

D4.1 Geoptimaliseerd rekenmodel

19 juni 2018

Karin Nix en Jeffrey van den Heuvel

Introductie

Een aantal statistische modellen is gebaseerd op regressie methoden (lineair, multi-variabelen, fuzzy logic, neurale netwerken, enz.). Kenmerk van deze modellen is een structuur die niet is gebaseerd op fysische analyses en fitting van parameters. De structuur van het model heeft geen fysieke betekenis (black-box: "niets" is bekend). Het voordeel van deze modellen is dat ze het 'echte' systeem weergeven. Nadeel is dat zij niet de oorzaken en verschillen verklaren.

Een andere aanpak is gebaseerd op gedetailleerde simulatie van het gebouw, gebaseerd op fysische wetten in details (white-box: "alles" is bekend). Het voordeel van deze modellen is dat ze verklarend zijn; het nadeel is dat er verschillen kunnen zijn tussen de werkelijke waarde van de parameters en de input in het model.

De oplossing wordt 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. 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.

1.1 Methodologie Energiemodule

In het onderstaande overzicht zijn verschillende energiemodellen opgenomen met de voorwaarden voor hun een de inputdata en de tijdstappen.

Model	Type	Discutabele parameters	Verklarende eigenschappen
TRNSYS	White Box	Aanwezigheid, ventilatie, infiltratie, microklimaat	Uurlijks
Energie Module WoonConnect	White Box	Aanwezigheid, ventilatie, infiltratie	Maandmethode

Data energiemeter	Black Box	Absolute waarde tov optimaal energiegebruik	Matig, Kwartier
Fysische rekenregels, meten indicatoren deelenergiestromen, match met energiemeter	Grey Box	Microklimaat, negeren thermische massa, infiltratie, ventilatie, zoninstraling	Afh. van meetnauwkeurigheid

De Energiemodule is gebaseerd op de rekenmethode van de NEN 7120 'Energieprestatie van gebouwen – bepalingmethode', NEN 1068 'Thermische isolatie van gebouwen – rekenmethoden' en NEN 8088 'Ventilatie en luchtdoorlatendheid van gebouwen – deel1: rekenmethode'. Deze normen worden in Nederland gebruikt om een zogenaamde EnergiePrestatieCoëfficiënt te berekenen en wordt aangestuurd door het Bouwbesluit 2012. Bij deze methode wordt alleen gekeken naar de energieprestatie van een gebouw. Het gebruik van het gebouw door personen wordt niet of nauwelijks meegenomen in het bepalen van het energieverbruik. Voor bepaalde energiegebruikende posten zoals warmtapwater en verlichting, worden default waardes aangehouden, al dan niet gekoppeld aan het gebruiksoppervlakte van het gebouw.

De Energiemodule is een uitbreiding op deze methode waarbij wél naar het aantal bewoners en hun gedrag gevraagd wordt. Zo worden er vragen gesteld over diverse woonactiviteiten: wassen, koken, douchen, ontspanning, en over het aantal uren aanwezig zijn, thermostaat instelling, luchten, verlichting. Allemaal activiteiten die invloed hebben op het energiegebruik. Bijlage 1 geeft een overzicht van de vragen die gesteld worden.

Voor de 3 woningen van ZoWonen in Sittard, die een jaar lang gemonitord zijn, is een intake gesprek geweest waarbij de bewoners hun gedrag aan hebben gegeven. Op de website, die de bewoners het hele jaar hebben kunnen raadplegen is de Energiemodule ook te benaderen en kunnen de bewoners digitaal de Energiemodule vragen beantwoorden. De input van deze vragen heeft direct invloed op de voorspellingen van het water-, gas- en elektriciteitsverbruik.

De rekenmethodiek van de Energiemodule wijkt op de volgende punten af van de NEN 7120:

- Setpointtemperaturen voor verwarmen en koelen zijn instelbaar;
- Voor buitentemperatuur en opvallende zonnestraling kunnen meetwaardes van KNMI-stations gebruikt worden;
- Aantal uur nachtverlaging en aantal dagen thermostaatverlaging zijn instelbaar;
- Er wordt meer rekening gehouden met verwarmd/onverwarmd deel van de woning;
- De berekening van de interne warmteproductie is gebaseerd op de daadwerkelijke warmteproductie van personen en apparaten;
- Koeling wordt alleen meegenomen als deze ook daadwerkelijk aanwezig is; de post zomercomfort bestaat dus niet in de Energiemodule;
- De bepaling van de behoefte voor warmtapwater is volledig gebaseerd op het profiel van de bewoners, hoe vaak en hoe lang wordt er per bewoner per week gedoucht, in tegenstelling tot een gemiddelde op basis van gebruiksoppervlakte;

- Er kan rekening gehouden worden met eventuele gordijnen/luiken, open binnendeuren en het gebruik van jaloezieën/screens;
- Er kan rekening gehouden worden met afwijkend ventilatiegedrag door het instellen van de mechanische ventilatie en/of het openen van ramen;
- Het energieverbruik voor verlichting is gebaseerd op de daadwerkelijke aanwezige verlichting en het gebruik daarvan in tegenstelling tot een gemiddelde op basis van gebruiksoppervlakte;
- Het overige elektriciteitsverbruik door apparaten wordt in de Energiemodule wél meegenomen, waar dat in de NEN7120 buiten beschouwing gelaten wordt.

1.2 Data voor het grey-box model

De 3 woningen zijn voorzien van diverse sensoren om de monitoring uit te voeren. Allereerst zijn er sensoren in de meterkast aanwezig die data van de slimme meter uitlezen. Dit omvat zowel het cumulatieve gas- en elektriciteitsverbruik als het huidige verbruik.

Daarnaast zijn er in de woonkamer en de diverse slaapkamers sensorkastjes geplaatst met daarin sensoren voor het meten van temperatuur, CO₂, aanwezigheid en luchtvochtigheid.

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

- Gemeten binnentemperatuur woonkamer
- Gemeten buitentemperatuur of data van een klimaatdienst
- Cumulatief gasverbruik
- Cumulatief elektriciteitsverbruik hoog
- Cumulatief elektriciteitsverbruik laag

Al deze waardes worden, indien mogelijk, iedere minuut weggeschreven in de sensordatabase. De Energiemodule voert de diverse deelberekeningen per maand uit, waardoor de gemeten waardes omgerekend moeten worden. Omdat de klimaatdata van het KNMI met daarin de gemeten buitentemperatuur en opvallende zonnestraling, per dag beschikbaar is, is ervoor gekozen om de gemeten binnentemperatuur eerst om te rekenen naar de gemiddelde binnentemperatuur per dag. Daarna wordt, samen met de buitentemperatuur en de opvallende zonnestraling, van de waardes per dag het gemiddelde per maand bepaald.

Om het gemeten gas- en elektriciteitsverbruik te kunnen vergelijken met het berekende gas- en elektriciteitsverbruik per maand, wordt simpelweg gekeken naar de meterstanden aan het begin en het eind van de maand.

Door uitval van sensoren, uitval van de internetverbinding en piekbelasting op de databaseserver, zijn er gaten ontstaan in de gemeten waardes. Piekbelasting op de server veroorzaakt gaten van 1 tot hooguit enkele minuten. De invloed hiervan op het daggemiddelde is nihil.

De uitval van sensoren en de internetverbinding heeft gaten in de data van meerdere dagen of zelfs weken veroorzaakt. In de zomermaanden zijn de sensorkastjes zelfs compleet verwijderd uit de woningen om vervangen te worden door een robuuster ontwerp. De data van de slimme meter is in 2 van de 3 woningen tijdens de zomer wel uitgelezen.

Om de gaten in de binnentemperatuur tijdens het stookseizoen op te vullen, is gebruik gemaakt van het gemiddelde van metingen van het hele jaar. De gaten in de zomer zijn opgevuld met

temperaturen van 20 (juni, september) en 21 (juli, augustus) graden om enigszins te simuleren dat de temperaturen in de zomer hoger liggen. De invloed hiervan zal echter beperkt zijn, omdat er in de zomermaanden niet gestookt wordt en de Energiemodule geen zomercomfort kent en alleen energieverbruik voor koeling berekent, indien er ook daadwerkelijk sprake is van koeling. Bij de 3 doorgerekende woningen is hiervan geen sprake.

2. Resultaten Energiemodule

De buitentemperatuur en de binnentemperatuur zijn 2 parameters die invloed hebben op het werkelijk gasverbruik. Door deze parameters te variëren is onderzocht hoe groot die invloed daadwerkelijk is. In paragraaf 2.1 en 2.2 worden de resultaten van dit onderzoek getoond.

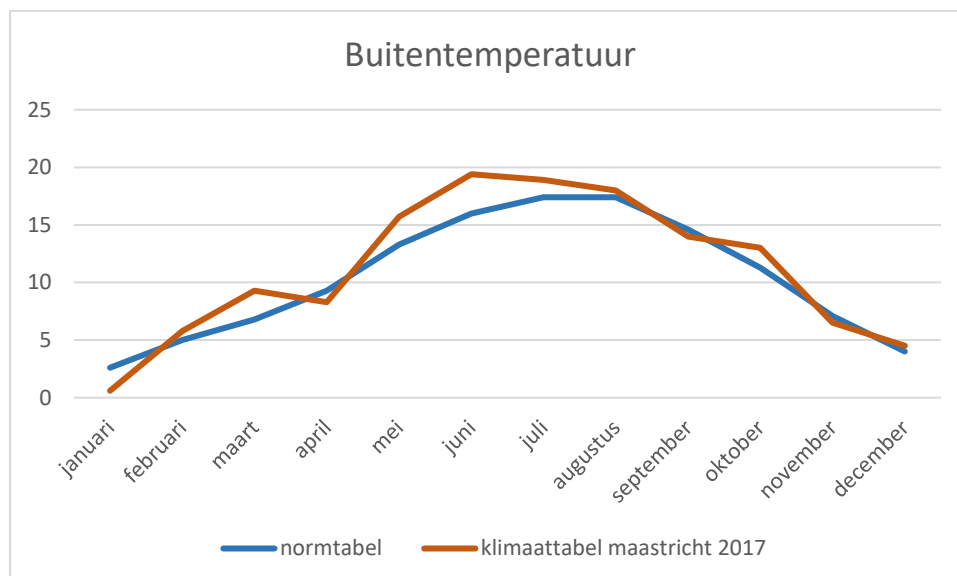
Ook is onderzocht hoe de voorspelling van het gas- en elektriciteitsverbruik van de Energiemodule zich verhoudt tot het werkelijk gas- en elektriciteitsverbruik van de woningen. De bewoners en hun gedrag zijn hierin meegenomen door het invullen van de vragenlijst behorende bij de Energiemodule.

In paragraaf 2.3 en 2.4 worden de resultaten van het gasverbruik cq. elektriciteitsverbruik van de woningen getoond.

2.1 Variabele 1: Buitentemperatuur

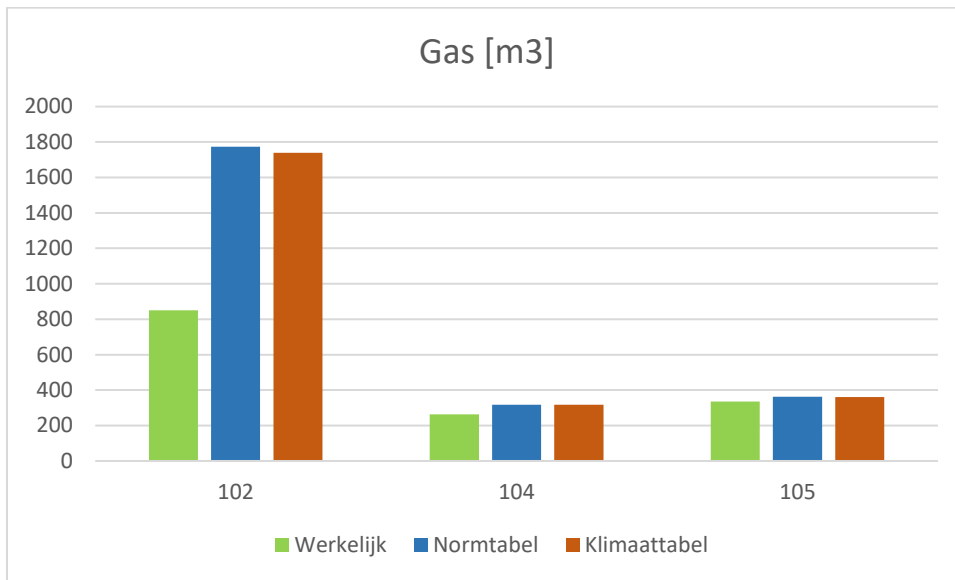
In de rekenmethodiek van de NEN 7120 wordt met een gemiddelde buitentemperatuur per maand gerekend. Deze gemiddelde temperatuur per maand is gebaseerd op het gemiddelde van enkele jaren. Met de Energiemodule is behalve een berekening met deze gemiddelde buitentemperatuur, ook een berekening gemaakt met een KNMI klimaattabel van 2017, het jaar waarin het gas- en elektriciteitsverbruik van de woningen in Sittard gemeten zijn. Het dichtstbijzijnde weerstation is Maastricht.

Het verloop van de temperaturen van de normtabel en de KNMI klimaattabel 2017 Maastricht worden in onderstaande grafiek getoond:

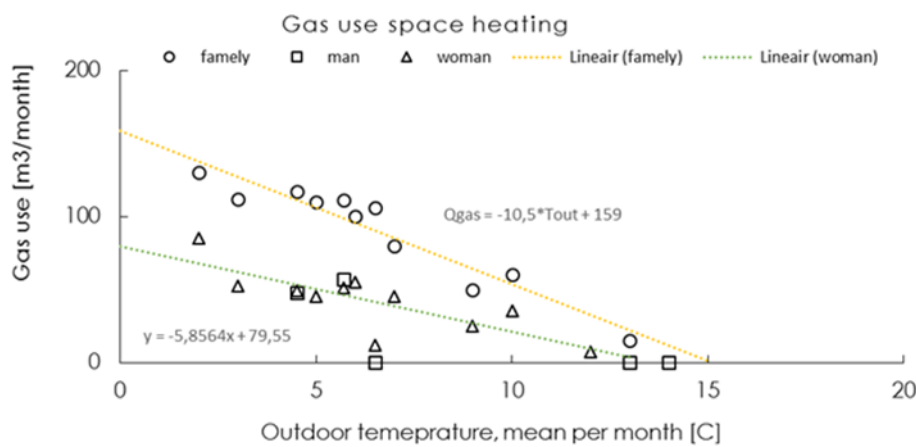


De temperaturen liggen redelijk dicht bij elkaar, behalve in maart, mei en juni is de gemeten gemiddelde buitentemperatuur hoger dan die van de norm. De verwachting is dan ook dat het berekend gasverbruik met deze buitentemperaturen geen grote verschillen zullen laten zien.

Het berekend totale gasverbruik van de Energiemodule met de normtabel en met de klimaattabel levert per woning onderstaande grafiek op:



In de onderstaande figuur is een andere weergave gekozen. Hierbij is het gasgebruik voor verwarmen uitgezet tegen de buitentemperatuur op basis van maandelijkse gemiddelden.

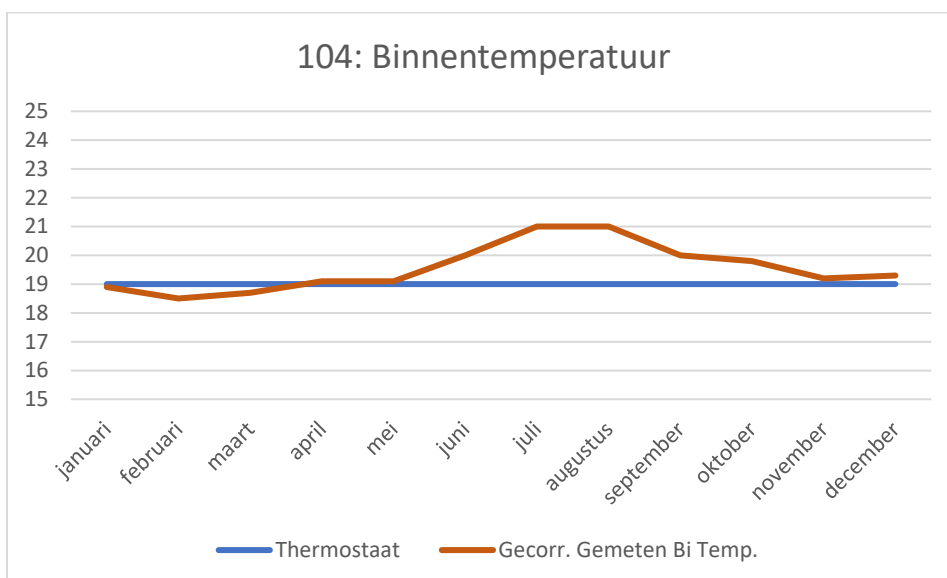
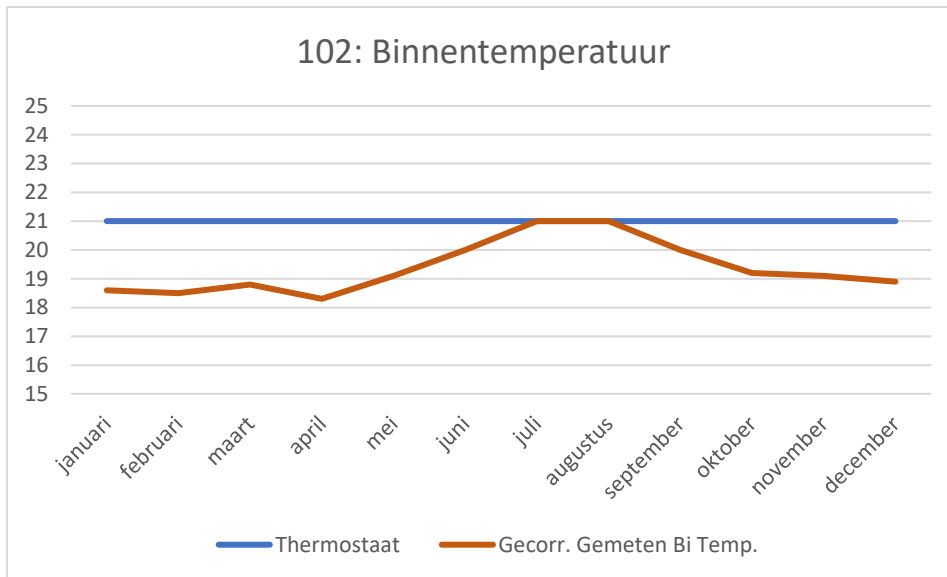


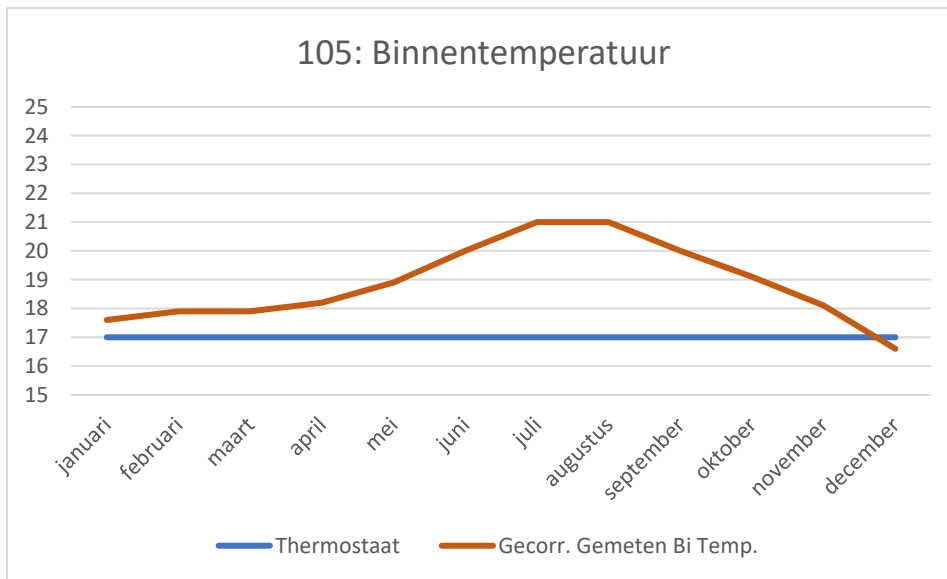
De helling van deze grafiek is bepaald door de thermische isolatie, de infiltratie en de ventilatie. Doch, de afzonderlijke waarden zijn niet te herleiden omdat de praktijkwaarden teveel onnauwkeurigheden (u-waarde, koudebruggen) bevatten of te complex zijn om door meting vast te stellen (ventilatie en infiltratie, interne warmtebelasting).

Het lineaire gedrag van het energiegebruik voor ruimteverwarming biedt een aanknopingspunt voor de fittingmethode tussen het voorspeld en het werkelijk energiegebruik.

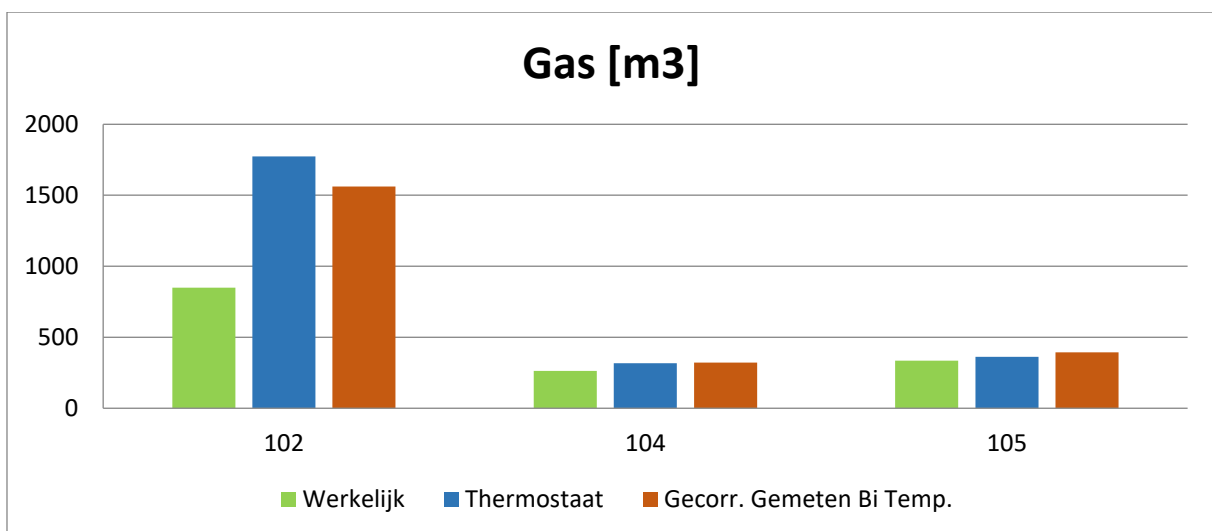
2.2 Variabele 2: Binnentemperatuur

In de rekenmethodiek van de NEN 7120 wordt met een binnentemperatuur van 20° gerekend. Met de Energiemodule wordt deze binnentemperatuur aangepast aan de, door de bewoner opgegeven thermostaat instelling. In onderstaande grafieken wordt per woning de ingestelde thermostaat naast de gecorrigeerde gemeten binnentemperatuur weergegeven.





Met beide binnentemperatuur instellingen zijn Energiemodule berekeningen gemaakt die het volgende gasverbruik per woning laat zien:

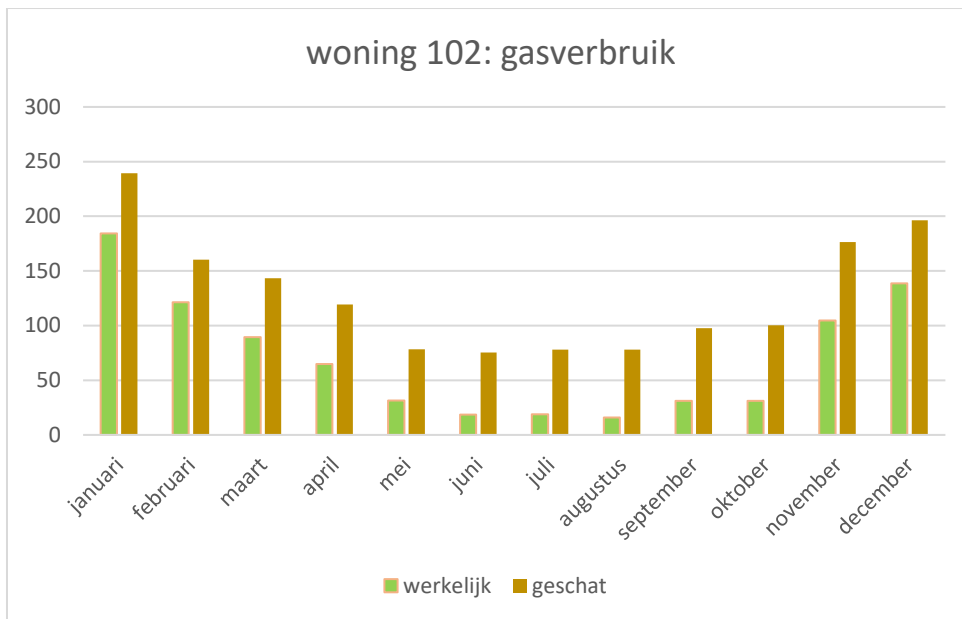


Doordat bij woning 102 de ingestelde temperatuur hoger is dan de gemeten gecorrigeerde temperatuur geeft dit een grotere afwijking in het gasverbruik dan bij woning 104 en 105, waar het verschil in thermostaat en gemeten binnentemperatuur veel kleiner is.

2.3 Gasverbruik werkelijk versus geschat

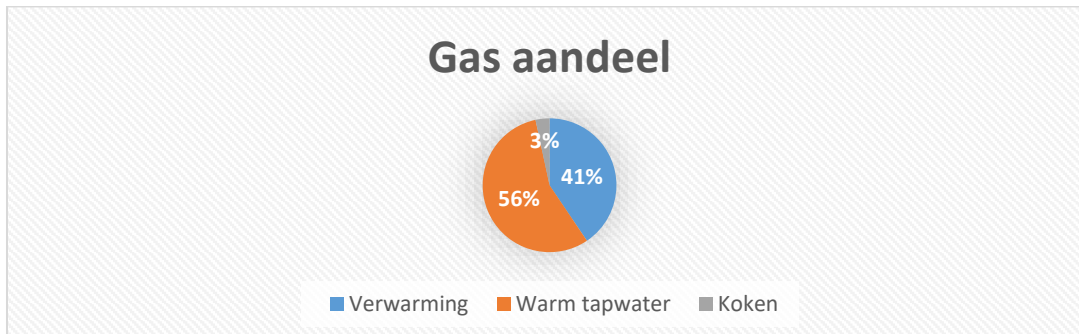
Met de parameters van 2.1 en 2.2, de buitentemperatuur en de gemeten binnentemperatuur zijn voor de 3 woningen, nieuwe berekeningen gemaakt met de Energiemodule. Het geschatte gasverbruik en elektriciteitsverbruik zijn vergeleken met het werkelijk gemeten gas- en elektriciteitsverbruik. Met deze vergelijking willen we onderzoeken of het wijzigen van deze parameters een betere inschatting tot gevolg hebben. Tevens bekijken we of er een verklaring te vinden is voor eventuele afwijkingen en hoe we die afwijkingen kunnen voorkomen door de Energiemodule uit te breiden cq. te wijzigen.

Woning 102



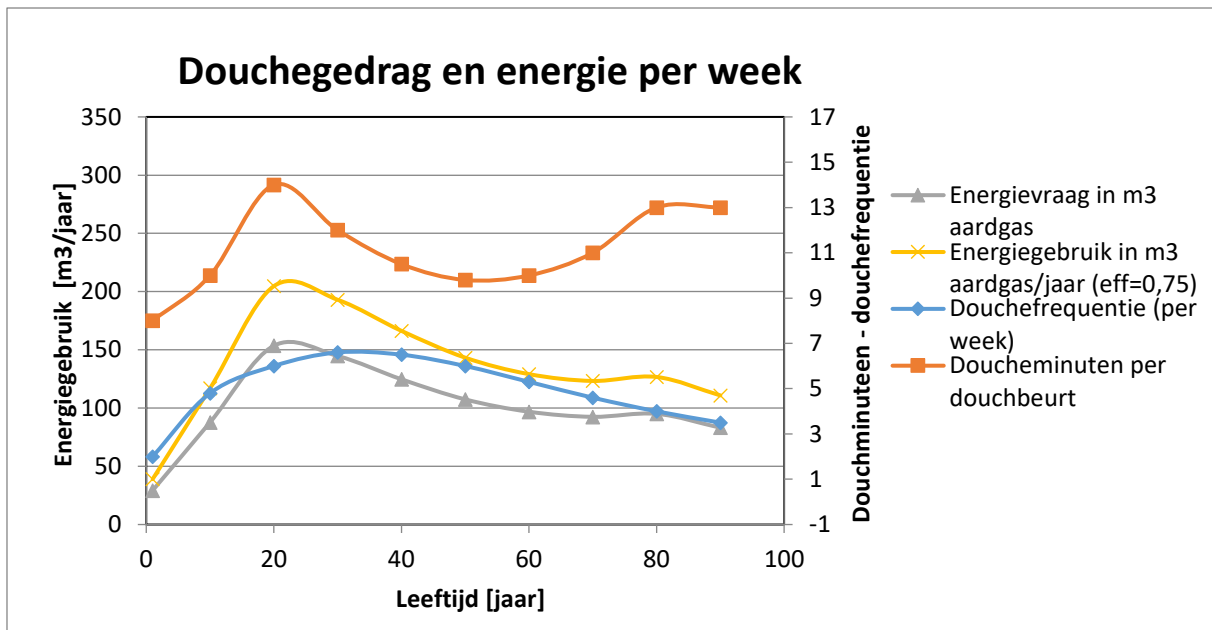
Het werkelijk gasverbruik per maand is in deze woning het hele jaar door veel lager dan het geschatte gasverbruik. Het verloop van het gasverbruik door het jaar heen volgt wel de verwachting. In de zomermaanden wordt er niet of nauwelijks gestookt dus zal het gasverbruik laag zijn.

Om te onderzoeken waar dit grote verschil vandaan kan komen, bekijken we het gasaandeel voor de verschillende gas gebruikende posten, verwarming, warm tapwater en koken.



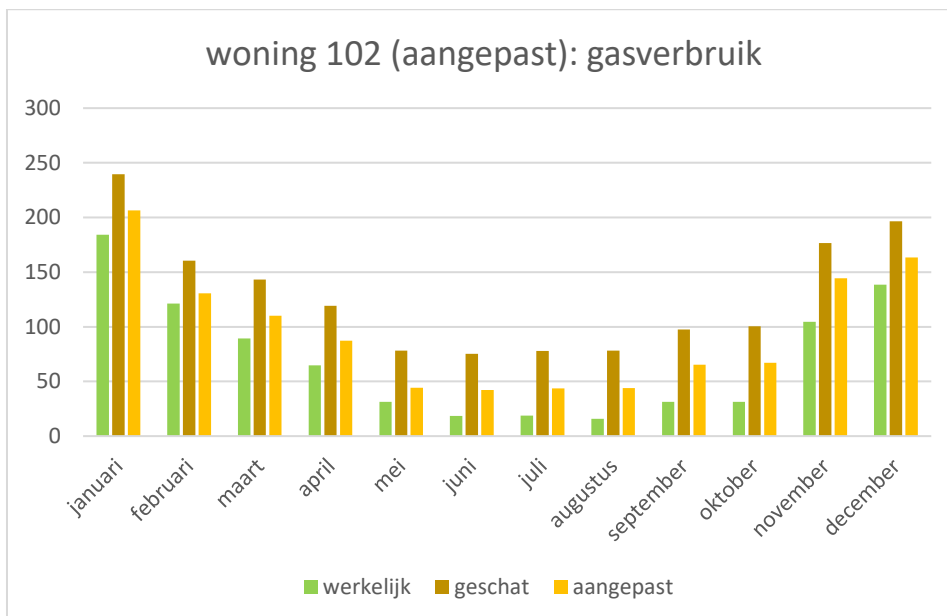
Het gasaandeel koken is verwaarloosbaar klein. Het gasaandeel warm tapwater is groter dan het gasaandeel verwarming. Dit is niet volgens de verwachting. Meestal is het verwarmingsaandeel het grootst.

Dit doet vermoeden dat het opgegeven douchegedrag niet strookt met het werkelijke douchegedrag. Het huishouden van deze woning bestaat uit een man, vrouw en klein kind (< 12 jaar). Opgegeven is dat de man 2x per dag (!) doucht, de vrouw en dochter 3x per week. De vrouw doucht 10 minuten per keer, de dochter 30 minuten (!) en van de man is het niet opgegeven. Als we dit douchegedrag naast het gemiddelde douchegedrag per leeftijd leggen dan wijkt dit behoorlijk af, zie onderstaande grafiek.

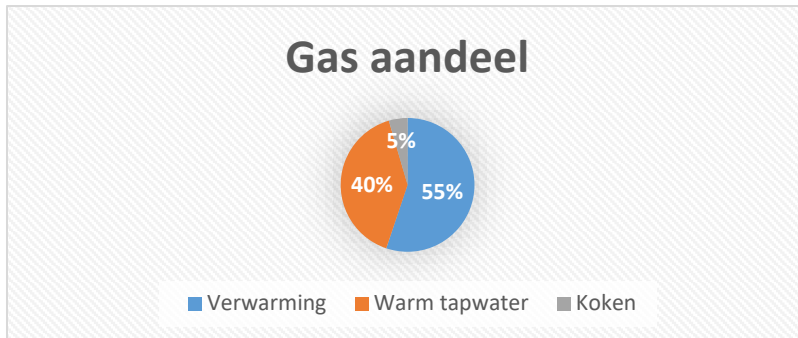


Bron: Rigo Woon-onderzoek 2011

Gezien de leeftijden van de gezinsleden zou volgens bovenstaande grafiek de man en vrouw 6,6 keer, 12 minuten en het kind 4,8 keer, 10 minuten douchen. De berekening met een aangepast douchegedrag (man 7x, 10 minuten, vrouw 3x, 10 minuten, kind 3x, 10 minuten) dat beter aansluit bij het landelijk gemiddelde per leeftijd, levert onderstaande grafiek op:



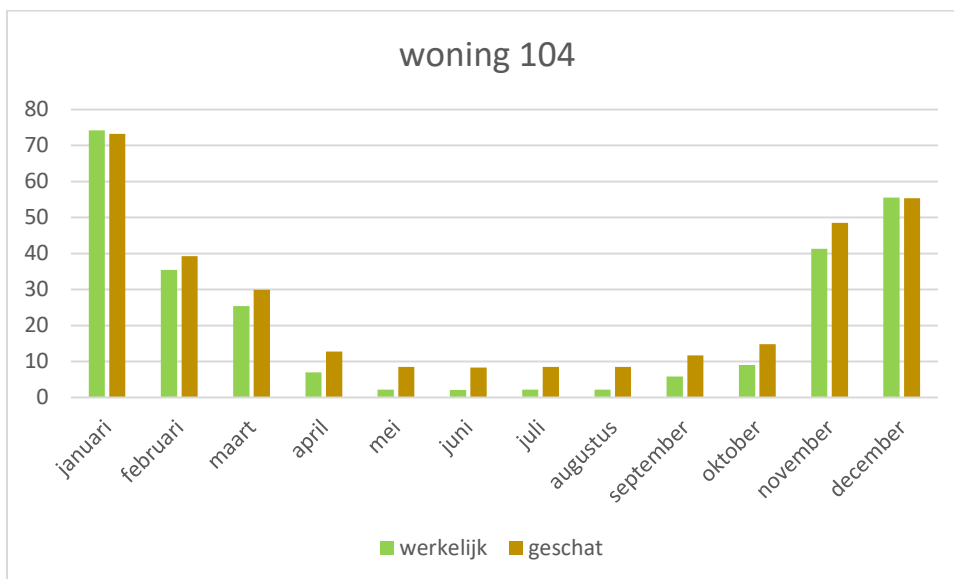
Het werkelijk en aangepast gasverbruik komen al dicht bij elkaar te liggen. De invloed van het douchegedrag heeft veel invloed op het gasverbruik. Als we het gasaandeel van de aangepaste berekening bekijken dan zien we dat het gasaandeel van verwarming groter is, wat meer overeenkomt met de verwachtingen.



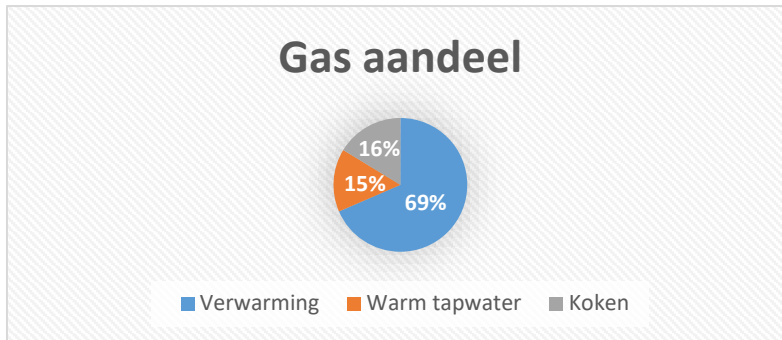
Woning 104

Deze woning heeft een storing gehad in de sensoren. Van maart tot en met oktober zijn er geen tussenresultaten van de meterstanden genoteerd. Alleen het totale gasverbruik van maart tot en met oktober is bekend. Om toch een realistisch beeld te krijgen van het gasverbruik per maand, is voor deze periode gekeken naar de gasverdeling volgens de Energiemodule en is die verhouding overgenomen voor het werkelijk gasaandeel per maand.

Gasverbruik met procentuele verdeling van de periode maart tot en met oktober:

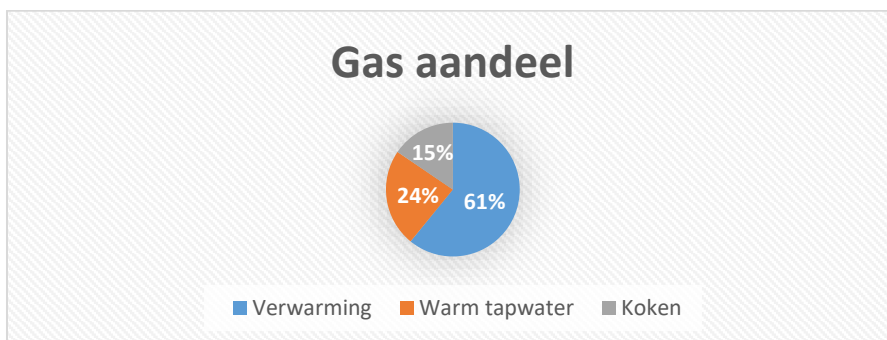
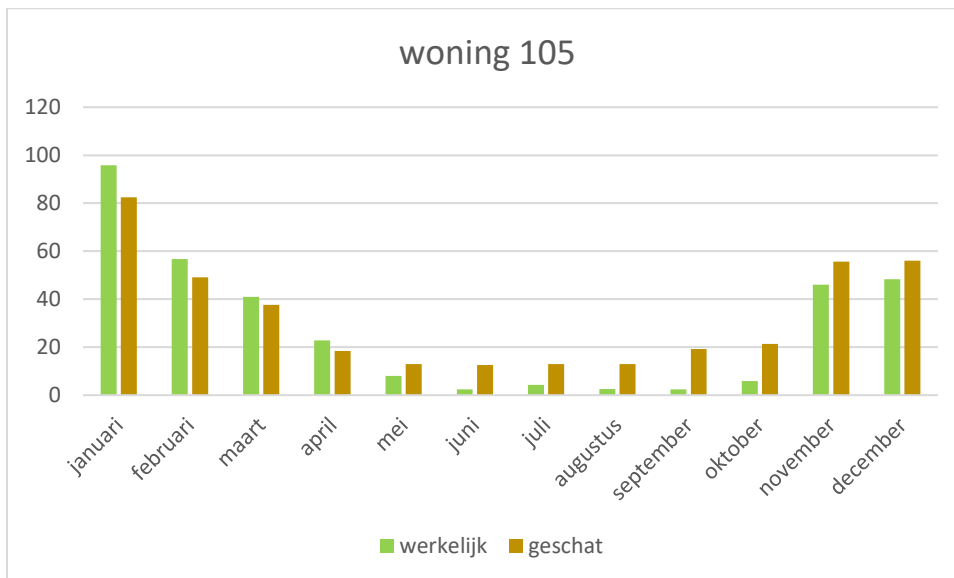


Zowel het werkelijke gasverbruik als het geschatte gasverbruik volgen de verwachting dat in de zomermaanden minder gas verbruikt wordt. Dit is te verklaren wanneer naar de gasverdeling van deze woning wordt gekeken.



Het aandeel verwarming is hier de grootste post. In de zomermaanden is het gasverbruik daardoor lager omdat er dan geen warmte vraag is. Wel constateren we dat het geschat verbruik in de zomer hoger is dan het werkelijk gasverbruik. Die verschillen kunnen alleen te verklaren zijn door het kook- en douchegegedrag.

Woning 105



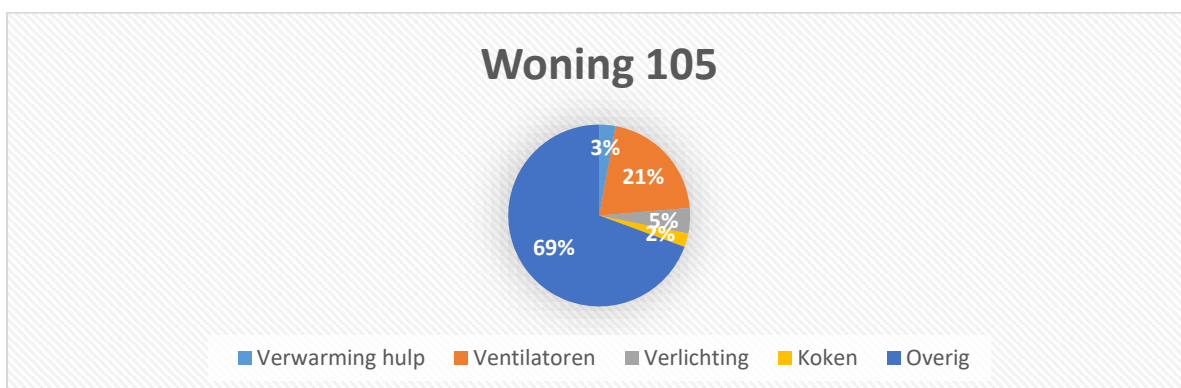
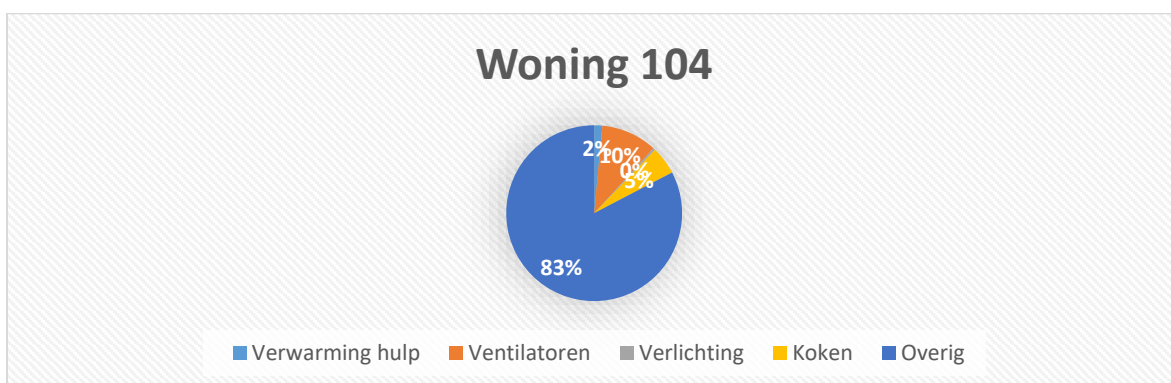
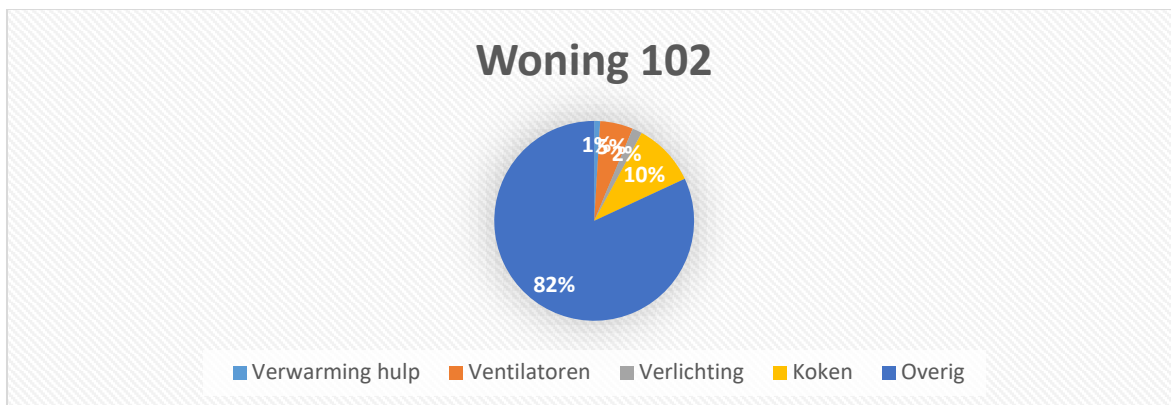
Opmerking:

Uit D2.1 data analyse is gebleken dat de CO2-concentratie in de slaapkamers vaak (te0 hoog is. Dat betekent dat er voor een gezond binnenklimaat een hoger ventilatievoud is gewenst, wat op zijn beurt weer leidt tot een hoger energiegebruik voor verwarmen. Hoewle deze adviezen aan de

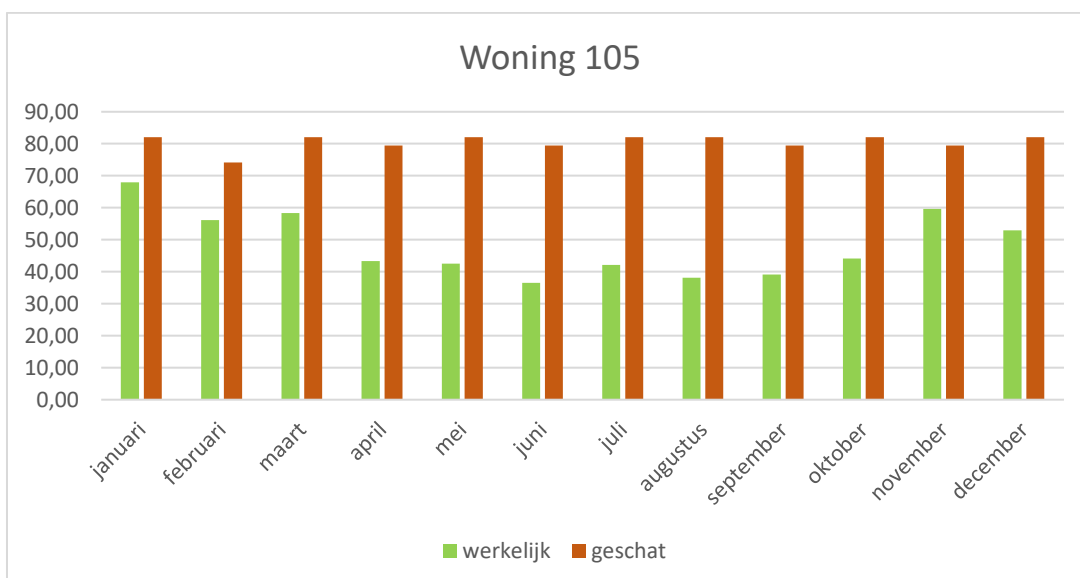
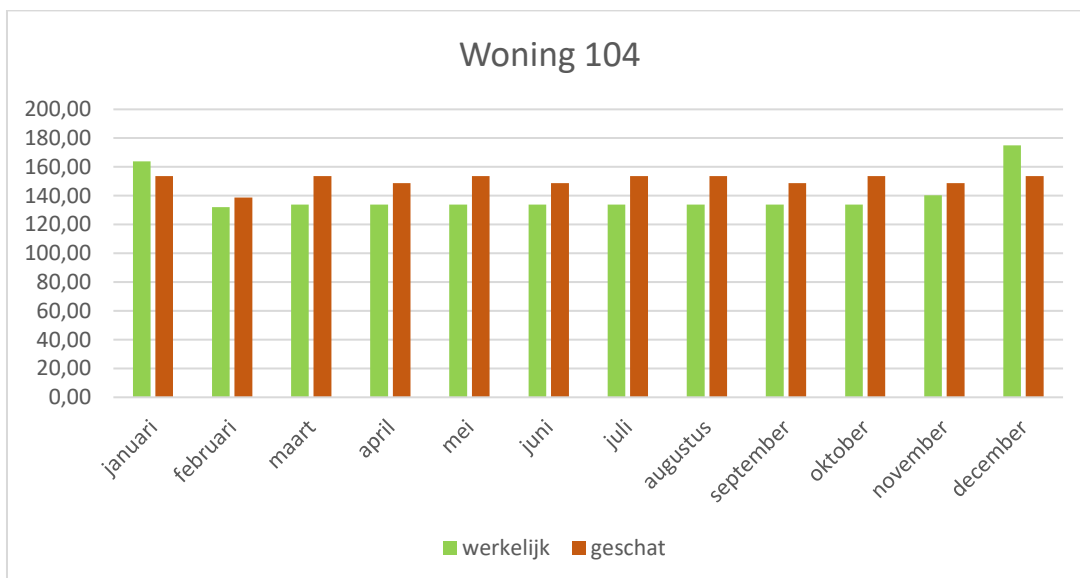
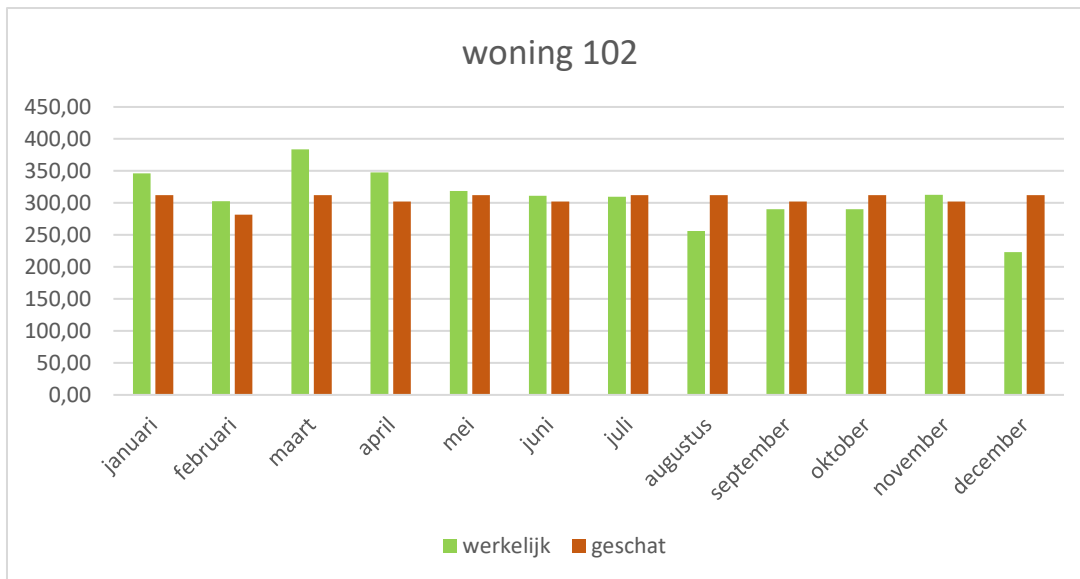
bewoners zijn gegeven zijn deze meetdata niet meer verzameld wegens de afronding van het TRECO-project. Deze extra benodigde ventilatie zal er toe bijdragen dat voorspelling en werkelijk energiegebruik nog dichtere bij elkaar komen te liggen.

2.4 Elektriciteitsverbruik werkelijk versus geschat

Het elektriciteitsverbruik is voor een deel toe te schrijven aan de installaties voor verwarmen, warm tapwater en ventilatie. Verlichting en koken zijn ook nog 2 posten die afzonderlijk interessant zijn om te bekijken. Daarnaast blijft er een post over van diverse elektrische apparaten. De aanwezigheid en het gebruik van deze apparaten is sterk afhankelijk van de samenstelling van het huishouden. Dit is ook terug te zien in de overzichten van het elektrische aandeel van de 3 woningen.



Het juist voorspellen van het elektriciteitsverbruik zal daarom vooral afhangen van het juist doorgeven van de elektrische apparaten en het gebruik daarvan. Bij woning 102 en 104 lijkt dat redelijk te kloppen. Bij woning 105 is er een behoorlijke afwijking. Zie onderstaande grafieken:



3. Conclusie

De gemiddelde buitentemperatuur per maand die de norm aanhoudt wijkt niet heel erg veel af van de KNMI klimaat tabel 2017 van Maastricht. Het berekend gasverbruik levert ook een minimaal verschil op. Voor het voorspellen van het gasverbruik lijkt het voldoende nauwkeurig om uit te gaan van een langjarig gemiddelde, zoals het Test Reference Year De Bilt uit de NEN 7120.

Voor het achteraf vergelijken van het werkelijke gasverbruik met het gasverbruik berekend door het rekenmodel van de Energiemodule, is het wel wenselijk om met de klimaatdata van het KNMI van het desbetreffende jaar te rekenen.

Rekenen met de thermostaatinstelling blijkt betere resultaten te geven dan rekenen met de gemeten binnentemperatuur. Dit komt niet overeen met de verwachting, maar is wellicht te verklaren door de onnauwkeurigheid van de gebruikte sensoren en wellicht speelt ook de plaatsing van de temperatuursensor een rol.

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.

4. Literatuur

Literatuur

Rasooli, A

NEN7120

NEN1086

RIGO Woon-onderzoek 2011