



TKI TRECO home



Towards Real Energy performance and Control by predicting, monitoring, comparing and controlling

Openbaar eindrapport TRECO Home

Projectnummer: TEGB113023

28 juni 2018

Toelichting

In het vertrouwelijke eindrapport worden de activiteiten en resultaten beschreven van TKI project TRECO Home.

De opbouw van het document is als volgt:

- Colofon
- Een algemene introductie
- Opbouw van de rapportage
- Inhoudelijk eindrapport
- Uitvoering van het project



Colofon

Projecttitel

Towards Real Energy performance and Control by predicting, monitoring, comparing and controlling (TRECO Home)

Projectnummer

TEGB113023

Penvoerder

- De Haas & Partners

Project deelnemers

- Huygen Installatie Adviseurs
- Zuyd Hogeschool/ NEBER
- Maastricht University
- Coreon
- De Twee Snoeken
- Heijmans Vastgoed bv
- Stichting Smart Homes

Projectperiode

01-01-2014 t/m 31-03-2018

Opdrachtgever

"Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland."

Inhoud

1	Introductie TKI TRECO Home	4
2	Opbouw van de rapportage	5
2.1	Deelrapporten en artikelen	5
3	Inhoudelijk eindrapport	7
3.1	Samenvatting	7
3.2	Inleiding	13
3.3	Doelstelling conform projectplan	16
3.4	Werkwijze	16
3.5	Resultaten per werkpakket.....	17
3.5.1	Dataverzameling en beoordeling (WP 2)	17
3.5.2	Gebruikersaspecten en componenten (WP 3)	30
3.5.3	Voorspellen, modelleren en vergelijken (WP4)	35
3.5.4	Product- en dienstontwikkeling (WP 5)	41
3.5.5	Praktijkvalidatie (WP 6)	53
3.6	Bijdragen aan de doelstelling van TKI-Energo	64
3.6.1	Duurzame energiehuishouding	64
3.6.2	Versterking kennispositie	64
3.6.3	Internationaal.....	64
3.6.4	Openbare publicaties	65
3.7	Mogelijkheden voor spin off en vervolgactiviteiten	65
3.8	Discussie	66
3.9	Conclusie en aanbevelingen	67

1 Introductie TKI TRECO Home

De centrale probleemstelling van TRECO Home is het in de praktijk van Nederlandse woningen optredende verschil tussen voorspeld (vooraf berekend) energiegebruik van woningen en het werkelijke energiegebruik zoals weergegeven op de energiemeters.

De hypothese bij de opzet van TRECO Home is dat indien het verschil tussen berekend en werkelijk energiegebruik verklaart en beheerst kan worden:

- Energie efficiënt ingezet kan worden, daar waar het waarde levert en het meest effectief is,
- Energiesystemen beter geregeld en beheerst kunnen worden,
- Eindgebruikers interactief geïnformeerd kunnen worden over werkelijke energiestatistieken (en kosten), mogelijkheden tot gebruiks- en gedrag aanpassing en informatie over prestaties/falen van installaties en (voorspellend) onderhoud.

De aanpak van TRECO Home vindt plaats in een gesloten cyclus van voorspellen, monitoren, vergelijken, handelen, zelfregelend/lerend.

De onderzoeksopzet en aanpak van TRECO Home is gebaseerd op drie centrale knelpunten en daaraan gekoppelde doelstellingen:

Het 1ste knelpunt 'Gebrek aan inzicht in werkelijke energiestatistieken van woningen, hoe te regelen en zinvol te beïnvloeden' en de daaruit volgende:

- Doelstelling 1: Inzicht in een realistisch energiegebruik op individueel (huishoudens) niveau. Als deze doelstelling wordt bereikt kan de volgende stap worden gezet die leidt tot het ontwikkelen van technische producten en diensten.

Dit is verwoord in het 2de knelpunt 'De discrepantie tussen collectief maatschappelijk belang versus een privaat collectief belang en een individueel belang' en daaruit volgende:

- Doelstelling 2: Het aanbieden van een gegarandeerd energiegebruik en energielasten propositie.

Het 3de knelpunt 'Onzekerheid t.a.v. werkelijke energiestatistieken en besparingen vormen een belangrijke barrière voor financieringsconstructies en energiediensten' met daaruit volgende:

- Doelstelling 3: Door inzicht en garanties op werkelijke energiestatistieken, het ondersteunen van de transitie van kosten van energiegebruik naar kosten van investeringen.

De eindproducten zijn:

- Uitbreidingssets voor bestaande smart metering systemen met benodigde extra monitoring en dataverzameling
- Een applicatie/module die communiceert met een smart metering systeem, voorspelt, vergelijkt, analyseert, aanstuurt en informatie verstrekt m.b.t. gebruikersgedrag en onderhoud/toestand apparatuur in een gesloten cyclus
- Energiediensten gebaseerd op deze applicatie waarbij gegarandeerd energiegebruiks/-lasten proposities en contracten worden aangeboden.

Strategie van het project:

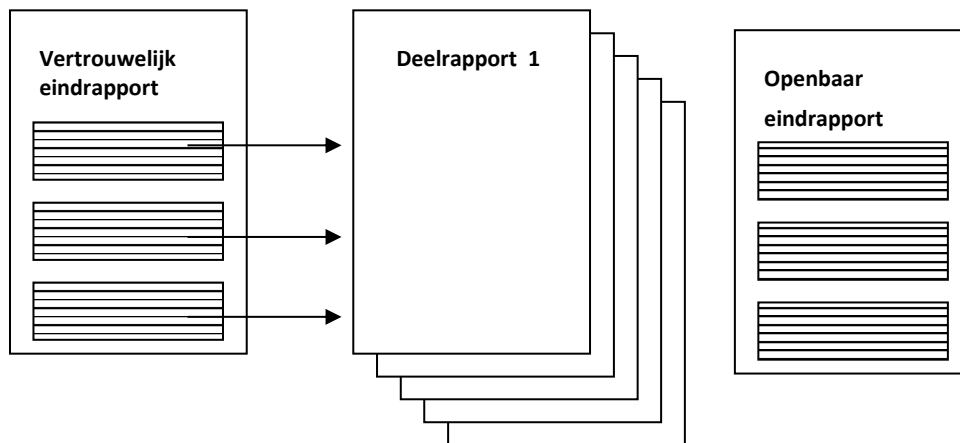
Vanuit de centrale probleemstelling van TRECO Home, het fundamenteel kunnen begrijpen van het werkelijke energiegebruik in gebouwen en alle invloed factoren die hierbij betrokken zijn om zodoende het verschil tussen voorspeld en werkelijk energiegebruik te kunnen verkleinen en beheersen en daarmee op een zinvolle manier energiesystemen te kunnen regelen en controleren, wordt gestart om de invloedfactoren inzichtelijk te maken in de werkpakketten 2 'Dataverzameling en databeoordeling klimaat, gebouw en installaties' en 3 'Gebruikersaspecten en componenten'. De resultaten van de werkpakketten 2 en 3 vormen de input voor werkpakket 4 'Voorspellen, modelleren en vergelijken' waarin uiteindelijk een analytische methode wordt

ontwikkeld om de verschillen te verklaren in werkelijk energiegebruik en de aannames voor voorspeld gebruik in een analytisch ‘fitting’ proces. De werkpakketten 2, 3 en 4 geven uiteindelijk de input voor werkpakket 5 ‘Product en dienstontwikkeling’ waarin de drie hoofdresultaten van het project worden ontwikkeld: de aangepaste smart metering sets voor de meest essentiële klimaat-, gebouw- installatie- en gebruikersparameters, een vergelijkingsmodule tussen voorspeld en gemeten gebruik en een daaruit afgeleide energiedienst voor een gegarandeerde energiekostenpropositie.

De ontwikkelde producten en diensten worden in de praktijk gevalideerd in werkpakket 6 Praktijkvalidatie.

2 Opbouw van de rapportage

Dit onderzoeksrapport is het vertrouwelijke eindrapport van het onderzoeksproject TKI TRECO Home. In dit rapport verwijzen we naar de bijbehorende deelrapporten. Naast het vertrouwelijke eindrapport is ook een openbaar eindrapport.



2.1 Deelrapporten en artikelen

Er is binnen TRECO Home gewerkt in een structuur met werkpakketten en daarin taken. De resultaten zijn vastgelegd in deelrapporten en artikelen. Deze zijn gestructureerd terug te vinden via onderstaand overzicht met de opgeleverde rapportages, tools en illustraties per deliverable. De nummering komt overeen met de nummers van de bijbehorende documenten.

Nummer	Titel	Auteur	Status
2.1.1	Analytische methode datacollectie en reductie (Tresco-office)	HIA	Vertrouwelijk
2.1.2	Analytische methode datacollectie en reductie (Tresco)	HIA	Vertrouwelijk
2.1.3	Energiestromen in een woning	HIA/ Zuyd	Openbaar
2.1.4	Relatieschema variabelen	MU	Vertrouwelijk
2.2.1	Karakterisering gebouwwomhulling	ABT	Vertrouwelijk
2.3.1.1	Karakterisering en data verzameling installaties	Huygen	Vertrouwelijk
2.3.1.2	Bijlage I. Dataverzameling Installaties_INPUT_WISHLIST_dd30mei2016	DWA	Vertrouwelijk
2.3.1.3	Bijlage II. Dataverzameling Installaties - Rapportage_DWA	DWA	Vertrouwelijk
2.3.1.4	Bijlage III. Methodiek dataverzameling conversie installaties	HIA	Vertrouwelijk

2.3.2	Inventarisatie monitoringssystemen	Zuyd	Openbaar
2.3.3	Stageopdracht 20150716 Verslag MODLAR monitoring	Zuyd	Openbaar
2.4.1	Methodology for data collection and handling micro climate	HIA	Vertrouwelijk
2.5.1	Richtlijnen uitbreiding smart metering systemen	HIA	Vertrouwelijk
3.1.1	Healthy excursions outside the thermal comfort zone (WvML2017BRI)	MU	Openbaar
3.1.2	Energy consumption in buildings and female thermal demand (Kingma2015)	MU	Openbaar
3.2.1	Exploring internal body heat balance to understand thermal sensation (Kingma2017)	MU	Openbaar
3.2.2	Occupant behaviour and thermal comfort in buildings: Monitoring the end user (L.Visser 20..) ??	TUe	Openbaar
3.3.1	Differences in energy consumption due to thermo-regulation and comfort of the occupant (L. Visser 2017)	TUe	Openbaar
3.4.1	Essentiele parameters voor monitoring energiegebruik	HIA	Vertrouwelijk
4.1.1	Optimized Energy Module en vergelijking	DTS	Openbaar
4.2.1	Monitoring Breitnerstraat 23	HIA/ MU	Vertrouwelijk
4.2.2	Casus Elbereveldstraat	HIA	Vertrouwelijk
4.2.3	Gebruikersprofiel	HIA	Vertrouwelijk
4.3.1	Overzicht Ebuddy ingevulde parameters	DTS	Vertrouwelijk
4.3.2	Energie vergelijking grafieken	DTS	Vertrouwelijk
5.1.1	Data management in gebouwen Groep 1		Openbaar
5.1.2	Data management in gebouwen Groep 2	Zuyd	Openbaar
5.2.1	TRECO_Sensor lijst	Zuyd	Openbaar
5.2.2	Uitbreidingsset op slimme meter voor monitoring	HIA	Vertrouwelijk
5.2.3	GEMI_GZD challenge	HIA	Openbaar
5.2.4	TRECO Gebruikersinterface	DTS/ HIA	Openbaar
5.2.5	MOBISTYLE user centric approach	HIA	Openbaar
5.3.1	PALET presentatie Bewoners- en gebruiksprofielen	HIA	Vertrouwelijk
5.3.2	FEIN Energiedienst op maat	HIA	Vertrouwelijk
5.3.3	Energiedienst ontwikkeling	HIA	Vertrouwelijk
6.1.1	Bijlage TRECO in het onderwijs	Zuyd	Vertrouwelijk
6.1.2	Stageverslag MODLAR monitoring	Zuyd	Openbaar
6.2.1.1	Sanderbout bewonersbrief	Zuyd	Openbaar
6.2.1.2	Presentatie bewonersbijeenkomst	Zuyd	Vertrouwelijk
6.2.1.3	TRECO-bewonerscontract	Zuyd	Vertrouwelijk
6.2.1.4	Zowonen 02 Mijnkrant no. 6 sept 2016	Zuyd	Vertrouwelijk
6.2.2	Evaluatie van de praktijktest	Zuyd	Vertrouwelijk
6.3.1	Totaal evaluatie	Zuyd	Vertrouwelijk
6.3.2	Resultaten TRECO ZoWonen	Zuyd	Vertrouwelijk

3 Inhoudelijk eindrapport

3.1 Samenvatting

Doel van TRECO is het ontwikkelen en leveren van monitoring, regeling en feedback voorzieningen voor woningen om daarmee optimaal in te kunnen spelen op fysieke omstandigheden en individuele bewonerskenmerken en -gedrag. Daarvoor is het nodig om de achtergronden van “werkelijk energiegebruik” fundamenteel te begrijpen en daardoor te kunnen voorspellen en te kunnen controleren en daarmee de voor NZE benodigde energiebesparingscomponenten, optimaal te regelen en aan te sturen.

De centrale probleemstelling is het verschil tussen voorspeld (berekend) energiegebruik en het werkelijke energiegebruik in praktijk. Indien dit verklaart en beheerst kan worden:

- Kan energie ingezet worden daar waar het waarde levert en het meest effectief is,
- Kunnen energiesystemen geregeld en beheerst worden,
- Kunnen eindgebruikers interactief geïnformeerd worden over werkelijke energieprestaties (en kosten), mogelijkheden tot gebruiks- en gedragsaanpassing en informatie over prestaties van installaties en (voorspellend) onderhoud.

Doel van TRECO is het ontwikkelen en leveren van monitoring, regeling en feedback voorzieningen voor woningen om daarmee optimaal in te kunnen spelen op fysieke omstandigheden en individuele bewonerskenmerken en -gedrag. Daarvoor is het nodig om de achtergronden van “werkelijk energiegebruik” fundamenteel te begrijpen en daardoor te kunnen voorspellen en te kunnen controleren en daarmee de voor NZE benodigde energiebesparingscomponenten, optimaal te regelen en aan te sturen. De aanpak vindt plaats in een gesloten cyclus van voorspellen, monitoren, vergelijken, handelen, zelfregelend/lerend.

De onderzoeksopzet en aanpak van TRECO is gebaseerd op drie centrale knelpunten en daaraan gekoppelde doelstellingen:

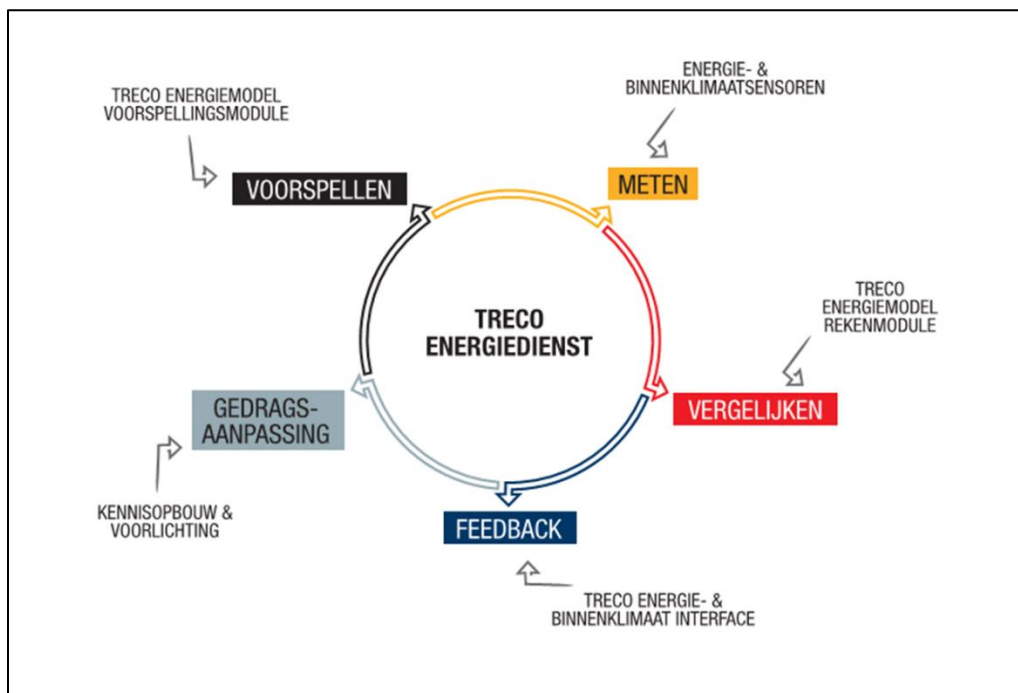
Het 1ste knelpunt ‘Gebrek aan inzicht in werkelijke energieprestaties, hoe te regelen en zinvol te beïnvloeden’ en de daaruit volgende doelstelling 1: Inzicht in een realistisch energiegebruik op individueel (huishoudens) niveau vormen de basis voor het onderzoek. De thema’s, huidige stand van zaken, impasses en de te verwachten doorbraken zijn genoemd onder sectie 2: innovaties. Als deze doelstelling wordt bereikt dan kan de volgende stap worden gezet die leidt tot het ontwikkelen van een technisch product en een dienst.

Dit is verwoord in het 2de knelpunt ‘De discrepantie tussen collectief maatschappelijk belang versus een privaat collectief belang en een individueel belang’ en de daaruit volgende doelstelling 2: Het aanbieden van een gegarandeerd energiegebruik en energielasten propositie.

Het 3de knelpunt ‘Onzekerheid werkelijke energieprestaties en besparingen zijn een belangrijke barrière voor financieringsconstructies en energiediensten’ en de daaruit volgende doelstelling 3: Door inzicht en garanties op werkelijke energieprestaties een transitie bewerkstelligen van kosten van energiegebruik naar kosten van investeringen.

Om de probleemstelling effectief en gericht in kaart te brengen wordt het toepassingsgebied afgebakend naar de sector woningen, echter met een verder implementatieplan naar andere sectoren en aansluiting op relevante andere TKI projecten (met name TKI-TRECO-office).

De onderstaande figuur 1 geeft in stappen weer hoe de onderdelen van TRECO met elkaar samenhangen in relatie tot de energiedienst.



Figuur 1. De TRECO-cyclus om werkelijk energiegebruik van woningen met een voorspelling te vergelijken en op verschillen te kunnen handelen.

De eindproducten zijn:

1. Uitbreidingssets voor bestaande smart metering systemen met benodigde extra monitoring en dataverzameling
2. Een applicatie/module die communiceert met een smart metering systeem, voorspelt, vergelijkt, analyseert, aanstuurt en informatie verstrekt m.b.t. gebruikersgedrag en onderhoud/toestand apparatuur in een gesloten cyclus
3. Energiediensten gebaseerd op deze applicatie waarbij gegarandeerd energiegebruiks/-lasten proposities en contracten worden aangeboden.

Ad 1. Uitbreidingssets smart metering (slimme meter).

Voor woningen zijn drie verschillende en van elkaar onafhankelijke energieprofielen aan te wijzen: ruimteverwarming, warmtapwater en huishoudelijke elektriciteit. Deze profielen zijn door monitoring vast te stellen. De te bepalen grootheden hiervoor zijn als volgt:

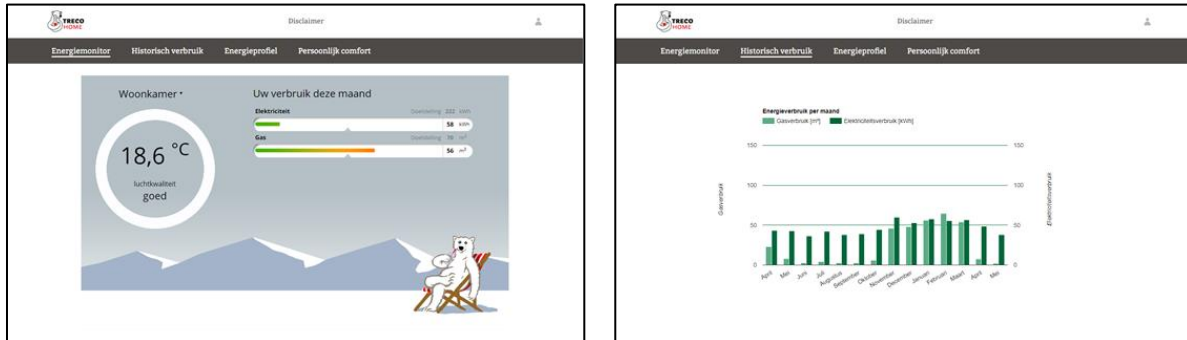
- Uitlezen van slimme meter voor het gas- en/of het elektriciteitsgebruik.
- Ruimteverwarming: het thermoregulerend gebruikersgedrag en de thermo fysiologische eigenschappen beschreven in de ThermoNeutraleZone.
- Het meten van het thermoregulerend gedrag is complex door de aanwezigheid van kleding en door het activiteitsniveau. Een goede indicatie wordt verkregen door de huidtemperatuur van een individu op twee plaatsen te meten. Omdat dit teveel van een bewoner vraagt kunnen we de TNZ n de praktijk niet algemeen bepalen. We zullen ons daarom vooralsnog moeten beperken tot het meten van de binnentemperatuur per vertrek.
- Gezondheid in relatie tot het binnenklimaat. Hiervoor zijn in de leefruimten CO₂-meters nodig en in de badkamer een voor relatieve vochtigheid. Temperatuurschommelingen, zowel in tijd als tussen vertrekken, bevordert de gezondheid. Regelsystemen zouden dit kunnen bewerkstelligen, maar de bewoner dient zich daarvan bewust te zijn (kennis) en dient dit vervolgens ook actief te accepteren.
- Warmtapwaterverwarming: Leeftijd van de bewoners is bepalend voor de douchefrequentie en de tijdsduur per douchebeurt. Moderne cv-ketels en warmtepompen kunnen een onderscheid maken in energiegebruik voor ruimteverwarming en warmtapwaterverwarming. Indien deze data niet voorhanden is dan is het plaatsen van een warmtemeter nodig. Uit patroonanalyse van de

koudwatermeter is af te leiden welk deel is gebruikt voor douchen/baden. Het huishoudelijk deel van het warmwater (afwas, reiniging) is beperkt en hierin verwaarloosbaar.

- Huishoudelijke elektriciteit: Aantal apparaten en het gebruik ervan wordt vooraf verzameld en gecontroleerd aan de hand van de verbruiksdata van de slimme meter. Door analyse van het gebruikspatroon is te achterhalen waarvoor, wanneer en hoeveel er wordt gebruikt.

Ad 2. Applicatie die meetdata weergeeft en vergelijkt met een voorspelling

- Interface die gemeten data weergeeft, vergelijkt met voorspelde data en op basis daarvan gewenst gebruikersgedrag bevordert.



Figuur 2. Twee screenshots van de TRECO-interface

Het achterliggende ICT-systeem is gebaseerd op het verzamelen van de sensordata in een database. Vervolgens kan de Interface data uit deze database oproepen voor visualisatie.

Ad 3. Energiediensten.

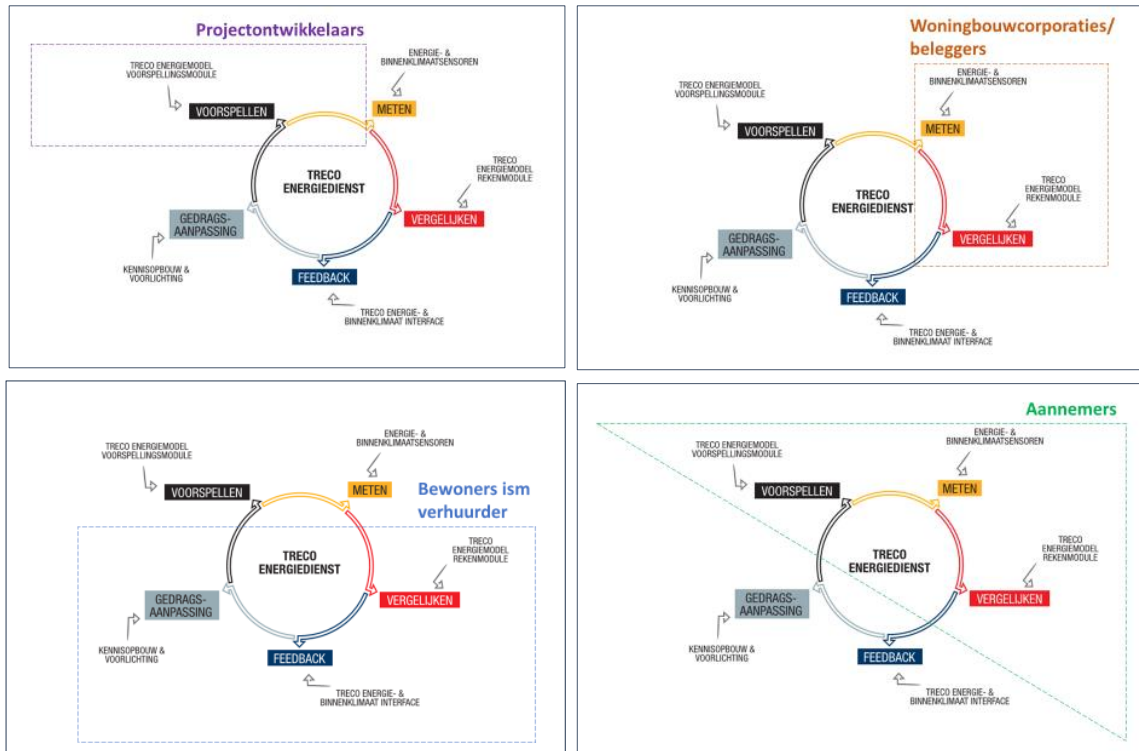
De basis van een energiedienst is een afspraak tussen twee partijen waarin onder bepaalde randvoorwaarden een bepaald verbruik niet mag worden overschreden. De TRECO-cyclus voorziet in deze stappen om tot een garantie van energiegebruik te komen. Als randvoorwaarde is de belangrijkste dat het binnenklimaat gezond is (acceptabele CO₂-concentratie en relatieve vochtigheid).

De energiediensten kunnen per stakeholder verschillen afhankelijk van hun verantwoordelijkheden in een project of projectfase. Per energiedienst kan er van een specifiek onderdeel van de TRECO-cyclus gebruik worden gemaakt. Figuur 4 geeft de tools weer voor projectontwikkelaars, woningbouwcorporaties/beleggers, bewoners i.s.m. verhuurders en aannemers.

- Projectontwikkelaars zijn verantwoordelijk voor de energetische kwaliteit van hun ontwerpen en aangeboden producten (zowel nieuw als renovatie) en zijn gebaat bij een goede voorspelling van het energiegebruik.
- Corporaties en eigenaren van gebouwen zijn verantwoordelijk voor (het handhaven van) de energetische kwaliteit van hun gebouwenbestand en willen inzicht in het besparingspotentieel per individuele huurder. Hiermee kan de communicatie per huurder worden vormgegeven wat de transparantie en acceptatie van renovatie-initiatieven vergroot.
- Eindgebruikers zijn verantwoordelijk voor hun eigen bewustzijn over energieverbruik en-gedrag. Hierbij is het handhaven van een gezond binnenklimaat de eerste prioriteit. Door de toepassing van CO₂ en RV-sensoren krijgen zij een goed inzicht hierin. Huurders kunnen dit uiteraard met medewerking van gebouweigenaren doen.
- Uitvoerende partijen zoals installateurs, aannemers etc. zijn verantwoordelijk voor de kwaliteit van hun gerealiseerde werk, met name de betrouwbaarheid in de tijd van de energiestatistiek. Door energiegebruik te meten en de vergelijking met de voorspelling op basis van actuele gebruikseigenschappen kan de energetische kwaliteit worden beoordeeld. Hiermee hebben zij informatie om hun gedrag aan te passen.

- Industrieën zijn verantwoordelijk voor de kwaliteit van hun producten, met name de betrouwbaarheid van de energieprestaties, en het verstrekken van echte en realistische cijfers in plaats van ideale cijfers. Zij doen dit vaak onder de verantwoordelijkheid van een aannemer/installateur omdat zij een deelprestatie leveren zoals de COP of een rendement voor warmteterugwinning.

In figuur 4 is aangegeven welke delen van TRECO per stakeholder toegepast kunnen worden .



Figuur 4 Tools voor de verschillende partijen in het bouw-, renovatie- en beheerproces

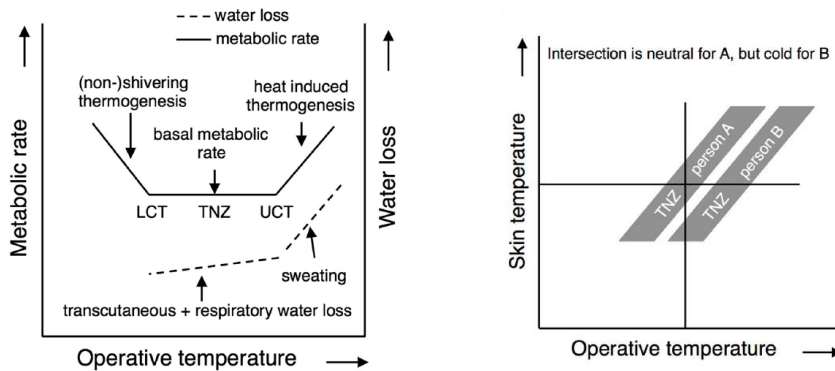
Uit het project komen de volgende deelresultaten naar voren.

Werkpakket 2: 'Dataverzameling en databeoordeling klimaat, gebouw en installaties'

- Buitentemperatuur: Toepassen van eenmalige correctie ahv lokale metingen in vergelijking met dichtstbijzijnde meteo-stations.
- Zonnestraling: Verwaarloosbaar voor het voorspellen van verwarmingsenergie
- Binnentemperatuur: Essentieel te meten per vertrek
- Luchtkwaliteit: CO₂-concentratie essentieel te meten per vertrek

Werkpakket 3 'Gebruikersaspecten en componenten'

In aanvulling op het comfortmodel van Fanger heeft de Universiteit Maastricht aangetoond dat comfort individueel is. De bewoner heeft hierbij de neiging om zich zo te kleden of de ruimtetemperatuur in te stellen dat de energieproductie van het lichaam minimaal is, de Thermo Neutrale Zone (TNZ) (Figuur 5 links) . Daarbij kan de comforttemperatuur afhankelijk van activiteit en kledingvoorkeur (thermoregulerend gedrag) tot 6K tussen bewoners verschillen (figuur 5 rechts).



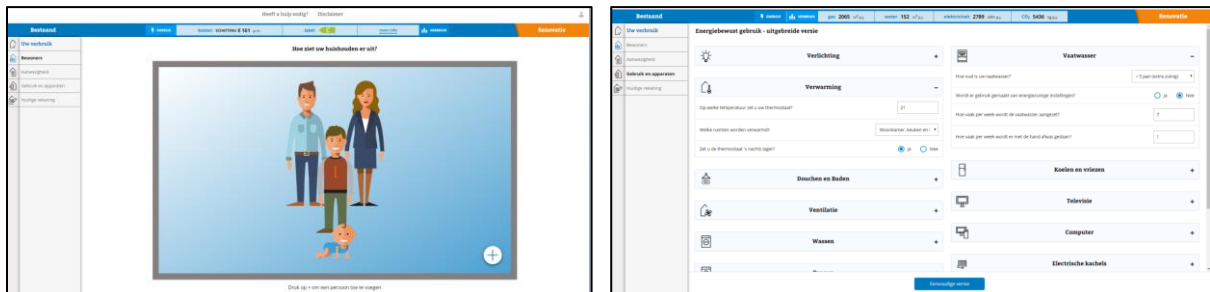
Figuur 5 . TNZ-model (links) en de individuele verschillen tussen personen (rechts) Bron [x]

Voor een goede voorspelling van het energiegebruik is het kennen van fysiologische eigenschappen en thermoregulerend gedrag essentieel. Bij de afstemming van de voorspelling en de vergelijking is de binnentemperatuur een maatgevende indicator omdat we de comforttemperatuur van mensen alleen nog kunnen bepalen door enige tijd meerdere temperatuursensoren op de huid te dragen. Dat is alleen geschikt voor een testomgeving.

Werkpakket 4 'Voorspellen, modelleren en vergelijken'

Als rekenmodel is gekozen voor de Energiemodule van WoonConnect. Dit is een rekenmodel gebaseerd op de Energieprestatienorm NEN7120 en kan gebruik maken van data input van werkelijke meetdata. Daarnaast wordt de Energiebuddy (figuur 6) gebruikt voor het voorspellen van elektriciteitsgebruik.

Om te voorspellen zijn een aantal aannames te doen. Op basis van modelberekeningen met gemeten waarden kan een vergelijking worden uitgevoerd.

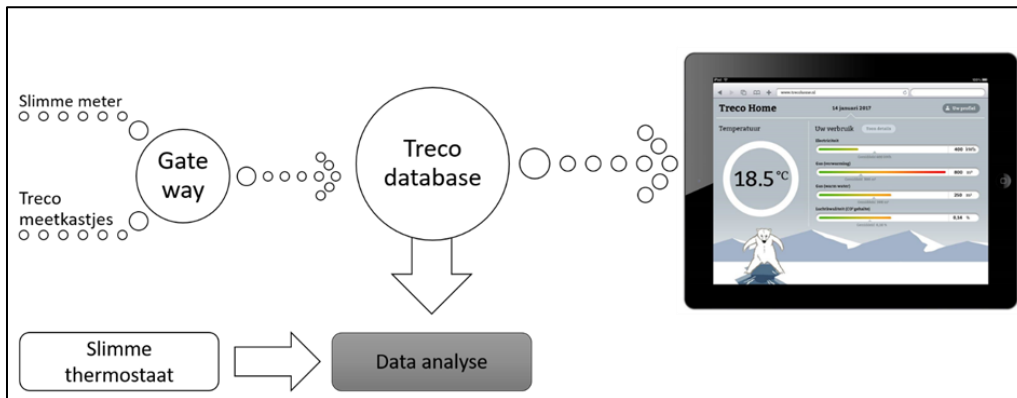


Figuur 6. Voorbeelden van schermen uit de Ebuddy

Werkpakket 5 'Product en dienstontwikkeling'

Voor toepassen van TRECO heb je naast het uitlezen van de P1-poort van de slimme meter ook een CO2-sensor en temperatuursensor per vertrek nodig. Voor het warmtapwater kan een ketelsensor worden toegepast of het installeren van een aparte warmtemeter.

De back-end voor dataverzameling en koppeling met een interface is in TRECO op maat ontwikkeld volgens figuur 7.



Figuur 7. Methode van dataverzameling en dataverwerking

Werkpakket 6 Praktijkvalidatie.

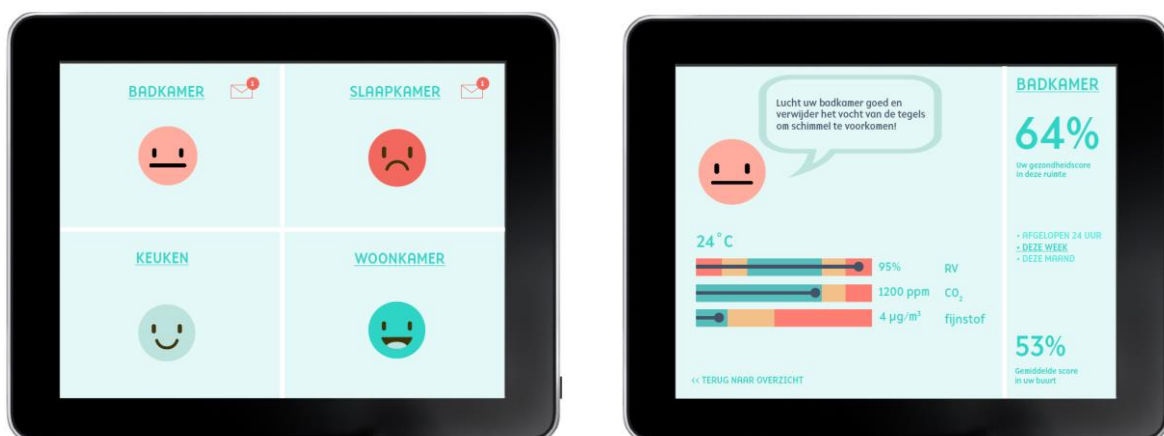
In de praktijkvalidatie is gebleken dat sensoren die voldoende betrouwbaar zijn, het beste kant en klaar aangeschaft kunnen worden i.p.v. ze zelf te ontwikkelen en te fabriceren. De kennis en kunde voor het hosten van een database, wat een argument was om zelf te fabriceren, kan bij een ICT-leverancier worden ingekocht.

Het ontwerpen van de interface blijkt een specifieke kunde te vergen waarbij interactie met de bewoner noodzakelijk is. De interface die is gekozen is gebaseerd op vergelijkingen uit de telecom en op basis van ideeën zoals je die bij monitoringapps van PV-panelen aantreft. Om gedrag te beïnvloeden blijkt dat een goede interface.

Gezondheid boven energie

Uit de terugkoppeling van bewoners blijkt dat hen belangstelling voor energie niet groot is maar dat de meetdata over de gezondheid van hun binnenklimaat hun direct aanspreekt. Hiervoor zijn ze meteen bereid hun gedrag te evalueren en zonnig aan te passen.

Uit project H2020-Mobisyle, een spin-off van TRECO, is gevonden dat gezondheid inderdaad bij bewoners bovenaan staat. Dan blijft nog de vraag hoe je de meetdata overbrengt op de bewoner. Met een Etnografische studie en het gericht samenstellen van focusgroepen dien je de bewoner actief te betrekken bij het ontwerpen van een interface, waarbij de interface ook meldingen dient te geven die het gewenste gedrag bevorderen. Een voorbeeld is GEMI De Gezond Wonen Coach (figuur 8).



Figuur 8. Voorbeeld van een interface die met Etnografische studie verder uitgewerkt kan worden.

TRECO levert op basis van de onderzoeksresultaten de volgende conclusies:

Gezondheid en gedrag

- Gezondheid is voor bewoners aantrekkelijker dan energiebesparing
- Thermisch comfort is individueel

- Een voor hart en bloedvaten gezond thermisch binnenklimaat varieert dagelijks binnen de individuele thermo-neutrale zone

Voorspellen van energiegebruik

- Ondanks datareductie goede voorspelling energiegebruik inclusief gebruikersgedrag. Wat je niet of alleen zeer complex kunt meten heeft geen zin om in energiemodellen in detail op te nemen
- Temperatuursensoren dienen van hoge kwaliteit te zijn, +/- 0,2K. Nauwkeurigheid van CO2-sensoren van minder belang +/- 70 ppm.
- De TRECO voorspelmodule biedt een eenvoudig en voldoende nauwkeurig instrument voor het voorspellen van energiegebruik voor ruimteverwarming, warmtapwaterverwarming en huishoudelijk elektriciteitsgebruik en maakt een traditioneel gebouwsimulatiemodel - zoals VA114, TRNSYS off EnergyPlus - voor de meest gangbare projecten overbodig.

Interface en gewenst gedrag van bewoners

- Gedragsbeïnvloeding vergt dat bewoners daadwerkelijk meebeslissen over ontwerp van de vergelijkingsapplicatie en adviezen voor aangepast gedrag
- Bewoners kunnen niet bewust worden over energiezuinig gedrag wanneer ze de kwaliteit van het binnenklimaat – te bepalen met sensoren - niet kennen.

Dienstenontwikkeling

- De businesscase voor uitsluitend energiediensten is mager. Een koppeling met gezondheid, comfort, renovatie off NOM-concept kunnen dragers zijn om systeem zoals TRECO door bewoners geaccepteerd te krijgen.

Consortium

Het TRECO consortium bestaat uit:

- Heijmans vastgoed, projectontwikkelaar die woningen onder een 'energie-prestatie garantie' wil leveren, met expliciet aandacht voor een gezond binnenmilieu
- Huygen Installatie Adviseurs, adviseur en kennis-ontwikkelaar t.b.v. een duurzame gebouwde omgeving
- De Twee Snoeken, architecten en leverancier van bouw-software, waaronder een 'Energimodule'
- Coreon, adviseur zorgtechnologie en gebouwdomotica

Deze marktpartijen worden ondersteund door drie kennisinstellingen:

- Universiteit Maastricht voor fundamenteel onderzoek, met name op de vraagstelling rondom de meest dominante factor in energiegebruik, het gebruikers gedrag
- Zuyd Hogeschool vanuit toegepast onderzoek voor ondersteuning van productontwikkeling en validatie.
- Stichting Smart Homes voor advisering en validatie vanuit de gebruikerskant, alsmede voor de promotie.

De Haas & Partners is opgetreden voor onderzoekscoördinatie en projectmanagement

3.2 Inleiding

Aanleiding: het ontbreken van gedetailleerde kennis van werkelijke energieprestaties, wat te meten, hoe te regelen

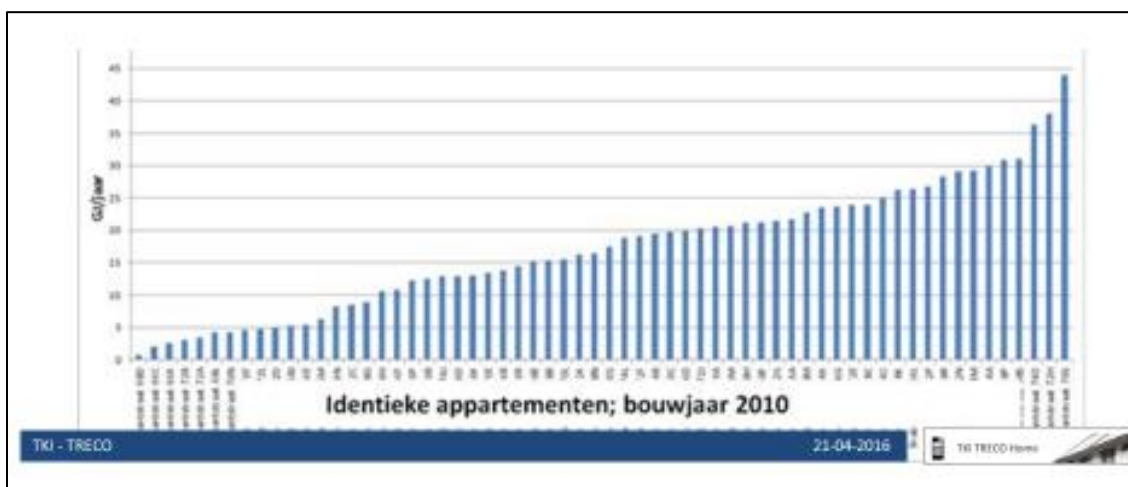
Alle nationale- en EU beleidsdocumenten zijn gericht op een volledig energie-neutrale gebouwde omgeving in het jaar 2050. De gebouwde omgeving zal hierbij niet alleen vergaand energie moeten besparen maar ook zelf duurzame energie opwekken. Een belangrijke barrière die daarvoor overwonnen moet worden, is het gebrek aan gedetailleerde kennis om het werkelijke energiegebruik en de energieprestaties in de praktijk te kunnen begrijpen alsmede ook de relatie tussen alle factoren die het energiegebruik kunnen beïnvloeden en daarmee

de wijze hoe zo efficiënt optimaal mogelijk hierop kan worden ingegrepen, wat toch essentieel is om die vergaande internationaal gedragen doelen te bereiken

Dat er nog onvoldoende kennis is van wat het werkelijke energie bepaalt, komt explicieter naar voren wanneer werkelijke energiegebruiken, verkregen door monitoring, registraties of metingen worden vergeleken met normatief berekende of gesimuleerde energiegebruiken. De afwijkingen tussen berekend en gemeten energiegebruik alsmede ook de spreidingen nemen toe naarmate de gebouwen energie-efficiënter worden.

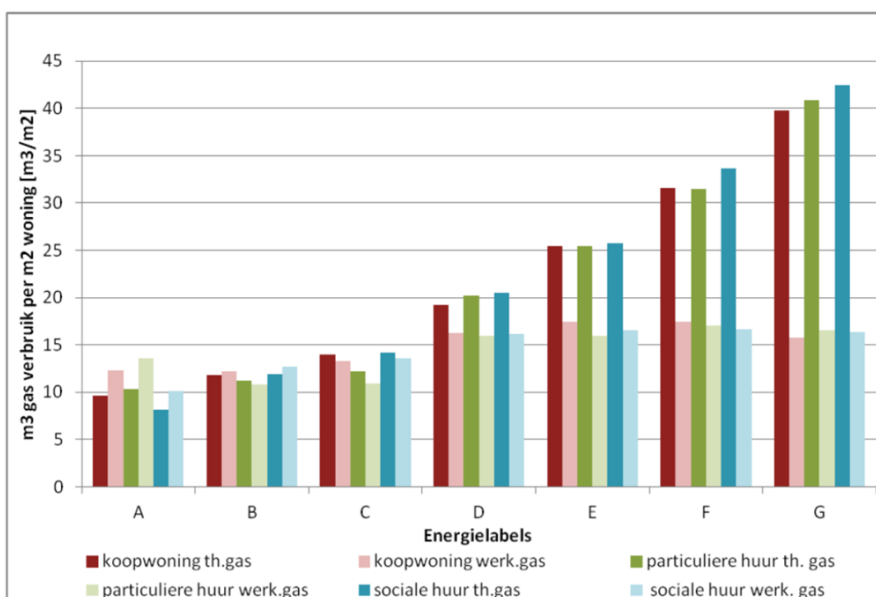
Figuur 9 geeft het jaarlijks energiegebruik voor warmte van identieke appartementen. Deze verschillen zijn exemplarisch voor nog 20 appartementencomplexen waarvan de energiedata is verzameld.

Tot op heden is gedacht dat gebruikersgedrag deze verschillen wel kon verklaren. Maar de grote inspanning die hierop is verricht, gebundeld in IEA Annex 66 biedt maar antwoorden op een deel van deze verschillen. Daarom is in TRECO ook de fysiologie van de mens onderzocht, en hoe deze van invloed kan zijn op onze individuele verschillen in gebruikersgedrag.



Figuur 9. Jaarlijks warmtegebruik van identieke appartementen.

Een ander effect van gebruikersgedrag zien we bij de renovatie van woningen. De besparingen zijn systematisch kleiner dan de berekende waarden.



Figuur 10. Bron: Dasa Majcen, Laure Itard, OTB en TU-Delft 2014

Hieruit is af te leiden dat het gebruikersgedrag na renovatie anders is dan ervoor (figuur 10). Maar omdat weinig tot geen binnenmilieuparameters in de woningen zijn bemeterd, zijn onderbouwde uitspraken nauwelijks te doen, anders dan alleen op basis van een kleine steekproef. Het vastleggen van besparingsgaranties is hierdoor lastig en we missen hiermee een drijvende kracht voor energiebesparing.

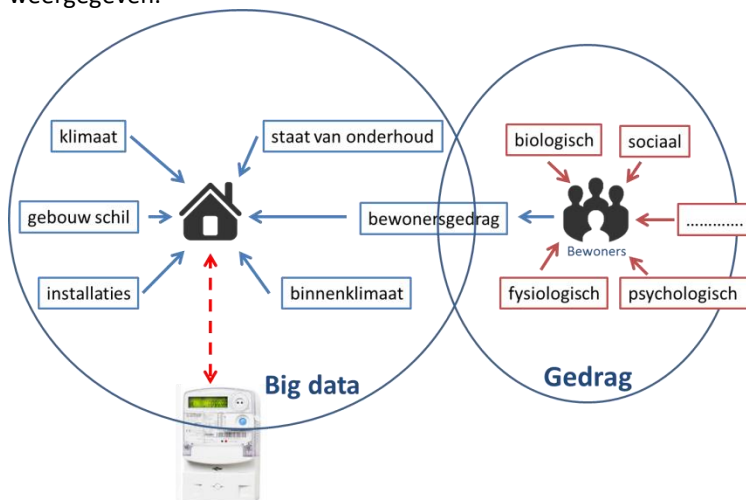
De huidige beperkingen

In het algemeen zijn de gebruikte berekeningsmethodes en simulatiemodellen in staat om gebouwprestaties en ontwerpalternatieven te berekenen op basis van gemiddelde waarden. Daarmee voldoen ze op zich voor energieprestatienormeringen onder gemiddelde klimatologische omstandigheden, gebouw- en installatieparameters (vaak gebaseerd op 'excellente' lab waarden) en gestandaardiseerd gebruikersgedrag. Beperking van de huidige modellen is dat deze niet in staat zijn c.q. geschikt zijn om de complexiteit van het totale energiegebruik in de praktijk te bevatten, alsmede de energieprestaties in de tijd, bijvoorbeeld ten gevolge van disfunctioneren, (gebrek aan) onderhoud, achteruitgang van prestaties van de gebouwschil en installaties, verschillen in gebruikersgedrag en micro-klimatologische omstandigheden. Een prestatiegarantie voor een woning t.a.v. het energiegebruik is daardoor niet af te geven.

Energiegebruik van gebouwen wordt beïnvloed door de volgende zes factoren:

- (1) klimaat
- (2) gebouwschil
- (3) gebouwinstallaties
- (4) beheer, operatie en onderhoud van gebouw en installaties
- (5) bewonerskenmerken, bewonersgedrag en gebruiks-gerelateerde activiteiten
- (6) het uiteindelijk gerealiseerde binnenklimaat.

In figuur 11 staan de belangrijkste invloedfactoren op het energiegebruik in woningen in samenhang weergegeven.



Figuur 11. Invloedsfactoren op het energiegebruik in woningen

De laatste 3 factoren met betrekking tot het menselijk gedrag, kunnen een invloed hebben die substantieel groter is dan de eerste drie factoren. In de bestaande normatieve methoden (EPN/EPBD) worden alleen de eerste 3 factoren meegenomen en zijn alle gedragscomponenten gestandaardiseerd en genormaliseerd. Dit betekent dat voor het begrijpen en kunnen beheersen van de uiteindelijk werkelijke prestaties alle zes bepalende factoren in hun samenhang meegenomen en verder onderzocht dienen te worden.

Nieuwe kansen: de combinatie van smart metering technieken met nauwkeurig voorspellende methodes

De technieken om werkelijke prestaties te kunnen monitoren worden steeds geavanceerder. Bijvoorbeeld door de ontwikkelingen op gebied van wireless sensor netwerken en smart metering systemen. Smart meters hebben vooralsnog echter slechts beperkte mogelijkheden om op een aansprekende wijze informatie en

feedback te geven over het energiegebruik. Smart meters worden vooral zinvol indien ze gekoppeld worden aan slimme feedbacksystemen.

Een doorbraak kan bereikt worden met een combinatie van een nauwkeurig voorspellend model met geavanceerde slimme monitoringssystemen, met een aanpak die plaats vindt in een gesloten cyclus van voorspellen, monitoren, vergelijken en handelen, door middel van zelfregelende en zelflerende systemen.

Het voorgaande vormt de aanleiding om binnen TRECO de combinatie van energiegebruik en gebruikersgedrag nader te onderzoeken:

1. Gebrek aan inzicht in werkelijke energieprestaties en daardoor hoe te regelen en zinvol te beïnvloeden.
2. Comfortbeleving en effect van binnentemperatuur op de gezondheid van bewoners.
3. Behoeftte om voorspeld-, en berekend energiegebruik ook te kunnen garanderen. Van belang voor besluitvorming, financieringsconstructies en energiediensten.

3.3 Doelstelling conform projectplan

De onderstaande doelstellingen zijn overgenomen uit het projectplan. De centrale kwalitatieve doelstellingen van TRECO Home zijn:

1. *Komen tot een fundamenteel inzicht in een realistisch en duurzaam (in de tijd) energiegebruik voor huishoudens, op huishoudensniveau, voor ruimteklimatisering, warm tapwater en huishoudelijk elektraverbruik, door middel van een op maat gesneden analyse (dat wil zeggen op individueel niveau) van het totale voorspelde energiegebruik.*
2. *Het 'onder voorwaarden' kunnen aanbieden van een gegarandeerd energiegebruik en energielasten propositie door aanbieders van woningen en van energiebesparingsconcepten*
3. *Door inzicht en garanties op werkelijke energieprestaties een transitie bewerkstelligen van kosten van energiegebruik naar kosten van (duurzame) investeringen*

Als tastbaar resultaat wordt toegewerkt maar monitoring, regeling en feedback voorzieningen voor woningen om daarmee optimaal in te kunnen spelen op fysieke omstandigheden en individuele bewonerskenmerken en -gedrag. Om met de monitoring voorziening niet meer aan data te verzamelen dan voor de doelen noodzakelijk zijn, is onderzocht welke bouwkundige, installatietechnische- en klimatologische aspecten een rol spelen in welke mate datareductie mogelijk is om binnen een toelaatbare marge toch voldoende nauwkeurig berekeningen uit te kunnen voeren (WP 2). Door middel van intensieve monitoring van een aantal studenten gedurende een langere periode is onderzoek uitgevoerd naar de thermofysiologie (lichaamstemperatuur, lichamelijke activiteit), thermisch comfort en thermisch gedrag, om daarmee inzicht te krijgen in de comfort en energiegebruik gerelateerde gedragsaspecten (WP 3).

Om tot een rekenmethodologie voor het voorspellen van het totale energiegebruik op huishoudensniveau te komen zijn, op basis van de resultaten van WP 2 en WP 3, bestaande Energiemodulen aangevuld en verbeterd (WP 4). In WP 5 zijn de voorzieningen ontwikkeld, ontworpen en als prototypen gefabriceerd om alle benodigde variërende data (zoals in WP 2 en WP 3 vastgesteld) van een woning, geautomatiseerd te verzamelen en op te slaan op een centrale locatie.

3.4 Werkwijze

In het onderzoek is gewerkt vanuit 6 werkpakketten (WP).

1. Management, Coördinatie en Communicatie
2. Dataverzameling en databeoordeling gebouw en installaties
3. Gebruikersaspecten en componenten
4. Voorspellen, modelleren en vergelijken

5. Product en dienstontwikkeling
6. Praktijk validatie

Na een gezamenlijke startbijeenkomst zijn de werkpakketten in uitvoering genomen met minimaal halfjaarlijkse bijeenkomsten om bevindingen met elkaar te delen en feedback uit te wisselen vanuit de verschillende werkpakketten.

Werkpakket 3, *Gebruikersaspecten en componenten*, was gelinkt aan het internationale kader van IEA Annex 53 'Total energy use in Buildings' en IEA Annex 66 'Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings'. Bevindingen van WP 2 en WP4 zijn ook ingebracht in het kader van het TKI project TRECO Office.

Resultaten WP 2 en 3 vormden input voor WP 4 en 5, terwijl de validatie in WP 6 weer input vormde voor de eindresultaten van WP 4 en 5.

Het eerste werkpakket is er voor het bewerkstelligen van een inhoudelijke en consistente samenhang tussen de werkpakketten.

3.5 Resultaten per werkpakket

Hierna is per werkpakket de in het projectplan genoemde deliverables beschreven, hoe daaraan is gewerkt, wat het resultaat is en indien relevant, hoe die te vermarkten.

3.5.1 Dataverzameling en beoordeling (WP 2)

Onderstaand de deliverables en beknopt de taken hoe die deliverables zijn gerealiseerd

Nr.	Titel / omschrijving	Bijbehorende taak/ taken
D2.1	Analytische methode voor datacollectie en reductie	Analyse van datacollectie en verwerking en onderzoek naar mogelijkheden van reductie
D2.2	Methodiek dataverzameling en verwerking gebouwschil	Onderzoek naar karakterisering en dataverzameling gebouwmhulling
D2.3	Methodiek dataverzameling en verwerking installaties	Onderzoek naar karakterisering en dataverzameling installaties
D2.4	Methodiek dataverzameling en verwerking microklimaat	Ontwikkelen van een nauwkeurige en kosteneffectieve monitoringsysteem voort lokaal microklimaat
D2.5	Richtlijnen voor uitbreiding/aanpassing smart meterings systemen	Ontwikkelen van richtlijnen voor uitbreiding/aanpassing smart meterings systemen

In onderstaande paragrafen wordt beschreven hoe aan de hand van de verschillende taken deze projectresultaten gerealiseerd zijn. Achtereenvolgens worden behandeld:

- Inleiding en doelstelling;
- Werkwijze;
- Resultaten;
- Discussie, conclusie en aanbevelingen.

3.5.1.1 Analyse datacollectie, verwerking en reductie (taak 2.1)

Inleiding en doelstelling

Deze taak betreft een fundamenteel onderzoek naar de wijze waarop tot een zo efficiënt en kosteneffectief mogelijke dataverzameling en dataverwerking kan worden gekomen. Onderdeel daarvan is onderzoek naar een verantwoorde datareductie om binnen een toelaatbare marge toch voldoende nauwkeurig berekeningen uit te kunnen voeren.

Uit monitoring van de Modlar-woning (renovatie tot nZEB) in WP4 is gebleken dat linearisering van modeldata t.o.v. de delta-T (Binnentemperatuur minus buitentemperatuur) al tot hoge correlatiefactoren kan leiden zoals R^2 groter dan 70%. Vanwege het onregelmatige karakter van binnen- en buitentemperatuur geldt dit tenminste voor dag-, week- en maandgemiddelden.

Werkwijze

Er is een inventarisatie gemaakt van bestaande monitoringsystemen. Hieruit volgt dat het binnenklimaat geen onderdeel van de monitoringsystemen is, hoewel een kamerthermostaat de temperatuur registreert maar dan voor regeltechnisch doel. Hierdoor hebben bewoners geen sturingsmechanisme. Immers het energiegebruik vindt plaats voor een acceptabel, comfortabel en gezond binnenklimaat. Zonder die referentie is energiezuinig gedrag schieten op een onzichtbaar doel.

Tot op heden is het energiebeheer van gebouwen meestal gebaseerd op het controleren van de jaarlijkse facturen. De introductie van de slimme energiemeter - voor gas in uurlijkse waarden en voor elektriciteit in kwartierwaarden, bevordert al de bewustwording.

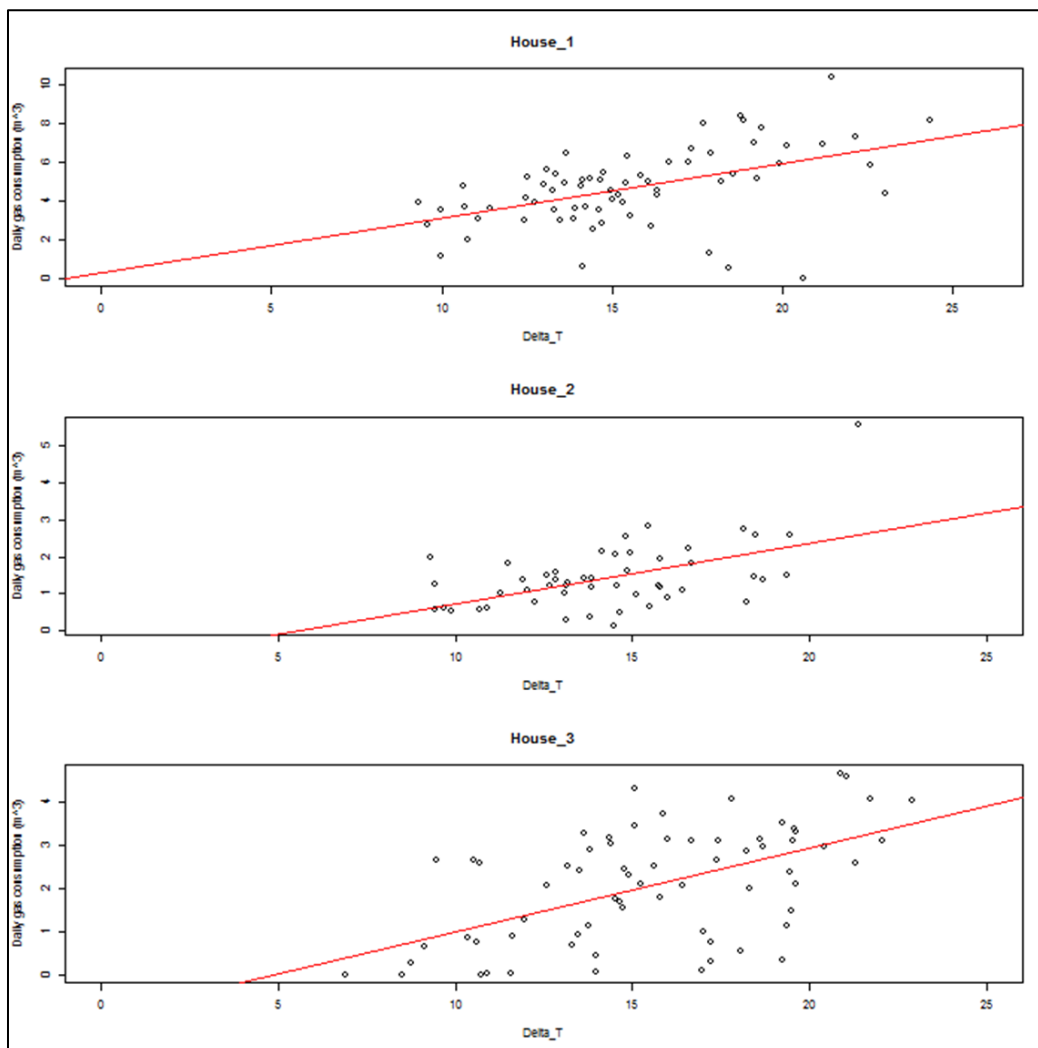
Met behulp van data van de slimme meter zijn uurlijkse waarden voor het gasgebruik en elektriciteitsgebruik verzameld. Deze data is in uurlijkse profielen weergegeven waarna met machine learning technieken (in analyse software 'R') een voorspelling op basis van deze data kan worden uitgevoerd.

Resultaten

Op basis van statistiek (machine learning) kan uit data van slimme meters (die verzameld kan worden zonder achter de voordeur van een gebouw te hoeven komen) al het nodige worden afgeleid t.a.v. de karakteristiek van het energiegebruik.

Data van het daggemiddelde gasgebruik: door lineaire regressie zijn verbanden zichtbaar met R^2 van meer dan 70%. De buitentemperatuur is de belangrijkste variabele voor het voorspellen van gasgebruik voor verwarmen. In figuur 12 zijn de resultaten van drie pilotwoningen op basis van daggemiddelden weergegeven. Ondanks de spreiding in de data, o.a. door het schakelgedrag van de cv-ketel en de traagheid van een woning is deze correlatie hoog.

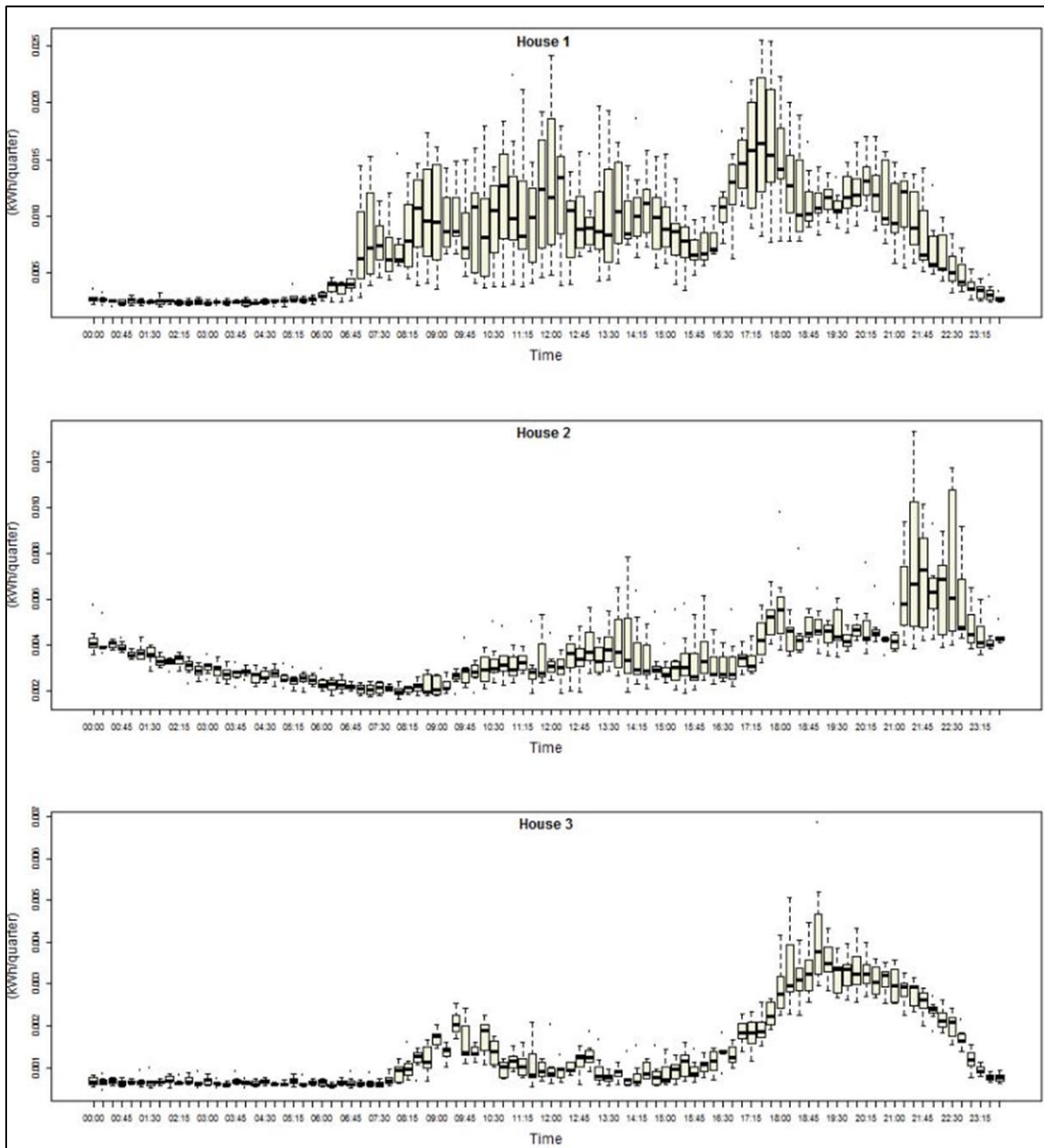
Het warmtapwater zit ook in deze data van de slimme meter. Doordat in de praktijk ons tapwatergebruik gemiddeld hetzelfde is beïnvloed deze de correlatie niet negatief.



Figuur 12. Meetdata van daggemiddelden van de gasmeter en correlatie met de buitentemperatuur.

In figuur 13 een zogenaamde box-plot van uurlijkse gemiddelden van het elektriciteitsgebruik op basis van data van de slimme meter voor drie pilot woningen.

Uit gebruik van elektriciteit per uur zijn gebruikspatronen zichtbaar waarmee een voorspelling op basis van data ook betrouwbaar kan worden gedaan. Hier zijn dag-, tijd- en elektriciteitsgebruik van de dagen ervoor bepalend. Dat houdt in dat hier gebruikspatronen bepalend zijn.



Figuur 13. Box-plot van uurlijkse gemiddelden

	Corresponderende bijlage
WP 2.1	2.1.1 Analytische methode datacollectie en reductie (Tresco-office) (vertrouwelijk) 2.1.2 Analytische methode datacollectie en reductie (vertrouwelijk) 2.1.3 Data presence sensor (openbaar) 2.1.4 Relatieschema variabelen (vertrouwelijk)

Discussie, conclusie en aanbevelingen

Zonder het kennen van het gebruik van een woning zijn gebruikspatronen goed herkenbaar in data afkomstig van slimme meters. Hoe regelmatiger het gebruikspatroon hoe beter het energiegebruik kan worden voorspeld. Dit houdt in dat voor het voorspellen op basis van historische data er niet meer nodig is dan data van een slimme meter.

Voor het zoeken naar mogelijkheden voor energiebesparing, en voor het bijsturen van gebruikersgedrag dat energie efficiënter is, zijn data over de toestand en werking van de installaties en het gebruik (setpoints e.d.) vanuit het gebouw en de installatie noodzakelijk. Voor bewoners is ook de kwaliteit van het binnenklimaat belangrijk zoals weergegeven met de CO₂-concentratie en de hoogte en variantie van de binnentemperatuur. In WP2 komt dit terug bij de gezondheidsaspecten.

Deze verbeteringen in de energy efficiency kunnen we terugzien in gewijzigde energieprofielen zoals in figuur 1 en 2.

3.5.1.2 Karakterisering en dataverzameling gebouwmhulling (taak 2.2)

Inleiding en doelstelling

Deze taak betreft de karakterisering en bepaling van (de afwijkingen in) thermodynamische eigenschappen van de gebouwschil:

- Detecteren en vaststellen van mogelijke discrepanties tussen ontwerp en in-situ eigenschappen van de gebouwmhulling met betrekking tot de verschillen in ontwerputgangspunten ('lab' gegevens) en praktijk omstandigheden t.a.v. werkelijke prestaties;
- Systematisch overzicht van gestandaardiseerde monitoringmethoden voor in-situ bepaling van de thermodynamische eigenschappen van gebouwdelen;
- Het ontwikkelen van vereenvoudigde methoden voor de bepaling van de meest beïnvloedende thermodynamische eigenschappen van de gebouwschil (bijv. voor informatie naar energiemanagers en gebruikers);
- Ontwikkelen multi-parametrische model van thermodynamische eigenschappen van de gebouwschil die integratie mogelijk maakt in de bestaande (smart) metering systemen, BEMS voor woongebouwen etc.
- Het ontwikkelen van minimale set van fysieke variabelen in situ voor het bepalen van verschillen in de thermodynamische eigenschappen van gebouwschil met een optimale verhouding tussen kosten en nauwkeurigheid;
- Bepaling van discrepanties in de betrouwbaarheidsintervallen tussen gestandaardiseerde (bijv. EN 15203) en in-situ waarden.

Werkwijze

Steady state eigenschappen van gebouwschil worden vergeleken met de dynamische karakteristiek in de praktijk met verschillende simulatiehulpmiddelen en in-situ experimenten.

Aan de hand van literatuuronderzoek is een overzicht samengesteld van bouwkundige invloedfactoren op het totale energiegebruik. Er kunnen verschillen optreden in het berekende en werkelijk energiegebruik doordat de uitgangspunten voor de berekening en de uiteindelijke realisatie verschillen. Ook kan door degradatie van de gebouwmhulling of door veranderingen aan het gebouw door de tijd heen het energiegebruik variëren.

Bijlage 2.2.1, 'Karakterisering gebouwmhulling' geeft een analyse van de thermodynamische eigenschappen van de gebouwschil die invloed hebben op de gebouwprestaties. Hierbij worden de mogelijke afwijkingen geanalyseerd tussen de ontwerputgangspunten en de werkelijke prestaties. Tevens worden methoden, om het energiegebruik gedetailleerd te berekenen en te meten, weergegeven.

Resultaten

In dit rapport zijn de bouwkundige elementen onderzocht die van invloed zijn op het verschil tussen berekend en werkelijk of gemeten energieverbruik:

- Degradatie van de U-waarde van glas is mogelijk, vooral met grote glasvlakken, wat van invloed is op het energiegebruik.
- Beschaduwning van glazen delen kunnen invloed hebben op het energiegebruik. De werkelijke invloed is echter beperkt, tenzij er zeer grote verschillen tussen berekende en werkelijke beschaduwning zijn door bijvoorbeeld bomen of andere gebouwen in de omgeving.
- In de nacht kunnen gordijnen voor een verhoging van de isolatiewaarde zorgen. Overdag moeten ze openblijven om voor opwarming te zorgen.
- Degradatie van isolatie kan van invloed zijn op het werkelijke energiegebruik. Er is echter geen onderzoek bekend naar de degradatie van isolatiemateriaal en het effect op het energiegebruik.

- Door koudebruggen forfaitair te berekenen, kan het werkelijk energiegebruik afwijken van het berekende gebruik. Ook is het mogelijk dat er in werkelijkheid meer koudebruggen voorkomen door fouten in het werk of door het fout berekenen van de U-waarde door de koudebruggen. Deze effecten kunnen tot maximaal 5% bijdragen aan de transmissieverliezen. Het effect op het comfort en schimmelvorming (gezondheid) kan substantieel zijn, maar is geen onderwerp van deze studie
- Het veranderen van type verlichting door de tijd, bijvoorbeeld van onzuinig naar zeer energiezuinig, heeft veel invloed op het uiteindelijk totale energiegebruik voor verlichting. Vooral als de verwarming- en koelingsinstallaties een hoog rendement hebben, is het aandeel verlichting in het totale energiegebruik substantieel.
- De thermische massa kan in werkelijkheid verschillen in vergelijking met de berekende waarde. Dit komt bijvoorbeeld door het toepassen van tapijt of het aftimmeren van het plafond. Dit kan tot 30% bijdragen aan lagere binnentemperaturen in de zomer tijdens warme perioden, of een hoger energiegebruik voor koeling t.b.v. klimatisering.

	Corresponderende bijlage
WP 2.2	Karakterisering gebouwomhulling Rapportage ABT (<i>vertrouwelijk</i>)

Discussie, conclusie en aanbevelingen

In TRECO-Home vormen de installatie-aspecten het hoofdonderwerp. De bouwkundige aspecten zijn in de casussen niet aan verandering onderhevig. Uit dit onderzoek van taak 2.2 blijkt dat, binnen de tijdsduur van het project, de effecten van veroudering e.d. niet merkbaar zullen zijn. Dat bepaalde eigenschappen niet volgens ontwerpgegevens kunnen zijn uitgevoerd, is geen onderwerp van onderzoek, tijdens de monitoringperiode zijn geen veranderingen aan de bouwkundige situatie uitgevoerd.

Voor de toepassing van TRECO zien wij geen aanleiding voor direct nader onderzoek. Wel vindt op de TUD onderzoek plaats om de werkelijke Rc-waarde van dichte geveldelen empirisch te bepalen. Vooral in bestaande bouw als ook bij nieuwbouw is het kennen van materiaaleigenschappen en de dikte van isolatiematerialen niet voldoende om nauwkeurig een Rc-waarde vast te stellen. Ook aan een IR-opname kleven onnauwkeurigheden door o.a. onzekerheden in overgangswaarden. Daarom is er een empirische methode ontwikkeld die in een gecontroleerde omgeving (een soort opbouwdoos op de gevel) de Rc-waarde wel nauwkeurig voor ene bepaalde locatie kan bepalen. IR-opnamen kunnen dan worden gebruikt om te beoordelen in hoeverre deze Rc-waarde representatief is voor de rest van de bouwkundige constructie (Rasooli, A, Introduction to an in-situ method for rapid measurement of the walls' thermal resistance in existing buildings, Msc Thesis TUDelft 2016).

Omdat degradatie van bouwstoffen vooral bij zeer energiezuinige woningen een relevante factor kan zijn in de verandering van de energiehuishouding gedurende de levensduur van de woning, is het aanbevelenswaardig om daar aanvullend onderzoek naar te doen. Specifieke aandacht voor degradatie van isolatiematerialen en de luchtdichtheid van woningen is daarbij relevant, omdat corrigeren van deze aspecten zeer hoge kosten met zich meebrengt.

3.5.1.3 Karakterisering en dataverzameling installaties (Taak 2.3)

Inleiding en doelstelling

Deze taak betreft de karakterisering en bepaling van (de afwijking in) energie-efficiëntie van installaties.

Redenen voor verschillen in ontwerp- en praktijk prestaties van installaties worden onderzocht en verklaard. Dit leidt tot een tijd- en kosteneffectieve methode m.b.t. procedures en bepaling van de indicatoren voor de monitoring van de werkelijke (in-situ) installatieprestaties in de praktijk en de tijd.

Werkwijze

Voor deze systemen zullen energie-prestatie-indicatoren (EPI) worden ontwikkeld om een evaluatie op twee niveaus mogelijk te maken:

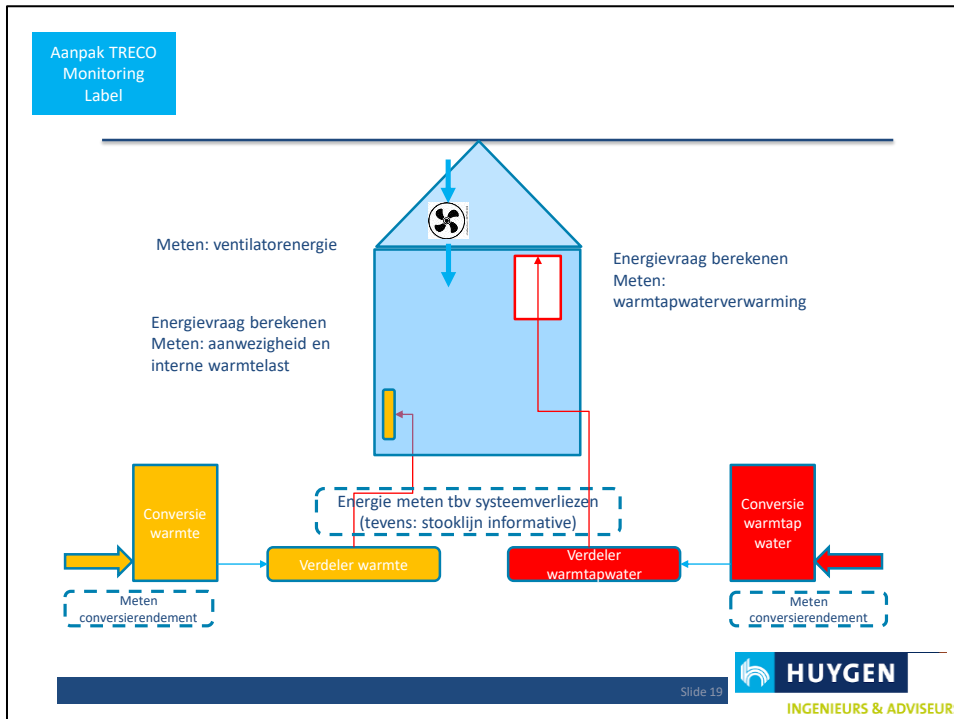
- 1) het gebruik van aanwezige slimme energiemeter of aanvullende monitoring;
- 2) vereenvoudigde monitoring voor low-cost prestatiebeoordeling.

De meest bepaalde variabele die het energiegebruik in woningen bepalen worden afgeleid. Dit op basis van analyse van rekenmodellen en data (zie D2.1.1.)

- het conversierendement van de warmteopwekking (ketelrendement of COP van een warmtepomp)
- de binnentemperatuur
- het gebruik van warmwater voor douche en schoonmaakdoeleinden
- het gebruik van elektrische apparaten en verlichting

Resultaten

In de onderstaande figuur 14 is schematisch de voorgestelde bemetering in een woning weergegeven.



Figuur 14. Bemetering in een woning

Hier is te zien dat het meten van een conversierendement vraagt om een warmtemeter. Dit is voor een woning met een eigen warmtebron een ongebruikelijk meetinstrument omdat warmtemeters relatief kostbaar zijn (ca. € 500). Daarom zijn ketelrendementen in de praktijk alleen bekend uit onderzoeken en zijn deze data niet algemeen gangbaar zoals elke auto een verbruiksmeter heeft. Het is daardoor ook niet mogelijk om na te gaan welke spreiding hierin optreedt.

Binnentemperaturen worden meestal alleen gemeten aan de hand van de ruimtethermostaat in de woonkamer. Bewoners gedragen zich vooral op gevoel/ comfortbeleving. Om goede voorspellingen te kunnen doen zijn deze gegevens noodzakelijk.

Juist in energiemodellen is het moeilijk om voor het conversierendement en de binnentemperatuur een aanname te doen die dicht bij de werkelijkheid ligt. Daarom zijn energiemodellen lastige voorspellers van het energiegebruik. Voor het berekenen van besparingen door maatregelen en gedragsmaatregelen kan daarom wel gebruik worden gemaakt van verschillen tussen twee berekeningen waarin de maatregelen zijn verwerkt. In het TRECO-project is dit laatste geen onderwerp van onderzoek.

Uit D2.1.1. is gevonden dat de gasmeterdata van daggemiddelden een sterke spreiding vertoont, en dat terwijl de R2-correlatie hoog is. Door het middelen we de data per maand elimineren we een belangrijk deel van de fluctuaties door gebruikersgedrag. De correlatie met de buitentemperatuur wordt goed zichtbaar.

	Corresponderende bijlage
WP 2.3	2.3.1.1 Karakterisering en data verzameling installaties (vertrouwelijk)

2.3.1.2 Bijlage I. Dataverzameling Installaties Rapportage DWA (<i>vertrouwelijk</i>)
2.3.1.3 Bijlage II. Dataverzameling Installaties - Rapportage_DWA (<i>vertrouwelijk</i>)
2.3.1.4 Bijlage III. Methodiek dataverzameling conversie installaties (<i>vertrouwelijk</i>)
2.3.2 Inventarisatie monitoringssystemen (<i>openbaar</i>)
2.3.3 Stageopdracht 20150716 Verslag MODLAR monitoring (<i>openbaar</i>)

Discussie, conclusie en aanbevelingen

Gezien de ervaringen met de berekeningen aan de Modlar-woning (D4.2.2.) met het toepassen van vereenvoudigde modellen lijkt dit een kansrijke richting. Uurlijkse rekenmodellen zoals VA114 zijn complex, en zijn tijdrovend daar waar voor de woningbouw deze ontwikkelbudgetten niet beschikbaar zijn in vergelijking met utiliteitsgebouwen. Voor prestatiecontracten wordt toepassing van fysische hoge-resolutiemodellen aanbevolen voor analyse van de meetdata en het onderbouwen van voorstellen voor het bijsturen van de installatie.

Wat tijdschaal betreft, zijn voor de werktuigkundige installatie meetgegevens benodigd op een tijdschaal van maximaal een uur. De evaluatie met modellen geeft goede resultaten op 24-uursbasis. Voor faaldiagnose is het aan te bevelen ook de uurlijkse data te analyseren, bijvoorbeeld voor het herkennen van ongewenst regelgedrag door de cv-ketel.

Voor de energiemeting en het display voor terugkoppeling aan de bewoners zijn de volgende KPI's vastgesteld:

1. Maandelijks energiegebruik voor verwarmen.
2. Wekelijks energiegebruik voor warmtapwaterverwarming
3. Geen bemetering voor de energievraag voor koeling.
4. Maandelijks elektriciteitsgebruik.
5. Binnentemperatuur per vertrek, uurlijks
6. CO₂-concentratie per vertrek, uurlijks
7. Relatieve vochtigheid in de keuken/badkamer , 10 minuten

Met de geschetste bemeteringsplannen (D.2.5) kunnen deze KPI's worden vastgesteld.

3.5.1.4 Ontwikkeling nauwkeurige en kosteneffectieve monitoring systeem voor lokaal microklimaat (taak 2.4)

Samenvatting

Voor een nauwkeurige voorspelling van het energiegebruik is ook het microklimaat van belang. Deze taak is in twee onderdelen uitgewerkt:

Deel 1: het kosteneffectief meten van het microklimaat

Er zijn goedkope klimaatstations verkrijgbaar. Deze stations delen hun data in de cloud. Op deze wijze kan er in een wijk met 1 station een beeld voor meerdere woningen worden verkregen. In TRECO is onderzoek gedaan naar het toepassen van een dergelijk meetstation. Ook bestaan er webservices waar data van gebruikt kan worden. De beperking daarvan is dat je niet de exacte locatie van de weerstations en sensoren kent.

Deel 2: Invloed van het microklimaat op het energiegebruik

In een data analyse van twee lokale meetstations is een vergelijking opgesteld met klimaatdata van het dichtstbijzijnde knmi-klimaatstation. Deze analyse laat zien dat het microklimaat wel van invloed kan zijn, maar dat het afhangt van de dichtheid van bebouwing. Ook is er vastgesteld dat er tussen gebouwen een hogere temperatuur kan heersen en dat dit effect aan het dak al een stuk minder aanwezig is. Geadviseerd wordt bij hoge bebouwingsdichtheid in een bepaalde situatie dit effect eenmalig door meting van de buitentemperatuur aan de gevel gedurende een paar wintermaanden vast te stellen.

3.5.1.4.1 Het kosteneffectief meten van het microklimaat

Inleiding en doelstelling

Tegen (potentieel) zo laag mogelijke kosten voor hardware- en installatiekosten metingen kunnen doen over het microklimaat rondom een woning.

Werkwijze

Gewenste functionaliteit en eigenschappen vaststellen: De gewenste meetwaarden zijn:

- Luchttemperatuur
- Relatieve vochtigheid
- Windsnelheid (tbv ramen van de infiltratie)
- Zonnestraling is niet relevant voor de verwarmingsenergie in de winterperiode.

Tijdens het zoeken naar mogelijke oplossingen worden de volgende stappen doorlopen:

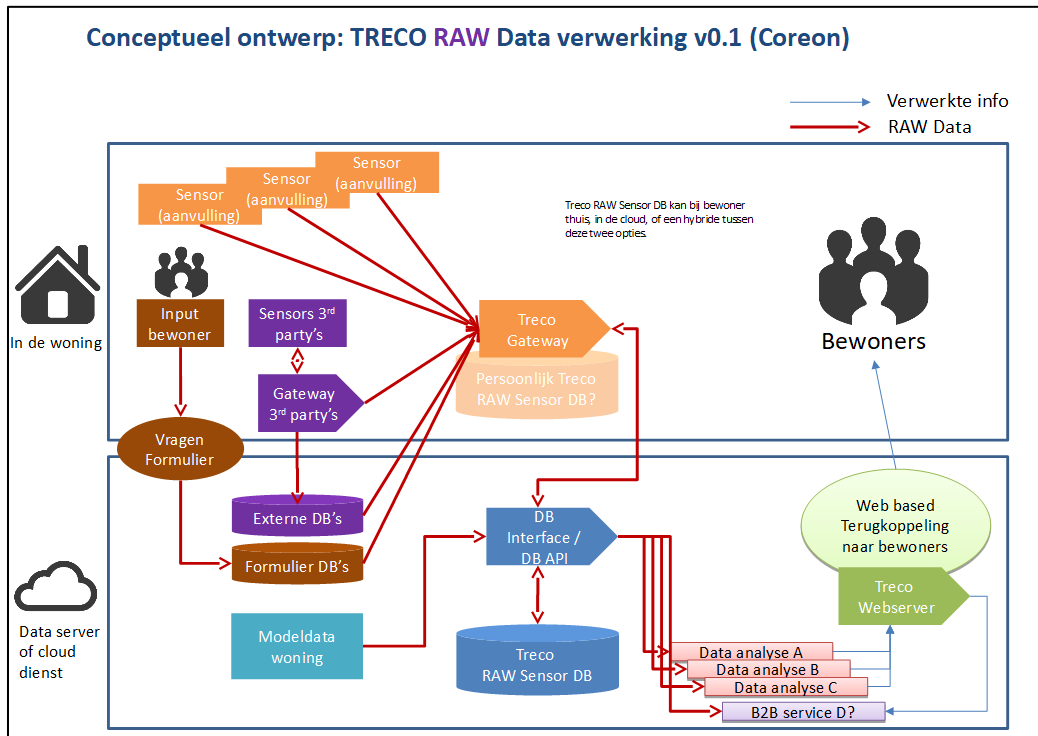
1. Conceptueel Ontwerp: Wat is op conceptueel niveau een passende benadering.
2. Functioneel Ontwerp: Hou zou het functioneel het beste uit te voeren zijn.
3. Technisch Ontwerp: Hoe kunnen we dit realiseren.

Microklimaat meting

Twee concepten zijn als meest belovend naar boven gekomen. Van beide zijn een proof of concept gemaakt en deze zijn getest. Het ene concept hield in dat er een fysiek relatief goedkoop (consumenten) weerstation is aangeschaft welke lokaal te plaatsen was en waarvan de metingen automatisch onderschept konden worden voor gebruik in een digitale omgeving. Het andere was het gebruik maken van andermans weerstation in de buurt waarvan de meetresultaten publiek beschikbaar zijn via <https://www.wunderground.com/wundermap>.

Noodzakelijke componenten voor een compleet systeem

Een compleet meetsysteem bestaat uit meerder componenten. Naast het eigenlijke meetinstrument is bijvoorbeeld een voorziening nodig om de meetgegevens op te kunnen slaan en ook weer in de gewenste vorm beschikbaar te stellen voor het uiteindelijke doel waarvoor de meting wordt uitgevoerd. Een overzicht is opgesteld van wat er aan meetresultaten gewenst was, wat voor componenten daarvoor nodig waren en wat de samenhang tussen die componenten is om tot een zo realistisch mogelijk systeem te komen. Dit overzicht hielp om de wensen uit elk werkpakket een duidelijke plek te geven in het gehele systeem en ook duidelijk te maken waarmee elk werkpakket zou moeten gaan koppelen. Daaruit werd ook duidelijk welke behoeften er waren en hoe bepaalde technieken (zoals een Database en een API laag) van groot nut kunnen zijn bij de samenwerking tussen de verschillende werkpakketten.



Figuur 15. Conceptontwerp van het TRECO systeem. Het centraliseren van data in één locatie en deze locatie voorzien van een goede toegankelijkheid (middels een API). Het is flexibel, schaalbaar.

Data opslag

Voor TRECO bleek het aantrekkelijk te zijn om alle huidige en toekomstige meetdata centraal (eventueel per huis lokaal) op te kunnen slaan en beschikbaar te stellen aan de verschillende werkpakketten.

Er zijn 2 methoden voor het kostenefficiënt verkrijgen van data over het lokaal microklimaat voorgesteld:

1. Data vergaren via eigen metingen via eigen consument niveau weerstation. (API koppeling met consumenten hardware);
2. Data vergaren via publiek beschikbare (regionaal) weerstation metingen. (API koppeling met publieke servers).

Microklimaat data

De aanwezigheid van een relatief lokaal gelegen publiek weerstation zou qua kosten het meest efficiënt zijn. Voor de betrouwbaarheid en het hebben van eigen invloed op deze metingen is aanbevolen om tijdens dit project te starten met een eigen (consumenten level) weerstation.

3.5.1.4.2 Invloed van het microklimaat op het energiegebruik

Inleiding en doelstelling

Deze taak betreft het onderzoeken van de invloed van het microklimaat op het totaal energiegebruik. Dit betreft zowel de invloed op warmteverliezen als warmtewinsten alsmede de invloed op lokale energieproductie en de sturing en regeling hiervan. Vandaaruit is een kosteneffectief monitoring en regelsysteem ontwikkeld waarmee:

- De invloed op werkelijk energiegebruik van de micro-klimatologische omstandigheden kan worden bepaald en waarmee het voorspelde (individuele) energiegebruik kan worden gecorrigeerd
- Installaties en apparatuur van woningen kunnen worden aangestuurd, bijvoorbeeld om waarde van opgewekte elektriciteit te maximaliseren en inkoop te minimaliseren, communicabel met smart grids

Werkwijze

Bij conventionele klimaatregelingen vormen wisselingen in het weer een storende factor welke gecorrigeerd dienen te worden op basis van actuele parameters. Dit corrigeren gebeurt vaak op een energie inefficiënte wijze, en met discomfort.

- Energie-inefficiënt door de noodzaak van snel corrigeren (onnodig hoge/lage temperaturen nodig om snel te kunnen corrigeren)
- Discomfort door het te laat corrigeren (op actuele afwijkingen)

Een mogelijke oplossing is het regelen van het binnenklimaat mede op basis van weersvoorspellingen.

Er is een vergelijking gemaakt tussen meetdata van weerstations op gebouwen (Kantoorgebouw ABT en een eengezinswoning in Heerlen uit TRECO Home). Van deze meetgegevens is de luchttemperatuur vergeleken met de luchttemperatuur van het meest nabijgelegen KNMI-klimaatstation. Voor hoger gelegen meetstations op daken van utiliteitsgebouwen blijkt dat deze data goed overeenkomen met nabijgelegen KNMI meteostations. In binnenstedelijk gebied en in woonwijken kunnen systematische afwijkingen optreden waarbij de lokale metingen in de winter ca. 1-2 K hoger kunnen zijn.

Daarnaast is een analyse van de zonninstraling uitgevoerd waaruit blijkt dat in de 4 wintermaanden het aandeel zonne-energie in de verwarming verwaarloosbaar is en daardoor ook in de regeling geen rol hoeft te spelen. Verder is de zonninstraling in de winter geanalyseerd. Te zien is dat in de wintermaanden de energie van de zontoetreding een orde 10 lager is dan de verwarmingsenergie. Daarom kan de zontoetreding in de maanden nov, dec, jan en feb genegeerd worden in de energievoorspelling en de binnenklimaatregeling.

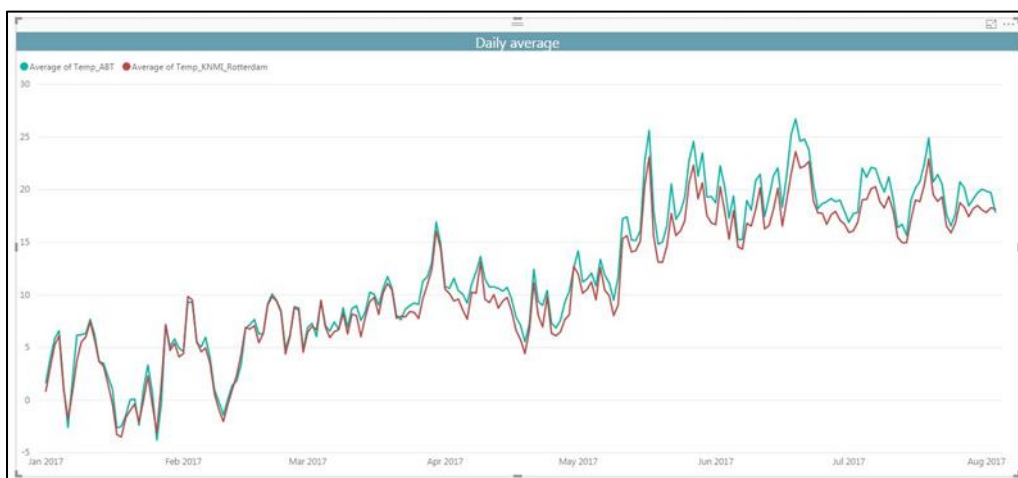
In de tussenseizoenen en in de zomerperiode is dit uiteraard wel belangrijk voor het goed kunnen regelen van het thermisch binnenklimaat. Hoewel de mate van energie-inefficiëntie niet leidt tot een groot onnodig energiegebruik omdat in deze periode de DeltaT met de buitentemperatuur gering is. Voor de zomerperiode is alleen bij volledige airconditioning de regeling belangrijk. Bij topkoeling met een vast debiet en inblaas temperatuur ligt het energiegebruik voor koeling vast op basis van de gekozen instelling.

Bij gebouwen met traag werkende afgiftesystemen zoals betonkernactivering wordt gebruik gemaakt van de buitentemperatuur op basis van een driedaags gemiddelde. Voor woningen is dit echter niet relevant.

Er is een inventarisatie uitgevoerd van de mogelijkheden van een weersvoorspellende regeling. Deze techniek, hoewel aangeboden door sommige regelfabrikanten, staat nog in de kinderschoenen.

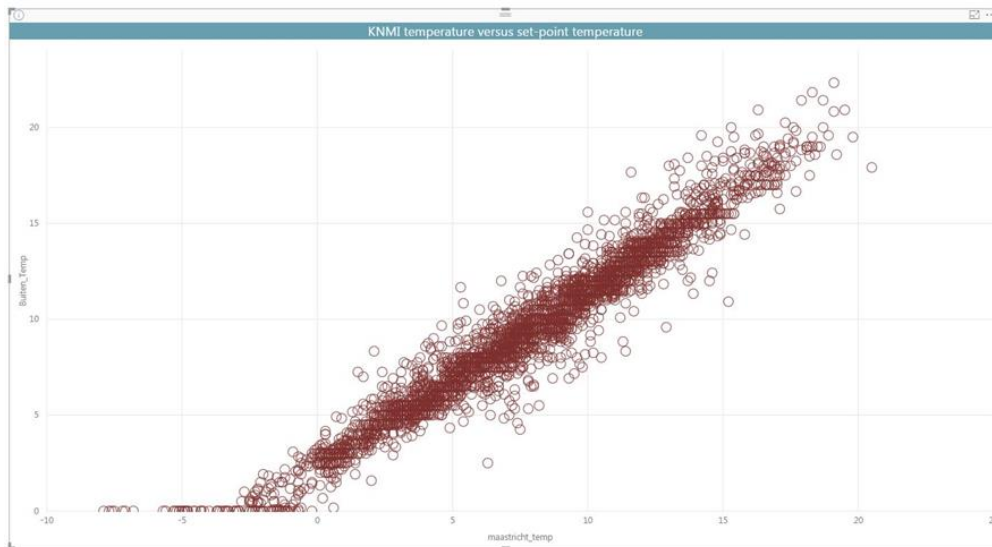
Resultaten

Figuur 16. geeft de vergelijking van de gemeten weerdata op het ABT-gebouw met het KNMI-station van Rotterdam.



Figuur 16. Vergelijking van weerdata van een knmi-station en een weerstation op het ABT-gebouw

Figuur 17 geeft de uurlijkse weerdata op de gevel van een woning in een woonwijk in Heerlen met het KNMI-station in Maatsricht.



Figuur 17. Vergelijking van weerdata van een knmi-station en een weerstation op het ABT-gebouw

Uit de resultaten is af te leiden dat de positie van een meteostation zorgvuldig moet worden gekozen. Vaak kent de dakopbouw van een gebouw allerlei obstakels waardoor een goede meteometing wordt belemmerd. Het kan daarom interessant zijn om data van commerciële weerstations te betrekken en via een data abonnement in een regelsysteem toe te passen.

	Corresponderende bijlage
WP 2.4	2.4.1 Methodology for data collection and handling micro climate (<i>vertrouwelijk</i>)

Discussie, conclusie en aanbevelingen

Stand techniek:

- Er zijn reeds meteorologische instituten welke lokale weersvoorspellingen doen en deze informatie digitaal beschikbaar stellen ((bijvoorbeeld Meteovista).
- Internetkoppeling is een voorwaarde voor continue data-uitwisseling.
- Welke parameters, de termijn, en de betrouwbaarheid is nog te onderzoeken om daadwerkelijk tot een voorspellende regeling van klimaatinstallaties op weersverwachting te realiseren.
- Op dit moment wordt alleen de temperatuur voorspeld. Te onderzoeken is of dit voldoende is.
 - o Voor het stookseizoen heeft de bezonning nauwelijks invloed op het energiegebruik
 - o Windsnelheid KNMI versus windsnelheid gemeten op de gevel. Voor het bepalen van de infiltratie is dit belangrijk maar technisch complex om te meten.
 - o De buitentemperatuur is mede bepalend voor de DeltaT en van invloed op het energiegebruik. Het voorspellen van de buitentemperatuur is in de meeste gevallen goed mogelijk op basis van data van meteorologische instituten.
- Bijpassende regelalgoritmen binnen de regeltechniek voor de klimaatinstallaties zijn nog te optimaliseren.

3.5.1.5 Ontwikkeling richtlijnen voor uitbreiding/aanpassing smart meterings systemen (taak 2.5)

Inleiding en doelstelling

De taken 2.1 t/m 2.4 leiden tot een set van richtlijnen voor de uitbreiding of aanpassing van smart metering systemen voor het monitoren en verwerken van de meest essentiële data die het totale energiegebruik van -woningen bepalen. Deze taken vormen de input voor werkpakket 5.

Werkwijze

Uit de resultaten van de taken 1 t/m 4 volgt dat voor diverse doelen er verschillende sensoren en meetsystemen nodig zijn. Er is een overzicht opgesteld van de doelen van het data verzamelen, en welke sensoren en meetsystemen daarbij horen.

Resultaten

Er zijn energiemeters voor:

- Elektriciteit Slimme meter per kwartier of P1 poort op korter tijdsinterval
- Gasmeter Slimme meter alleen per uur
- Meter op cv-ketel Gasgebruik voor ruimteverwarming en apart voor warmtapwaterverwarming
- Warmte na cv-ketel Warmtemeter per uur
- Luchttemperatuur Sensoren op representatieve plaatsen in de leefruimten
- CO₂-concentratie Sensoren op representatieve plaatsen in de leefruimten
- Relatieve vochtigheid Sensoren in de badkamer en eventueel in de keuken

Balans elektriciteit over verschillende gebruikers:

- Tussenmeters per groep of per apparaat

Voor analyse van de energiebalans aardgasgebruik, elektriciteitsgebruik en opgewekte warmte en koude:

- Warmtemeter na de warmteopwekker

Voor correcties van het lokale klimaat:

- Toepassen van een goed geplaatst meteostation bij dichte bebouwing
- Gebruikmaken van data van een dienstverlener van klimaatdata met een weerstation binnen een straal van 30 km

Voor analyse gebruikersgedrag:

- Toepassen van CO₂-sensoren om te meten wat de luchtkwaliteit is. Het blijkt niet mogelijk om met aanwezigheidssensoren het aantal personen te voorspellen in een ruimte of in een de woning. Het aanwezigheidssignaal van de sensor zou aangepast moeten worden met een najl tijd, die hetzelfde effect heeft als een nabrandtijd van een lamp.

Voor de goede werking van de installaties:

- Sensoren voor het meten van de watertemperatuur en het kunnen vaststellen van de stooklijnen van cv-ketel en, nog belangrijker, bij warmtepompen, of ze goed zijn afgesteld.
- Sensoren voor het kunnen vaststellen van de stand van de ventilator ter indicatie van de ventilatiehoeveelheid.

	Corresponderende bijlage
WP 2.5	2.5.1 Richtlijnen uitbreiding smart metering systemen (<i>vertrouwelijk</i>)

Discussie, conclusie en aanbevelingen

Voor het betrouwbaar kunnen vaststellen van een energiebalans, is een groot aantal sensoren nodig. Naast de energiebalans is het ook nodig om op deelniveau het functioneren van de installatie te kennen. Een soort

indirecte aanwijzing voor energie-efficiënt gedrag zoals het volgen van een stooklijn en de stand van ventilatoren.

Het verdient aanbeveling om in de ontwerpfase voor elke toepassing de sensoren apart te kiezen. Voor woningbouw is dit nog niet uitgewerkt in richtlijnen. Voor utiliteitsgebouwen is er ISSO-publicatie 31 waarin is aangegeven dat elke functie zijn eigen sensortoepassing heeft.

Uit de praktijk blijkt dat in de meeste woningen en woongebouwen geen data anders dan het energiegebruik wordt gemeten of verzameld. Hooguit in collectieve wko-installaties met warmtepompen.

Voor een goede analyse is een dataverzameling per seizoen noodzakelijk. En dan met een monitoringfrequentie van ca. 30 minuten tot 1 uur. In veel gevallen wordt in de analyse gemiddeld naar uurlijkse of dagelijkse waarden gekeken.

Deze middeling heeft te maken met de tijdconstanten van regeling en woning. De regeling werkt meestal met korte tijdconstanten (< uur). Door middeling over een dag kan de ruis in de data op deze manier worden gedempt. Daarnaast kent een gebouw een tijdconstante van dagdelen gerelateerd aan de temperatuurverandering van het buitenklimaat (winterperiode) en van de zoninstraling (zomerperioden). In de winter ontstaan goede relaties tussen warmtevraag en buitentemperaturen. Voor de zomerperiode geeft dat meer spreiding omdat de zoninstraling een grilliger patroon vertoont dan de buitentemperaturen.

TRECO-Home levert een methodiek van dataverzameling en dataopnemers (sensoren) waarmee voldoende betrouwbaar het energiegebruik kan worden voorspeld op maandbasis en jaarbasis. (zie D2.5.1.)

Uit de metingen van TRECO-Home concluderen we dat gebruikersgedrag voor het energiegebruik van elektriciteit en warmtapwater bij woningen een grote invloed heeft. Bij verwarmen gaat het vooral om de instelling van de thermostaat (individuele comfort wensen van een bewoner, in combinatie met het aanwezig buitenklimaat) die sterk bepalend is.

3.5.2 Gebruikersaspecten en componenten (WP 3)

Onderstaand de deliverables en beknopt de taken hoe die deliverables zijn gerealiseerd

Deliverables

Nr.	Titel / omschrijving	Bijbehorende taak/ taken
D3.1	Relatie thermo-fysiologie, thermisch comfort en thermisch gedrag	Laboratoriumonderzoek naar de relatie thermo-fysiologie, thermisch comfort en thermisch gedrag
D3.2	ThermoSEM-module voor thermisch gedrag	Doorontwikkelen van het ThermoSEM-module voor thermisch gedrag
D3.3	Modelleren koppeling gedragsprofiel en sociaal economische status als input voor energievoorspellingsmodellen	Modelleren van gedragsprofiel en sociaal economische status als input voor energievoorspellingsmodellen
D3.4	Belangrijkste en meest zinvolle monitoringparameters in relatie tot energiegebruik	Opstellen richtlijnen vanuit gebruikersgedrag voor verdere productontwikkeling

3.5.2.1 Relatie thermo-fysiologie, thermisch comfort en thermisch gedrag (taak 3.1)

Inleiding en doelstelling

Uit het thermo-fysiologisch onderzoek van INTEWON is naar voren gekomen dat gebruikers kunnen worden ingedeeld in globaal 4 categorieën, variërend van wamte minnend en koude minnend. In het kader van dit project zal worden uitgediept in hoeverre fysiologische parameters gelinkt zijn aan deze categorieën opdat parameters kunnen worden gedefinieerd die als input dienen voor gedragsvoorspellingen.

De gedragsprofielen zullen worden gelinkt aan een psychologische component en de sociaaleconomische status om het energiegebruik van individuen van verschillende groeperingen en de invloed van groepsinteracties te kunnen voorspellen dan wel bij te stellen. Informatie voor wat sociaal economische status zal worden verkregen uit de literatuur en uit het project INTEWON.

De psychologische component van thermische gedrag valt grofweg uiteen in een cognitieve (kennis), affectieve (gevoelsmatige) en sociale component. Het gedrag van sommige gebruikers zal meer beïnvloed door de cognitieve component terwijl voor andere gebruikers affectieve of sociale factoren een grotere rol spelen. In dit project zal worden onderzocht (a) welke type component voor een gebruiker het meeste gewicht heeft, en (b) hoe feedback het beste kan worden vormgegeven om de diverse componenten te beïnvloeden. Deze benadering sluit naadloos aan op de hierboven geschetste categorisering van proefpersonen op basis van fysiologie. Tezamen leidt dit tot een realistische omschrijving van het gebruikersprofiel.

Werkwijze

In combinatie met WP4 heeft er intensieve monitoring plaatsgevonden van 2 studenten gedurende 3 weken verspreid over 3 maanden. Hierin zijn metingen uitgevoerd van de thermofysiologie (lichaamstemperatuur, lichamelijke activiteit), thermisch comfort en thermisch gedrag. In WP3 is een mobiele app ontwikkeld die door individuen gebruikt kan worden om aan te geven hoe zij zich voelen, welke kleding ze dragen en wat voor activiteiten ze uitvoeren. De meetdata zijn vergeleken met voorspellingen van het biofysisch model (zie WP3.2). Op individueel niveau komen de gemeten data en het voorspelde “thermische leefgebied” zeer goed overeen.

De gecombineerde labstudie + veldstudie is uitgevoerd waarbij telkens 2 proefpersonen (1 man en 1 vrouw) 1 dag in het lab gemeten worden en vervolgens ook 2 dagen gevolgd worden in hun kantoorsetting (beiden werkzaam op dezelfde werkvloer). Er wordt naast basale fysiologie en comfort ook gekeken naar diverse gezondheidsparameters, en naar verschillen in thermische blootstellingen tussen mannen en vrouwen. De metingen worden uitgevoerd op een gezonde volwassen subpopulatie. Hierdoor is het mogelijk om in de toekomst een vergelijking te maken met andere doelgroepen (bijv. diabeten of ouderen).

Resultaten

In dezelfde setting was al eerder een onderzoek uitgevoerd naar thermisch comfort bij vrouwen in de gecombineerde klimaat/respiratiekamers van het Metabolic Research Unit Maastricht (MRUM).



Afbeelding 1. Respiratiekamers van het Metabolic Research Unit Maastricht (MRUM).

Deze resultaten zijn in het kader van TRECO gebruikt om metingen te vergelijken met het nieuw ontwikkelde model voor thermisch comfort en thermo-fysiologie. Dit model betrof een uitbreiding van een klassiek thermisch model van de thermoneutrale zone. Dit klassieke model beschrijft de warmte afgifte van het lichaam aan de omgeving. Het uitgebreide model includeert ook de warmtestroom in het lichaam.

	Corresponderende bijlage
WP 3.1	3.1.1 Healthy excursions outside the thermal comfort zone (WvML2017BRI) (<i>openbaar</i>) 3.1.2 Energy consumption in buildings and female thermal demand (Kingma2015) (<i>openbaar</i>)

Discussie, conclusie en aanbevelingen

Deze thermische modellen van de mens bieden een aanknopingspunt om de theorie van Fanger bij te stellen op individueel niveau. Voor het vaststellen van de thermoneutrale zone per mens zijn nog geen handzame en pasklare oplossingen.

3.5.2.2 ThermoSEM-module voor thermisch gedrag (taak 3.2)

Inleiding en doelstelling

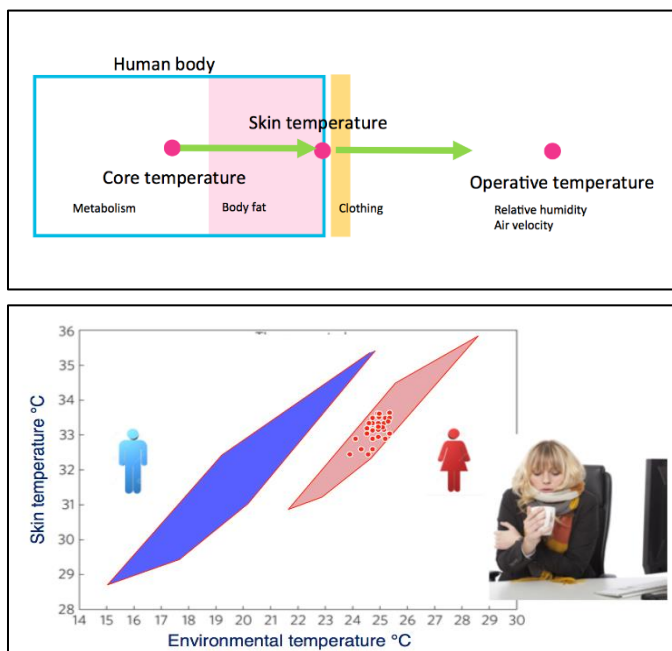
De gegevens uit taak 3.1. zullen worden gebruikt voor de verdere ontwikkeling en validatie van ons numeriek model ThermoSEM inzake de voorspelling van thermisch gedrag op individueel en gebruikersprofiel niveau. Tevens zal dit worden gebruikt als input voor WP4. Hierbij zal gebruik gemaakt worden van de resultaten van gedaan en nog lopend onderzoek in de respiratie/klimaatkamers van het metabole research Unit Maastricht (MRUM) en de studies uitgevoerd in de klimaatkamers aan de TUE Bouwkunde. Tevens zullen de geplande monitoringsstudie in het kader van INTEWON gegevens aanleveren vanuit daadwerkelijk woonomstandigheden.

Werkwijze

De monitoring metingen die zijn uitgevoerd zijn vergeleken met de modelvoorspelling op individueel niveau. Er is grote overeenkomst tussen het voorspelde en het gemeten "thermische leefgebied" van de proefpersonen. Het biofysisch model wordt gevalideerd door het meten aan nieuwe bewoners in dezelfde woning (deze taak wordt gestuurd door WP 5 en WP6 in de komende periode. Wij kunnen waar nodig ondersteuning bieden betreft technische implementatie van de benodigde ICT.

Resultaten

Met behulp van dit model en de comfort-metingen in de respiratiekamers kan worden verklaard, op basis van de thermofysiologie, waarom het comfort-niveau van vrouwen bij een hogere temperatuur ligt dan van mannen. Tevens zijn de implicaties voor het ontwerp van een geschikt binnenklimaat en de link met het PMV model beschreven. Dit onderzoek is gepubliceerd in het toonaangevende internationale tijdschrift *Nature Climate Change* (Kingma B, van Marken Lichtenbelt W. Energy consumption in buildings and female thermal demand. *Nature Climate Change*. 2015; 5:1054-6).



Figuur 18. Schema van het uitgebreide thermoneutrale zone model met daaronder de themoneutrale zone voor mannen (blauw) en voor vrouwen (rood).

Discussie, conclusie en aanbevelingen

Uit de onderzoeken blijkt dat het thermisch comfort individueel is en dat dit tussen personen grote verschillen kent. Spreiding in energiegebruik verklaard. De verschillen tussen individuele kunnen oplopen tot 4-6K, afhankelijk van de gedragsvoorkeur van de kleding van personen.

Uitgedrukt in verschil in energiegebruik voor verwarmen komt dit neer op een verschil van 40-60% tussen identieke woning. Dit houdt in dat de spreiding uit de figuur uit de inleiding voor een groot deel verklaard kan worden door individuele metabole verschillen tussen mensen gekoppeld aan hun thermoregulerend gedrag. Dat betekent ook dat bij het aansporen tot energiezuinig gedrag met deze individuele gegevens rekening gehouden dient te houden.

	Corresponderende bijlage
WP 3.2	3.2.1 Exploring internal body heat balance to understand thermal sensation (Kingma2017) (<i>openbaar</i>) 3.2.2 Occupant behaviour and thermal comfort in buildings: Monitoring the end user (L.Visser 2016) (<i>openbaar</i>)

3.5.2.3 Modelleren koppeling gedragsprofiel en sociaal economische status als input voor energievoorspellingsmodellen (Taak 3.3)

Inleiding en doelstelling

De koppeling tussen Taak 3 en Taak 4 betreft voorspellen van het energie gebruik en daarbij gebruik maken van individuele lichaamskarakteristieken is op hoofdlijnen gerealiseerd (samenwerking Huygen en UM). De validatiestudie in de MODLAR woning (6.1.2) heeft uitgewezen dat deze koppeling een meerwaarde biedt voor de voorspelling van de binnentemperatuur die personen zullen aanhouden. De praktijkmonitoring van deze mensparameters is nog te complex voor commerciële toepassingen.

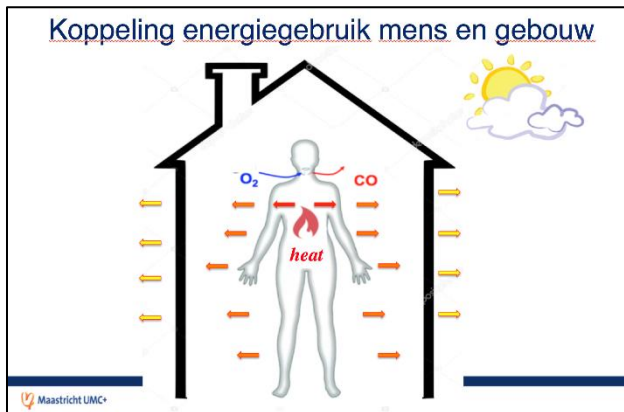
Werkwijze

Op een real life testlocatie een monitoring studie uitgevoerd in een z.g. Modlar woning. De monitoring metingen die zijn uitgevoerd zijn vergeleken met de modelvoorspelling op individueel niveau. Er bleek een grote mate van overeenkomst te zijn tussen het voorspelde en het gemeten "thermische leefgebied" van de proefpersonen.

Resultaten

Data, verzameld tijdens het TRECO project in combinatie met gegevens uit zonMW en EU projecten, hebben nieuwe inzichten opgeleverd betreffende een gezond binnenklimaat hetgeen gepubliceerd is in *Building Research Information* (Marken Lichtenbelt WDV, Hanssen MJ, Pallubinsky H, Kingma B, Schellen L. Healthy excursions outside the thermal comfort zone. Build Res & Inform. 2017; Online:1466-4321.).

Deze publicatie heeft wereldwijd veel aandacht gekregen, ook in de diverse media. De belangrijkste conclusie is dat een meer gevarieerd (dynamisch) binnenklimaat dan tot nu toe wordt gerealiseerd leidt tot metabool gezondere mensen én tot energiezuiniger gebouwen (Figuur 3).



Figuur 19. Het onderzoek en de modelontwikkeling binnen TRECO heeft geleid tot nieuwe inzichten in de interactie tussen het energie-metabolisme (stofwisseling) van de mens en het energiegebruik van gebouwen.

Discussie, conclusie en aanbevelingen

Gezondheid van het binnenklimaat krijgt naast CO₂ een thermische dimensie. Klimaatssystemen in woningen zullen op een andere fundamentele wijze gebruikt en ontworpen moeten worden om dit te realiseren. Nadere studie is hiervoor nodig omdat een dynamische binnentemperatuur niet vanzelfsprekend leidt tot energie-efficiëntie, hoewel er wel potentie is aan te wijzen. Project TKI-DYNKA gaat dit uitwerken voor kantoorgebouwen. De vertaalslag naar woningen zal dan ook gemaakt kunnen worden.

Bewustwording en acceptatie door bewoners is hierbij wel essentieel.

3.5.2.4 Belangrijkste en meest zinvolle monitoringparameters in relatie tot energiegebruik (taak 3.4)

Inleiding en doelstelling

Met de resultaten van taak 3.1 en 3.2 zijn kunnen gebruikersprofielen worden samengesteld voor de energie voorspellingsmodellen in WP4. Essentieel voor het gebruik van deze gebruikersprofielen is een werkelijk begrip van de profielen, dat wil zeggen hoe en wanneer een bepaald profiel gebruikt moet/kan worden.

Werkwijze

Combineren van kennis uit WP2 (dataverzameling), WP3 (thermisch comfort is individueel) en WP4 (energiemodel) leidt tot een minimale set aan data waarmee gebouw-, installatie- en gebruikerskenmerken kunnen worden gemonitord.

Resultaten

Vanuit het thermoneutrale zone model (TNZ) is, aan de hand van twee temperatuursensoren op de hand en de onderarm, de comforttemperatuur per individu goed te voorspellen. In de praktijk is het complex om deze meting per bewoner uit te voeren.

Metingen aan de mens in de praktijk

Praktisch kan met een app met enkele vragen over activiteitsniveau, kledinggedrag en de binnentemperatuur en indicatie worden verkregen. Vooralsnog laten we bij de voorspelling van het energiegebruik de monitoring aan de mens achterwege. In plaats daarvan besteden we ruimte aandacht aan de binnentemperatuur in diverse vertrekken die de bewoner als voorkeur heeft. Dit geven gebruiken we dan in het voorspelmodel, zonder er nog geen actuele meetgegevens voorhanden zijn.

Op basis van aparte energieprofielen zijn de volgende meetdata nodig om een energiemodel te vergelijken met werkelijke energiemetingen:

- Ruimteverwarming
 - o Binnentemperatuur per vertrek, de voorkeur is individueel bepaald door thermo neutrale zone

- DeltaT binnen- en buitentemperatuur belangrijkste voorspeller van energiegebruik
 - Conversierendement van opwekker en warmtemeting
 - CO2-sensor per ruimte voor bepalen luchtkwaliteit
- Warmtapwatergebruik
 - Leeftijd bepalend voor warmtapwatergebruik
 - Conversierendement warmteopwekker en warmtemeting (of aparte sensor op warmteopwekker die het gebruik herkent tussen ruimteverwarming en warmtapwater).
 - Huishoudelijk elektriciteitsgebruik
 - Via slimme meter en onderbemetering van belangrijkste huishoudelijke apparaten zoals koelkast, wasmachine en wasdroger.
 - Meten met het oog op bewustwording en voor de toename van het energiegebruik door veroudering

	Corresponderende bijlage
WP 3.3	3.3.1 Differences in energy consumption due to thermo-regulation and comfort of the occupant (L. Visser 2017) (<i>openbaar</i>)

Discussie, conclusie en aanbevelingen

Er is een vaste dataset te definiëren waarmee energievoorspellingen kunnen worden uitgevoerd. Deze set aan data is beperkter dan de invoerparameters van een energiesimulatiemodel. Desondanks is een goede voorspelling mogelijk. Dit komt o.a. omdat de mens in vast patronen leeft, die ogenschijnlijk onregelmatig lijken, maar in het licht van ons energiegebruik best als regelmatig opgevat kunnen worden.

3.5.3 Voorspellen, modelleren en vergelijken (WP4)

Nr.	Titel / omschrijving	Bijbehorende taak/ taken
D4.1	Geoptimaliseerd rekenmodel	Ontwikkelen geoptimaliseerd rekenmodel
D4.2	Analytische fittingmethode voor vergelijken voorspeld en werkelijk energiegebruik	Ontwikkelen analytische fittingmethode voor vergelijken voorspeld en werkelijk energiegebruik
D4.3	Gevalideerde methode	Validatie van de methode

3.5.3.1 Geoptimaliseerd rekenmodel (taak 4.1)

Inleiding en doelstelling

Doelstelling is het komen tot een rekenmethodologie voor het voorspellen van het totale energiegebruik op huishoudensniveau. Het startpunt wordt gevormd door de huidige Energiemodule. Essentieel hierin is dat de invloed en het effect van bewonersgedrag in alle aspecten zo nauwkeurig mogelijk wordt meegenomen. Energiegebruik van woningen (en ook andere gebouwen) wordt hierbij vooral beïnvloed door de zes factoren: (1) klimaat, (2) gebouwschil, (3) de gebouwinstallaties, (4) beheer, operatie en onderhoud van gebouw en installaties, (5) bewonerskenmerken, bewonersgedrag en gebruiksgelateerde activiteiten en (6) het uiteindelijk gerealiseerde binnenklimaat. De laatste 3 factoren met betrekking tot het menselijk gedrag, kunnen een invloed hebben die substantieel groter is dan de eerste drie factoren.

Vanuit eerder onderzoek is bekend dat bewoners hun woongedrag aanpassen en wijzigen na en als gevolg van renovatie van de woning en de installaties (reboundeffect). Zo leidt renovatie veelal tot een hoger gewenst thermisch comfortniveau, een hoger tapwatergebruik en meer elektragebruik. Het vertalen van het bewonersprofiel in een simulatie voor en na renovatie en het begrijpen van de factoren die hierbij een rol spelen maakt onderdeel uit van de nieuwe rekenprocedure.

Werkwijze

De aanpak omvat de volgende onderdelen:

- Het definiëren, verzamelen, analyseren en documenteren van de benodigde inputparameters om voorspellende berekeningen te kunnen maken op een acceptabel kwaliteitsniveau, met gebruikmaking van de door monitoring verkregen input parameters, volgend uit WP2 en WP3. Dit vormt de basis voor de verdere modellering. Dit leidt tot het optimaliseren van de huidige Energiemodule, voor de voorspelling van het totale energiegebruik in woningen, op individuele basis.
- Het opstellen van een analytische methode om de verschillen te verklaren in werkelijk energiegebruik en de aannames voor voorspeld gebruik in een analytisch 'fitting' proces
- Het valideren van deze methode

Resultaten

De oplossing is gezocht in het grey-box model. In deze benadering wordt de structuur van het model verkregen op fysische overwegingen en inputparameters worden verkregen door monitoring. Daarom heeft deze aanpak de aanpasbaarheid aan de realiteit van black box modellen en de verklarende eigenschappen van de white-box modellen. De inputparameters worden stapsgewijs vastgelegd en volgen uit WP 2 en 3. Deze benadering heeft het voordeel van modelreductie met toch voldoende convergentie en nauwkeurigheid.

Dit leidt tot het optimaliseren van de huidige Energiemodule van WoonConnect, voor de voorspelling van het totale energiegebruik in woningen op individuele basis. Hierbij worden aparte modellen gehanteerd voor:

- Ruimteverwarming
- Warmtapwaterverwarming
- Huishoudelijk elektriciteitsgebruik

Dit is noodzakelijk omdat is gevonden, onder andere uit GENMicro (www.duurzamegebiedsontwikkeling.nl) dat het gebruikersgedrag tussen deze profielen geheel ontkoppeld is.

De Energiemodule is gebaseerd op de rekenmethode van de NEN 7120 'Energieprestatie van gebouwen – bepalingsmethode', NEN 1068 'Thermische isolatie van gebouwen – rekenmethode' en NEN 8088 'Ventilatie en luchtdoorlatendheid van gebouwen – deel1: rekenmethode'. Randvoorwaarde is dat de methode nauwkeurig genoeg is om te voldoen aan de eisen van de gebruikers en belanghebbenden (bijvoorbeeld in relatie tot energiekostencontracten) en snel en simpel genoeg is om te gebruiken en te implementeren op grote schaal. Dit betreft met name de nauwkeurigheid, gebruikerscomponenten en de validatie van de vraagstelling naar gebruikers.

De geoptimaliseerde rekenmethode wordt geïmplementeerd in de rekensoftware van de Energiemodule. Dit geeft een nieuwe interface voor het opvragen van de nieuwe inputgegevens en weergeven van de resultaten.

Om nauwkeuriger te kunnen rekenen met de Energiemodule van WoonConnect, is gebruik gemaakt van de volgende data:

- Gemeten binnentemperatuur woonkamer, uurlijks
- Gemeten buitentemperatuur (off via klimaatdienst), uurlijks
- Cumulatief gasverbruik, uurlijks
- Aandeel gasgebruik voor warmtapwaterverwarming, per 2 weken
- Cumulatief elektriciteitsverbruik hoog, kwartierwaarden omgezet naar uurlijks
- Cumulatief elektriciteitsverbruik laag, kwartierwaarden omgezet naar uurlijks

	Corresponderende bijlage
WP 4.1	4.1.1 Optimized Energy Module en vergelijking (<i>openbaar</i>)

Discussie, conclusie en aanbevelingen

Het werkelijke en het berekende gasverbruik volgt bij alle drie de woningen het verwachte patroon, namelijk een hoog verbruik in de wintermaanden en aflopend naar een laag verbruik in de zomer. De inschatting van het gasverbruik is bij alle drie de woningen wel hoger. Omdat dit zich vooral in de zomermaanden uit, kan dit

alleen verklaard worden door een afwijkend douche- en/of kookgedrag. Beter inzicht in het gasverbruik specifiek voor warmtapwater zou kunnen helpen dit verschil te verklaren.

Hoewel er interessante conclusies getrokken kunnen worden, dient er wel rekening mee gehouden te worden dat het slechts om 3 woningen gaat, waarvan 2 bewoond door alleenstaande senioren en 1 door een gezin met een opmerkelijk verbruikspatroon.

Indien de elektrische apparaten en het gebruik ervan voldoende nauwkeurig ingevuld worden, blijkt het elektriciteitsverbruik redelijk nauwkeurig ingeschat te kunnen worden. Uitzondering hierop is woning 105. Hiervan is het elektriciteitsverbruik aanzienlijk minder dan voorspeld. Dit wordt veroorzaakt door de post overig verbruik, waar bewoners nu nog geen invloed op kunnen uitoefenen. Voor woningen met een laag verbruik is dit wel noodzakelijk voor een goede voorspelling.

3.5.3.2 Analytische fittingmethode voor vergelijken voorspeld en werkelijk energiegebruik (taak 4.2)

Inleiding en doelstelling

De feitelijke vergelijking en analyse van het gemeten en voorspelde energiegebruik is een kerntaak in TRECO. Er zijn nog geen vaste methoden of procedures beschikbaar, hoewel (meestal op projectbasis) vergelijkingen worden gemaakt met verschillende methoden om de verschillen te verklaren (zoals het E'novatie programma, en de CONCERTOplus en premium projecten). In TRECO is onderzocht dat verschillen kunnen worden veroorzaakt door verschillen in uitgangspunten voor micro-klimaat, het gebruikersgedrag en gebouw en installatie prestaties in de praktijk.

In deze taak wordt een analytische methode opgesteld om de verschillen in werkelijk energiegebruik en de aannames te verklaren. Dit wordt gedaan door 'fitting' proces, met een aantal stappen waarbij het totale energiegebruik wordt 'afgepeld':

- Stap 1: vergelijking en analyse van het totale energiegebruik door signaalanalyse
- Stap 2: meteo-analyse met correctie voor microklimaat invloeden.
- Stap 3: gebruikersanalyse met correctie voor het werkelijke gedrag van de gebruiker ten opzichte van de aannames. Dit moet leiden tot een correctie van het energiegebruik voor de gebruikersinvloeden, wat leidt tot een verdere 'afgepeld' energiegebruik, alleen voor gebouw en installatieprestaties. De analyse van het gebruikersgedrag en invloeden geeft de belangrijkste output van gegevens over het gebruikersgedrag en de mate waarin hierop kan worden 'ingegrepen'. Dit is de basis voor de interactieve uitwisseling van informatie.
- Stap 4: gebouw en installatie analyse. Wanneer het energiegebruik is gecorrigeerd voor klimaat en de gebruikersinvloeden, worden gebouw- en installatieprestaties geanalyseerd. Bijvoorbeeld wijzigingen van prestaties in de tijd, door vergelijking met de vorige referentie/metingen en van structurele verschillen in prestaties. Dit geeft ook informatie over energieprestatie diagnostiek, voorspellend onderhoud of vervangingen en diagnoses ten aanzien van component- en systeemoptimalisatie.

Vanuit taak 4.2 kunnen verdere applicaties worden ontwikkeld waarmee deze vergelijkingen worden uitgevoerd (WP5)

Werkwijze

Deze taak is uitgevoerd aan de hand van een casuswoning uit het Interreg Modlar-project en de drie casuswoningen van ZoWonen. Data is verzameld van de verwarmingsinstallaties (warmtepomp, ventilatie), binnenluchttemperaturen, CO₂-concentratie en gebruikersgedrag. Met deze data zijn analyses uitgevoerd om tot zinvolle verbanden te komen over het voorspellen van energiegebruik. Ook het elektriciteitsgebruik is gemeten.

Uit het GEN-onderzoek (2014) is al gebleken dat er voor elk type energiegebruik een ontkoppeld gebruikersgedrag bestaat: elektriciteitsgebruik, ruimteverwarming en warmtapwaterverwarming.

In deze taak is een driedeling gemaakt naar energiegebruik voor ruimteverwarming, warmtapwaterverwarming en huishoudelijk elektriciteitsgebruik.

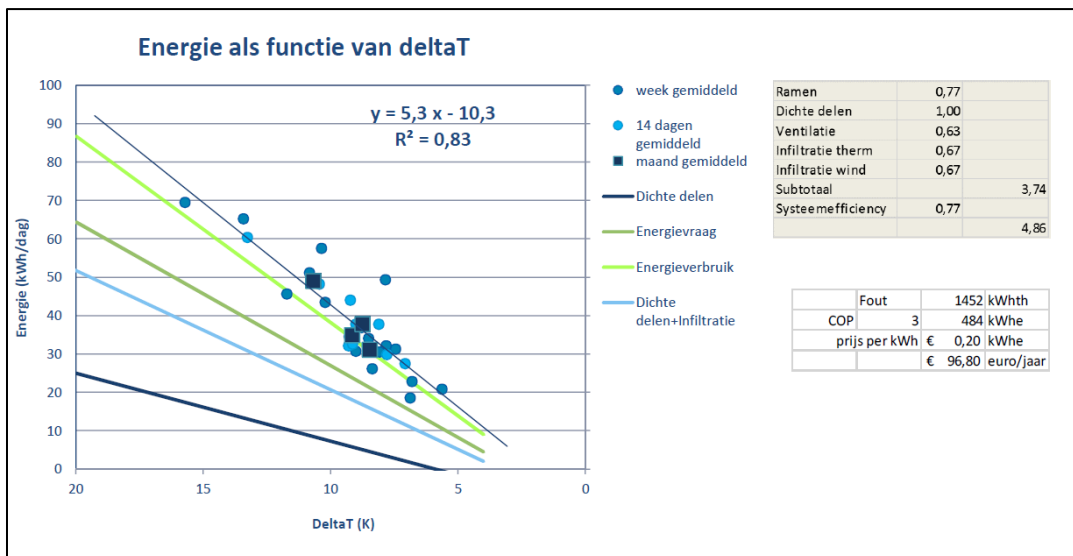
Resultaten

Een afpelmethode bleek niet toepasbaar door gebrek aan data, door niet voldoende nauwkeurige data en door lange tijdconstanten van gebouw en juist zeer korte tijdconstanten van installaties.

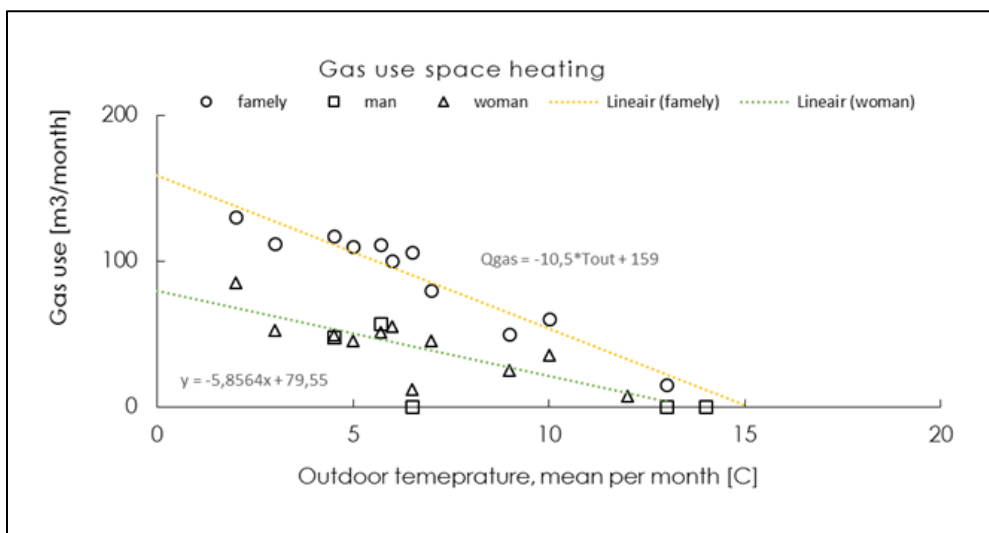
Gebleken is door analyse van de meetdata dat een maandelijks vergelijk tussen voorspelling en werkelijk energiegebruik tot acceptabele en werkbare resultaten leidt.

Gebruikersgedrag is regelmatig op maandbasis, dagverschillen zijn niet waarneembaar, zie data D2.1.

De analytische fittingmethode kan aan de hand van een lineair model worden toegepast. Indien er op maandbasis verschillen ontstaan tussen de voorspelde lijn en de gemeten lijn dan is dat aanleiding om na te gaan wat er is gewijzigd in gebruikersgedrag, installaties of gebruik van bouwkundige elementen. Om vervolgens na te gaan wat een gewenste wijziging van het gedrag zou kunnen zijn.



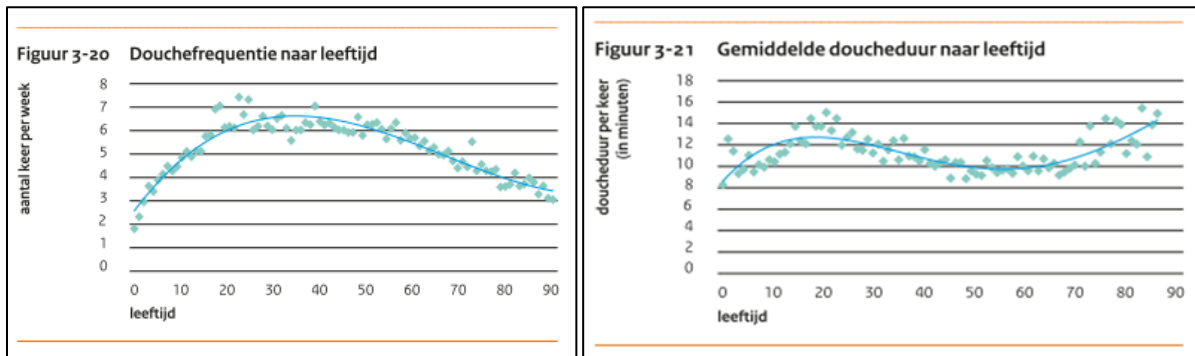
Figuur 20. Energiegetallen van de Modlarwoning. Een eerste aanleiding om de dominantie van de buitentemperatuur te gebruiken voor de fittingmethode.



Figuur 21. Gasgebruik voor ruimteverwarming voor de drie casuswoningen van ZoWonen.

Datamodel voorspelling warmtapwaterverbruik

Modelleren van de vraag naar warmtapwater voor douchen uit het Woon-onderzoek van Rigo [2011].



Figuur 22. Praktijkdata met en goede voorspellende waarde van het gebruik van warmtapwater op basis van leeftijd.

Gedrag

Het energiegebruik in woningen kent drie hoofdonderdelen:

- Ruimteverwarming
- Warmtapwaterverwarming
- Elektriciteitsgebruik huishoudelijke apparaten

Uit onderzoek uit GEN, gekoppeld aan de monitoringresultaten van de Excellente gebieden door TNO is gebleken dat deze hoofdonderdelen ontkoppeld zijn. Dat wil zeggen dat per energiepost het gebruik onafhankelijk is van het gebruik van de andere energieposten. Vanuit ons gebruikersgedrag is daar wel wat voor te zeggen omdat de waarde die ons het energiegebruik geeft volstrekt anders kan zijn. Bijvoorbeeld iemand die veel thuis is en lage energiekosten wil, zet de verwarming laag. Aan de andere kant kijkt deze persoon graag televisie om de dag door te komen. Dit energiegebruik geeft deze persoon een andere waarde.

Een globaal verband tussen energiegebruik en m2 BVO is in meerdere studies aangetoond. Vanuit het samenwerkingsverband PALET uit parkstad Limburg is een excelblad met energiegebruiken afgeleid op basis van m2 BVO, woningtype, bouwjaar en bewonerssamenstelling. Dit excelblad (D 4.2.3.) heeft goede voorspellende waarde om het gebruikersgedrag vast te stellen tav van de hoogte van de binnentemperatuur. Het is bovendien een basis om bij energiegetallen die alleen op jaarbasis beschikbaar zijn zoals bij bestaande bouw, een onderbouwing te geven voor de energielasten bij renovatie, (zie ook D 5.3.1.) Energiediensten.

	Corresponderende bijlage
WP 4.2	4.2.1 Monitoring Breitnerstraat 23 (<i>vertrouwelijk</i>) 4.2.2 Casus Elbereveldstraat (<i>vertrouwelijk</i>) 4.2.3 Gebruikersprofiel (<i>vertrouwelijk</i>)

Discussie, conclusie en aanbevelingen

Voor uurlijkse waarden treedt grote variantie op die voor een stookseizoen leidt tot een puntenwolk. Een regressie-analyse op deze data is zinvol om het verband met de buitentemperatuur aan te tonen, maar tegelijkertijd is de spreiding groot. Deze spreiding wordt kleiner naarmate de data over een langere periode wordt gemiddeld. Hieruit volgt dat een maandelijkse middeling tot herkenbare data leidt.

De fitting-methode bestaat er dan ook uit om maandelijkse energieverbruiken te vergelijken, gecorrigeerd voor de binnen en buitentemperaturen. Dit houdt in dat we veranderingen in gedrag en werking van installatie kunnen waarnemen op een tijdsresolutie van een maand.

Veranderingen in warmtapwatergebruik en elektriciteitsgebruik zijn zichtbaar op weekbasis en in elk geval op maandelijkse basis.

Het meten van de conversierendementen is niet toegepast omdat de kosten hiervoor hoog zijn wat toepassing in de praktijk sterk zal belemmeren (ca. 500 euro voor een warmtemeter).

3.5.3.3 Gevalideerde methode (Taak 4.3)

Inleiding en doelstelling

De uiteindelijke gebruikers en toepassers van het rekenmodel en de analytische vergelijkingsmethode hebben behoefte aan kennis over de nauwkeurigheid die verwacht mag worden van individuele berekeningen en van projectgemiddelden. Incidenteel doen zich extreme gebruikers voor die lastig te identificeren zijn (iemand die minder bewust is gebruikt meer energie, maar kan ook vragen over zijn energieverbruik minder goed beantwoorden).

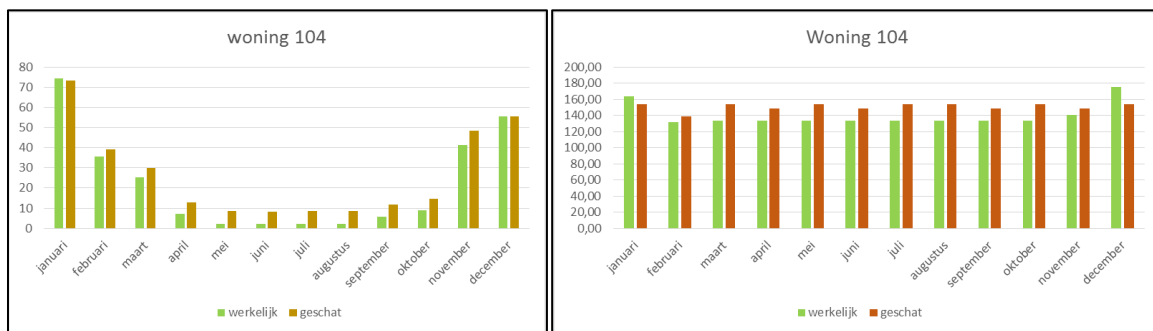
Bij het geven van energiekostengaranties vormt deze groep een risico. Er is daarom behoefte aan statistische data vanuit de optiek van garanties en risicobeheersing (zie ook taak 5.3): als statisch betrouwbare informatie over extremen en distributiefuncties bekend is, zijn risico's makkelijker af te dekken c.q. te verzekeren. Het resultaat is inzicht in de invloed van extremen bij energiekosten garanties en bij het opstellen van financieringsmodellen en business cases.

Werkwijze

Analyse van besparingspotentie door vergelijking van voorspeld verbruik en gemeten verbruik. Met fittingmethode kan elke woning worden begrepen. Sommige woningen hebben een groter potentieel op besparing door gebruikersgedrag dan anderen.

Resultaten

Figuur 23 geeft de resultaten van de vergelijking van gasgebruik voor verwarmen en het huishoudelijk elektriciteitsgebruik,



Figuur 23. Voorspeld en gemeten gasgebruik voor verwarmen en voor gebruik van huishoudelijke elektriciteit (rechts).

De resultaten voldoen goed. Het voorspelde gebruik is wat hoger. Uit meting van de CO₂-concentratie blijkt dat deze regelmatig in de nacht te hoog is. M.a.w. er is behoefte aan meer ventilatie. Daardoor kan het verbruik toenemen waardoor voorspelling en meting dichter bij elkaar komen te liggen.

	Corresponderende bijlage
WP 4.3	4.3.1 Overzicht Ebuddy ingevulde parameters (<i>vertrouwelijk</i>) 4.3.2 Energie vergelijking grafieken (<i>vertrouwelijk</i>)

Discussie, conclusie en aanbevelingen

Met de rekenmodule is op maat per woning een goede voorspelling te doen.

Meten van binnenklimaat is basis voor discussie over energie. Bij toekomstige ontwikkeling zal het binnenklimaat in de data en bij de vergelijking expliciet moeten worden aangegeven.

3.5.4 Product- en dienstontwikkeling (WP 5)

Nr.	Titel / omschrijving	Bijbehorende taak/ taken
D5.1	Uitbreidingsets voor monitoring voor 2 bestaande systemen	Ontwikkelen uitbreidingsset
D5.2	Applicatie voor vergelijking en analyse werkelijk en voorspeld energiegebruik	Ontwikkelen van applicatie voor vergelijking en analyse werkelijk en voorspeld energiegebruik
D5.3	Energiedienst voor gegarandeerde energiegebruiks-/lasten proposities	Ontwikkelen van propositie voor gegarandeerde energiegebruiks-/lasten

3.5.4.1 Uitbreidingsets voor monitoring voor 2 bestaande systemen (taak 5.1)

Inleiding en doelstelling

In deze taak zijn de voorzieningen aangegeven om te zorgen dat alle benodigde variërende data (zoals eerder dit project vastgesteld) van een woning, geautomatiseerd verzameld en opgeslagen wordt op een centrale locatie. Daar waar er nog geen aanwezige techniek is om bepaalde benodigde data te verzamelen waar TRECO op kan aansluiten zal deze worden aangevuld in de vorm van een te ontwikkelen uitbreidingsset.

Werkwijze

Gewenste functionaliteit en eigenschappen vaststellen

Middels een aantal werkbijeenkomsten met onderzoekers uit de werkpakketten 2, 3 en 4 is eerst vastgesteld welke functionaliteiten en welke eisen en wensen, en uiteindelijk dus ook welke requirements er aan het systeem worden gesteld.

Tijdens het zoeken naar mogelijke oplossingen wordt er telkens de volgende volgorde gebruikt:

1. Conceptueel Ontwerp : Wat is op conceptueel niveau een passende benadering.
2. Functioneel Ontwerp : Hoe zou het functioneel het beste uit te voeren zijn.
3. Technisch Ontwerp : Hoe kunnen we dit realiseren, is dit al op de markt aanwezig of hoe reëel is het om dit zelf te bouwen als het niet op de markt is.

Conceptueel ontwerp

Proof of Concept en Test

Na het selecteren van één of meerdere ideale oplossingen voor de verschillende opgaven is gestart met bouwen aan een Proof of Concept om de realiseerbaarheid en de gewenste functionaliteit te kunnen testen.

Hergebruiken al aanwezige sensoren

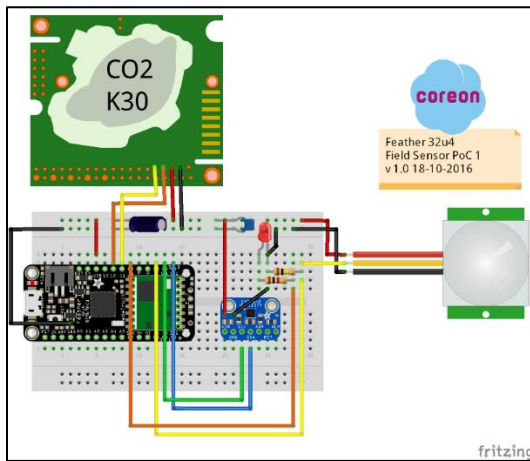
Onderzocht is welke reeds in een woning aanwezige sensoren en data te (her)gebruiken zijn. Zo is gebruikgemaakt van sensoren en data van de thermostaat (setpoint en ruimtetemperatuur), de cv-ketel (apart gasgebruik voor ruimteverwarming en warmtapwaterverwarming) en de slimme meter (kwartierwaarden voor elektriciteit en uurlijkse waarden voor de gasmeter).

Gebruik van Community gedreven Open Platform en Open Source kennis en producten

Er is gebruikgemaakt van meerdere Community gedreven Open Platformen en Open Source producten. Door "gebruik" / "deel uit" te maken van communities (tot soms wel vele tienduizenden personen die hun kennis en ervaring delen) kan er veel meer bereikt worden dan wanneer er geheel zelfstandig aan een oplossing wordt gewerkt.

Een aantal voorbeelden van de vele Open Source communities die zijn gebruikt:

- Ubuntu Linux <https://community.ubuntu.com/>
- Odroid <https://forum.odroid.com/>
- Raspberry Pi <https://www.raspberrypi.org/community/>
- homeautomation <http://homeautomation.proboards.com/>
- Arduino <https://forum.arduino.cc/>
- MariaDB <https://mariadb.com/kb/en/library/community/>



Figuur 25. Technisch ontwerp van het hardware gedeelte van één van de Field Sensor Modules.

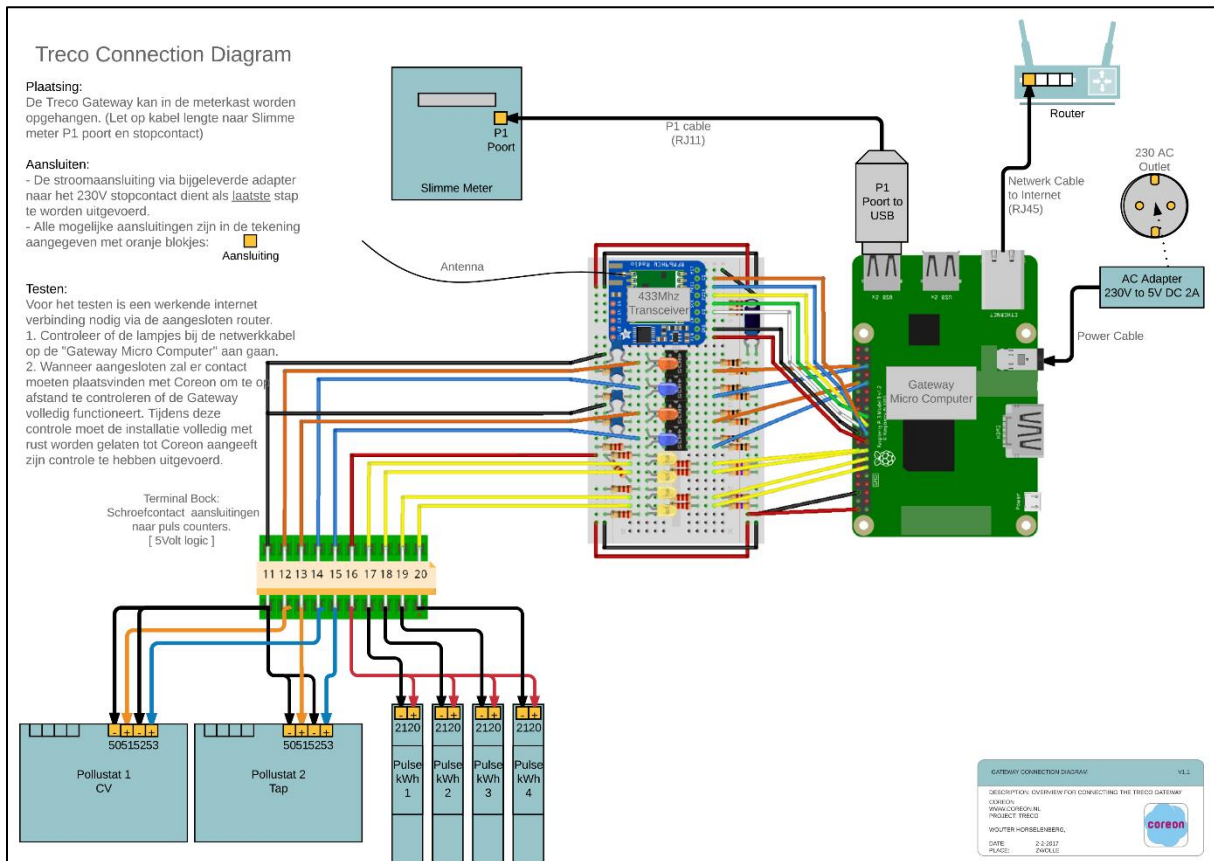


Afbeelding 2. Eerste vijf 433MHz mini-sensor-modules voor test en demo.

Het draadloos gedeelte tussen de mini-sensor-modules (Field Sensors Module) en de gateway is voorzien middels een open hardware module op de 433MHz (optioneel ook in 868MHz of zelfs als LoRa versies beschikbaar) ISM band, welke voorziet in encrypted data transmissie.

Voeding is nog via een externe adaptor – batterijvoeding is zeker mogelijk met huidige hardware set maar vergt doorontwikkeling (out of scope).

Voor de Gateway is een open hardware Odroid C1+ computer gebruikt met open source Linux OS (Operating System) hierop geïnstalleerd. Door toevoeging van meerdere andere open source software modules en een deel eigen software- en integratieontwikkeling was het mogelijk vele functies met alleen deze relatief goedkope computer en wat basis onderdelen te realiseren.



Figuur 26. Technisch ontwerp van het hardware gedeelte van de TRECO Gateway.

Resultaten

- Installatie Documentatie (welke sensoren in welke huizen met welke ID's);
- Uitgebreid functioneel en technisch ontwerp;
- Ontwikkeling van PoC hardware;
- Ontwikkeling van PoC software;
- Integratie tussen alle verschillende onderdelen en database;
- Realisatie en testen van meerdere PoC meet sets;

Eindresultaat:

6 Werkende PoC meetsets t.b.v. de validatie periode.



Afbeelding 3. Zes werkende PoC meetsets t.b.v. de validatie periode.

	Corresponderende bijlage
WP 5.1	5.1.1 Data management in gebouwen Groep 1 (<i>openbaar</i>) 5.1.2 Data management in gebouwen Groep 2 (<i>openbaar</i>)

Discussie, conclusie en aanbevelingen

Bestaan van techniek vs beschikbaarheid:

We ondervonden dat de techniek voor de verschillende gewenste functionaliteiten ruimschoots bestaat. Echter is de beschikbaarheid van alle gewenste functionaliteiten bij elkaar als één systeem en als kant en klaar product op de markt niet of nauwelijks te vinden. Sommige producten kwamen in de buurt maar waren vaak nog in ontwikkeling, te duur, behaalden niet de gewenste resultaten, of waren gesloten systemen welke niet openstaan voor meer toepassingen of functionaliteiten. Dit heeft uiteindelijk tot het gezamenlijke besluit geleid om zelf alle bestaande technieken welke wel voldoen aan de vraag vanuit TRECO te combineren tot een eigen Proof of Concept van een product met de gewenste functionaliteiten. Dit om de voortgang van dit project te bevorderen en aan te tonen dat het technisch mogelijk is.

Validatie omgeving vs experimentele omgeving en aard van dit PoC:

We ondervonden wat uitdagingen doordat bepaalde eigenschappen van de validatie-omgeving waar het PoC opgebouwd zou gaan worden meerdere keren veranderde gedurende het project. Dit conflicteerde meerdere keren met wat als PoC haalbaar was binnen de beschikbare resources en initieel ontwerp. Er zijn gezamenlijk besluiten genomen t.b.v. de voortgang van het project en is er zover mogelijk, en met zo min mogelijk beperkingen in het eindresultaat, gewerkt aan aanpassingen om toch bepaalde functionaliteiten te kunnen bieden.

3.5.4.2 Applicatie voor vergelijking en analyse werkelijk en voorspeld energieverbruik (taak 5.2)

Inleiding en doelstelling

Een toepassing creëren welke goed past binnen TRECO waarmee automatische vergelijkingen kunnen worden gedaan tussen werkelijk en voorspeld energieverbruik zodat deze ook aan een gebruiker teruggekoppeld kan worden.

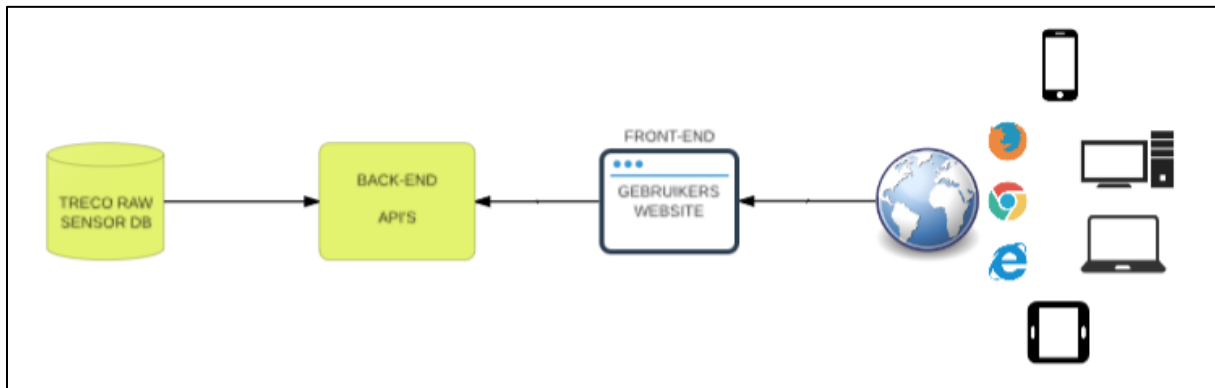
Naast deze tool is er ook een interface ontwikkeld.

Werkwijze

Zelfde werkwijze is gevolgd als bij werkpakket 5.1.

Informatie terugkoppeling:

Voor de ontwikkeling van deze applicatie is er vanuit de gebruikerskant gekeken wat een geschikte manier zou zijn om deze informatie beschikbaar te stellen (Front-End). Hier is besloten dat een web app (website applicatie) het meest flexibel en passend zou zijn. Begin 2016 zijn de eerste stappen gemaakt naar een interface waarop informatie teruggekoppeld kan worden naar de gebruikers middels een website. Deze interface is opgesplitst in een "Back-end" en een "Front-end" gedeelte. Het back-end gedeelte voorziet in een interface/api-laag om communicatie met de database bruikbaar te maken voor andere modules/werkpakketten en organisaties. De front-end geeft een visuele terugkoppeling aan gebruikers zoals de bewoners. De front-end (her)gebruikt hiervoor de back-end om de juiste genormaliseerde data op te vragen uit de database en dit om te zetten naar bruikbare informatie.



Figuur 27. Overzicht structuur voor een terugkoppeling van data in database naar een gebruikersapparaat via een web-interface.

Ontwikkeling API

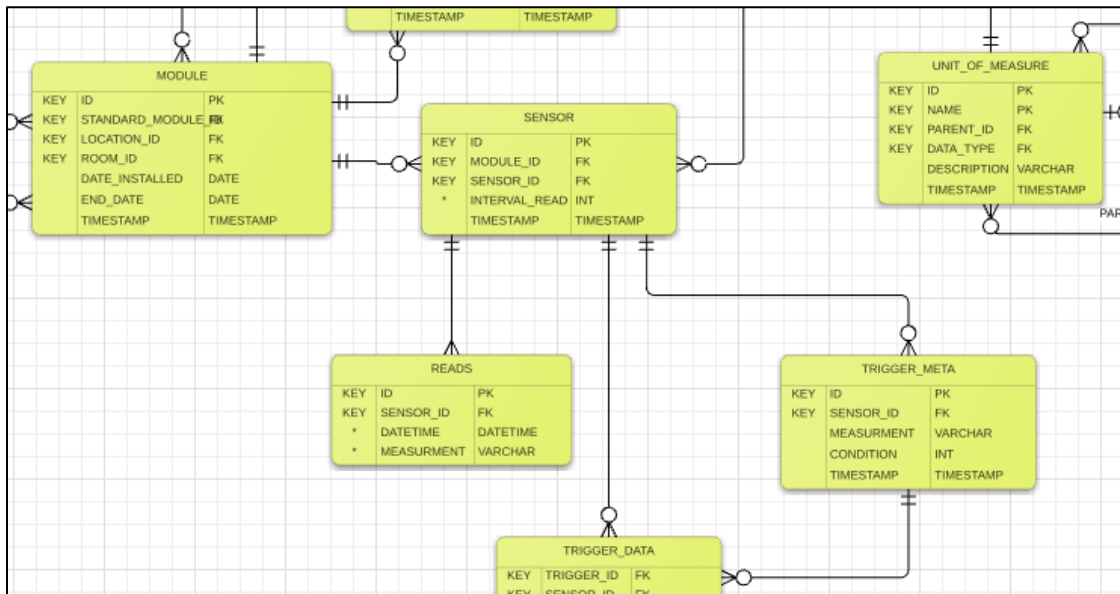
De ontwikkeling van een API op de TRECO RAW Sensor DB heeft plaatsgevonden in samenspraak tussen de Twee Snoeken, Huygen en Coreon. De Twee Snoeken heeft deze API ontwikkeld, zodat er makkelijk en automatisch een aanvraag kan worden gedaan bij de DB voor het ophalen of verwerken van genormaliseerde data. Daarnaast geeft een API vele andere voordelen zoals: “flexibiliteit”, “bruikbaarheid”, “beheersbaarheid” en “veiligheid”.

Database

Tijdens het ontwerpen en het operationeel maken van de Sensor Database door Coreon is er rekening gehouden met de mogelijkheid om vergelijkingen te kunnen maken met data en deze ook te kunnen verwerken.

De eerste test (TRECO RAW Sensor) database was al operationeel eind 2015 om het microklimaat meetsysteem te voorzien van een locatie waar data opgeslagen kan worden. Gedurende de verdere ontwikkeling zijn er telkens meer sensoren aan de database gekoppeld ter validatie en zijn er meerdere updates in het ontwerp geweest. Met het uiteindelijke ontwerp is de gehele database opnieuw gebouwd in een hosted omgeving welke nu voor het TRECO project wordt gebruikt. Deze huidige versie is een database welke zich buiten de woning bevindt en de mogelijkheid biedt om data van meerdere woningen te verwerken. Een kopie van de database kan ook per woning lokaal geplaatst worden om elke woning van eigen database te voorzien waarna de centrale (hosted) database weg gehaald zou kunnen worden. Het plaatsen van de database binnen een woning geeft extra mogelijkheden zoals: “een onafhankelijk systeem, bewoners eigenaar maken van alle meet-data (in kader privacy kan dit erg belangrijk blijken)”.

Voor dit onderdeel hebben studenten van Zuyd richting Informatica een uitwerking van een lokale server opgezet die als uitgangspunt voor productontwikkeling kan worden gehanteerd. Deze uitwerking is opgenomen bij bijlage D5.1.1. en D5.1.2.



Figuur 28. Onderdeel uit het database ontwerp voor Treco (SENSOR DATA)

Aanzet tot productontwikkeling

Interface

Het ontwerp van de Interface als vergelijkingsapplicatie is geënt op methodes die Telecombedrijven gebruiken om bellers inzicht te geven in het verbruik van hun belbundels.

Resultaten

Database

Er is een database ontworpen en gebouwd voor het opslaan en beschikbaar stellen van: “het werkelijke energiegebruik”, “het voorspeld energiegebruik” en “het resultaat van de vergelijking tussen het werkelijk en voorspeld energiegebruik”. Tijdens de ontwikkeling van de database is rekening gehouden met zaken als opschaalbaarheid en flexibiliteit om op een gestructureerde manier meer informatie over een meting te ontsluiten terwijl zo min mogelijk data per meting wordt verbruikt. Zo kan een werkgroep bijvoorbeeld ook de door de fabrikant geleverde specificaties opvragen over een de sensor waarmee een bepaalde meting is gedaan, zoals hoe nauwkeurig deze sensor kan meten en dit dus ook meten meenemen in een berekening.

Database API

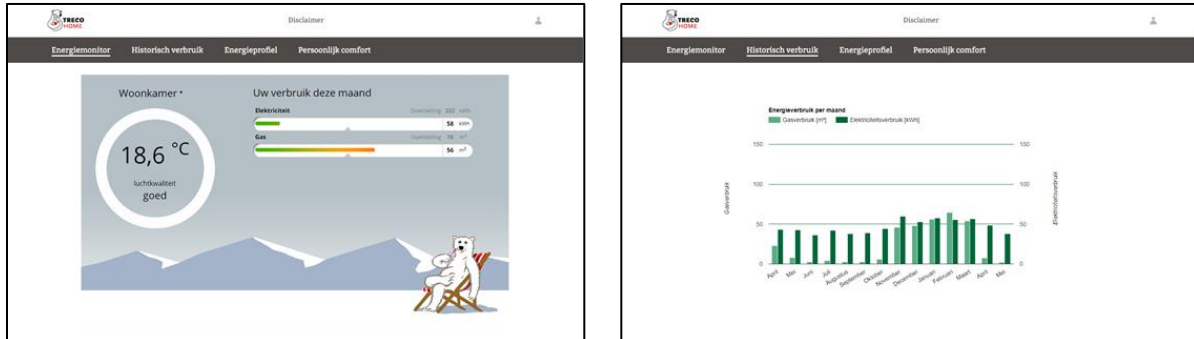
De Twee Snoeken heeft een API gebouwd voor de eerdergenoemde database om eenvoudig data te kunnen ontsluiten en te kunnen verwerken zonder diepgaande kennis van het systeem. Hierdoor wordt het mogelijk om snel en éénvoudig data op te vragen over een gewenste periode en deze naast een te vergelijken waarde te houden. Door het gebruik van een API kan een Front-End omgeving zoals een website dit geheel automatisch uitvoeren. Daarnaast kunnen de vergelijkingswaardes zelf ook in de Database verwerkt worden en dus ook door andere werkgroepen opgevraagd en vergeleken worden.

Hosting

Er is een hosted omgeving gemaakt en beschikbaar gesteld voor Huygen, de Twee Snoeken, Coreon, en andere partijen van TRECO welke direct toegang wensen te hebben t.b.v. de TRECO RAW Sensor DB of voor het hosten van bepaalde websites of API applicaties direct gerelateerd aan TRECO.

Interface

In figuur 29 staat de hoofdopzet van de interface weergegeven.



Figuur 29. Twee screenshots van de TRECO-interface

Hoewel geënt op telecom principes blijken bewoners het lastig te vinden deze visualisatie te interpreteren. Blijkbaar moet het nog veel eenvoudiger worden weergegeven. De informatie over de luchtkwaliteit is ondergeschikt weergegeven waar later uit blijkt dat dat het item is waar de bewoners het meest op letten.

	Corresponderende bijlage
WP 5.2	5.2.1 TRECO_Sensor lijst (<i>openbaar</i>) 5.2.2 Uitbreidingsset op slimme meter voor monitoring (<i>vertrouwelijk</i>) 5.2.3 GEMI_GZD challenge (<i>openbaar</i>) 5.2.4 TRECO Gebruikersinterface (<i>openbaar</i>) 5.2.5 MOBISTYLE user centric approach (<i>openbaar</i>)

Discussie, conclusie en aanbevelingen

Het bouwen van een applicatie vergt kennis en expertise van verschillende disciplines binnen de ICT. Naast kennis van een database is kennis nodig van diverse communicatieprotocollen. Bovendien moeten deze communicatietechnieken geïmplementeerd worden op een soort Arduino-moederbordje.

Deze back-end zaken zijn voor een bewoner niet zichtbaar, en hij veronderstelt dat dit wel soepel verloopt. Dat zijn we immers gewend van allerlei andere toepassingen op tablets en mobiele telefoons. Als hier iets misgaat zie je de belangstelling bij de bewoner al verslappen.

Verder is de interface hetgeen de bewoner van TRECO ziet. Hij is daar ook heel gevoelig op. Het TRECO-projectteam ziet ook alles wat erachter zit en is geneigd het interface als een onderdeelje te zien, terwijl dit voor de bewoner het allerbelangrijkste is. Dit blijkt een project op zich te kunnen zijn om deze bewonerscommunicatie te kunnen voeren, wat een belangrijk les is uit TRECO.

3.5.4.3 Energiedienst voor gegarandeerde energiegebruiks/-lasten proposities (Taak 5.3)

Inleiding

Met een grotere zekerheid m.b.t. het totale energiegebruik wordt een raamwerk voor een energiedienst opgezet, gebaseerd op het aanbieden van gegarandeerde energiegebruiks/-lasten proposities. Hiermee kunnen bijvoorbeeld projectontwikkelaars en woningbouwverenigingen 'Totale Energiekosten Garantie Contracten' afsluiten met hun klanten. Een belangrijk kenmerk van deze contracten is dat dit een verantwoordelijkheid van de totale keten impliceert:

- Eindgebruikers zijn verantwoordelijk voor hun eigen bewustzijn over energieverbruik en-gedrag

- Corporaties en eigenaren van gebouwen zijn verantwoordelijk voor (het handhaven van) de energetische kwaliteit van hun gebouwenbestand
- Projectontwikkelaars zijn verantwoordelijk voor de energetische kwaliteit van hun producten (zowel nieuw als na renovatie) met inbegrip van de kwaliteit van de geleverde componenten
- Toeleverende industrieën zijn verantwoordelijk voor de kwaliteit van hun producten (met name de betrouwbaarheid van de energieprestaties) en het verstrekken van echte en realistische cijfers in plaats van ideale cijfers
- Uitvoerende partijen zoals installateurs, aannemers etc. zijn verantwoordelijk voor de kwaliteit van hun werk, met name de betrouwbaarheid van de energieprestaties

Deze taak betreft het formuleren van een raamwerk voor een dienst naar de markt toe op basis van de bevindingen uit het TRECO onderzoek.

In de markt zijn meerdere aanbieders van monitoringssystemen voor energieprestatiegarantie-proposities. Gezamenlijk kenmerk van deze systemen is dat het allemaal totaalproposities zijn, strikt gericht op het inzichtelijk maken van de energiestromen in een gebouw. Met voorgeschreven meters/sensors en een vaste database in eigen beheer, en een (zeer) sterke focus op EPV en NOM.

Doel van TRECO is om een flexibeler energiedienst te bieden, toegespitst op de belangrijkste behoeften van de verschillende partijen in de bouw- en woonketen.

Werkwijze

Vanuit andere taken binnen TRECO is er een inventarisatie gemaakt van bestaande monitoringssystemen. Deze inventarisatie wordt benut als input voor deze taak, waarbij de belemmeringen van toepassing van deze systemen zo mogelijk worden weggenomen.

Het aanbieden van energieprestatiecontracten, in het bijzonder bij EPV- en NOM-woningen, heeft een duidelijke belangstelling in de markt. Toch is er een terughoudendheid in het grootschalig implementeren van energiemonitoringssystemen in (ver-)nieuwbouwwoningen. Via een marktverkenning worden in deze taak de belemmeringen bij de verschillende stakeholders expliciet gemaakt.

Door de belemmeringen van de stakeholders te spiegelen met de resultaten uit de verkenning van de bestaande systemen, wordt een raamwerk voor de TRECO energiedienst zichtbaar. Dit raamwerk wordt vervolgens met input uit de andere taken specifiek en concreet gemaakt.

Resultaten

Uit de verkenning van bestaande monitoringssystemen is naar voren gekomen dat de geslotenheid van de databases en de communicatieprotocollen een belemmering vormen om een flexibele energiedienst op te kunnen zetten. Omdat deze belemmeringen vroegtijdig in het TRECO onderzoek benoemd zijn, is de energiedienst ten principale flexibeler dan bestaande oplossingen. Zowel vanuit het perspectief van de hardware als het dataplatform biedt de TRECO energiedienst veel grotere vrijheden dan andere energiediensten.

Voor de verschillende stakeholders blijken verschillende motivaties opgang te doen, die een investering in een energiedienst rechtvaardigen. Hierna per stakeholder de belangrijkste:

Woningeigenaren

Bewoners van een huis vinden het vaak lastig om hun energieverbruik te koppelen aan hun gedrag. Het energetisch en financieel effect van het openzetten van een deur of van de thermostaat een graadje hoger zetten is voor veel bewoners onbekend. Energie is een 'ongrijpbare entiteit'.

Toch zijn steeds meer mensen bezig met hun energiehuishouding. Uiteraard vanuit financiële motieven, maar ook steeds meer vanuit het besef dat verminderen van energieverbruik goed is voor het leefklimaat van de toekomst. De investeringsbereidheid van woonconsumenten in het verkrijgen van inzicht en grip op hun energiehuishouding neemt dientengevolge toe.

De interesse voor een energiedienst wordt bij de woonconsument vooral gewekt als de energiedienst er in slaagt om op het individu toegespitste aanwijzingen te geven over de mogelijkheden tot energiebesparing. Als

men zich daarbij kan spiegelen aan vergelijkbare huishoudens, geeft dit een extra motivatie om energie te besparen.

Woningbouwcorporaties / beleggers

Professionele gebouweigenaren zijn vooral geïnteresseerd in een courante voorraad, nu en in de toekomst. Daar waar de energielasten hierin in het verleden een ondergeschikte rol speelden, vormen deze nu een relevant investeringscriterium. Een exponent hiervan voor corporaties is de publiekrechtelijk vastgelegde Energie Prestatie Vergoeding. Voor beleggers doet het privaatrechtelijke Nul op de Meter principe opgang.

Niet alle professionele eigenaren willen zich meteen vastleggen aan uitgebreide garantiesystemen als EPV en NOM. De administratieve lasten en initiële investeringen schrikken af, ook hebben partijen twijfels over de onderliggende businesscases.

De behoefte aan een laagdrempelige energiedienst is daarentegen bij veel partijen aanwezig. Aantoonbaarheid is daarbij het belangrijkste, door het kunnen meten en vergelijken van opstallen.

Projectontwikkelaars

Voor zeer energiezuinige woningen kan de huizenkoper extra hypotheekruimte krijgen. Daarnaast is er de maatschappelijke trend van stijgende aandacht voor energiehuishouding en -besparing, zeer recent extra aangezwengeld door de aardgasdiscussie in Nederland.

Voor een ontwikkelaar, die op eigen risico opstallen ontwikkelt, zijn er daarmee duidelijke incentives om zijn verkooppropositie te versterken met een op de koper toegespitste voorspelling van de energiehuishouding van iedere individuele woning. De voorspellingsmodule in de TRECO energiedienst sluit aan op deze trend.

De behoefte, om de voorspelling uit te breiden met een energieprestatiegarantie, is nog beperkt. Enerzijds vanwege het gebrek aan goede voorspelmodules, anderzijds vanwege een discrepantie in de kosten van meetsystemen en de waarde van de garantie voor de koper.

Toeleverende industrie

Binnen de toeleverende industrie is er serieuze aandacht voor het inzichtelijk maken van de energiehuishouding van opstallen. De focus ligt daarbij op het faciliteren van opdrachtgevers en aannemers. Fabrikanten van huisinstallaties proberen de energetische prestaties van hun producten expliciet te krijgen, groothandels en dienstverleners bieden complete energiemonitoringsystemen aan. Het voornaamste doel van de toeleverende industrie is het meten van de energieprestaties van de producten die men aanbiedt dan wel het aanbieden van monitoringsproducten.

Uitvoerende partijen

Bouwbedrijven bieden altijd al garantie op hun producten. Met de toenemende aandacht voor de energiehuishouding van gebouwen, ontstaat de potentie om hiervoor garanties met de opdrachtgever / koper overeen te komen. De uitdaging voor de bouwers is gelegen in het feit, dat de gekende, wettelijk vastgelegde energieberekening (de EPC-berekening) geen precies beeld geeft van de daadwerkelijke energieprestaties van een gebouw. De achterliggende rekenmethodiek houdt 'slechts' rekening met een normverbruik van een relatief zuinig huishouden.

Voor uitvoerende partijen staat of valt het kunnen aanbieden van energieprestatiegaranties van hun opstallen met het correct kunnen voorspellen, meten en onderling vergelijken van de energieverbruiken.

Inrichting TRECO energiedienst

Vanuit de motivaties van de verschillende stakeholders is het mogelijk om een vijftal elementen te onderscheiden, die aanleiding kunnen geven tot de investeringsbeslissing in een energiedienst:

Voorspellen

Voor professionele partijen, die een woning of een energieprestatiegarantie aanbieden aan een particuliere klant, is het zeer aantrekkelijk om op voorhand een op de specifieke klant toegespitste voorspelling te kunnen

doen van het energieverbruik van de woning. De TRECO energiedienst biedt deze mogelijkheid met de Voorspellingsmodule binnen het Energiemodel. Aan de hand van de volgende parameters wordt het toekomstig energieverbruik van het huishouden berekend:

NEN 7120, aangevuld met grey-box input van:

- Woningeigenschappen
- Installatie-eigenschappen
- Binnentemperatuur
- Aantal en leeftijd bewoners
- Inventarisatie elektrische apparaten

Meten

De flexibiliteit van de TRECO energiedienst komt pas goed tot uitdrukking in de voorwaarden die gesteld worden aan de te meten parameters in de woning. Deze zijn niet alleen minimaal, maar ook vooral gericht op het kunnen visualiseren van het binnenklimaat van de woning. Uit het onderzoek is namelijk gebleken, dat de aandacht van de gebruiker meer getrokken wordt door het thema gezondheid dan door het thema energie.

Sensoren per vertrek:

- Binnentemperatuur
- CO₂-concentratie

Aangevuld met:

- Meting relatieve vochtigheid badkamer
- Uitlezen slimme meter telwerken (elektriciteit op kwartieren, gas op uren)

Binnen de TRECO energiedienst is het mogelijk aanvullende sensoren en energiemeters toe te voegen, zodat voldaan kan worden aan de voorwaarden als gesteld in bijvoorbeeld EPV- en NOM-regelgeving. Dit is vooral aantrekkelijk voor professionele woningeigenaren en de toeleverende industrie.

Vergelijken

Het kunnen vergelijken van de energiehuishouding is voor veel partijen een relevante factor in de investeringsbeslissing in een energiedienst. Voor professionele woningeigenaren is dit vooral ingegeven door hun wens inzicht te krijgen en hun woningen courant te houden, voor bewoners is het zeer aantrekkelijk om zich te kunnen spiegelen aan vergelijkbare huishoudens. Bij een energieprestatiegarantie is het kunnen vergelijken van woningen altijd van toegevoegde waarde, omdat hiermee sneller omissies opgespoord kunnen worden die de garantie kunnen bedreigen.

De TRECO vergelijkingsmodule maakt per tijdseenheid meerdere relevante verbruiksparameters inzichtelijk:

Dagelijks worden overschrijdingen van de volgende grenswaarden geregistreerd en gepresenteerd:

- Luchtkwaliteit (CO₂)
- Relatieve vochtigheid van de badkamer

Maandelijks worden afwijkingen van de volgende parameters geregistreerd en gepresenteerd:

- Efficiëntie van de warmte-opwekking (optioneel voor cv-ketel)
- Douchegebruik (info uit cv-ketel / warmtepomp)
- Daadwerkelijke en ingestelde binnentemperatuur
- Gebruikersgedrag t.a.v. elektrisch verbruik

Feedback

De belangrijkste reden voor bewoners om gebruik te maken van een energiedienst, is het kunnen profiteren van de gepresenteerde mogelijkheden voor energiebesparing. Dat is tegelijk ook de grootste domper, als blijkt dat de geboden informatie algemeen is en niet op de woning dan wel de bewoner zelf is toegespitst. Omdat de rekenmodule van TRECO met het energiehuishouden van de specifieke woning zelf rekt en de geboden informatie vooral aandacht geeft aan de kwaliteit van het binnenklimaat, zal de bewoner de geboden feedback gemakkelijker accepteren. Met een grotere kans op aanpassing van het energiegedrag.

De TRECO interface informeert de bewoner in beeldtaal over de volgende binnenklimaat-aspecten:

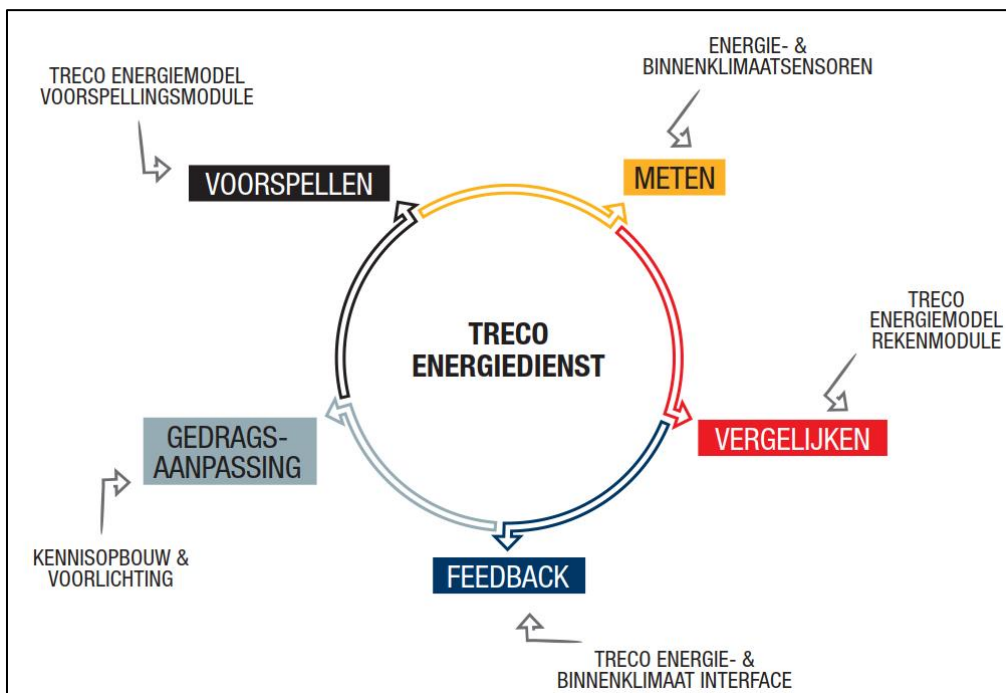
- Uurlijkse waarden over CO₂-concentraties en de relatieve vochtigheid
- Maandelijks waarden over elektriciteits- en gasverbruik
- Vergelijking van het energieverbruik met gewenste en met historische waarden

Gedragsaanpassing

Het uiteindelijke doel van iedere energiedienst is het bijdragen aan energiebesparende gedragsaanpassingen van de bewoner. Deze heeft hierin zelf een primair belang, omdat het een lastenverlichting tot gevolg heeft. Professionele partijen, die een energieprestatiegarantie op de woning hebben aangeboden, hebben vanuit hun garantieverplichting ditzelfde belang.

Binnen TRECO is vanwege de beperkingen in de onderzoeks-scope en de beperkte tijd nog niet onderzocht of en hoe het aanbieden van de TRECO energiedienst daadwerkelijk leidt tot gedragsaanpassingen van bewoners. Het is gedurende de validatieperiode wel duidelijk geworden dat gedragsaanpassingen niet alleen via goede feedback tot stand komt, maar dat ondersteuning door goede voorlichting wenselijk is. Nader onderzoek naar de meest effectieve manieren van voorlichting en kennisopbouw van bewoners die gebruik maken van een energiedienst, is aan te bevelen.

Vornoemde vijf elementen zijn te comprimeren tot figuur 30.



Figuur 30 De cyclus van voorspellen tot aan gedragsverandering door TRECO ontwikkeld

	Corresponderende bijlage
WP 5.3	5.3.1 PALET presentatie Bewoners- en gebruiksprofielen (<i>vertrouwelijk</i>) 5.3.2 FEIN Energiedienst op maat (<i>vertrouwelijk</i>) 5.3.3 Energiedienst ontwikkeling (<i>vertrouwelijk</i>)

Discussie, conclusie en aanbevelingen

Een energiedienst kan pas slagen, als er een incentive inzet voor meerdere partijen in de keten om de investering te rechtvaardigen. In de TRECO energiedienst zit voor alle ketenpartijen een meerwaarde.

Het uitbaten van de TRECO energiedienst is vooral aantrekkelijk voor partijen uit de toeleverende industrie, en dan vooral voor de dienstverleners die al actief zijn met het aanbieden van energiemonitoringsdiensten. Deze partijen hebben nu vooral diensten die gebaseerd zijn op scherp omschreven garantiesystemen als EPV en NOM.

De behoefte aan een laagdrempeliger energiedienst is in de markt duidelijk aanwezig. De TRECO energiedienst kan hierin faciliteren, en is een aantrekkelijke uitbreiding op het aanbod van voornoemde dienstverleners. De modulaire opbouw van de TRECO energiedienst maakt het vervolgens mogelijk om ook specifieke delen van de dienst aan partijen aan te bieden, daarmee de toegankelijkheid vergrotend.

3.5.5 Praktijkvalidatie (WP 6)

Nr.	Titel / omschrijving	Bijbehorende taak/ taken
D6.1	Praktijkvalidatie aangepaste smart meter sets	In de praktijk valideren van de aangepaste smart meter sets
D6.2	Praktijkvalidatie vergelijkingsmodule inclusief daaraan gekoppelde energiedienst	In de praktijk valideren van de vergelijkingsmodule in relatie tot de energiedienst
D6.3	Totaal evaluatie en aanbevelingen voor vervolgonwikkeling en introductie	Evalueren en formuleren van aanbevelingen voor vervolgonwikkeling en introductie

3.5.5.1 Praktijkvalidatie aangepaste smart meter sets (taak 6.1)

Inleiding en doelstelling

In werkpakket 5 zijn uitbreidingssets voor bestaande smart meter sets ontwikkeld en een applicatie/module die communiceert met de smart meter sets. Deze producten zijn in de praktijk gevalideerd. De systemen zijn gevalideerd op betrouwbaarheid, nauwkeurigheid, en praktische toepassing.

Werkwijze

De eerste praktijkvalidatie heeft plaatsgevonden in een semi-gecontroleerde omgeving in een testwoning aan de Breitnerlaan 23 in Heerlen. De woning was door Zuyd Hogeschool in bruikleen van de woningcorporatie Woonpunt. De woning is in de winter van 2014/2015 gerenoveerd naar een energie neutrale woning. De energetische renovatie heeft plaatsgevonden onder een Interreg IVA project.



Afbeelding 4. Pilot woning Breitnerstraat 23 Heerlen

Er is gekozen voor deze testwoning omdat deze tijdens de praktijkvalidatie bewoond waren door twee Bouwkunde studenten van Zuyd Hogeschool. Dit bood de mogelijkheid om de nieuwe producten te testen voordat ze op de markt worden geïmplementeerd. De producten zijn een jaar lang getest in de woning van

september 2015 – augustus 2016. Ook is deze eerste validatie gebruikt om te bepalen welke parameters van belang zijn om te monitoren. De ervaringen die zijn opgedaan bij deze validatie zijn gebruikt om de uitbreidingssets, de data-base en de interface voor de bewoners aan te passen.

¹ Zie voor video van de uitvoering: <https://www.youtube.com/watch?v=9k3vYWpc4gw>

¹ Partners: Van de Kreeke B.V. (leadpartner), Huygen Ingenieurs & Adviseurs, Urban Dots - Ultimatum Architecten, Hedach AG, Lambrechts N.V., Color-Dämmstein-Fassadensystem B.V., Stichting Hogeschool Zuyd

Validatie van het TNZ mensmodel

Het doel van deze studie is om verschillen in energiegebruik te verklaren als gevolg van verschillen in thermoregulatorisch gedrag van bewoners in vergelijkbare woningen. De hypothese die in deze studie is onderzocht, is dat een verschil in comfortabele binnentemperatuur tussen bewoners de reden kan zijn voor variatie in energievraag tussen vergelijkbare woningen. Daarom moet ook in de berekening van het energieverbruik real-time metingen meegenomen worden om de werkelijke verschillen in gebruikersgedrag mee te nemen. Deze metingen kunnen een alternatief zijn voor de veronderstelde setpoint temperaturen, ventilatiestromen en installatieprestaties die gebruikt worden in energiemodellen als TRNSYS, VABI of EnergyPlus.

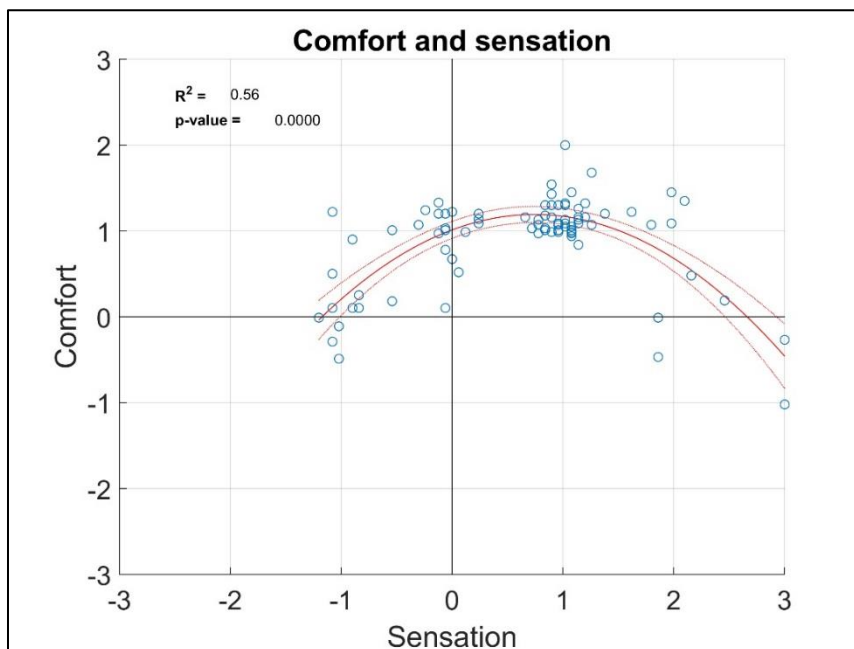
Het is mogelijk om verschillen in energieverbruik te verklaren door verschillen in gebruik van de woning. Het model dat gebruikt is in deze studie is gebaseerd op de vergelijking voor energie-inhoud $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ (1). De hypothese die in deze studie is onderzocht, is dat een verschil in comfortabele binnentemperatuur de reden kan zijn voor variatie in energievraag tussen vergelijkbare woningen. Daarom moeten tijdens de berekening van het energieverbruik van een woning real-time metingen in rekening worden gebracht om de werkelijke verschillen in setpoint temperatuur op te nemen. Dit is mogelijk met het berekeningsmodel op basis van vergelijking (1). Waarbij echte metingen (zoals in- en buitentemperaturen, ventilatiestroom, windsnelheid en energieverbruik van apparaten en installaties) worden gebruikt bij de berekening van Q [kWh]. Paragraaf 3.1 Inverse modellering heeft inverse modellering besproken om de nauwkeurigheid van dit berekeningsmodel te vergroten. Om het energieverbruik per dag te voorspellen voor een bepaalde woning met zijn gebruikspatroon, is het niet alleen nodig om de Q te kennen, maar ook de toename van de energievraag wanneer het verschil tussen de in- en buitentemperatuur toeneemt, de lineaire regressie tussen Q en ΔT .

5.1.2 Thermoregulatorisch gedrag van de proefpersonen

In aanvulling op de vorige resultaten, toont figuur 31 de votes met betrekking tot comfort en sensatie, ingevuld door testpersoon 1 gedurende drie meetweken. In deze grafiek werd een standaard 7-punts thermische sensatieschaal gebruikt, waarbij -3 erg koud of erg ongemakkelijk is, -2 koud of oncomfortabel, -1 koel of enigszins oncomfortabel, 0 neutraal, 1 enigszins warm of enigszins comfortabel, 2 warm of comfortabel en 3 is warm of zeer comfortabel is. Hieruit is te herleiden dat comfort en sensatie niet als hetzelfde worden ervaren. Proefpersoon 1 voelt zich het meest comfortabel als ze het enigszins warm heeft.

Ook kan de thermo-neutrale zone voor elk meetpunt per proefpersoon afzonderlijk worden berekend. De berekening van de thermoneutrale zone kan alleen als een stabiele toestand worden uitgevoerd. Daarom is het niet mogelijk om de thermoneutrale zone te berekenen voor de meetpunten waar de proefpersonen een hoger activiteitsniveau hebben. Het is fysiek niet mogelijk om dit activiteitsniveau gedurende een langere periode te handhaven, daarom is het niet mogelijk om een stabiele toestand te berekenen voor hogere activiteitsniveaus.

Dus de thermoneutrale zones worden alleen berekend voor de individuele meetpunten waar het metabole equivalent lager is dan 1,2 (MET <1,2). Dit betekent dat er voor deze analyse nog 58 meetpunten overblijven voor proefpersoon 1. Voor dit voorbeeld zal slechts één dag, 13 december 2015, worden gepresenteerd en besproken. De andere grafieken zijn te vinden in bijlage VII van D3.2.2.



Figuur 31. Comfort en sensatie vote van proefpersoon 1

Daarnaast zijn er twee onbekende variabelen voor de berekening van de thermoneurale zone; het metabolisme en de luchtsnelheid, deze variabelen worden niet gemeten. Wel hebben de proefpersonen hun activiteitsniveau ingevoerd in de online vragenlijst, dus hiermee kan een benadering berekend worden. De gebruikte metabolische equivalent per activiteitsinvoer kunnen worden gevonden in Tabel 1 (Ainsworth et al., 1995). De luchtsnelheid is gedeeltelijk afhankelijk van het activiteitsniveau, de luchtsnelheid rond het lichaam neemt toe als het lichaam sneller beweegt. Bovendien is de luchtsnelheid onder een deken bijna nul.

Activiteiten invoer vragenlijst	Het gebruikte metabole equivalent (Ainsworth et al., 1995)	Gebruikte luchtsnelheid
Liggen (slapen/rusten)	0.9 Met	0.05 m/s
Liggen (actief)	0.9 Met	0.06 m/s
Zitten (rusten/lezen/eten)	1.0 Met	0.07 m/s
Zitten (kantoorwerkzaamheden)	1.1 Met	0.09 m/s
Staan (licht fysieke inspanning)	Niet gebruikt in de analyse	Niet gebruikt in de analyse
Staan (gemiddeld fysieke inspanning)	Niet gebruikt in de analyse	Niet gebruikt in de analyse
Staan (zware fysieke inspanning)	Niet gebruikt in de analyse	Niet gebruikt in de analyse

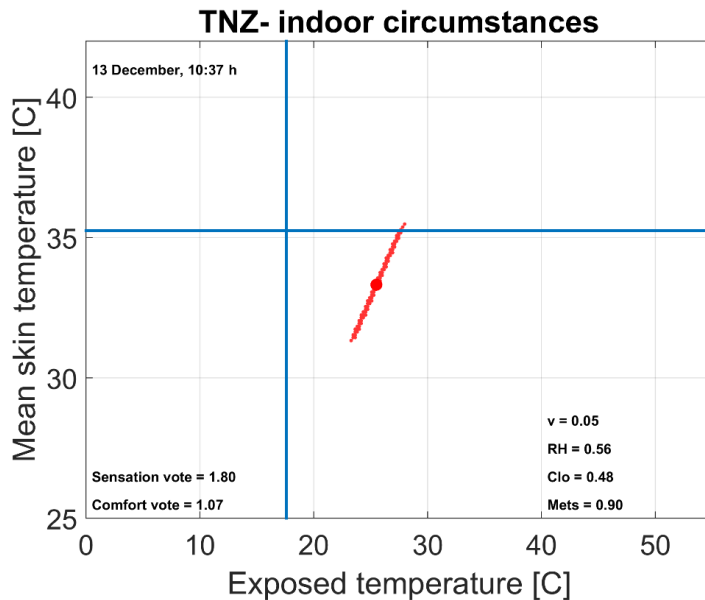
Tabel 1. De gebruikte metabolische equivalenten en luchtsnelheden per activiteiten invoer

Tijd	Actie
10:45:00	Opstaan
12:30:00	Boodschappen doen
13:30:00	Thuis komen
18:15:00	Hardlopen
18:55:00	Thuis komen
20:25:00	Douchen
22:45:00	Slapen

Tabel 2 Dag schema van zondag 13 december 2015 van proefpersoon 1

Figuur 32. toont het eerste meetpunt van 13 december 2015 van proefpersoon 1, om 10:37 uur. Ze is volgens haar schema waarschijnlijk nog steeds in bed. Zoals kan worden afgeleid uit de grafiek, meten de draadloze

sensoren een relatieve vochtigheid van 56%, een blootgestelde temperatuur van 17.6°C en een gewogen gemiddelde huidtemperatuur van 35.2°C. Volgens haar vermeldingen in de vragenlijst heeft ze een Clo-waarde van 0,48 aan en de bijbehorende metabole snelheid en luchtsnelheid zijn respectievelijk 0,9 Met en 0,05 m/s. Haar sensatie vote is 1,8 en een comfort vote van 1,07, dus ze voelt zich warm en dit is comfortabel.

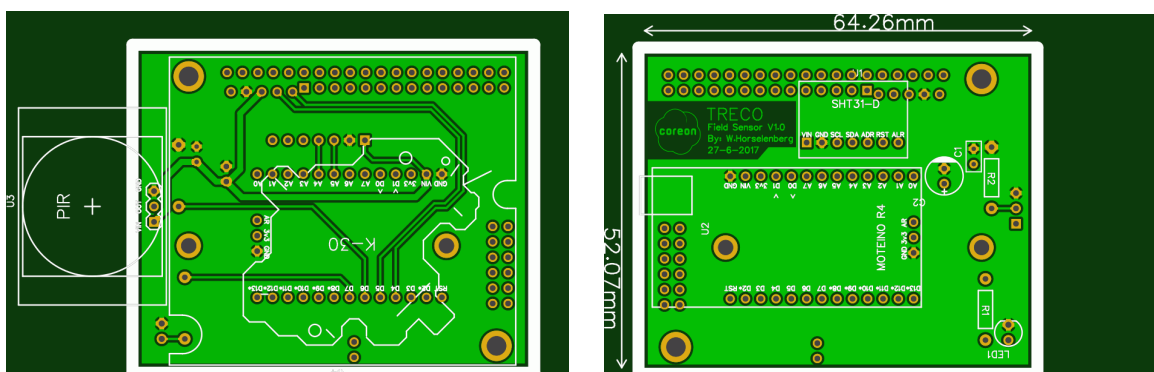


Figuur 32 Thermoneurale zone (in rood) en comfortzone (rode stip) berekend voor meetpunt 13 december 10.37 uur voor testpersoon 1, inclusief de gemeten gewogen gemiddelde huidtemperatuur (blauwe horizontale lijn) en gemeten blootgestelde temperatuur (blauwe verticale lijn)

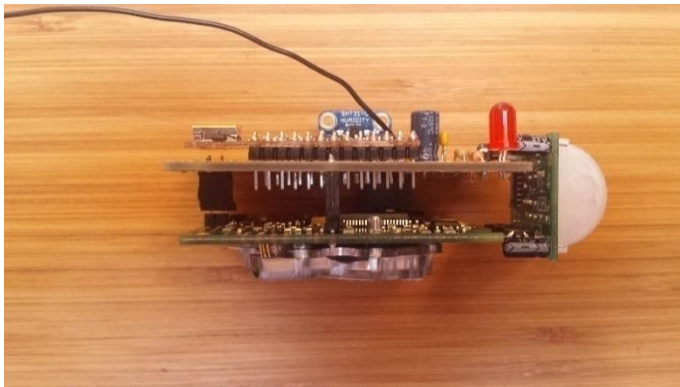
Validatie van de meetset

De sensoren, gemonteerd op de breekbordjes bleken te kwetsbaar in de omgang. Hierdoor ontstonden losse contactjes waardoor de datakwaliteit slecht was. Daarom is er besloten printplaatjes te maken. Die hebben gesoldeerde verbindingen en geven daardoor een betrouwbaar data resultaat.

In afbeelding 5 is het ontwerp van het PCB-bordje weergegeven. Op basis van dit ontwerp zijn de meetsets opnieuw samengesteld. Totale hoogte 35 mm. Metingen zijn vervolgens met goede resultaten uitgevoerd.



Afbeelding 5. Ontwerp van PCB bord voor montage van sensoren



Afbeelding 6. Prototype zoals gebouwd en getest

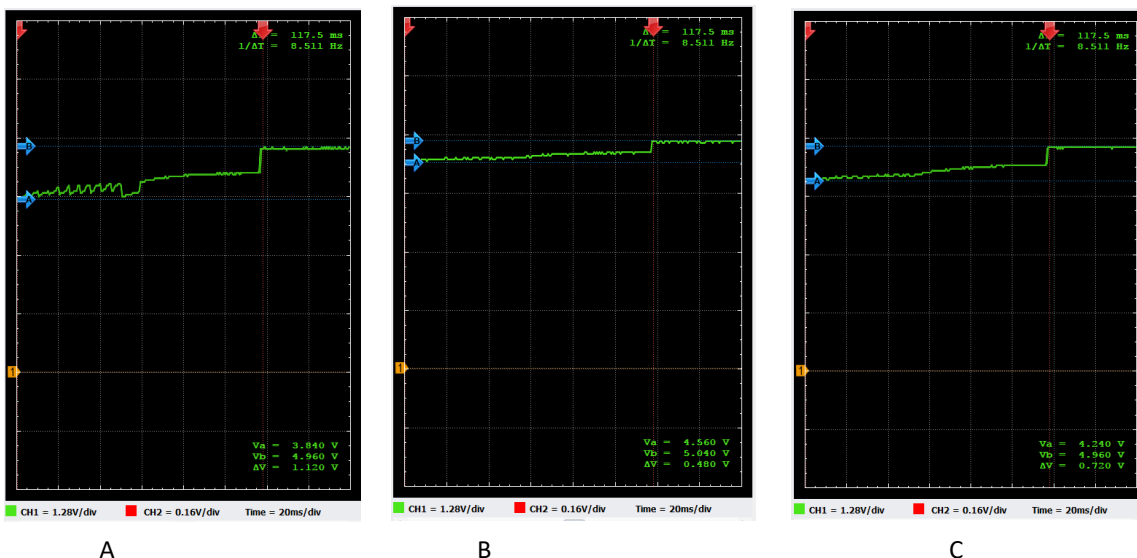


Afbeelding 7. Meetset waarvan de onderdelen in- en uit elkaar te halen zijn.

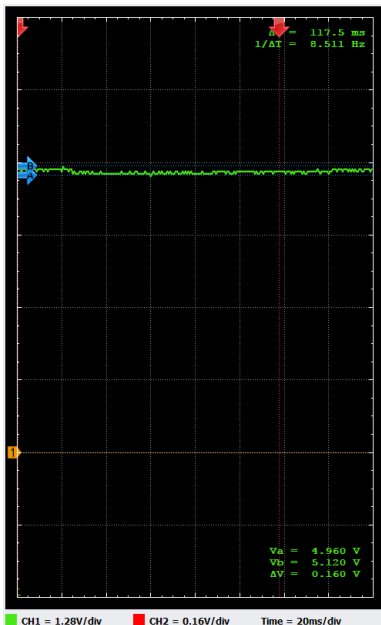
In figuur 33 is goed te zien hoe de voltage op de CO2 sensor telkens naar beneden valt tijdens een meting.

Blijkbaar zat de CO2 sensor net op de grens van wel/niet blijven werken.

Als je even aan de draadjes frutselde werd de connectie soms beter, soms slechter. Dit verklaart ook waarom sommigen het wel blijven doen, en anderen na verloop van tijd niet. Bij het nieuwe printplaatje (figuur 34) is goed te zien dat er veel beter contact wordt gemaakt en is de voltage drop bijna niet meer te zien.



Figuur 33: Meetresultaten met rechts op de afbeelding de werkelijke voltage op het hoogste(B) en laagste(A) punt, en het verschil tussen A en B.



Figuur 34. Meetresultaat na wijzigen printplaat

Validatie van de interface en TRECO als systeem

Het projectteam is op zoek gegaan naar een geschikte locatie omde praktijkvalidaties uit te breiden. Gekozen is voor woningen in de wijk Sanderbout in Sittard-Geleen van woningcorporatie ZoWonen, die bereid was hieraan mee te werken(D6.2.1.1). Aan de Irisstraat zijn 4 monumentale woningen gerenoveerd, en 10 nieuwbouwwoningen gerealiseerd. In de wijk zijn ook 16 nieuwe patiowoningen gerealiseerd in de Anemoonstraat. In juli 2016 is naar de bewoners van de geselecteerde woningen een uitnodiging gestuurd voor een bewonersbijeenkomst op 28 juli, met daarin ook meer informatie over het project (D6.2.1.2). Helaas was de opkomst bij de bewonersbijeenkomst zeer laag. Daarom zijn er nog een aantal rondes gemaakt langs de woningen om de mensen te informeren. Dit heeft uiteindelijk geresulteerd in 5 inschrijvingen van huishoudens die geïnteresseerd waren om mee te doen in het project. Voor de geïnteresseerden is een inschrijfformulier opgesteld (D6.2.1.3). Uiteindelijk zijn 3 huishoudens overgebleven:

- Gezin in een hoekwoning
- Senior man in een patio woning
- Senior vrouw in patio woning

Tussen de bewoners en het projectteam is een overeenkomst opgesteld (D6.2.1.3).



Afbeelding 8: rijwoningen Sanderbout



Afbeelding 9: bewonersbijeenkomst Sanderbout

Werkwijze

Met de bewoners heeft een intakegesprek plaatsgevonden om het project toe te lichten en afspraken te maken (sept. 2016). Tijdens het intakegesprek zijn ook de karakteristieken van de huishoudens vastgelegd. Na het gesprek zijn de smart meter sets in de woning aangebracht, bestaande uit:

- Gateway in de meterkast (verzamelt data van sensoren en slimme meter, en kan deze versturen via internetverbinding)
- Pulstellers voor elektriciteitsgebruik per groep in de meterkast
- Meetkastjes met sensoren in de leefruimten (CO₂, temperatuur, relatieve vochtigheid).

Na de installatie en testen, is met de bewoners doorgenomen wat er gemeten wordt en hoe de meegeleverde tablet met interface werkt. Op de tablet kunnen de bewoners hun energiegebruik zien, de luchtkwaliteit en de temperatuur. De bewoners mogen de tablet houden als ze een jaar meedoen aan het project.

De praktijkvalidatie is geïmplementeerd in het onderwijs van Zuyd Hogeschool, faculteit Beta Sciences en Technology. De studenten hebben de kans gekregen om met dit project ervaring op te doen in de praktijk.

In de nieuwsbrief van ZoWonen is aandacht gegeven aan het TRECO project (D6.2.1.4).

Resultaten



Trecosensoren 1.0



Trecosensoren 2.0



Trecos interface voor bewoners

Afbeelding 10.

Afbeelding 11.

Afbeelding 12.

De nauwkeurigheid van de temperatuursensoren blijkt na testen bij Huygen voldoende. Enkele sensoren hadden een systematische afwijking waarvoor is gecorrigeerd. De nauwkeurigheid op temperatuurverschillen was beter dan 0,5K. Juist omdat de ΔT met overmacht de grootste drijvende kracht is voor energiegebruik is het zaak dat de temperatuursensoren goede waarden afgeven.

	Corresponderende bijlage
WP 6.1	6.1.1 TRECO in het onderwijs (<i>vertrouwelijk</i>) 6.1.2 Stageverslag MODLAR monitoring (<i>openbaar</i>)

Discussie, conclusie en aanbevelingen

Voor een grotere pilot of een vervolg wordt geadviseerd sensoren bij leveranciers aan te schaffen in plaats van low-cost zelf te produceren. De garantie van geijkte en betrouwbare sensoren weegt zeer op tegen de tijdsbesteding van verificatie en kalibratie.

3.5.5.2 *Praktijkvalidatie vergelijkingsmodule inclusief daaraan gekoppelde energiedienst (taak 6.2)*

Inleiding en doelstelling

Deze taak heeft als eerste doel om het praktisch gebruik van de module door de bewoners te testen en te monitoren. Ten tweede heeft deze taak als doel de energiedienst zoals ontwikkeld in 5.3, te toetsen of ze bruikbaar en zinvol zijn. Ten derde heeft deze taak als doel om de resultaten van de praktijkvalidaties te analyseren en te evalueren en aanbevelingen te formuleren voor de vervolgonwikkeling en introductie op de markt.

Werkwijze

Om het praktisch gebruik van de module door de bewoners te monitoren hebben er drie kwalitatieve interviews plaatsgevonden met de bewoners van de 3 huishoudens in Sanderbout. Verder was er (soms veelvuldig) contact met de bewoners via email en telefoon.

Daarnaast is in de Slimste Woning van de Stichting Smart Homes in Eindhoven gekeken welke domotica-toepassingen er zijn. De meeste van deze toepassingen zijn gericht op ondersteuning in de zorg en ondersteuning van mindervalide personen. Deze toepassingen maken gebruik van interfaces voor bediening en het geven van informatie. Deze interfaces zijn meestal gericht op het bedienen van een toestel of toepassing en wijken daarom af van de intentie van de interface van TRECO dat inzicht in energiegebruik en binnenklimaat wil geven waarvoor bij bewoners nog geen bewustwording is.

Resultaten

In de eerste meetperioden is veel tijd besteed om de meetsets goed operationeel te krijgen. Dit leverde inzicht in hoe bewoners tegen dergelijke (ongebruikelijke) apparatuur aankijken. Het werken met een tablet voor het tonen van de Interface bleek voor de bewoners een aantrekkelijke uitdaging, maar was voordien bij de meeste nog geen gemeengoed.

Aan het einde van de tweede meetperiode is een uitvoerig eindgesprek gevoerd met de bewoners.

Er bevinden zich door de aanwezigheid van de ruimtethermostaat twee temperatuursensoren in de woonkamer: de ruimtethermostaat en het TRECO meetkastje. Hierbij is het belangrijk dat ze dezelfde waarde tonen aan de bewoner. Door een technische koppeling is dit probleem te omzeilen. De andere vertrekken hebben geen andere temperatuursensor, en daar speelt dit probleem minder. Hetzelfde geldt uiteraard voor de CO₂-sensoren.

Tijdens het eerste meetjaar blijkt dat de bewoners het jammer vinden dat ze maar van één vertrek de gegevens kunnen opvragen op de interface. Uitbreiding naar meer vertrekken is wenselijk. Dit is de tweede meetperiode dan ook gerealiseerd. Interessant is te zien dat informatie over luchtkwaliteit, een aspect dat de bewoners niet kende, nu extra informatiebehoefte oproept. Dat is een interessant gegeven om als middel te gebruiken om daarna energiebesparing eraan te koppelen.

De bewoners geven aan, in verband met het gezondheidsaspect, het interessant te vinden om de luchtkwaliteit in hun woning (vocht en CO₂) te kunnen volgen. Ook zouden ze graag het historisch energiegebruik op de tablet willen inzien om te kijken hoe hun verbruik is in de tijd. Ook dit is in de tweede meetperiode gerealiseerd.

Daarnaast willen ze graag tips ontvangen op basis van hun werkelijk energieprofiel om hun energiegebruik omlaag te krijgen. Eén huishouden was heel actief bezig met de TRECO-app, de andere twee bewoners gaven aan hier niet zo vaak op te kijken omdat ze met andere dingen bezig waren.

	Corresponderende bijlage
WP 6.2	6.2.1.1 Sanderbout bewonersbrief (<i>openbaar</i>) 6.2.1.2 Presentatie bewonersbijeenkomst (<i>vertrouwelijk</i>) 6.2.1.3 TRECO-bewonerscontract (<i>vertrouwelijk</i>)

6.2.1.4 Zowonen 02 Mijnkrant no. 6 sept 2016 (<i>vertrouwelijk</i>)
6.2.2 Evaluatie van de praktijktest (<i>vertrouwelijk</i>)

Discussie, conclusie en aanbevelingen

Uit deze TRECO-pilot volgt dat er wel degelijk bij bewoners behoefte is aan gerichte informatie. Bij monitoringsystemen zijn er tal van voorbeelden die allerlei data tonen (wat TRECO op zich ook zou kunnen doen) maar zich te weinig realiseren met welke data een bewoner echt iets kan doen met zijn gedrag.

Uit de TRECO-display, en het vervolg dat met GEMI is ontwikkeld, laat zien dat maar heel weinig data al genoeg is om een bewoner alert te maken en aan te zetten tot handelen. Omdat de bewoner weinig achtergrondkennis heeft houdt dit in dat een klein beetje data (CO₂-concentratie en maandelijks energiegebruik) al een grote impact heeft op hun beleving van wat energiegebruik en binnenklimaat eigenlijk is.

De meeste toepassingen in De SlimsteWoning hebben al een soort logica waaruit je meteen snapt waar het om gaat.

Bij TRECO hebben we ervaren met de bewoners dat zij nog weinig belangstelling hebben voor een lage energierekening als ze daar veel voor moeten doen. En over gezond binnenklimaat is nog geen algemene kennis en bewustwording bij bewoners. Het vergt een lange gewenningstijd voordat een bewoner in staat is zijn gedrag daarop aan te passen.

Ook vanuit het projectteam is het presenteren van deze data aan bewoners nieuw en is deze ervaring belangrijk voor de vervolgonwikkeling. Er is meer aandacht nodig voor de behoefte van de bewoner nog voordat je een toepassing gaat ontwikkelen of vormgeven. Vanuit deze ervaring en kennis is het project H2020 MOBISTYLE opgezet (www.mobistyle-project.eu). Hierin staat de 'user centric approach' centraal, een methodologie vanuit de antropologische wetenschap.

3.5.5.3 Totaal evaluatie en aanbevelingen voor vervolgonwikkeling en introductie (Taak 6.3)

Inleiding en doelstelling

Alle resultaten van de praktijkvalidaties (taak 6.1-3) zijn in een totaal analyse beschouwd en geëvalueerd, tevens resulterend in aanbevelingen voor verdere, productontwikkeling/aanpassing en marktimplementatie

Werkwijze

De totaalevaluatie is in eerste instantie per werkpakket uitgevoerd. Vervolgens zijn aan de hand van de praktijkvalidatie conclusies getrokken.

Resultaten

Semi gecontroleerde omgeving en praktijktest

De opzet van de praktijkvalidatie was om de meetsets eerst te testen in een semi-gecontroleerde omgeving. Er zijn eerst testen uitgevoerd bij Coreon op het prototype. In de Modlar woning zijn wel de verschillende parameters gemonitord die met de meetsets ook gemonitord zouden gaan worden. De data is daardoor bruikbaar voor de vergelijkingsmodule.

Data warmtapwater

Door de layout van de verwarmingsleidingen in de woningen konden er geen warm water meters na de cv-ketel geplaatst worden. Er zijn daarom slimme thermostaten geplaatst in de woningen die via de HR-ketels het gasgebruik voor verwarmen en voor warmtapwater apart kunnen uitlezen. Hiervoor is een samenwerking met InterGas opgezet, zij leveren iedere maand deze data aan de projectgroep aan. Ook is gebleken dat warmtemeters duur zijn en in de praktijk niet toegepast gaan worden. Daarom was het nuttig deze ervaring met InterGas op te doen.

Kwaliteit van sensoren

Na de eerste maanden van meten bleken de meetkastjes die in de verblijfsruimten zijn geplaatst voor het meten van temperatuur, CO₂ en relatieve vochtigheid niet goed te werken tijdens de winter van 2016/2017. De data viel af en toe weg of kwam helemaal niet binnen. Na een aantal testen ter plekke, is er voor gekozen om de kastjes in maart 2017 weg te halen uit de woningen. Na metingen bleek dat doordat in de eerste versie de sensoren verbonden waren met kabeltjes de spanningsverdeling toch niet goed was in de sensoren. Er is er toen voor gekozen om nieuwe behuizing en voeding te maken. De bestaande sensoren zijn hergebruikt, maar nu gesoldeerd op opmaat gemaakte printplaatjes. Deze zijn weer doorgemeten en de spanning bleek nu stabiel. Ook het data verzamelen in de database heeft geen problemen meer gegeven. De data die is verzameld bleek al bijzonder 'schoon'. Ook zijn de provisorische behuizingen van de eerste versie vervangen door 3D geprinte behuizingen. Het blijkt dat het kopen van markt gereed sensor product uiteindelijk opweegt tegen zelf produceren.

Datatransport met WiFi

Een zwakke schakel, geen onderdeel van de ontwikkeling binnen TRECO, in de dataverzameling is de wifi van de gebruikers waar het TRECO-systeem op is gebaseerd. Ondanks dat wifi in vrijwel elk huishouden gemeengoed is, is de betrouwbaarheid ervan nog niet zo groot. Zo heeft een bewoner een langshepend probleem met ZIGGO gehad. Terwijl een andere bewoner nog geen wifi-aansluiting had geregeld. Uit kostenoverwegingen is deze oplossing gekozen, maar voor grotere betrouwbaarheid is een systeem van data verzamelen buiten wifi van de bewoner wel aan te bevelen. Een toekomstig data verzamelstelsel zou wellicht van andere communicatietechnieken gebruik kunnen maken zoals: 3/4G of LoRa.

Energiemodel als grey box

Het is gebleken dat het modelleren en daarmee voorspellen van energiegebruik zonder het metabool bedrag van de persoon in kwestie te kennen niet mogelijk is. Het blijkt noodzakelijk om aan de hand van gebruiksdata (binnentemperatuur, kleding, activiteitsniveau) deze kenmerken ervaringsgewijs vast te stellen.

Zijn deze kenmerken bekend, die zich voornamelijk uiteten in de aan te houden binnentemperatuur, dan is een goede match tussen model en meetwaarden zeer goed mogelijk. Deze voorspelling is dusdanig goed dat er besparingsproposities op kunnen worden gebaseerd.

Energie rekening en gezondheid

Bewoners zijn feitelijk niet geïnteresseerd in hun besparingen in geld. Ze willen vooral waar voor hun geld, en in dit geval is dat een gezond binnenklimaat. Daar is dan ook in de bewonerscommunicatie het meeste tijd aan besteed.

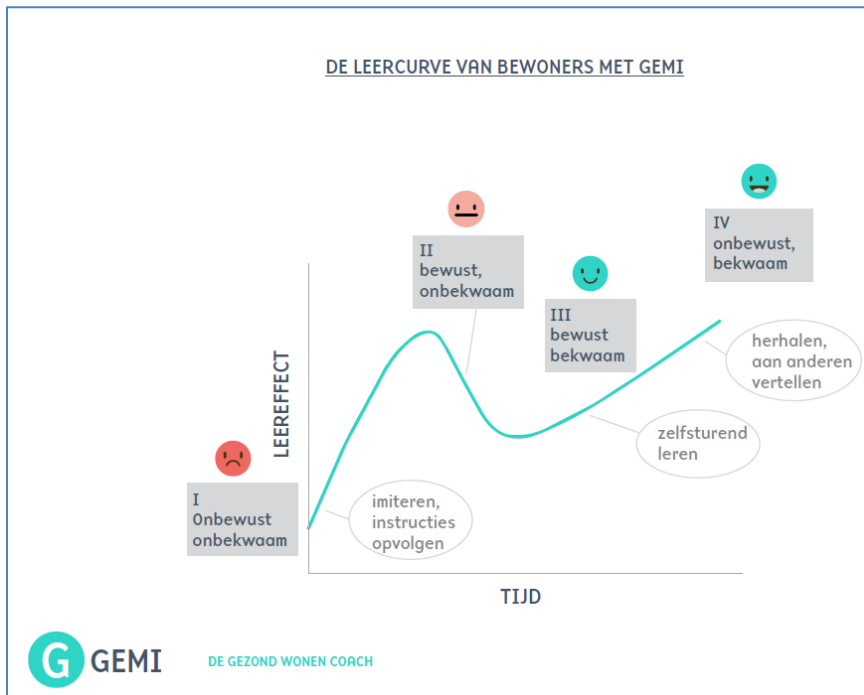
Drie aparte profielen energiegebruik

Een andere opmerkelijke constatering is, in navolging van de resultaten van GENmicro, dat gebruikersgedrag voor ruimteverwarming, warmtapwater en elektriciteit geen relatie met elkaar hebben. Deze profielen zullen we per gebruiker apart moeten vaststellen.

	Corresponderende bijlage
WP 6.3	6.3.1 Totaal evaluatie (<i>vertrouwelijk</i>) 6.3.2 Resultaten TRECO ZoWonen (<i>vertrouwelijk</i>)

Discussie, conclusie en aanbevelingen

Het bewust laten worden van de bewoner is de belangrijkste opgave. Dit proces is in figuur 35 opgenomen.



Figuur 35. Curve van bewustwording van bewoners over binnenklimaat en energie in hun woning (D5.2.3).

Elke vorm van communicatie met bewoners, hetzij via een app of interface, hetzij via andere media blijkt de sleutel tot succesvolle gedragsaanpassing inzake energiezuinigheid.

De technische tools voor het verzamelen van relevante data en het vullen van een rekenmodel daarmee is technisch voorhanden en gevalideerd. Koppel aan een dergelijk systeem een passende communicatie die bijdraagt aan de curve van bewustwording dan leert de bewoner zichzelf het juiste gedrag aan.

Deze communicatie met bewoners wordt nader onderzocht en toegepast in H2020-MOBISTYLE en H2020 Triple-A-reno waar nauw wordt samengewerkt met antropologische specialisten.

TRECO levert op basis van de onderzoeksresultaten de volgende conclusies:

Gezondheid en gedrag

- Gezondheid is voor bewoners aantrekkelijker dan energiebesparing
- Thermisch comfort is individueel
- Een voor hart en bloedvaten gezond thermisch binnenklimaat varieert dagelijks binnen de individuele thermo-neutrale zone

Voorspellen van energiegebruik

- Ondanks datareductie goede voorspelling energiegebruik inclusief gebruikersgedrag. Wat je niet of alleen zeer complex kunt meten heeft geen zin om in energiemodellen in detail op te nemen
- Temperatuursensoren dienen van hoge kwaliteit te zijn, +/- 0,2K. Nauwkeurigheid van CO2-sensoren van minder belang +/- 70 ppm.
- De TRECO voorspelmodule biedt een eenvoudig en voldoende nauwkeurig instrument voor het voorspellen van energiegebruik voor ruimteverwarming, warmtapwaterverwarming en huishoudelijk elektriciteitsgebruik en maakt een traditioneel gebouwsimulatiemodel- zoals VA114, TRNSYS off EnergyPlus - voor de meest gangbare projecten overbodig.

Interface en gewenst gedrag van bewoners

- Gedragsbeïnvloeding vergt dat bewoners daadwerkelijk meebeslissen over het ontwerp van de vergelijkingsapplicatie en adviezen voor aangepast gedrag
- Bewoners kunnen niet bewust worden over energiezuinig gedrag wanneer ze de kwaliteit van het binnenklimaat – te bepalen met sensoren - niet kennen.

Dienstenontwikkeling

- De businesscase voor uitsluitend energiediensten is mager. Een koppeling met gezondheid, comfort, renovatie off NOM-concept kunnen dragers zijn om systeem zoals TRECO door bewoners geaccepteerd te krijgen.

3.6 Bijdragen aan de doelstelling van TKI-Energio

3.6.1 Duurzame energiehuishouding

TRECO-home heeft kennis ontwikkeld die een gezond binnenklimaat in verband brengt met energiezuinigheid. Bevordering van energiezuinig gedrag kan niet zonder bewustzijn over de kwaliteit van het binnenklimaat. Juist die gezondheid staat nu sterk in de belangstelling. En met de discussie over ‘gasloze’ gebouwen kan de kennis van TRECO bij deze discussie aanhaken.

De beïnvloeding van ons gebruiksgedrag is een terugkerend onderdeel bij bevordering van energiebesparing. TRECO heeft hier door de spin-off naar antropologie en etnografische studie een voor de gebouwde omgeving nieuwe wereld geopend met vervolgproject. MOBISTYLE. Hierin laten we zien dat als je bewoners er via specifiek samengestelde focusgroepen er actief bij betreft je tav bewustwording grote resultaten kunt bereiken. Binnen TRECO hebben we al gezien hoe gemotiveerd bewoners zijn als het om binnenluchtkwaliteit gaat.

Tav de performance gap tussen voorspellen en meten laat TRECO zien dat je met een beperkt aantal sensoren en een relatief eenvoudig simulatiemodel goede voorspellingen kunt opzetten. Deze betrouwbare voorspellingen dragen op hun beurt weer bij aan de bewustwording door bewoners. En als we bewust zijn nemen we gerichtere en betere beslissingen om ons doel te bereiken.

TRECO-kennis wordt ook toegepast in TKI-Opschaler daar waar het gaat om het voorspellen van energiebesparingen en het minimaliseren van de databehoeft.

3.6.2 Versterking kennispositie

3.6.2.1 Nationaal

Beheer van woningen is vaak gestuurd op basis van klachten door bewoners. Met de TRECO-kennis kan beheer van woningen gericht worden uitgevoerd. En bovendien weten we beter waar de beperkingen liggen in de communicatie met bewoners. Verder blijkt dat als het er op aankomt bewoners weinig gemotiveerd zijn energiekosten te verlagen. Hoewel energiekosten aanleiding zijn voor discussies weten ze te weinig wat ze er voor terugkrijgen in termen van een gezond binnenklimaat. Door de bewustwording over een gezond binnenklimaat zal er ook bereidheid ontstaan om gedrag te veranderen en besparende maatregelen te nemen, mits bewoners daar hun gezonde binnenklimaat mee veilig stellen.

3.6.3 Internationaal

Binnen IEA Annex66, doen veel instituten voornamelijk theoretisch onderzoek. Meer en meer blijkt het modelleren van de individuele gebruiker niet haalbaar. Wat wel haalbaar lijkt, is het bepalen van gedragspatronen, gekoppeld aan de mate van invloed die een gebruiker kan uitoefenen op zijn binnenklimaat en daarmee zijn energiegebruik. Hierdoor is een terugkoppeling aan de bewoner per maand wel effectief in

plaats van dagelijks of wekelijks. Dit maakt bovendien dat we gedrag niet in detail gaan monitoren en beoordelen maar dat we op gebruikspatronen gaan sturen.

Het onderzoek van de Universiteit Maastricht, dat internationaal belangstelling heeft gekregen, heeft geleid tot een diep inzicht in individueel comfort en metabole gezondheid. Hiermee kan samen met de luchtkwaliteit bewustwording over het binnenklimaat bij bewoners ontstaan, en ook een verklaring voor verschillen tussen bewoners beter worden begrepen. De praktijkvalidatie gaat in TKI-DYNKS (TUE Atlasgebouw) en project H2020-MOBISTYLE voortgezet worden. Hiermee zijn we met TRECO-home in staat om in contact te blijven met de laatste stand van internationaal onderzoek, en daar ook aan bij te dragen.

3.6.4 Openbare publicaties

Building Research Information (Marken Lichtenbelt WDV, Hanssen MJ, Pallubinsky H, Kingma B, Schellen L. Healthy excursions outside the thermal comfort zone. *Build Res & Inform.* 2017;Online:1466-4321.). (D3.1.1.)

Nature Climate Change (Kingma B, van Marken Lichtenbelt W. Energy consumption in buildings and female thermal demand. *Nature Climate Change.* 2015; 5:1054-6). (D3.1.2)

Building Research Information B.R.M. Kingma, M. Schweiker, A. Wagner & W. D. van Marken Lichtenbelt Exploring internal body heat balance 2017, VOL. 45, NO. 7, 808–818 (D3.2.1.)

REHVA-journal, L. Visser Occupant behaviour and thermal comfort 2017, ingediend voor (D3.2.2.)

100%GZNDwonen challenge GEMI De Gezond Wonen Coach, finalist en derde prijs, E. Willems, A. Boerstra, E. de Ridder, Mitros (2018) (D5.2.3.)

3.7 Mogelijkheden voor spin off en vervolgvactiteiten

Stuurinformatie voor bewoner ontwikkelen

Een directe spin-off van TRECO is het project H2020 Mobistyle (Huygen coördineert). In dit project wordt met antropologische kennis een systeem van feed back naar de bewoner ontwikkeld, toegepast in 4 pilots en verder geoptimaliseerd. Daarnaast is het instrument GEMI (D5.2.3) (3de prijs bij de 100%GZNDwonen Challenge van Mitros) ontwikkeld dat laat zien hoe zo'n feedback systeem in woningen kan worden gerealiseerd. Het uitwerken van dit systeem om gewenst gedrag te bevorderen is een belangrijke spin-off. Huygen is hiervoor in gesprek met woningbouwcorporaties Lefier en Staedion. Daarnaast is er een plan om in H2020 Triple-A-Reno (Huygen is coördinator) GEMI te ontwikkelen en toe te passen op pilot locaties. Tevens is een TKI-Urban Energy aanvraag in voorbereiding.

Voorspelmodel voor energiebesparing na renovatie

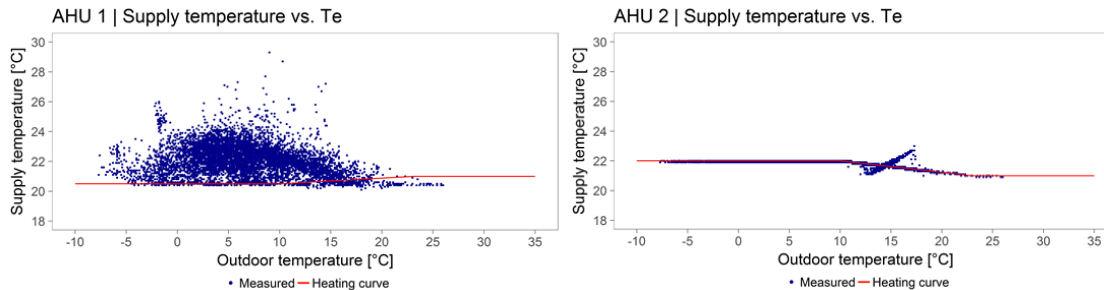
In TKI-Opschaler (2017-2020) wordt gewerkt aan een rekenmodel voor werkelijke besparingen na een renovatie. Hierbij wordt rekening gehouden met het rebound effect van gebruikersgedrag. Er zijn van 60 woningen data verzameld waarbij gebruik gemaakt is van de kennis van TRECO over data reductie.

Data analyse als middel tegen performance gap

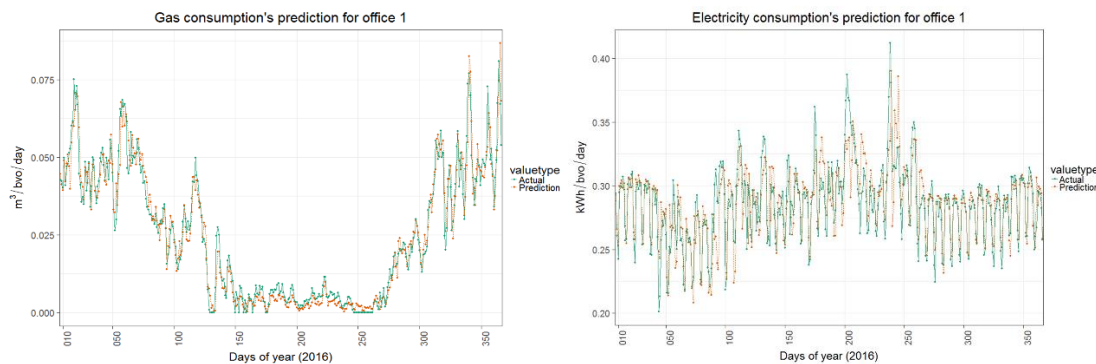
Een van de aspecten binnen TRECO is het omgaan met onnauwkeurigheden door het toepassen van data analyse/machine learning in plaats van met een uiterste krachtsinspanning deze complexe variabelen in de praktijk vast te stellen.

Uit deze data analyse hebben we vastgesteld dat voor verwarmen, niet alleen bij woningen maar ook bij diverse utiliteitsgebouwen, dat de buitentemperatuur - of meer nauwkeurig de deltaT tussen binnen en buiten -, samen met de ventilatiedebieten (=synoniem voor aanwezigheid)- de belangrijkste drijvende kracht is. We kunnen hieruit concluderen dat ons klimaat het energiegebruik veroorzaakt, en dat vooral mensen energie gebruiken en niet gebouwen). Op basis van deze bevinding gaan we bij toekomstige projecten en klachten gestuurde opgaven, eerst met meetdata aan de slag voordat we complexe modellen inzetten om de afwijkingen op te sporen. Deze ontwikkeling wordt doorgezet door Kai Corten, afstudeerder bij hoogleraar Wim

Zeiler van de TUE. In figuur 36 en 37 zijn enkele voorbeelden gegeven van inzicht in gebouwprestaties door data analyse.



Figuur 36. Een slechte (links) en goede functionerende luchtbehandelingskast.



Figuur 37. Voorspellen van gas en elektriciteitsgebruik met machine learning van een kantoorgebouw van 10.000m² BVO en een energielabel E. (Gasgebruik: bepaald door T-buiten, elektriciteitsgebruik op basis van dag en tijd).

Gezonde dynamisch binnenklimaat op individuele basis

Uit TRECO blijkt dat individuele comfortvoorkeuren van persoon tot persoon, wel tot 6K kunnen verschillen. Daarnaast toont TRECO aan dat een variatie in binnentemperatuur belangrijk bijdraagt aan de cardio-vasculaire gezondheid van mensen. In TKI-DYNKA (www.TKI-DYNKA.nl) en TKI-PERDYNKA gaan we deze persoonlijke voorkeuren combineren met een dynamisch temperatuurprofiel over de dag. Deze kennis kan Huygen goed inzetten bij het ontwerpen van gezondere woningen en gebouwen.

3.8 Discussie

Smart grid, micro grid en demand response

Uit de registratie van het elektriciteitsgebruik, zoals voor TRECO wordt voorgesteld, blijkt dat er sterke patronen zijn in ons gebruikersgedrag. In het bijzonder daar waar het een gezin met schoolgaande kinderen betreft. Bij individuele huishoudens zie je meer spreiding.

Het kunnen voorspellen van verschillen in vermogensafname biedt kansen voor netbalancing. Deze netbalancing is met nieuwe lokale duurzame energieopwekking voor pv-panelen en in mindere mate de windturbines (meestal buiten de stad gelegen en daardoor minder snel een onderdeel van een micro grid) een belangrijk onderwerp voor netbeheerders voor de instandhouding van een betrouwbare stroomvoorziening. Een instrument hiervoor kan DemandSideResponse (DSR) zijn. Hierbij speelt het idee dat de gebruiker zijn gedrag, op basis van bepaalde incentives (geld, milieu e.d.) aanpast, waarmee de belasting op het net wordt beheerst en de betrouwbaarheid van de stroomvoorziening toeneemt.

Zonder opslag van elektriciteit zien we uit gebruikersgedrag dat de bandbreedte voor DSR voor elektriciteitsgebruik (zonder verwarmen, warmtapwater)) beperkt is.

Korte termijn effect

In geval van elektrische warmtepompen neemt de belasting in de winter substantieel toe. Met een aanvullend buffervat van ca. 200-400 liter voor verwarmen is een verschuiving van warmteopwekking van ca. 4-6 uur mogelijk. Voor warmtapwater is zelf een verschuiving van 12 uur mogelijk.

Middellang termijn effect

En effect dat over een dag tot aan een week kan optreden is het extra verwarmen van woningen in tijden van overproductie van duurzame elektriciteit. De lange tijdconstanten van woningen maakt dit mogelijk. In een periode van matige productie van duurzame energie kan de verwarming worden beperkt en kan de woning weer enigszins afkoelen. Dit dynamische profiel van de binnentemperatuur past weer goed in de theorie van een gezond binnenklimaat. Er is in potentie op dit punt veel synergie te behalen. Dit vereist wel dat bewoners zich ervan bewust zijn dat 'temperatuurschommelingen' binnen de woning 'gezond' zijn.

Heijmans Vastgoed bv over TRECO

Participatie van Heijmans aan TRECO is vooral ingegeven vanuit de potentie die werd gezien in het ontwikkelen en kunnen aanbieden van woonlastenproposities. Dat er in de markt meer partijen zijn met dergelijke ideeën, blijkt wel uit het feit dat de markt nu na afronding van TRECO kan kiezen uit verschillende concepten. Energieprestatievergoeding voor corporaties en Nul op de Meter en allerlei spin-offs hiervan voor particulieren en beleggers zijn de bekendste.

Wat al deze concepten verbindt, is de zeer overheersende focus op energiebesparing door bouwkundige en installatietechnische maatregelen. Heijmans vindt het de kracht van TRECO dat partijen er ondanks deze sterke externe marktfocus in geslaagd zijn het oorspronkelijke doel (energiebesparing voorspellen en realiseren vanuit het comfort en de gezondheid van de mens) overeind te houden. Daarmee biedt het TRECO-onderzoek de meerwaarde om woonlastenproposities te kunnen ontwikkelen op basis van de aantoonbaarheid van een gezonde woning. Gezond energiezuinig wonen spreekt de gemiddelde bewoner naar mening van Heijmans meer aan dan sec een energieprestatiegarantie op basis van afstandelijke energiedata.

Wat TRECO ons verder geleerd heeft, is dat het belang van eenvoud in meetsystemen niet onderschat mag worden. Het klinkt aantrekkelijk om veel data te genereren om een accuraat beeld van energiehuishouding en binnenklimaat te verkrijgen. Ook binnen TRECO is deze discussie uitgebreid gevoerd en uiteindelijk beslecht door de technische (on)mogelijkheden om uitgebreide metersets in de proefwoningen te plaatsen.

De resultaten van TRECO bewijzen voor Heijmans dat het met beperkte data en een goed rekenmodel ook mogelijk is om een duidelijk beeld te verkrijgen. Dit maakt het mogelijk om bewoners tegen een beperkte investering langdurig te informeren over hun binnenklimaat en energiehuishouding. Een belangrijk resultaat, in het licht van het geringe energiebesparingspotentieel van nieuwe(re) woningen.

Voor Heijmans zijn de resultaten van TRECO aanleiding om gezondheid als relevant thema in haar woonlastenproposities te versterken, daarmee de dominante positie van energiebesparing afzwakkend.

3.9 Conclusie en aanbevelingen

Data verzameling

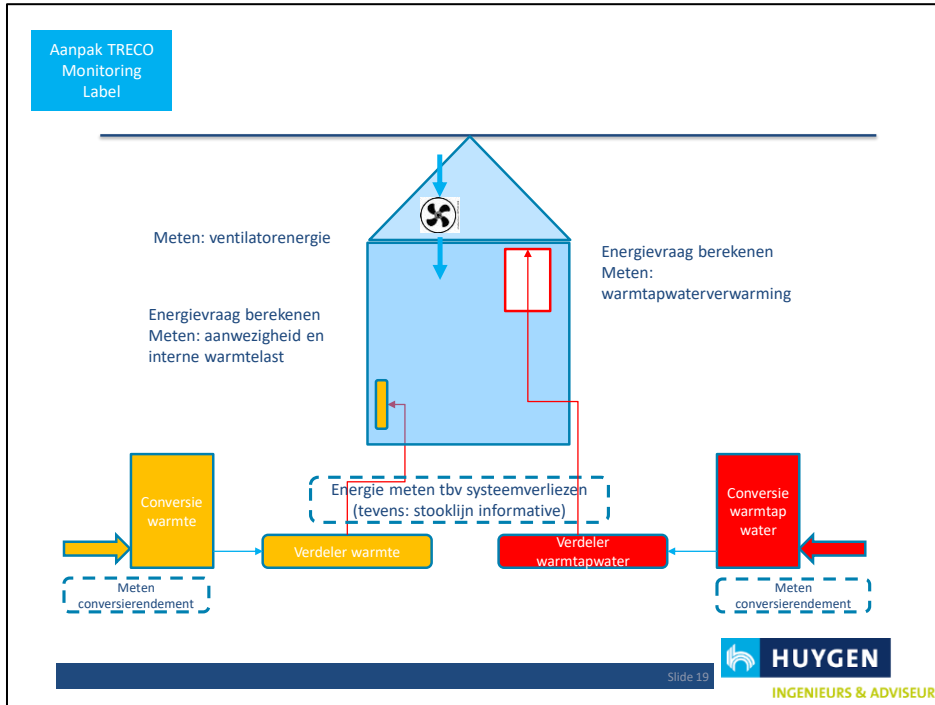
De techniek om data te verzamelen met behulp van sensoren is inmiddels niet meer complex. Draadloze communicatie kent diverse gestandaardiseerde toepassingen zoals Bluetooth, Zigbee en Z-wave. Met dataverzameling van installaties en gebruikersgedrag in woningen kunnen we energiegebruik deels ook voorspellen.

Uit de analyse is gebleken dat de voornaamste parameters die verzameld dienen te worden zijn:

- Conversie van warmteopwekking
- Energiegebruik voor warmtapwater

- Binnentemperatuur
- CO₂-concentratie
- Kwartierwaarden van het huishoudelijk elektriciteitsgebruik

Zie figuur 38.

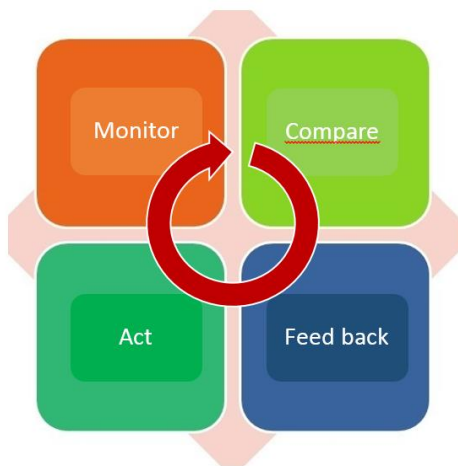


Figuur 38. Te bemeten parameters van een woning

Voor de analyse van de data kunnen eenvoudige hulpmiddelen volstaan zoals grafieken van energieverbruik als functie van de buitentemperatuur, box-plots van kwartierwaarden per uur van de dag en warmtapwatergebruik omgerekend naar doucheminuten.

Een discussiepunt is hoe en waar de data verzameld wordt. In TRECO hebben we gebruik gemaakt van een centrale database waar data anoniem is opgeslagen. Bij deze wijze van moderne dataverzameling zijn issues van beveiliging en de privacy op dit moment van groot belang. Dit maakt dat een eenvoudige wijze van dataverzamelen voor de bewoner bij een koppeling via internet tot een veelomvattend ICT-vraagstuk leidt. Bij de verdere ontwikkeling van TRECO-achtige systemen dient hier terdege rekening mee te worden gehouden.

Het project TRECO heeft voor het eerst inzicht gebracht in de cyclus van meten, beoordelen, terugkoppelen en handelen. Figuur 39 geeft de TRECO-cyclus weer waarbij feedback een bepalende stap is die op basis van de uitkomsten van de vergelijkingsstap bepaalt in welke richting gedrag of bijstelling van de installaties nodig is.



Figuur 39. TRECO-cyclus voor het stimuleren van gewenst gedrag (Bron: Huygen)

Stuurinformatie voor bewoner ontwikkelen

Vanwege de lage graad van automatisering in woonhuisinstallaties komt het erop neer dat de bewoner onderdeel is van deze loop en dat de feedback ook op hem moet zijn afgestemd. Deze afstemming vraagt dat hij gemotiveerd zijn gedrag dient aan te passen om de gestelde doelen van energiezuinigheid en gezond binnenklimaat te realiseren.

Data analyse als middel tegen performance gap

TRECO werpt nieuw licht op de zogenaamde performance gap. Het verkrijgen van praktijkwaarden over ventilatie, infiltratie en interne warmtebronnen van een woning is in de praktijk complex. Daarnaast is ook het thermisch gedrag van aanliggende woningen mede bepalend via de geïsoleerde binnenwanden. Hierdoor is er al een intrinsieke onnauwkeurigheid in de modelvorming, wat tevens leidt tot een intrinsieke onnauwkeurigheid in de verklaring en voorspelling van het energiegebruik. TRECO weet om te gaan met deze onnauwkeurigheid door het toepassen van data analyse/machine learning in plaats van met een uiterste krachtsinspanning deze complexe variabelen in de praktijk vast te stellen.

Gezonde dynamisch binnenklimaat op individuele basis

Uit TRECO blijkt dat individuele comfortvoorkeuren van persoon tot persoon wel tot 6K kunnen verschillen. Daarnaast toont TRECO aan dat variatie in de binnentemperatuur belangrijk bijdraagt aan de cardio-vasculaire gezondheid van mensen.

TRECO levert op basis van de onderzoeksresultaten de volgende conclusies:

Gezondheid en gedrag

- Gezondheid is voor bewoners aantrekkelijker dan energiebesparing
- Thermisch comfort is individueel
- Een voor hart en bloedvaten gezond thermisch binnenklimaat varieert dagelijks binnen de individuele thermo-neutrale zone

Voorspellen van energiegebruik

- Ondanks datareductie goede voorspelling energiegebruik inclusief gebruikersgedrag. Wat je niet of alleen zeer complex kunt meten heeft geen zin om in energiemodellen in detail op te nemen
- Temperatuursensoren dienen van hoge kwaliteit te zijn, +/- 0,2K. Nauwkeurigheid van CO₂-sensoren van minder belang +/- 70 ppm.
- De TRECO voorspelmodule biedt een eenvoudig en voldoende nauwkeurig instrument voor het voorspellen van energiegebruik voor ruimteverwarming, warmtapwaterverwarming en huishoudelijk

elektriciteitsgebruik en maakt een traditioneel gebouwsimulatiemodel - zoals VA114, TRNSYS off EnergyPlus - voor de meest gangbare projecten overbodig.

Interface en gewenst gedrag van bewoners

- Gedragsbeïnvloeding vergt dat bewoners daadwerkelijk meebeslissen over ontwerp van de vergelijkingsapplicatie en adviezen voor aangepast gedrag
- Bewoners kunnen niet bewust worden over energiezuinig gedrag wanneer ze de kwaliteit van het binnenklimaat – te bepalen met sensoren - niet kennen.

Dienstenontwikkeling

- De businesscase voor uitsluitend energiediensten is mager. Een koppeling met gezondheid, comfort, renovatie off NOM-concept kunnen dragers zijn om systeem zoals TRECO door bewoners geaccepteerd te krijgen.