeving, waarbij meerdere aanbieders van comfort samen of in concurrentie comfort kunnen leveren. Intelligente integratie van deze systemen en koppeling aan marktinformatie kan leiden tot een efficiënter inzet van energie, waaronder de keuze voor duurzaam, en kosten.

5. TOEPASSING BIJ HET PRIJSMINIMALISEREND AANSTUREN VAN COMFORTBEHEER MET INZET VAN ENERGIE BUFFERS

De accenten voor energie- en kostenbesparing door inzet van ICT in woningen liggen voor de bestaande bouw en de nieuwbouw anders. Dit betekent ook, dat functionaliteit van de C-Box voor comfortbeheer op een andere manier moet worden ingevuld en de mogelijkheden voor voorspellend regelen anders zijn. Comfortbeheer zal hier meer prijs gestuurd zijn en tot kosten- en energieoptimalisatie moeten leiden. We kunnen denken aan de regelstrategie van de warm tapwater productie en van warmtepompen in all-electric woningen of aan die van duurzame opwekkers op het gebied van warmte of elektriciteit als zonneboilers, PV en PV-thermisch. Ook het beheer van opslag van energie kan dan als deel van een C-Box functionaliteit gedefinieerd worden. Figuur 5-1 licht dit aan de hand van een voorbeeld toe. Het voorbeeld heeft betrekking op een kamer met een warmtecapaciteit van 2000 W/°C en een verlies door transmissie en ventilatie van 500 W. Er is een warmtebuffer beschikbaar met een capaciteit van 10000 W en een debiet van 500 W. Bij ECN [Kamphuis,2001] zijn binnen de COMFY-3 context, algoritmes ontwikkeld, waarmee de optimale bedrijfsstrategie van een dergelijke configuratie in een real-time prijssetting kan worden bepaald.



Figuur 5-1 Individueel warmtebeheer in een vertrek met een warmtebuffer

De bovenste twee lijnen geven de gewenste en de gerealiseerde temperatuur in het vertrek aan. De dun getrokken lijnen geven de warmteprijs en het belang van comfort c.q. de mate waarin comfort op een bepaald moment moet worden gerealiseerd als functie van de tijd aan. De warmte-import geeft de regelbare stand van een warmte-toevoerkraan aan. Tevens is het optimale bufferniveau aangegeven. Te zien is, dat de later in de tijd optredende stijging van de warmteprijs, ervoor zorgt, dat de buffer zo wordt aangestuurd, dat deze gevuld raakt. In aanloop op de hogere prijssituatie is te zien, dat de buffervoorraad wordt aangesproken. Tevens wordt er door van tevoren naar een hogere temperatuur in het vertrek te regelen voor gezorgd dat op hogere energieprijzen worden geanticipeerd. Tegen het eind van de beschouwde periode wordt het belang van het realiseren van een adequaat binnencomfort minder belangrijk; het laatste

restje van de voorraad in de buffer wordt echter pas aangesproken bij de hoogste prijs en een grote comfortvraag. In het huidige model kan ook beheer van warm tapwater en andere processen in woningen, waar een opslagmogelijkheid voor energiedragers aan de orde is, worden geoptimaliseerd. Het algoritme is ook te gebruiken voor optimalisatie van opslag van warmte op meerdere temperatuurniveaus.

Het strategisch aansturen van buffers kan enerzijds worden gezien als onderdeel van comfort management; anderzijds maakt het ook deel uit van het algemener kader van vraag een aanbod van energie. In dat kader zijn er verbanden te leggen tussen de C-Box en de E-Box [E-Box,2003] . Vervolgonderzoek bij ECN zal verder op dit buffering potentieel ingaan [B-Box,2002; CRISP,2002].

6. HARDWARE ARCHITECTUUR, INTERFACES EN COMMUNICATIEPROTOCOLLEN

Uitgaande van het informatiemodel kan een hardware en software architectuur afgeleid worden. Daarbij het is belangrijk gedreven te worden door puur functionele vereisten; niet door technologische mogelijkheden. De markt voor binnencomfort apparatuur heeft geen vooruitstrevende technology-push markt maar eerder een bezadigde, volgende market-pull.
Voor wat betreft de hardware architectuur kunnen de eisen voor de connectiviteit, de processorcapaciteit en het geheugen voor een C-Box worden bepaald. Bij het maken van een architectuurmodel is een goede verdeling van de processen over de processoren en het kosteneffectief gebruiken van andere resources van essentieel belang. We onderscheiden systemen, die volgens een afgesproken protocol met elkaar moeten communiceren en sensoren/actuatoren, die met deze systemen verbonden zijn. Vanuit logisch ontwerp oogpunt gezien, heeft een geïntegreerde locale regeling voor het binnencomfort behoefte aan een "bus", waarop alle comfortapparatuur kan worden aangesloten. De communicatie-eisen voor zo'n bus zijn erg beperkt en lopen grotendeels parallel met eisen, die gelden voor beveiligingssystemen en zorgsystemen. Met de standaarden EIB of LON zou men dergelijke systemen kunnen implementeren; echter het prijskaartje, dat eraan hangt, is nog te hoog. Vooral LON is in de utiliteitsgebouw beheer volledig doorgedrongen. Algemene, generieke, op IP-technologie gebaseerde standaarden, waarbij iedere component een WEB-server heeft, zijn nog niet voorhanden, hoewel er op dit gebied wel veel gebeurt. Meer aangeklede gateways, die IP-subadres vertaling kunnen uitvoeren. Binnen het i-LON-systeem is dit bijvoorbeeld het geval. Dus, de datatransmissie techniek kan eigenlijk alles aan elkaar knopen. De bus en de applicatie software architectuur ontbreken

6.1 Connectiviteit en architectuur

Een mogelijke hardware-partitionering voor een C-Box met bijbehorend comfort netwerk is te vinden in Figuur 6-1.
In het informatiemodel komen de volgende verbindingen voor.

6.1.1 Bestaande hardware/software protocollen

Cv-regelingen in Nederland bestaan voor het grootste deel uit een centrale thermostaat, die in verbinding staat met de ketel. Uitgangspunt is, dat de ketelelektronica zich alleen bezig blijft houden met aansturing van het verbrandingsproces en de veiligheidsaspecten daarvan. De intelligentie in de ketel, voor zover het de optimalisering met gebruikmaking van extra intelligentie betreft, wordt daarop toegespitst en dient zo minimaal mogelijk te zijn.
Bij de meeste Cv-ketels is er een twee-draads verbinding voor netvoeding en communicatie. Voor communicatie zijn er een aantal protocollen:

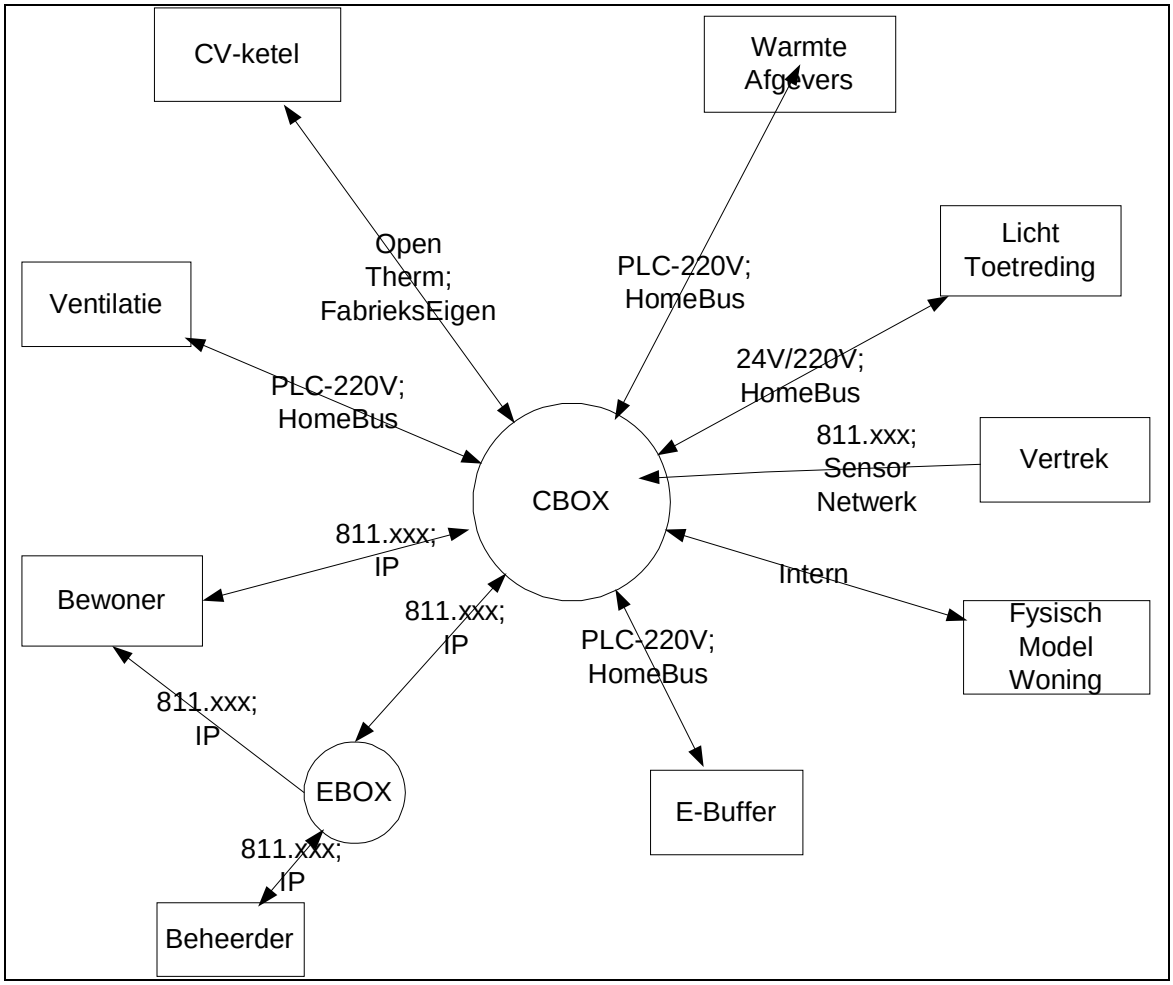
- Het OpenTherm-protocol is door Honeywell gedefinieerd. Met het protocol kunnen setpoints worden doorgegeven.
- Het UPA-protocol, dat door NEFIT gebruikt wordt en fabriekseigen is.

Beide protocollen zijn peer-to-peer en hebben geen bus-achtige broadcast mogelijkheden. Ze zijn beide in staat de ketel modulerend aan te spreken. Voor naregeling van de door de CV voorziene componenten van de installatie zijn er via een vaste verbinding aangestuurde regelbare radiatorkranen.

6.1.2 C-Box <> Cv-ketel

In het C-Box concept kan aansluiting worden gezocht op een van de bestaande protocollen voor aansturing van de Cv-ketel. Het fysieke thermostaatkastje aan de muur, kan dan degraderen tot

een deel van het user interface van de comfortinstallatie en doorgever van het brander setpoint. Binnen de C-Box wordt de voor het specifieke gebouw geconfigureerde SMART-software gebruikt en wordt geregeld op de comfort-PMV van Fanger.

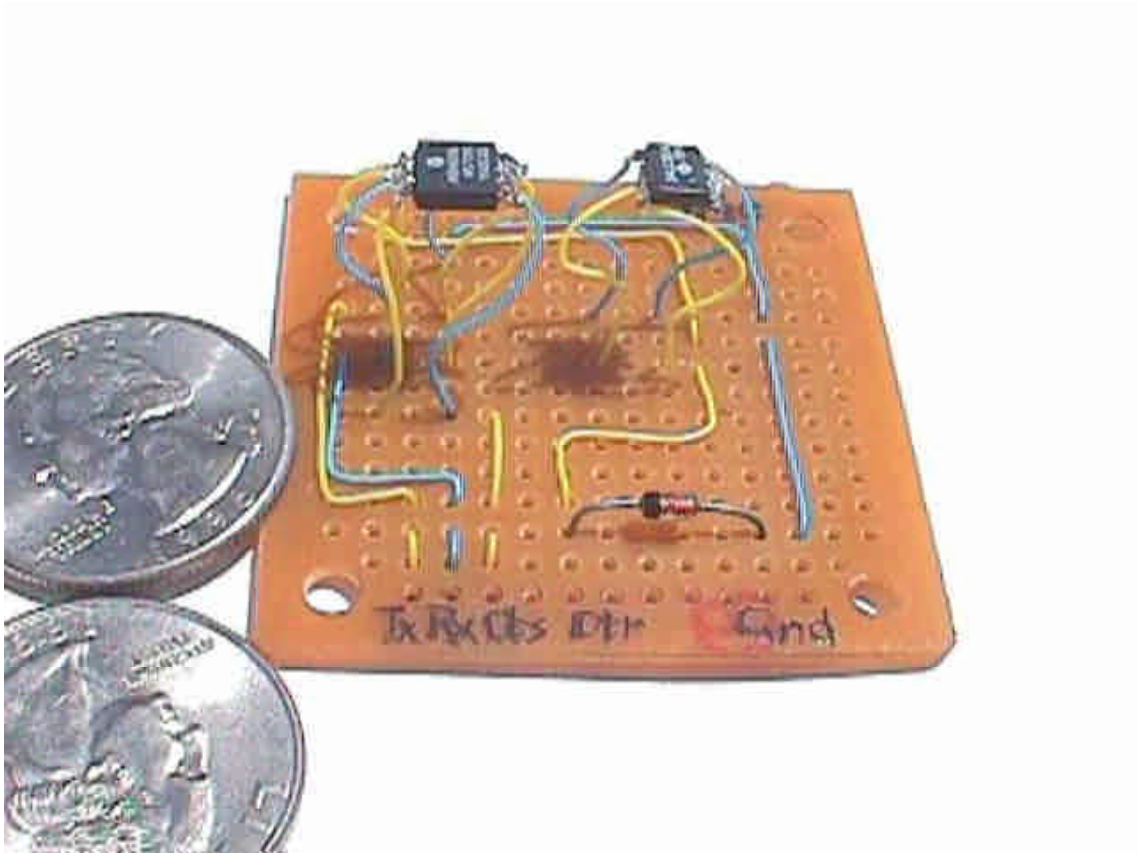


Figuur 6-1 Hardware standaarden voor een Comfortnetwerk

6.1.3 C-Box <> Huisnetwerk

Tot de standaarden, die hiervoor aan de orde zijn horen: CEBus, EHS, X10, LON en dergelijke. Toepassingen, die op dit moment al gedefinieerd zijn met dit soort protocollen, zijn monitoring van componenten in het huis in verschillende ruimtes, regeling van verlichting (sfeer, aanwezigheid, inbraak, noodsituaties, seizoensafhankelijk) en statusinformatie van bijvoorbeeld drogers en datacollectie van temperaturen. Tevens kan tijdsynchronisatie van apparaten door een dergelijk systeem worden uitgevoerd. Verdere toepassingen hebben te maken met temperatuur en comfort management, re-routing van audio-/video-signalen, links met het elektriciteitsbedrijf en (preventieve) bewaking van apparatuur. Bij standaarden als LON en CEBus zijn er specifieke object georiënteerde protocollen en talen voor de definitie van interfaces. een taal als CAL bijvoorbeeld dwingt fabrikanten apparaten centraal te laten registreren en oproepbaar te maken. CAL definieert de gestandaardiseerde interface.
Een andere standaard, Bluetooth, maakt het mogelijk een aantal apparaten (8 satellieten) in een gebouw draadloos boodschappen te laten uitwisselen met een centraal systeem. Bluetooth onderscheidt verschillende profielen van gebruik. In eerste instantie wordt gedacht de standaard seriële bus in de PC (USB) draadloos aansluitbaar te maken. De bandbreedte laat zelfs audio- en video toepassingen toe.
Ook een volledige WEB-server (http://www-ccs.cs.umass.edu/~shri/iPic/fs/) kan als een IP-stack op een IC functioneren voor communicatie. Door een aantal bedrijven van huishoudelijke

apparatuur is de WRAP-standaard gedefinieerd (www.merloni.com). Dit WEB-Ready appliances protocol maakt apparatuur adresseerbaar via Internet.
Behalve een fysiek aansluitingsinterface is LONWorks een manier om netwerken te configureren voor niet data-intensieve toepassingen. LON-modules communiceren via het LON-talk protocol via radiotransmissie, de powerline, twisted-pair of IR. In de testwoningen van ECN wordt deze technologie toegepast. Recent is een low-cost Powerline chip op de markt gekomen, die een grote belofte inhoudt.
Op dit moment wordt het ECHONET-initiatief [ECHONET,1999] door een aantal fabrikanten opgezet om te komen tot low-cost consumenten toepassingen. De ECHONET-standaard is door een aantal toonaangevende bedrijven (Matushita, Toshiba, Hitachi, Mitsubishi Electric en Sharp) in Japan gedefinieerd. Naast energiebesparing is in dit concept ook het verlenen van zorg en beveiliging aan de orde. De hardware is verbonden met het “Home Bus System”. ECHONET is dus speciaal toegespitst op home automation voor energiebesparing.



Figuur 6-2 De IPIX IC

6.1.4 C-Box <> Buitenwereld

Deze verbinding is op dit moment op een groot aantal manieren mogelijk. De penetratie van always-on breedband Internet voor het vergroten van de toegankelijkheid van allerhande informatie voor de burger blijft een van de hoofdthema's binnen het Nederlandse en Europese beleid. Een C-Box heeft een verbinding nodig met een kabel- , powerline- of ADSL-modem.

6.1.5 Conclusie

Het creëren van applicaties hangt niet af van de mogelijkheden van een techniek om een huisnetwerk aan te leggen. Een netwerk kan evengoed bestaan uit een mix van verschillende standaarden. De logisch structuur van een netwerk en de kosten spelen daar een veel belangrijker rol. Gezien de huidige ontwikkelingen zal de mogelijkheid draadloos informatie over te brengen binnen micro-netwerken toenemen al is het alleen maar om op kabels te besparen. Gezien het feit, dat veel apparatuur aan het net verbonden is en steeds een

netwerkverbinding beschikbaar moet hebben, is, naast draadloze connectie, connectie via PLT (powerline, 220 V) voor de hand liggend.

6.2 Software implementatie

Bovengenoemde hardware setting maakt het mogelijk voor datacommunicatie software interfaces te definiëren voor uitwisseling van gegevens. Bovenop dit soort protocollen is op dit moment XML (de eXtended Markup Language) als opvolger van HTML nadrukkelijk in beeld. XML heeft naast browser ondersteunende functionaliteit ook de mogelijkheid data in structuren vast te leggen en de mogelijkheid voor macro's en templates. Voor de definitie van interfaces van gedistribueerde applicaties zijn al enige tijd standaarden beschikbaar in de vorm van CORBA en DCOM.

6.2.1 Applicatieserver

Taakverdeling: ApplicatieServer (SEBOS) <> (C-Box) Gateway <> Huisnetwerk, Cv+thermostaat

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.

6.2.2 Gateway

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.

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.

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.

6.2.3 Embedded interface

Embedded systemen hebben een kleine real-time kernel, die een micro-processor van instructies voorziet. Nieuwe, vooral voor thuis bedoelde, computers gaan steeds meer van centrale computers (PC's) naar server appliances. Deze appliances zijn toegespitste kleine systemen (netPC, organizer, beeldscherm, set-top box), die een klein deel van een stuk functionaliteit vervullen. Als implementatietaal voor dit soort apparatuur is Java micro-editie momenteel sterk in opkomst.

6.3 Mogelijke problemen bij invoering

Probleem bij het ontwikkelen van dit soort toepassingen is het feit, dat de energieverkoper energiebesparende technieken moet verkopen. Verder geldt, dat de kosten die nodig zijn om een infrastructuur aan te leggen op dit moment niet binnen korte tijd door een kleinverbruiker terugverdiend worden. Verder legt de distributiefunctie van E-bedrijven een duidelijke eisen aan de kwaliteit van de geproduceerde stroom en aan de prijs. E-bedrijven als leveranciers voor energie management systemen, als in dit document beschreven, zijn daarom niet het meest voor de hand liggend.

Energieverbruik van energie management systemen zelf. Uit de studie van Holsteijn/Kemna [Holsteijn,1997] blijkt, dat de energiebesparing door domotica ongeveer overeenkomt met het verbruik van de systemen zelf. Dit betreft echter de toenmalige stand der techniek. Om sensoren lange draadloos in de lucht te houden, zijn fabrikanten nu druk bezig het opgenomen vermogen van netwerkcomponenten en sensoren te verminderen.

Toepassing van informatie technologie in de vorm van energiemanagement door slimme software, blijkt in de praktijk het best mee te kunnen liften op systemen, die iets aan comfort management doen. Deze systemen hebben vooral in landen, waar veel (elektrisch) verwarmd of gekoeld moet worden al een duidelijke gevestigde waarde.

.

7. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

In de utiliteitsbouw hebben gebruik van centrale energiemanagement- en gebouwbeheers-systemen geleid tot een verbetering van energie- en kostenefficiency. In het SMART project [SMART,2002a, SMART,2002c] is gedemonstreerd dat een intelligent beheer middels een adaptief comfort management systeem in een kantooromgeving kan leiden tot een verbeterd thermisch comfort waarbij bovendien op energie en kosten wordt bespaard. Dit wordt vooral bereikt door kennis te benutten van het dynamisch gedrag van een gebouw, zijn installaties en zijn bewoners.

In dit document wordt beschreven hoe de concepten, die ontwikkeld zijn voor de utiliteitsbouw, kunnen worden gebruikt voor het geïntegreerd beheren van die systemen, die samen het thermisch binnencomfort in woningen regelen.

In hoofdstuk 2 wordt een informatiemodel gegeven voor de C-Box als comfort management systeem voor woningen. Belangrijk hierin is om de woning en zijn installaties zodanig te modelleren dat het dynamisch gedrag van de woning kan worden bepaald. Door niet alleen aandacht te besteden aan luchttemperatuur, maar ook aan andere ‘comfortdragers’ zoals stralingstemperatuur, luchtvochtigheid en tocht en het activiteitenniveau en de manier waarop de bewonder gekleed gaat, sluit het thermisch comfort beter aan op de perceptie van comfort door de bewoner. Bovendien zorgt het vooruitziend karakter van de comfortregeling ervoor dat de gebouwdynamica in de regeling wordt opgenomen, waardoor ongewenste effecten voor de langere termijn (een aantal uren vooruit) kunnen worden voorzien en voorkomen.

Een belangrijk punt in de aansturing van de C-Box is de bewoner. Er bestaan enkele grote verschillen tussen een gebruiker/bewoner in een kantooromgeving en de bewoner in zijn eigen huis. De laatste kent een veel dynamischer gedrag, niet alleen in aanwezigheid, maar ook in activiteiten. In een woning worden allerlei activiteiten ondernomen. Vaak kan aan de hand van de lifestyle van een bewoner hieruit een basis comfortwens over een dag worden bepaald. Voor een goede comfortregeling is het vooral van belang om de veranderingen in deze comfortwens op tijd te (onder)kennen. Dit vraagt om een vorm van gebruikersinteractie, vaak een bottleneck in de ontwikkeling van technische systemen. Doelmatigheid, begrijpelijkheid en simpelheid en staan hierin voorop. Ontwikkelingen in ‘ambient intelligent technologie kunnen echter leiden tot een geheel nieuwe integratie van techniek in de gebruikerswereld.

In hoofdstuk 4 is een aantal simulatie berekeningen uitgevoerd om de invloed van de C-Box benadering in termen van kosten en gerealiseerd thermisch binnencomfort te bepalen. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een doorsnee huis uit de Nederlandse woningvoorraad (een NOVEM doorzonwoning uit 1985). Bij de berekeningen is rekening gehouden met de gebruiksstijl van de woning.
De simulaties wijzen uit dat de C-Box in staat is om op energie-efficiënte wijze het thermisch binnencomfort in woningen te beheren. Bovenstaande indicaties wijzen op veel algemenere mogelijkheden voor het C-Box concept voor efficiënte energiebenutting voor comfort.
Afhankelijk van de context waarin het wordt ingezet zal de reële energiebesparing variëren. In de standaard situatie kan een reeds efficiënt met energie omgaande bewoner geholpen worden om het energiegebruik nog meer toe te spitsen op de specifieke comfortwens, waarbij een extra energiebesparing van 5% kan worden behaald. De wat zorgeloze bewoner kan in belangrijk grotere mate geholpen worden als aangesloten kan worden bij zijn of haar comfortbeleving en informatie achterhaald kan worden betreffende zijn/haar bewonersprofiel en bewonerswens.
Extra mogelijkheden voor energie-efficiëntie ontstaan in een complexere omgeving, waarbij meerdere aanbieders van comfort samen of in concurrentie comfort kunnen leveren. Intelligente

integratie van deze systemen en koppeling aan marktinformatie kan leiden tot een efficiënter inzet van energie, waaronder de keuze voor duurzaam, en kosten.

Het architectuurmodel is ook geanalyseerd op technische en functionele implementeerbaarheid. Hiertoe is een onderverdeling in functionele componenten en interfaces gemaakt, die in dit rapport nader geanalyseerd zijn. Omdat vooral de beschikbaarstelling van dit soort technologie aan de bewoner/gebruiker nauw luistert, wordt aan dit aspect extra aandacht besteed. Ten opzichte van eerdere rapporten, worden deze besparingen niet alleen bereikt bij energiezuinig ingestelde bewoners, maar ook bij alle bewoners, die de techniek niet expliciet tegenwerken.
Aan de hand van bovengenoemde architectuur wordt de basis voor een experimentele configuratie beschreven, die verder wordt uitgewerkt. De configuratie bestaat uit een "gateway", die, in zijn eenvoudigste vorm, de bestaande verbinding tussen de kamerthermostaat en de Cv-ketel onderbreekt en via een standaard UTP-verbinding met het Internet is verbonden. In een uitgebreidere setting is er een verbinding heeft met het huisnetwerk via een bestaande industrie standaard.
Implementatie van de C-Box kent nog een aantal knelpunten. Het is niet te verwachten dat specifiek met het doel van energiebesparing zwaar geïnvesteerd zal worden in huisnetwerken en on-line verbindingen naar de buitenwereld. Maar in de nabije toekomst zullen dergelijke netwerken, gedreven door andere markten (beveiliging, zorg, entertainment) steeds meer gemeengoed worden. Ook de kosten in geld en energie van de hardware kunnen een probleem vormen bij invoering. Maar ook hier is te verwachten dat draadloze componenten en sensoren steeds goedkoper op de markt komen en het energieverbruik ervan zal minimaliseren.

Als vervolg op deze studie is in bijlage B een projectvoorstel uitgewerkt voor een demonstratieproject, waarbij de mogelijkheden van het C-Box concept in de praktijk worden getoetst binnen een aantal in dit rapport naar voren gekomen randvoorwaarden: technische mogelijkheden van de C-Box; integratie met systemen ten behoeve van zorg en veiligheid; het aantonen van energie- en kostenbesparing in de praktijk; en de aandacht voor de omgang van de bewoner met het systeem.

8. REFERENCES

B-Box,2002	Kamphuis, I.G. B-Box: Beheer en inzet van energieopslagbuffers in een markt met een real-time prijs voor energiedragers. Projectvoorstel.
Bluetooth	Bluetooth specification can be found on www.bluetooth.com.
Boertjes,1999	E. Boertjes, H. Akkermans, R. Gustavsson and I.G. Kamphuis. Agents to achieve customer satisfaction: The COMFY Comfort Management System. Paper presented to PAAM-2000, 10-12 april 2000, Manchester, UK.
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.
Duco	Zie www.duco.be.
E-Box,2003	I.G. Kamphuis. Eindrapport E-Box: Een residential gateway voor kostenbesparing en duurzaamheid. NOVEM-project 0140-01-01-01-0013. ECN-C-03-017, 2003.
ECHONET,1999	ECHONET. EZ Technieuws, 37, 4-11, 1999
Fanger,1972	Fanger, P.O. Thermal Comfort. McGraw-Hill, 1972
Holsteijn,1997	Ir. M.J. Groot, drs. Ir. P.J.S. Siderius. Domotica. State-of-the-art regelsystemen. Mogelijkheden voor energiebesparing bij klimaatbeheersing. Van Holsteijn en Kemna B.V. Delft. December, 1997.
Philips HomeLab	The New Everyday: views on ambient intelligence. Philips Design and Philips Research, 2003. Zie ook www.design.philips.com.
IEEE802	Zie www.ieee802.org.
InsiteView	Building management supervisory package InsiteView. Kropman B.V., Rijswijk.
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, 2002
Kamphuis,2001	Kamphuis, I.G. en C.J. Warmer. Computerised intelligence in small scale home networks: opportunities for energy efficiency. ECN-I-01-005, 2001.
LivingTomorrow	Zie www.livingtomorrow.nl.
MC, 2001	"Lieve klokthermostaat, mag ik nog even opblijven". Domotica, PC en energieverbruik vanuit een consumentenperspectief. Milieu centraal, 2001, Utrecht.
NEN-EN-ISO 7730	NEN-EN-ISO 7730. Gematigde thermische binnenomstandigheden. Bepaling van de PMV- en PPD-waarde en de specificatie van voorwaarden voor thermische behaaglijkheid. NNI, derde druk, mei 1996.
PALAS,2000a	Kamphuis, I.G. and C.J. Warmer. Deliverable D6. Software architecture requirements for Powerline Communication as a Last Mile Local Access (Final Version 1.0, September 2000). PALAS IST-1999-11379. Available as ECN-report ECN-C-01-006.
PALAS,2000b	Ottosson, H., H. Akkermans, J. Dickinson, D. Hines, S. Host, R. Kamphuis, G. Lindell, P. Nicholson, P. Sweet and C. Warmer, Deliverable D5: State of the art and initial analysis of PLC-services. PALAS IST-1999-11379. Version 2.0, June 2000. Available as ECN-report ECN-C-00-092.
PALAS,2000c	Sweet, P., H. Akkermans, M. Olsson. Deliverable D7: PLC Service Business Model Development and Market Survey Instrument. PALAS IST-1999-11379. Final Version, 29 December 2000. Available as ECN-C-01-037.
PALAS,2001	M. Olsson and I.G. Kamphuis. Consumer survey Energy Services with

	PLC. EU-project PALAS, deliverable D9. May, 2001.
SCP,1999	Van den Broek, A., W. Knulst, K. Breedveld. *Naar andere tijden; tijdsbesteding en tijdsordening in Nederland, 1975 – 1995*. Sociaal en Cultureel Planburo Studies – 29, 1999
SMART,2002a	Kamphuis, I.G., C.J. Warmer and D.H. van Dok. SEBOS, A smart enhanced scope building management system optimiser shell: functional and architectural description. ECN-CX-02-102, 2002.
SMART,2002b	Kamphuis, I.G., C.J. Warmer and D.H. van Dok. SEBOS, A smart enhanced scope building management system optimiser shell: user manual. ECN-CX-02-103, 2002.
SMART,2002c	Jelsma, J., A. Kets, I.G. Kamphuis, W. Wortel. SMART field test: experience of users and technical aspects. ECN-C-02-094, 2002.
Uneto-VNI	Dijk, K.W. van, A. Willemsen en F.A. Vos Installaties voor levensloop-bestendig wonen: drie modellen. Uneto-VNI, Augustus 2002
Uythoff,1999a	Domotica masterplan. Domotica en energie in een stroomversnelling. INVENIT. Domotica platform. VS3. Mei 1999.
Uythoff,1999b	Domotica masterplan. Het standaard huisnetwerk. INVENIT. Domotica platform. VS3. Mei 1999.
Vrijband,2001	Stratix. Vrijband: een breedbandvisie voor Nederland. Schiphol, augustus 2001.

BIJLAGE A INPUT SCENARIO FILE VOOR COMFORT

Bijgaande model is gebruikt voor de simulatieberekeningen voor scenario 2a. De overige scenario files verschillen, zoals in het rapport aangegeven, in `UpperDeviationProfile` en `UpperDeviationProfile`, `EEIndexProfile` en `EEIndexProfile` gewichten en de dientengevolge begintemperaturen voor de verschillende segmenten.

```
OptimisationRun "Voor en Naseizoen"
      StartDateTime "04.03.2002 00:00"
      NumberOfPeriods 24
      NumberOfSessions 1
      PeriodLength 3600
      ModelType 1
EndOptimisationRun "Voor en Naseizoen"
Building "Doorzon"
      NumberOfSegments 3
      Segment "BeganeGrond"
            Volume 119.2
            HeatCapacity 1.4545701E7
            AreaCapacity 158.73999999999998
            AirTemperature "20.4"
            RadiationTemperature "20.4"
            AirVelocity "0.1"
            RelativeHumidity "40.0"
            AirPressure "1.0"
            WallTemperature "21.6"
            TAirExpectedProfile Profile
                  DeltaTime 3600
                  NSteps 25
                  Values
                        20.4  18.8  17.5  16.0  16.0  16.0  18.0  20.0
                        21.0  20.0  20.0  20.0  20.0  21.0  20.0  20.0
                        20.0  21.0  21.0  22.0  22.0  22.0  22.0  21.0
                        20.0
            EndTAirExpectedProfile
            TRadExpectedProfile Profile
                  DeltaTime 3600
                  NSteps 25
                  Values
                        20.4  18.8  17.5  16.0  16.0  16.0  18.0  20.0
                        21.0  20.0  20.0  20.0  20.0  21.0  20.0  20.0
                        20.0  21.0  21.0  22.0  22.0  22.0  22.0  21.0
                        20.0
            EndTRadExpectedProfile
            TWallExpectedProfile Profile
                  DeltaTime 3600
                  NSteps 25
                  Values
                        21.6  20.8  20.5  20.0  20.0  20.0  20.0  20.0
                        21.0  20.0  20.0  20.0  20.0  21.0  20.0  20.0
                        20.0  21.0  21.0  22.0  22.0  22.0  22.0  21.0
                        20.0
            EndTWallExpectedProfile
            RHumExpectedProfile Profile
                  DeltaTime 3600
                  NSteps 25
                  Values
                        40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0
                        40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0
                        40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0
                        40.0
            EndRHumExpectedProfile
            VAirExpectedProfile Profile
                  DeltaTime 3600
                  NSteps 25
                  Values
                        0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1
                        0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1
                        0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1
                        0.1
```

```
EndVAirExpectedProfile
PAirExpectedProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            1.0
EndPAirExpectedProfile
QInternalProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
            353.5 353.5 353.5 353.5 353.5 353.5 353.5 353.5
            353.5 353.5 353.5 353.5 353.5 353.5 353.5 0.0
            0.0
EndQInternalProfile
CostProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5
            0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5
            0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5
            0.5
EndCostProfile
ClothingProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            1.0
EndClothingProfile
LowerDeviationProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   1.0
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   0.1
            0.1
EndLowerDeviationProfile
UpperDeviationProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            2.0   2.0   2.0   2.0   2.0   2.0   4.0   1.0
            1.0   1.0   1.0   3.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            3.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            3.0
EndUpperDeviationProfile
MetabolismProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.2
            1.2   1.4   1.4   1.4   1.2   1.4   1.4   1.4
            1.4   1.2   1.2   1.2   1.2   1.2   1.2   1.2
            1.0
EndMetabolismProfile
ExternalWorkProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
            0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
            0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
            0.0
EndExternalWorkProfile
EEIndexProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
```

```
            1.5   1.5   1.5   1.5   1.5   1.5   1.5   1.5
            1.5   1.5   1.5   1.5   1.5   1.5   1.5   1.5
            1.5   1.5   1.5   1.5   1.5   1.5   1.5   1.5
            1.5
EndEEIndexProfile
REIndexProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1
            0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1
            0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1
            0.1
EndREIndexProfile
ComfortProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            -2.0  -2.0  -2.0  -2.0  -2.0  -2.0  -2.0  0.0
            0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
            0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
            -2.0
EndComfortProfile
NumberOfSeparators 8
Separator  "BUGEVELtoOUTSIDEMODEL"
      ConnectingTerminator "OUTSIDEMODEL"
      ModelIdentifier Exponential
            TransmissionCoefficient 0.488
            Area 8.61
      EndModelIdentifier Exponential
      AirFlow MProfile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  41.72 41.72 41.72 41.72 41.72 41.72 41.72 41.72
                  41.72 41.72 41.72 41.72 41.72 41.72 41.72 41.72
                  41.72 41.72 41.72 41.72 41.72 41.72 41.72 41.72
                  41.72
      EndAirFlow
EndSeparator "BUGEVELtoOUTSIDEMODEL"
Separator  "BUGEVELtoOUTSIDEMODEL"
      ConnectingTerminator "OUTSIDEMODEL"
      ModelIdentifier Exponential
            TransmissionCoefficient 0.488
            Area 5.47
      EndModelIdentifier Exponential
      AirFlow MProfile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0
      EndAirFlow
EndSeparator "BUGEVELtoOUTSIDEMODEL"
Separator  "DEURtoOUTSIDEMODEL"
      ConnectingTerminator "OUTSIDEMODEL"
      ModelIdentifier Exponential
            TransmissionCoefficient 0.998
            Area 1.32
      EndModelIdentifier Exponential
      AirFlow MProfile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0
      EndAirFlow
EndSeparator "DEURtoOUTSIDEMODEL"
Separator  "DEURtoOUTSIDEMODEL"
      ConnectingTerminator "OUTSIDEMODEL"
      ModelIdentifier Exponential
            TransmissionCoefficient 0.998
            Area 2.31
```

```
      EndModelIdentifier Exponential
      AirFlow MProfile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0
      EndAirFlow
EndSeparator "DEURtoOUTSIDEMODEL"
Separator  "VERDVLtoEersteVerdieping"
      ConnectingSegment "EersteVerdieping"
      ModelIdentifier Exponential
            TransmissionCoefficient 2.782
            Area 44.19
      EndModelIdentifier Exponential
      AirFlow MProfile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0
      EndAirFlow
EndSeparator "VERDVLtoEersteVerdieping"
Separator  "RIBCASISOtoKruipruimte"
      ConnectingTerminator "Kruipruimte"
      ModelIdentifier Exponential
            TransmissionCoefficient 2.034
            Area 44.19
      EndModelIdentifier Exponential
      AirFlow MProfile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0
      EndAirFlow
EndSeparator "RIBCASISOtoKruipruimte"
Separator  "BUGEVELtoOUTSIDEMODEL"
      ConnectingTerminator "OUTSIDEMODEL"
      ModelIdentifier Exponential
            TransmissionCoefficient 0.488
            Area 8.46
      EndModelIdentifier Exponential
      AirFlow MProfile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0
      EndAirFlow
EndSeparator "BUGEVELtoOUTSIDEMODEL"
Separator  "VERDVLtoEersteVerdieping"
      ConnectingSegment "EersteVerdieping"
      ModelIdentifier Exponential
            TransmissionCoefficient 2.782
            Area 44.19
      EndModelIdentifier Exponential
      AirFlow MProfile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0
      EndAirFlow
EndSeparator "VERDVLtoEersteVerdieping"
NumberOfSolarTransmitters 2
SolarTransmitter  "WINDOW001OUTSIDEMODEL"
```

```
            ConnectingTerminator "OUTSIDEMODEL"
            ModelIdentifier Exponential
                  TransmissionCoefficient 2.8
                  Area 1.87
            EndModelIdentifier Exponential
            SolarRadiationProfile MProfile
                  DeltaTime 3600
                  NSteps 25
                  Values
                        0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                        0.0   0.0   24.29 51.36 85.30 49.83 66.76 72.91
                        7.18  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                        0.0
            EndSolarRadiationProfile
      EndSolarTransmitter  "WINDOW001OUTSIDEMODEL"
      SolarTransmitter  "WINDOW001OUTSIDEMODEL"
            ConnectingTerminator "OUTSIDEMODEL"
            ModelIdentifier Exponential
                  TransmissionCoefficient 2.8
                  Area 5.55
            EndModelIdentifier Exponential
            SolarRadiationProfile MProfile
                  DeltaTime 3600
                  NSteps 25
                  Values
                        0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                        0.0   0.0   24.29 51.36 85.30 49.83 66.76 72.91
                        7.18  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                        0.0
            EndSolarRadiationProfile
      EndSolarTransmitter  "WINDOW001OUTSIDEMODEL"
      NumberOfComfortAspectControllers 1
      Radiator "BegGrondRad"
            Connectedto "CentralCVSysteem"
            SwitchingEnergy 0.0
            Resource Heat
            MaxCapacity 10000
            Area 1
            ModelIdentifier "Linear"
                  MaxSetpoint 90
                  Slope 45
            EndModelIdentifier "Linear"
            InitialSettingCACSetting CProfile
                  DeltaTime 3600
                  NSteps 24
                  Values
                        0.0   0.24  0.22  0.20  0.20  0.51  1.0   0.5
                        0.3   0.3   0.3   0.7   0.3   0.3   0.3   0.3
                        0.3   0.3   0.3   0.5   0.3   0.3   0.0   0.0
            EndInitialSettingCACSetting
      EndRadiator "BegGrondRad"
EndSegment "BeganeGrond"
Segment "EersteVerdieping"
      Volume 119.2
      HeatCapacity 1.5047095E7
      AreaCapacity 141.91
      AirTemperature "16.5"
      RadiationTemperature "16.5"
      AirVelocity "0.1"
      RelativeHumidity "40.0"
      AirPressure "1.0"
      WallTemperature "16.8"
      TAirExpectedProfile Profile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  16.5  17.8  17.0  17.0  17.0  17.0  17.0  18.0
                  19.0  19.0  18.0  18.0  18.0  19.0  18.0  18.0
                  18.0  19.0  20.0  21.0  21.0  21.0  21.0  20.0
                  17.0
      EndTAirExpectedProfile
      TRadExpectedProfile Profile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  16.5  17.8  17.0  17.0  17.0  17.0  17.0  18.0
                  19.0  19.0  18.0  18.0  18.0  19.0  18.0  18.0
```

```
            18.0  19.0  20.0  21.0  21.0  21.0  21.0  20.0
            17.0
EndTRadExpectedProfile
TWallExpectedProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            16.8  17.8  17.0  17.0  17.0  17.0  17.0  18.0
            19.0  19.0  18.0  18.0  18.0  19.0  18.0  18.0
            18.0  19.0  20.0  21.0  21.0  21.0  21.0  20.0
            17.0
EndTWallExpectedProfile
RHumExpectedProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0
            40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0
            40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0
            40.0
EndRHumExpectedProfile
VAirExpectedProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1
            0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1
            0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1
            0.1
EndVAirExpectedProfile
PAirExpectedProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            1.0
EndPAirExpectedProfile
QInternalProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            44.19 44.19 44.19 44.19 44.19 44.19 44.19 44.19
            0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
            0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   44.19 44.19
            44.19
EndQInternalProfile
CostProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5
            0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5
            0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5
            0.5
EndCostProfile
ClothingProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            1.0
EndClothingProfile
LowerDeviationProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1
            0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1
            0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1
            0.1
EndLowerDeviationProfile
UpperDeviationProfile Profile
      DeltaTime 3600
```

```
      NSteps 25
      Values
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            1.0   2.0   2.0   2.0   2.0   2.0   2.0   2.0
            2.0   2.0   2.0   2.0   2.0   2.0   1.0   1.0
            1.0
EndUpperDeviationProfile
MetabolismProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
            1.0
EndMetabolismProfile
ExternalWorkProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
            0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
            0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
            0.0
EndExternalWorkProfile
EEIndexProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            1.5   1.5   1.5   1.5   1.5   1.5   1.5   1.5
            1.5   1.5   1.5   1.5   1.5   1.5   1.5   1.5
            1.5   1.5   1.5   1.5   1.5   1.5   1.5   1.5
            1.5
EndEEIndexProfile
REIndexProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5
            0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5
            0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5
            0.5
EndREIndexProfile
ComfortProfile Profile
      DeltaTime 3600
      NSteps 25
      Values
            -2.0  -2.0  -2.0  -2.0  -2.0  -2.0  -2.0  -2.0
            -2.0  -2.0  -2.0  -2.0  -2.0  -2.0  -2.0  -2.0
            -2.0  -2.0  -2.0  -2.0  -2.0  -2.0  -2.0  -2.0
            -2.0
EndComfortProfile
NumberOfSeparators 4
Separator  "VERDVLtoBeganeGrond"
      ConnectingSegment "BeganeGrond"
      ModelIdentifier Exponential
            TransmissionCoefficient 2.782
            Area 44.19
      EndModelIdentifier Exponential
      AirFlow MProfile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0
      EndAirFlow
EndSeparator "VERDVLtoBeganeGrond"
Separator  "BUGEVELtoOUTSIDEMODEL"
      ConnectingTerminator "OUTSIDEMODEL"
      ModelIdentifier Exponential
            TransmissionCoefficient 0.488
            Area 9.34
      EndModelIdentifier Exponential
      AirFlow MProfile
            DeltaTime 3600
```

```
            NSteps 25
            Values
                  41.72 41.72 41.72 41.72 41.72 41.72 41.72 41.72
                  41.72 41.72 41.72 41.72 41.72 41.72 41.72 41.72
                  41.72 41.72 41.72 41.72 41.72 41.72 41.72 41.72
                  41.72
      EndAirFlow
EndSeparator "BUGEVELtoOUTSIDEMODEL"
Separator  "VERDVLtoBeganeGrond"
      ConnectingSegment "BeganeGrond"
      ModelIdentifier Exponential
            TransmissionCoefficient 2.782
            Area 44.19
      EndModelIdentifier Exponential
      AirFlow MProfile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0
      EndAirFlow
EndSeparator "VERDVLtoBeganeGrond"
Separator  "VERDVLtoZolder"
      ConnectingSegment "Zolder"
      ModelIdentifier Exponential
            TransmissionCoefficient 2.782
            Area 44.19
      EndModelIdentifier Exponential
      AirFlow MProfile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  23.02 23.02 23.02 23.02 23.02 23.02 23.02 23.02
                  23.02 23.02 23.02 23.02 23.02 23.02 23.02 23.02
                  23.02 23.02 23.02 23.02 23.02 23.02 23.02 23.02
                  23.02
      EndAirFlow
EndSeparator "VERDVLtoZolder"
NumberOfSolarTransmitters 2
SolarTransmitter  "WINDOW001OUTSIDEMODEL"
      ConnectingTerminator "OUTSIDEMODEL"
      ModelIdentifier Exponential
            TransmissionCoefficient 2.8
            Area 3.0
      EndModelIdentifier Exponential
      SolarRadiationProfile MProfile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   31.92 30.84 52.88 85.30 49.83 66.76
                  72.91 7.19  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0
      EndSolarRadiationProfile
EndSolarTransmitter  "WINDOW001OUTSIDEMODEL"
SolarTransmitter  "WINDOW001OUTSIDEMODEL"
      ConnectingTerminator "OUTSIDEMODEL"
      ModelIdentifier Exponential
            TransmissionCoefficient 2.8
            Area 3.88
      EndModelIdentifier Exponential
      SolarRadiationProfile MProfile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0   0.0   31.92 30.84 52.88 81.57 43.41 47.81
                  72.91 7.18  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                  0.0
      EndSolarRadiationProfile
EndSolarTransmitter  "WINDOW001OUTSIDEMODEL"
NumberOfComfortAspectControllers 1
Radiator "VerdiepRad"
      Connectedto "CentralCVSysteem"
      SwitchingEnergy 0.0
```

```
            Resource Heat
            MaxCapacity 3000
            Area 1
            ModelIdentifier "Linear"
                  MaxSetpoint 90
                  Slope 45
            EndModelIdentifier "Linear"
            InitialSettingCACSetting CProfile
                  DeltaTime 3600
                  NSteps 24
                  Values
                        0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                        0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                        0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
            EndInitialSettingCACSetting
      EndRadiator "VerdiepRad"
EndSegment "EersteVerdieping"
Segment "Zolder"
      Volume 66.3
      HeatCapacity 6234400.0
      AreaCapacity 99.85
      AirTemperature "14.2"
      RadiationTemperature "14.2"
      AirVelocity "0.1"
      RelativeHumidity "40.0"
      AirPressure "1.0"
      WallTemperature "14.3"
      TAirExpectedProfile Profile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  14.2  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0
                  15.5  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0
                  15.5  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0
                  15.0
      EndTAirExpectedProfile
      TRadExpectedProfile Profile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  14.2  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0
                  15.5  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0
                  15.5  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0
                  15.0
      EndTRadExpectedProfile
      TWallExpectedProfile Profile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  14.3  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0
                  15.5  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0
                  15.5  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0  15.0
                  15.0
      EndTWallExpectedProfile
      RHumExpectedProfile Profile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0
                  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0
                  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0  40.0
                  40.0
      EndRHumExpectedProfile
      VAirExpectedProfile Profile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1
                  0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1
                  0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1   0.1
                  0.1
      EndVAirExpectedProfile
      PAirExpectedProfile Profile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
```

```
                  1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
                  1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
                  1.0
      EndPAirExpectedProfile
      NumberOfSeparators 2
      Separator  "VERDVLtoEersteVerdieping"
            ConnectingSegment "EersteVerdieping"
            ModelIdentifier Exponential
                  TransmissionCoefficient 2.782
                  Area 44.19
            EndModelIdentifier Exponential
            AirFlow MProfile
                  DeltaTime 3600
                  NSteps 25
                  Values
                        23.02 23.02 23.02 23.02 23.02 23.02 23.02 23.02
                        23.02 23.02 23.02 23.02 23.02 23.02 23.02 23.02
                        23.02 23.02 23.02 23.02 23.02 23.02 23.02 23.02
                        23.02
            EndAirFlow
      EndSeparator "VERDVLtoEersteVerdieping"
      Separator  "DAKBRMKtoOUTSIDEMODEL"
            ConnectingTerminator "OUTSIDEMODEL"
            ModelIdentifier Exponential
                  TransmissionCoefficient 0.531
                  Area 55.66
            EndModelIdentifier Exponential
            AirFlow MProfile
                  DeltaTime 3600
                  NSteps 25
                  Values
                        0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                        0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                        0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0
                        0.0
            EndAirFlow
      EndSeparator "DAKBRMKtoOUTSIDEMODEL"
      NumberOfSolarTransmitters 0
      NumberOfComfortAspectControllers 0
EndSegment "Zolder"
NumberOfInstallations 2
CentralHeatingInstallation "CentralCVSysteem"
      HeatingCurveProfile MProfile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  90    90    90    90    90    90    90    90
                  90    90    90    90    90    90    90    90
                  90    90    90    90    90    90    90    90
                  90
      EndHeatingCurveProfile
      Efficiency 80
      NumberOfImportedResources 1
      Resource "NaturalGas"
            Price MProfile
                  DeltaTime 3600
                  NSteps 25
                  Values
                        .0477 .0368 .0323 .0306 .0302 .0355 .0410 .0616
                        .0724 .0811 .0872 .1001 .0861 .0823 .0749 .0714
                        .0866 .1704 .1346 .0859 .0806 .0671 .0621 .0562
                        .0477
            EndPrice
      EndResource "NaturalGas"
      NumberOfExportedResources 1
      Resource "Heat"
            Price MProfile
                  DeltaTime 3600
                  NSteps 25
                  Values
                        .0477 .0368 .0323 .0306 .0302 .0355 .0410 .0616
                        .0724 .0811 .0872 .1001 .0861 .0823 .0749 .0714
                        .0866 .1704 .1346 .0859 .0806 .0671 .0621 .0562
                        .0477
            EndPrice
      EndResource "Heat"
EndCentralHeatingInstallation "CentralCVSysteem"
```

```
      ElectricalInstallation "SimpleBoxElectriciteitsSysteem"
            NumberOfImportedResources 1
            Resource "Electricity"
                  Price MProfile
                        DeltaTime 3600
                        NSteps 25
                        Values
                              .0477 .0368 .0323 .0306 .0302 .0355 .0410 .0616
                              .0724 .0811 .0872 .1001 .0861 .0823 .0749 .0714
                              .0866 .1704 .1346 .0859 .0806 .0671 .0621 .0562
                              .0477
                  EndPrice
            EndResource "Electricity"
            NumberOfExportedResources 1
            Resource "Electricity"
                  Price MProfile
                        DeltaTime 3600
                        NSteps 25
                        Values
                              .0477 .0368 .0323 .0306 .0302 .0355 .0410 .0616
                              .0724 .0811 .0872 .1001 .0861 .0823 .0749 .0714
                              .0866 .1704 .1346 .0859 .0806 .0671 .0621 .0562
                              .0477
                  EndPrice
            EndResource "Electricity"
            EndElectricalInstallation "SimpleBoxElectriciteitsSysteem"
      NumberOfTerminators 2
      Terminator  "OUTSIDEMODEL"
            Temperature MProfile
                  DeltaTime 3600
                  NSteps 25
                  Values
                        -1.59 -0.10 -0.60 -1.05 -1.01 -0.91 -0.99 -1.00
                        -0.39 0.05  0.80  1.78  2.86  3.09  3.19  3.20
                        2.94  2.90  2.46  2.40  2.40  2.40  2.31  2.21
                        2.11
            EndTemperature
      EndTerminator "OUTSIDEMODEL"
      Terminator  "Kruipruimte"
            Temperature MProfile
                  DeltaTime 3600
                  NSteps 25
                  Values
                        4.47  4.47  4.47  4.47  4.47  4.48  4.48  4.48
                        4.48  4.48  4.48  4.48  4.49  4.49  4.49  4.49
                        4.49  4.49  4.49  4.50  4.50  4.50  4.50  4.50
                        4.50
            EndTemperature
      EndTerminator "Kruipruimte"
EndBuilding "Doorzon"
Resource "Electricity"
      Price MProfile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  .0477 .0368 .0323 .0306 .0302 .0355 .0410 .0616
                  .0724 .0811 .0872 .1001 .0861 .0823 .0749 .0714
                  .0866 .1704 .1346 .0859 .0806 .0671 .0621 .0562
                  .0477
      EndPrice
EndResource "Electricity"
Terminator  "Outside"
      Temperature MProfile
            DeltaTime 3600
            NSteps 25
            Values
                  -1.59 -0.10 -0.60 -1.05 -1.01 -0.91 -0.99 -1.00
                  -0.39 0.05  0.80  1.78  2.86  3.09  3.19  3.20
                  2.94  2.90  2.46  2.40  2.40  2.40  2.31  2.21
                  2.11
      EndTemperature
EndTerminator "Outside"
```

BIJLAGE B DEFINITIE PILOT-PROJECT

1. Samenvatting

UNCOVER: UNattended COmfort- en VEiligheidsdiensten vooR de woonomgeving

In Nederland vindt 40 % van het totale energiegebruik en dientengevolge een navenant deel van de CO_2-uitstoot, in de gebouwde omgeving plaats. De ontwikkeling en het gebruik van duurzame producten en diensten in de woon- en leefomgeving kan daarom een aanzienlijke besparing op het energiegebruik betekenen. In de loop der jaren is al veel energiebesparing in de gebouwde omgeving bereikt door eisen aan het **ontwerp** van gebouwen te stellen. Deze stellen impliciet voorwaarden aan het bewonersgedrag. Doordat aan deze voorwaarden vaak niet voldaan wordt, hebben energiebesparende systemen voor de woonomgeving in de **gebruik**sfase echter, door een mismatch met het bewonersgedrag, niet het gewenste effect. Er is een mismatch tussen energie- en comfortbeheer en gebruikersinteractie. Dit vertaalt zich ook in een grote spreiding van het in de praktijk gerealiseerd energiegebruik (gas, elektriciteit) van woningen gebouwd met dezelfde **E**nergie **P**restatie **C**oëfficiënt (EPC) , berekend in de ontwerpfase.

In dit project beogen wij deze spreiding te verminderen door ***een innovatief geïntegreerd energiebeheer en veiligheidssysteem (inbraak, brand en zorgalarm) te ontwikkelen dat door geautomatiseerde, intelligente analyse van het gedrag van gebruikers de mismatch verkleint en daardoor zal kunnen leiden tot meer milieuvriendelijk energie management op de schaal van woningen, wat tot energie- en kostenbesparing voor huishoudens leidt en dientengevolge, globaal gezien, tot reductie van de CO_2-uitstoot***.

In het project wordt deze meerwaarde verkregen door informatie, afkomstig van een nieuwe generatie bewakingssystemen (**unattended autonomous** surveillance-systems[1]), te gebruiken voor intelligent (**pre-emptief)** energie- en comfortmanagement[2] in woningen. Anderzijds wordt de informatie door **real-time** analyse van het energieverbruik ingezet voor een verhoging van de **betrouwbaar**heid van de bewakingsdiensten[3]. In het project wordt een 'design for all' ontwerpprincipe toegepast, met als extra focus de doelgroep **senioren** en de toepassing in **bestaande** bouw. Dit vanwege de grotere te verwachte economische maar ook sociale voordelen van het inzetten van onze technologische kennis binnen dit domein. De opgebouwde technologische en applicatie specifieke kennis zal leiden tot een systeemvoorontwerp. Dit voorontwerp zal door een beperkte 'pilot' van een situatie, bijvoorbeeld in de thuiszorg, geëvalueerd worden. In het project brengen ECN, een software bedrijf en een energiebedrijf in de rol van Energy Service Company (ESCO) de kennis m.b.t. energiediensten in de gebouwde omgeving in; TNO/FEL, een multi-nationaal opererend elektronica concern en een fabrikant van beveiligingssystemen leveren de kennis omtrent embedded netwerk technologie en **U**nattended **A**utonomous **S**urveillance systemen, TNO/PG en TNO/STB leveren tezamen met een woningbouwcoöperatie de randvoorwaarden voor een pilot en doen onderzoek aan de gebruikers- en gedragsaspecten.

---

[1] In deze binnen TNO/FEL ontwikkelde innovatieve aanpak vindt "tracking" van het bewonersgedrag plaats in plaats van aanwezigheidsdetectie.

[2] Bij deze recent bij ECN/DEGO ontwikkelde techniek wordt, binnen de grenzen van gepersonaliseerde voorkeuren en kosten, gedistribueerde ICT ingezet voor strategie-optimalisatie van energie en thermisch binnencomfort bepalende apparatuur.

[3] De informatie beschikbaar uit het aanwezigheidsdetectie- en identificatiemoduul van het bewakingssysteem kan bijvoorbeeld beschikbaar gesteld worden aan het energie management systeem voor het volgens persoonlijke voorkeuren regelen van de comfort apparatuur (verwarming, licht) en voor aanwezigheidsafhankelijke ventilatie. Anderzijds, kan de real-time informatie over energieverbruik voor het detecteren van gevaarlijke situaties worden gebruikt (bijvoorbeeld een bejaarde gevallen onder de douche; waterverbruik in relatie met elektriciteitsverbruik).

2. Achtergrond

Aanleiding
In de Nederlandse utiliteitsbouw is de afgelopen jaren door toepassing van ICT voor energie management een energiebesparing bij het beheren van utiliteitsgebouwen gerealiseerd van zo'n 20 procent. Studies tonen aan, dat, op kleinere schaal, in Nederlandse woningen (nieuwbouw en bestaande bouw) een vergelijkbaar besparingspotentieel m.b.t. het gebouw gebonden energiegebruik voor verwarming en verlichting door toepassing van ICT aanwezig is. Probleem bij grootschalige marktintroductie van dit soort systemen is de huidige aanschafprijs en het gebrek aan integratie met de andere huissystemen. Met name is er in de huidige generatie systemen voor domotica nauwelijks sprake van integratie- en informatie-uitwisseling tussen systemen voor bewaking en systemen voor comfortbeheer en voor energiemanagement. Integratie van bewakings-/beveiligingssystemen met energie management systemen kan een van de "killer"-applicaties zijn voor invoering van steeds meer in prijs dalende technologie voor nieuwe, fijnmazige netwerken in woningen voor meet- en regeltoepassingen.

Doel van het project
Het ontwikkelen van een naadloos in de life-style van de bewoners geïntegreerd energiemanagement en beveiligingssysteem, dat leidt tot energiebesparing en kostenreductie. Tevens het aantonen van de verhoging van de betrouwbaarheid van een dergelijk systeem door intelligente analyse van informatie omtrent energieverbruik in relatie tot andere lifestyle-informatie.

Belang voor de eindgebruiker
Door life-style integratie en, gelijktijdig mede daardoor, vereenvoudigde bediening wordt een belangrijke hindernis voor de penetratie van nieuwe, geïntegreerde technologie op de schaal van woningen geslecht. Economisch gezien kan een aanzienlijke verlaging van de totale aanschafkosten van een dergelijk systeem worden verwacht dankzij hergebruik van dezelfde infrastructuur voor verschillende diensten. Modulaire opbouw zorgt ervoor, dat de instap-prijs laag is en latere functionaliteit verhogende uitbreidingen betaalbaar blijven. Tevens gaan voor de bewoner de maandelijkse uitgaven omlaag. Het "unattended/pre-emptief"-karakter maakt de technologie vooral bruikbaar voor bejaarden en gehandicapten; ze kunnen zelfstandig en beter in hun eigen huis blijven wonen. De technologie is aanpasbaar en uitbreidbaar afhankelijk van de levensfase van de bewoners. Verder is er een besparing op de kosten van het elektriciteitsverbruik en het aardgasverbruik.

Belang voor de samenwerkingspartners
Voor de kennisinstellingen vormt UNCOVER de toets naar een zeer relevante case voor hun real-time energiemanagement kennis op de schaal van utiliteitsgebouwen en autonomous surveillance system kennis met gebruik van gedeeltelijk autonome intelligente apparaten in een netwerk.
Door de nieuw ontwikkelde applicatie komen er voor de hardware en software leveranciers, qua prijs en functionaliteit, doorbraken binnen bereik op de markt voor automatisering van woonfuncties.
Er wordt door UNCOVER een brug geslagen tussen de nu nog vaak volledig gescheiden werelden van bewakingssystemen en thermisch binnencomfort regelingen, die ieder hun eigen "proprietary" technologie (zie bijv.: www.hometronic.nl) ontwikkelen. In de geliberaliseerde energiemarkt met steeds kleinere marges op het gebruiksartikel stroom of gas kunnen energie en servicebedrijven alleen overleven indien ze diensten of dienstenpakketten leveren. UNCOVER biedt een dergelijk relevant dienstconcept.

Recente artikelen project-partners:

Networked Intelligent Devices (NID's)

- M.G. Maris, 'Zelfdenkende apparaatjes zijn geen toekomstvisie meer', Telematica, Nieuwsbrief over ontwikkelingen en toepassingen, jaargang 11, nr. 3, maart 2000. Dit artikel introduceert het concept van Netwerk Intelligent Devices (NIDs).
- L. Smit en I.P. Karkowski, 'Huisautomatisering: zorgt voor sociale cohesie en maatschappelijke veiligheid', *Senioren & Wonen, Met succes inspelen op de woonbehoeften van 50-plussers*, publicatie van TNO en Senmar Consulancy B.V., 2001. Bevat een overzicht van de nieuwe technologische ontwikkelingen in de huisautomatisering toegespitst op senioren.
- I.P. Karkowski, 'Unattended Autonomous Surveillance (UAS) Concept', *FEL gekleurd*, maandelijkse TNO blad, maart 2001. Een beschrijving van de uitgangspunten en doelstellingen van het UAS-project.
- I.P. Karkowski en M.G. Maris, 'Automatisch bewakingssysteem voor toepassingen in huis- en wijkomgeving', *Jaarboek Beveiliging 2002* van Kluwer. Bevat een overzicht van de nieuwe surveillance concepten in UAS-systemen.
- H.A.J.M. van Hoof, G.P. van Voorthuijsen en J.A.A.J. Janssen, 'Transmissiebandbreedte en beeldkwaliteit bij CCTV', Security Management, nummer 4, Facto Media, april 2002. Evaluatie van de camera surveillance systemen.
- I.P. Karkowski en M.G. Maris, 'Volgende generatie bewakingssysteem voor toepassing in huisomgeving', *Beveiliging maart 2002*. Bevat een visie op de volgende generatie integrale bewakingsoplossingen voor woningen.

Comfort- en energie beheer in de utiliteitsbouw (SMART) en woningen (COMFY)

- E. Boertjes, H. Akkermans, R. Gustavsson en R. Kamphuis. "Agents to achieve customer satisfaction", Proceedings of the fifth Conference on "The Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent technology". 75-95. Manchester 2000. Bevat de basis gedachten achter energiebeheer met kosten optimalisatie met gelijkblijvend of beter thermisch binnencomfort.
- I.G. Kamphuis en C.J. Warmer. "Computerised Intelligence in Small Scale Networks and beyond; opportunities for energy efficiency", ECN-I-01-005. Petten, the Netherlands. Een beschrijving van de hardware architectuur en een software model voor binnencomfort regeling in woningen.
- W. Zeiler, J.M. Akkermans, I.G. Kamphuis, W. Wortel. "SMART: Internettechnologie als intelligent element voor gebouwbeheer ", *Verwarming en Ventilatie, mei 2002*. Hierin wordt de software schil en de algoritmiek beschreven, die bedrijf van een gebouwbeheerssysteem gebruik makend van intelligente technologie en leidend tot energie- en kostenbesparing, mogelijk maakt.
- W.Zeiler, I.G. Kamphuis, J.M. Akkermans. "SMART Gebouwprestatiesimulatie: een tussenstand", TVVL magazine, september 2002. Hierin wordt de manier waarop het bouwfysisch model binnen de SMART-software is gedefinieerd, beschreven.
- J. Jelsma, A. Kets, I.G. Kamphuis en W. Wortel. SMART field test; experience of users and technical aspects. In press as an ECN-report. Dit rapport behandelt de gebruikers- engebruiks ervaringen met de SMART-software in een beperkte praktijktest in een utiliteitsgebouw omgeving.

Energie servicediensten

- H. Ottosson, H. Akkermans, J. Dickinson, S. Host. R. Kamphuis, G. Lindell. P. Nicholson. State-of-the-art and initial analysis of PLC-services. ECN-C-00-92. (zie palas.regiocom.net).Geeft een overzicht van de mogelijkheden van energie gerelateerde diensten.
- Monika Olsson, René Kamphuis. Market survey of last-mile communication services using PLC. PALAS- Powerline as an alternative local access. IST-1999-11379. ECN-C--01-092. Bevat een uitgebreide analyse van een in 2001 uitgevoerde enquête met betrekking tot mogelijke energiediensten binnen 1800 Nederlandse huishoudens.

- I.G. Kamphuis, C.J. Warmer. Software architecture requirements for Powerline communication as a last-mile local access. IST-1999-11379. ECN-C--01-006. Bevat een overzicht van de benodigde ICT-infrastructuur op huisnet, last-mile en backbone niveau nodig voor het verlenen van energie gerelateerde diensten aan huishoudens.

3. Stand van zaken project

ECN-inbreng:
Bij ECN is, binnen een aantal projecten, een thermisch binnencomfort- en energiemanagementsysteem ontwikkeld, dat in de utiliteitssector is beproefd. Het systeem maakt gebruik van "autonomous agent" algoritmen voor optimalisatie en kan pro-actief reageren op gebruikersgedrag (intern) en op signalen vanuit de externe energiemarkt. Het systeem is te implementeren binnen een residential gateway architectuur gekoppeld aan een huisnetwerk-topologie. Binnen ECN zijn testwoningen aanwezig voor het valideren van concepten voor woningen. Op het gebied van inbedding van ICT in huisnetwerken en in de infrastructuur voor energievoorziening en de daaraan gekoppelde dienstenconcepten is ECN op Europees niveau leidend. Verder is ECN, na verwerving van de Sprong-prijs, in opdracht van het NIDO bezig met het begeleiden van een aantal voorbeeldprojecten op het gebied van energiebeheer en ouderenzorg.

TNO/FEL(Fysisch en Elektronische lab)-inbreng:
Binnen het ‘Unattended Autonomous Surveillance’ (UAS) project van TNO is kennis voor intelligente surveillance diensten in woonomgeving ontwikkeld. Binnen een andere TNO project ‘Media@Home’ zijn concepten voor multimedia diensten in woonomgeving ontwikkeld. Tegelijkertijd wordt binnen het project Extended Home (XHome) gekeken naar slimme diensten voor de leefomgeving (behalve woonomgeving ook persoonlijke leefomgeving). Concepten en technieken van van Personal area networks (PAN' vormen het onderwerp van het SPEARS project, dat samen met KPN Research wordt uitgevoerd. Dit intensieve ontwikkelingswerk heeft geleid tot een aantal concepten voor "unattended/autonomous" bewakingssystemen, die gebaseerd zijn op gedistribueerde intelligente analyse en besluitvormingstechnieken[4].
TNO/PG (Preventie en Gezondheid) en /STB(Strategie Technologie en Beleid)- inbreng.
Bij de ontwikkeling van dergelijke systemen zijn voor TNO privacy-gerelateerde aspecten van dergelijke concepten, de betrouwbaarheid (minimalisatie van het aantal fout-positieve en fout-negatieve alarmen), de controle van de bewoner over de gebruikte diensten en de acties van het systeem zelf, de belangrijkste onderwerpen. De gedrags- en gebruikscomponent wordt in innovatieonderzoek vaak als problematisch - want onvoorspelbaar - gezien en als een belangrijke bron van ‘onbedoelde’ effecten (zoals marktfalen of als een rem op innovatie). In onze optiek is gebruikersgedrag echter niet zozeer onvoorspelbaar, maar vooral onbegrepen, en is het een leerproces, dat ontwerpers en gebruikers samen aan moeten gaan. Het openen van die ‘black box’ van de gebruiker is relevant, ook vanuit beleids- en marktperspectief, omdat daarmee inzicht kan worden gegeven in de factoren die het succes en falen van technologische innovaties (diensten) vanuit het perspectief van gebruikers kunnen verklaren. Dit inzicht kan vervolgens mogelijke aanknopingspunten bieden voor het stimuleren van gedragsverandering (van belang voor innovatie en duurzaam gedrag).

"Domotica"
Huidige domoticasystemen in woningen vereisen veel bijsturing door de gebruiker en leveren geen informatie en inzicht in de life-style en het gedrag van de gebruiker. Het gebrek aan visie op het gebruik van systemen in het dagelijks leven van eindgebruikers, leidt vaak tot een `technology push’: onhandelbare, weinig geïntegreerde systemen die een gebruiker meer last dan lust geven. De gebruiker wordt door de systemen als gebouwbeheerder aangesproken en

[4] Na constatering van een ongewenste situatie wordt door zo’n systeem zonder tussenkomst van personeel de gewenste melding op de juiste plaats afgeleverd. Het systeem neemt tegelijkertijd autonoom noodzakelijke acties in de woning teneinde mogelijke schade te minimaliseren en/of het uitvoeren van de reddingacties makkelijker te laten verlopen.

deze dient mee te denken met het systeem in plaats van dat het systeem actief reageert en anticipeert op de wensen en gedragingen van de gebruiker met betrekking tot energie- en comfortmanagement.

Remmende factoren
Op dit moment is er een gebrek aan standaarden en infrastructuren voor huisnetwerken, waardoor geïntegreerd gebruik van verschillende applicatietypen belemmerd wordt. Op gebruikersniveau is een mismatch tussen de technologie voor wat betreft het gebruik en de invloed van zijn regelacties op de kosten en het energiegebruik. Er bestaat nog geen integraal concept voor de interactie van de gebruiker met diverse diensten- en communicatie-kanalen (TV, PC, telefoon) en met huishoudelijke systemen dat gebruiksvriendelijk is voor de verschillende categorieën gebruikers (ontworpen vanuit een design for all-principe).
Versnellende factoren
De functionaliteit en beschikbaarheid van elektronische systemen in de directe woonomgeving en van moderne (deels draadloze) telecommunicatiemiddelen neemt in snel tempo toe. Tevens neemt het ecologiebewustzijn toe en zijn energiegebruikers bereid zelf in een beter milieu te investeren (voorbeeld: groene stroom). Dit is gekoppeld met een toenemende behoefte van bewoners om hun veiligheid flexibel, o.a. afhankelijk van hun momentane situatie, te regelen. In de gezondheids- en zorgsector is verder een trend naar extramuralisatie waar te nemen; d.w.z. meer zorg door de persoon zelf en/of zorg in zijn eigen woning.

4. Technologie

Technologisch perspectief:
Het gebrek aan integratie tussen verschillende dienstenbundels wordt vaak als belemmering voor het ontwikkelen van een ICT-infrastructuur in woningen. UNCOVER legt de basis voor ontwerp en ontwikkeling van een **nieuwe generatie** geïntegreerde woningbeheerssystemen als opvolger van bestaande, separate op domotica gebaseerde systemen voor beveiliging en energiebeheer. Om de commerciële slagkracht van deze nieuwe technologie te waarborgen zullen wij tegelijkertijd focusseren op de volgende aspecten:
- Flexibiliteit en modulaire opbouw (plug-and-play).
- Lage kosten en gemak van installatie in de bestaande bouw (draadloos of een communicatie technologie via bestaande bedrading; bijvoorbeeld powerline communicatie).
- Integratie met de bestaande ICT infrastructuur in woningen en gebruik van geaccepteerde internationale standaarden.
- Intelligent (meedenkend) en adaptief systeemgedrag – automatische aanpassing aan het gedrag van de bewoners (ambient intelligence).
- Simpele en intuïtieve gebruikersinterface.

Binnen de elektronica industrie als geheel en de Nederlandse ICT-onderzoekswereld, in het bijzonder, wordt op dit moment, binnen de VrijBand- en GenCom-programma's van de Nederlandse overheid, in nauwe samenwerking met de industrie, hardware en software technologie ontwikkeld, die enerzijds breedband-connectiviteit en anderzijds "ubiquitous computing" voor iedereen mogelijk maakt. Dit leidt tot een nieuwe generatie, gestandaardiseerde, configureerbare en gepersonaliseerde micro-netwerken, die UNCOVER als een van de eersten in een zinvolle toepassing kan gebruiken. In dit opzicht ligt de nadruk op het ontwikkelen van innovatieve applicaties, die gebruik maken van buiten het project ontwikkelde hardware en software.

Technologische slaagkans:
Wij willen benadrukken dat het niet onze bedoeling is om een nieuwe communicatie infrastructuur voor de woningen te ontwikkelen. Wij zullen zo veel gebruik proberen te maken van bestaande standaarden en COTS (Commercial Of The Shelf) componenten van de bij dit project betroken fabrikanten en anderen. Wij verwachten spin-offs naar andersoortige gebieden zoals gezondheidzorg en vermaak. Tegelijk, verwachten we dat de te ontwikkelen technologie veel breder toegepast zal worden (nieuwbouw, modale gezinnen), dan alleen in bestaande bouw

en voor de doelgroep senioren. Om dit te vergemakkelijken gaan wij consequent de 'design for all'-richtlijnen toepassen. In alle gevallen gaat het om het versnellen van een ontwikkelingsstap via een aantal vernieuwingen en integratie.

Een aantal technologische risico's kan geïdentificeerd worden. Allereerst kunnen wij ingehaald worden door andere globale of locale ontwikkelingen. Er zijn op dit moment een aantal marktpartijen bezig met het ontwikkelen van een infrastructuur (meestal combinatie van hardware en software) die aansluiting van elk soort apparaten op een huisnetwerk mogelijk maakt. Het is op dit moment moeilijk te voorspellen welke van deze partijen in de toekomst de markt voor de netwerkintelligentie zal domineren. Om deze risico's op te vangen, zullen de te ontwikkelen diensten boven op een generieke netwerklaag gedefinieerd moeten worden. Als de nieuwe diensten eenmaal ontwikkeld en geaccepteerd zijn, hoeven echter geen nieuwe acceptatie-activititeiten in de richting van het publiek plaats te vinden zolang de compatibiliteit bewaakt wordt en de oude infrastructuur geruisloos in de nieuwe kan overgaan.

Op dit moment zien wij geen technologische alternatieven voor het project. Internationaal (VS) zijn wel enige projecten uitgevoerd aan intelligente woonomgevingen. Het merendeel van de op de markt beschikbare systemen zijn gericht op maar één soort diensten. Weinige fabrikanten, die wel de integrale benadering kiezen, kenmerken zich door een 'ster-configuratie' waarin alle informatie van de sensoren wordt doorgestuurd naar een huiscentrale en daar geanalyseerd. Ook de besluitvormingsprocessen vinden daar plaats. Er is weinig sprake van informatie uitwisseling tussen verschillende soorten diensten. In tegenstelling tot deze systemen, richten wij ons in dit project op gedistribueerde analyse en besluitvorming processen (intelligentie bij de sensor zelf). Dit wordt gecombineerd met autonoom gedrag ter minimalisatie van de gevolgen van ongewenste situaties. Dit NID (Networked Intelligent Device)-concept is gebaseerd op de Jini™ netwerktechnologie, afkomstig van Sun Microsystems. Er bestaat een nauwe samenwerking tussen TNO en Sun op gebied van netwerkintelligentie. Bovendien is TNO een Autorized Java Center (AJC).

De te ontwikkelen technologie zal voornamelijk bestaan uit uitgewerkte systeemconcepten en software. We verwachten dat sommige goed geïsoleerde onderdelen van het systeem en/of algoritmen (bijv. voor intelligente leefpatronen analyse) octrooibaar zullen zijn.

5. Economie

Dit project heeft een grote invloed hebben op de verdere penetratie van de ICT- en domotica oplossingen in Nederland en daarbuiten. De betrokken markten omvatten: energieleveranciers, leveranciers van huisautomatiseringsapparatuur, woningbouw en beheer, de beveiligingsbranche, thuiszorg organisaties en verzekeraars. Terwijl het hoofddoel van dit project gericht is op ecologische duurzaamheid (reductie van de CO_2 emissie), heeft onze benadering ook voordelen op het gebied van economische duurzaamheid (kostenbesparing voor alle betrokken partijen) en op het gebied van sociale duurzaamheid (langer zelfstandig wonen, zorgopvang en alarmopvolging binnen sociale kring/wijk. De bevolkingsgroep senioren blijft in de komende jaren groeien, heeft behoefte aan extra comfort en veiligheid, is relatief kapitaalkrachtig en wil graag langer in een eigen huis blijven wonen. Het is de bedoeling dat dit project tevens de weg opent naar de bredere toepassing van de ICT technieken binnen bestaande bouw (dus ook modale gezinnen). De bestaande bouw is op dit moment in dit opzicht nog steeds een onontgonnen gebied maar heeft wel met enorme marktpotentieel.
Tunstall is een van twee marktleiders in Nederland op het gebied van beveiligings- en bewakingssystemen. Het betrokken energiebedrijf behoort bij de top-drie in Nederland met enige miljoenen klanten. ECN en TNO nemen voor wat betreft de in te brengen kennis ieder een in Nederland en Europa leidende positie in. Het definiëren van een prototype aan het eind van het project wil niet zeggen, dat er geen tussentijdse resultaten in nieuw op te zetten diensten worden opgenomen. Mede gezien de ontwikkelingen in de energiemarkt zal dit naar aller waarschijnlijkheid zelfs noodzakelijk zijn. Op dit moment worden dit soort diensten door aan

energiebedrijven gelieerde service bedrijven in beperkte mate verleend. Het klantenbestand, de afdeling retail en de back-office van de ESCO nemen een deel van de operationele taken op zich; een ander deel, het technologische, wordt in opdracht uitgevoerd door een installatie- of beveiligingsbedrijf. Vanuit bovengenoemde sector begint er een gearticuleerde vraag naar ondersteunende hardware technologie te ontstaan, die door de elektronika bedrijven in het consortium wordt opgevuld.
Op dit ogenblik bezit Tunstall 30 % van de markt voor personenalarmering. Omdat het bedrijf hier een technologisch voordeel kan behalen, zal het markt aandeel op langere termijn tot 50 % kunnen oplopen. De maximale time-to-market van het gehele ontwikkelingswerk is 5 jaar. Zoals eerder gezegd zijn tussenresultaten veel eerder in diensten en versies van producten terug te vinden.
Voor eindgebruikers liggen de verwachte operationele besparingen op energiekosten van energiekosten tussen de 15-20 procent van het totale verbruik. Indirect worden besparingen in de zorg gerealiseerd. Door meer gericht informatie over benodigde zorg te verkrijgen in het kader van de extra-muralisatie kan een hogere efficiëntie worden bereikt. Hetzelfde geldt voor effectiviteitverbetering van de inzet van politie en brandweer.
Om economisch rendabel te zijn is een brede toepassing in de toekomst noodzakelijk. Daarvoor moet de benodigde investering voor de gebruiker op termijn rendabel zijn. Hierbij spelen de initiële kosten en de gebruikskosten van de apparatuur een duidelijke rol: deze mogen niet te hoog liggen. Daarnaast speelt ook de levensloopbestendigheid van het systeem een rol. De behoeften van gebruikers in de verschillende levensfasen kunnen zeer verschillend zijn. Voor de tweeverdieners ligt de nadruk mogelijk meer op inbraakpreventie tijdens afwezigheid overdag, voor de ouderen meer op mogelijkheden voor personenalarmering en (medische) zorg. Indien het basissysteem hetzelfde is en verschillende toepassingen en diensten gemakkelijk en alleen op basis van de meerkosten van de nieuwe toepassing of dienst toegevoegd kan worden (modulaire systeemopbouw), kan een systeem zich op een redelijke termijn terugverdienen. De mogelijkheden voor toepassing in de bestaande woning, het kunnen meenemen naar een andere woning of het gemakkelijk kunnen overdragen aan een volgende bewoner spelen hierbij een belangrijke rol.

Een belangrijk niet-technisch aspect is de balans tussen surveillance en privacy enerzijds en autonomie anderzijds. Dit wordt niet alleen bepaald door de wet- en regelgeving rondom privacy, maar uiteraard ook door het gevoel dat de gebruiker hieromtrent heeft. Hij/zij dient voldoende informatie te hebben over de mate van privacy die het systeem, mogelijk afhankelijk van de situatie, biedt en hij/zij dient voldoende mogelijkheden te hebben om, indien gewenst, het beveiligingsniveau in te stellen op zijn persoonlijke voorkeuren en zijn situatie. Zo zal een zorgbehoevende persoon sneller een inbreuk op zijn privacy en autonomie accepteren, als hij/zij de keuze kan maken het systeem tijdelijk te blokkeren of te deblokkeren.
Een tweede aspect is aansluiting van het systeem bij bestaande en mogelijk nieuw te ontwikkelen diensten voor alarmopvolging. Daarbij speelt de mogelijkheid tot certificering conform bestaande normen en richtlijnen een belangrijke rol.

6. Ecologie

UNCOVER is gericht op het ontwikkelen van een dienst als milieugericht product en sluit het best aan bij het thema "Milieu gerichte productontwikkeling". UNCOVER focusseert op energiebesparing in de woningsector. Besparing leidt tot vermijding van energieopwekking en minder gebruik van (fossiele) brandstoffen. Door vermeden opwekking draagt UNCOVER op de beste manier bij aan andere thema's van het programma EET. Op het gebeid van kleinschalig energiemanagement met feedback naar de gebruiker zijn er de afgelopen jaren in EU-projecten een behoorlijk aantal pilots uitgevoerd. Uit onderzoek uitgevoerd door IVAM blijkt een significant energiebesparingpotentieel en invloed op het gebruikersgedrag te zijn alleen al door monitoring en terugkoppeling van individuele verbruiken. Deze factoren nemen echter na verloop van tijd af. UNCOVER streeft technologische doorbraken na, die door het deels autonome en pre-emptieve karakter, de besparing in de tijd juist bestendigd. Een indicatie van

de te bereiken energiebesparing kan slechts grofweg gegeven worden. In het buitenland uitgevoerde praktijktests gaan tot 40 % besparingspotentieel door ICT-gedreven intelligent energiemanagement. Eigen scenario-studies komen op een besparingspotentieel van zo'n 10-20 % afhankelijk van de lifestyle. Nemen er een gemiddeld besparingspotentieel van 15 procent aan, en een bijdrage van de gebouwde omgeving aan het totale energieverbruik van 40 % (inclusief de utiliteitssector waar deze technologie ook toepasbaar is) en het verwachte aandeel duurzaam van 10% in 2010 is dan komt het vermeden energiegebruik door toepassing van de ontwikkelde technologie op termijn op 3,6 %. Dit vertaalt zich voor Nederland in 3,6 Mton vermeden kooldioxide emissie.
Bij volledige penetratie van de technologie kan uitgaande van de gemiddelde aardgas en elektriciteitsverbruiken voor huishoudens in Nederland bijna 2 miljard m3 aardgas op verwarming en 3,48 miljard kWh op elektriciteit bespaard worden. Beperken we de besparing tot het segment van de woningvoorraad (bestaand; 80%) en de gebruikers (senioren: 40 %), waar we als eerste toepassing voorzien, dan kan in eerste instantie worden uitgegaan van 30 % van bovengenoemde besparing
In de pilot wordt de besparing gekwantificeerd door een nulmeting en door een meting na introductie van de technologie uit te voeren.
Dit soort technologie kan binnen een toekomstige herdefinitie van de EPC-berekening worden meegenomen teneinde ook verankering in het ontwerpstadium te bevorderen.

7. Samenwerking

Complementaire inzet van disciplines
In de uitvoering van het project wordt gekozen voor een integrale benadering waarin de volgende drie domeinen worden gecombineerd: innovatieve technologie op het gebied van bewakings- en veiligheidssystemen en gezondheidsmonitoring (TNO/FEL; TNO/PG), innovatieve technologie op het gebied van comfortregeling en energie management (energiebesparingssystemen) (ECN/DEGO), en het ontwikkelen van een visie op en het verkrijgen van inzicht in de gedrags- en gebruikscomponent van die systemen door de eindgebruikers (TNO/STB).
Voor TNO-PG sluit het project goed aan bij het speerpunt 'monitoring en alarmering in de thuiszorg'. Tevens is er een uitstekende aansluiting bij het UAS project dat met de twee andere TNO instituten TNO-FEL en TNO-STB wordt uitgevoerd. Tevens wordt aangesloten bij contacten met fabrikanten en leveranciers van alarmeringsapparatuur en met alarmeringscentrales, in wiens opdracht ook projecten op dit gebeid worden uitgevoerd.
De werkzaamheden worden uitgevoerd door en onder directe sturing van een projectgroep waarin de vier betrokken instituten en industriële partners zijn vertegenwoordigd. Ieder instituut/ industriële partner is tenminste vertegenwoordigd met een (deel)projectleider, waarvan er een als hoofdprojectleider optreedt. Daarnaast wordt een projectcoördinatiecommissie opgericht, waarin de opdrachtgever en andere betrokken commerciële instanties zitting hebben. Tenslotte zal via een klankbordgroep contact worden gehouden met (vertegenwoordigers van) toekomstige gebruikers van het systeem.

Binnen het nieuw samenwerkingsverband bestaat de mogelijkheid nog niet eerder op dit niveau verricht werk uit te voeren. Er zijn geen eerdere projecten uitgevoerd in deze samenstelling.

8. Uitvoering

Het project zal een doorlooptijd van drie jaar kennen en bestaan uit vier werkpakketten. De werkpakketten zullen deels parallel worden uitgevoerd.
1. Conceptverfijning. In deze fase zullen wij onderzoek verrichten naar de nieuwe gecombineerde ‘comfort’ en ‘veiligheid’ diensten in huisomgeving met als focus duurzaamheid. Er zijn de volgende activiteiten:

1. **Bepaling en articulatie van de gebruikerswensen.** In eerdere projecten is er duidelijke vraag naar energie gerelateerde diensten bij kleine consumenten geconstateerd, indien

ze kunnen leiden tot kostenbesparing. In deze stap wordt deze dienstenportfolio van de eindgebruiker verder verfijnd en gedetailleerd en worden de daaruit voortvloeiende randvoorwaarden binnen het project vastgelegd.

2. **Nulmeting energiegebruik.** Bij een aantal representatieve woningen wordt het gasgebruik, het gebouwgebonden en het niet-gebouwgebonden elektriciteitsgebruik bepaald gedurende representatieve periodes in verschillende seizoenen.
3. **Inventarisatie.** Deze taak behelst de inventarisatie van bestaande technologieën en maatschappelijke trends. Deze zullen gebruikt worden als uitgangspunt bij de definitie van de nieuwe (gecombineerde) diensten voor energiebesparing, comfort en veiligheid.
4. **Nieuwe diensten.** In deze stap worden bestaande diensten op gebied van comfort en veiligheid geinventariseerd en de ICT-ontwikkelingen, die daaraan ten grondslag liggen.
5. **Concept-definitie**. Aan de hand van scenario's zal het bewonersgedrag vastgelegd worden. Deze informatie is essentieel voor het vastleggen van de modelmatige interfacing en aansluiting tussen het energie/comfort domein en het surveillance domein. De individuele "**UAS-tracks**", die informatie geven over het bewonersgedrag, moeten worden vertaald in **life-style** patronen, die op hun beurt het energiemanagement en comfortmoduul van informatie voorzien. Aan de hand van deze scenario's zullen wij in werkpakket 2 oplossingstechnieken ontwikkelen. Relevante vragen zijn: hoe wordt informatie over aanwezigheid en identificatie tot life-style patronen relevant voor energiebeheer herleid. De ervaring, die is opgedaan binnen het UAS-project met betrekking tot het herleiden van dit soort patronen tot surveillance-informatie is hierbij van eminent belang. Ook de specificaties voor aanpassing en uitbreiding van de bestaande energie- en comfortmodellen en bijbehorende utiliteitsfuncties aan de hand deze patronen worden in deze fase opgesteld.
6. **Simulatie van deze diensten.** Ten einde het inzicht in het potentieel van dit soort diensten verder te verfijnen worden in een aantal, qua lifestyle en omstandigheden goed gedefinieerde en representatieve situaties, simulatie berekeningen uitgevoerd met betrekking tot energie besparing, kosten en gerealiseerd binnencomfort.
7. **Evaluatie/gebruikersacceptatie.** Gezien de aard van dit toepassingsgebied, is het absoluut essentieel om bij de ontwikkeling van dergelijke concepten rekening te houden met de maatschappelijke acceptatie hiervan. Om aan deze voorwaarde te voldoen, moeten de nieuwe concepten rekening houden met de aspecten van privacy bescherming (dit is extra belangrijk in de context van huissurveillance en thuiszorg), security (beveiliging van informatie stromen), verhoging van de sociale veiligheid en verhoging van efficiëntie en doelmatigheid (inzet van personeel en overige kosten). Tevens zal de maatschappelijke acceptatie van deze nieuwe diensten zal binnen dit project grondig onderzocht worden alsmede de inbedding in het dagelijks leven van de gebruiker. Hoewel het om autonoom functionerende systemen gaat – die zich dus aan het zicht van de gebruiker kunnen onttrekken – blijft het van groot belang om inzicht te verkrijgen in de condities waaronder gebruikers bereid zijn deze innovaties in hun dagelijks leven te verankeren. De maatschappelijke acceptatie en de inbedding van deze nieuwe diensten in het dagelijks leven van de gebruiker zal binnen dit project grondig onderzocht worden.

Dit werkpakket zal resulteren in een rapport met een detailbeschrijving van de nieuwe gecombineerde 'comfort' en 'veiligheid' diensten voor energiebesparing in de huisomgeving. Nadrukkelijk worden de resultaten van het onderzoek gescreend op slaag- en faalfactoren.

2. Modelvorming en oplossingsstrategie. Tijdens deze fase van het project zal een innovatieve architectuur van een systeem voor autonome, interactieve en energiebesparende woonomgevingen gedefinieerd worden. Uitgaand van de conceptdefinitie activiteiten zullen wij onderzoek uitvoeren naar de modellen en oplossingalgoritmen voor het gebruik van de informatie over gebruikergedrag binnen de nieuwe diensten.

1. **UAS-Energiegebruik<>Architecturele interface**. Deze werkzaamheden zullen beginnen met de definitie van architecturale interface tussen de componenten binnen 'comfort' en 'veiligheid' domeinen. De architectuur van het systeem wordt gedefinieerd met behulp van de standaard UML (Unified Modelling Language) methodologie.
2. **Implementatie technologieën**. Het gebruik van het concept van Network Intelligent Devices (NID's), dat op TNO-FEL ontwikkeld werd. Dit concept is gericht op middels netwerken met elkaar in verbinding staande apparaten als sensoren, actuatoren en displays. De apparaten delen data, informatie en resources met elkaar over een netwerk. NID's zijn in staat collectief te onderhandelen, analyseren en besluitprocessen uit te voeren. Op deze manier kan het systeem een alarm genereren zodra daar aanleiding toe bestaat. Tegelijkertijd werken deze apparaten autonoom en zijn ze in staat zelfstandig beslissingen te nemen (er is geen centrale server nodig). Door toepassing van deze technieken ontstaat de mogelijkheid dat sensorsystemen zelfstandig reageren op noodsituaties. Een andere belangrijke eigenschap van de NID apparaten is dat ze heel makkelijk toegevoegd of weggehaald kunnen worden, zonder systeem reconfiguratie.
3. **Detailontwerp en implementatie.** In deze fase worden de benodigde software modulen vervaardigd en geimplementeerd. Ten einde portabiliteit en downscaling te waarborgen zal worden aangesloten zal dit in de moderne programmeertaal Java plaats vinden.
4. **Testen en validatie.** Aan de hand van de in WP-1 vervaardigde scenario's zullen er een testsets verzameld worden. De repons van het systeem zal vergeleken worden met de verwachte response uit de simulatie-studies.
5. **Risico-analyse**. Er zal een risico analyse voor de nieuwe architectuur worden uitgevoerd teneinde de veiligheid van de gebruikers te garanderen. De resultaten van de risico analyse zullen in de architectuurdefinitie verwerkt worden.
6. **Toetsing aan gebruikerswensen.** Deze toetsing vindt plaats aan de hand van de in 1.1 vastgelegde wensen.

Dit werkpakket zal resulteren in een rapport met beschrijvingen van de ontwikkelde modellen en algoritmen voor gebruikersgedrag analyse.

3. Proof-of-principle

Voor de praktijktest wordt uitgegaan van drie fasen.

1. **Laboratoriumtest.** In de eerste fase zullen wij de demonstrator op laboratoriumschaal testen met het gebruikmaking van de testscenario's. Deze test vindt plaats bij TNO/FEL.
2. **Veldtest.** Dit zal plaats vinden gebruik makend van de testwoningen op de terrein van ECN in Petten.
3. **Test in bestaande woningen.** Vervolgens zullen wij dezelfde demonstrator installeren in een aantal bestaande en bewoonde woningen binnen thuiszorg. Deze tweede evaluatie fase is bedoeld om inzicht te krijgen in hoeverre het ons gelukt is om een oplossing te genereren die niet alleen aan onze 'duurzaamheid' doelstellingen voldoet maar tevens positief door de werkelijke gebruikers wordt ervaren. Deze pilot's zullen afgesloten worden met een tevredenheidsonderzoek onder de betroken bewoners. Tijdens deze fase worden vergelijkbare metingen verricht als in WP 1.1.
4. **Evaluatie.** Deze tweede evaluatie fase is bedoeld om inzicht te krijgen in hoeverre het ons gelukt is om oplossing te genereren dat niet alleen aan onze 'duurzaamheid' doelstellingen voldoet maar tevens positief door de werkelijke gebruikers wordt ervaren.

De werkpakket zal resulteren in een rapport met de onderzoeksresultaten van deze fase.

4. Project management en verspreiding van de resultaten. Tussentijds zal uitvoerig over het project worden gerapporteerd aan vakgenoten. Het project zal afgesloten worden met een seminar voor alle geïnteresseerde partijen. Tijdens dit seminar zullen wij een overzicht geven van de meest interessante resultaten van het project.