

Demonstratieproject Hybride warmtepompen in de gebouwde omgeving



INHOUD

1. Inleiding en Samenvatting	3
2. Meetset en Dataverwerking	13
3. Data en Waarnemingen	18
4. Gasbesparing, COP, en besparingsprestatie	28
5. Conclusies en Aanbevelingen	41
Bijlagen	45
Literatuur en Verwijzingen	46
Bijlage 1: Berekening jaarlijkse verdienste middels de besparingsprestatie	47
Bijlage 2: Graaddagen en Binnentemperatuur	49
Bijlage 3: Verdelingen over de populatie	51
Bijlage 4: Gedrag over de tijd van de populatie	58
Bijlage 5: Deelonderzoek prestatie buffervat en afgifte	65
Bijlage 6: Grafana dashboards van enkele deelnemers	73
Bijlage 7: Jupyter tabel van alle deelnemers	90
Bijlage 8: Beschrijving en specificaties van de meetset	94
Bijlage 9: Watertemperatuur, delta T en verspreiding van warme lucht	101
Bijlage 10: Screenshots WebApp – H6PEeOIX	102
Bijlage 11: Deelnemersenquête	103

1. INLEIDING EN SAMENVATTING

'Om de doelstelling van 3,4 Mton CO₂-reductie in 2030 in de gebouwde omgeving te halen, moeten ongeveer 1,5 miljoen bestaande woningen verduurzaamd worden', aldus het doel voor de gebouwde omgeving uit het Klimaatakkoord van juni 2019.

De opstellers van het document onderscheiden hierbij drie verduurzamingsmogelijkheden:

- warmtenetten
- all-electric warmtepompen
- hybride warmtepompen

Het oorspronkelijke doel is vanwege hogere ambities en tegenvallers bij de uitvoering de afgelopen jaren flink opgehoogd tot maar liefst 10 Mton voor de gebouwde omgeving, blijkt uit het Programma Versnelling Verduurzaming Gebouwde Omgeving uit 2022 [17].

Voor wat betreft de hybride warmtepomp blijkt uit de Klimaat en Energieverkenning van 2023 dat de opstellers uitgaan van een CO₂-reductie potentieel van 1,7 Mton als

een derde van de eengezinswoningen hun CV-ketel vervangt voor een hybride [18]. Dit komt neer op een gasbesparing van 378 m³ per eengezinswoning. Een opvallend laag getal. Het laat zien dat er nog steeds onduidelijkheid is over het besparingspotentieel van hybride warmtepompen.

Deze onduidelijkheid was al in 2019, direct na het verschijnen van het Klimaatakkoord, reden voor de Rijksoverheid en de verwarmingsindustrie om in overleg te gaan en duidelijkheid te krijgen over het besparingspotentieel, de terugverdientijd en het comfort van de hybride warmtepomp.

In eerste instantie is middels de gangbare modelmatige methode met gelijkwaardigheidsverklaringen gerekend aan het besparingspotentieel. De modelwerkelijkheid wijkt echter

vaak af van de gemeten prestaties waardoor partijen zich afvroegen wat nu de echte prestatie in de praktijk zou zijn. Deze vraag leidde uiteindelijk tot het Demonstratieproject Hybride warmtepompen in de gebouwde omgeving.

Inzicht vanuit de praktijk is essentieel voor huishoudens die willen verduurzamen; **de hybride warmtepomp wordt gezien als een eenvoudige, snelle en betaalbare verduurzamingsoplossing voor de bestaande bouw.**

Een relatief klein en licht apparaat met een gewicht van circa 50 kg dat toegevoegd wordt aan de bestaande verwarmingsinstallatie. Aanpassingen aan de woning of de verwarmingsinstallatie zijn doorgaans niet nodig.

Bovendien kan via de hybride route het gebruik van fossiel gas tot nul gereduceerd worden door isolatiemaatregelen, hybride tapwater, een opslagsysteem of verbetering van het afgiftesysteem. Deze aanpak is flexibel omdat vervolgstappen gemaakt kunnen worden afhankelijk van ontwikkelingen op het gebied van hernieuwbare gassen, opslag en netcongestie.

Na het opzetten van de pilot, werven van deelnemers, installeren van de hybrides en twee stookseizoenen meten en analyseren, wordt vijf jaar na het Klimaatakkoord antwoord gegeven op de vraag of de hybride daadwerkelijk zo'n slimme verduurzamingsstap is. De resultaten van het project hebben de betrokken partijen verrast en zijn in deze rapportage uiteengezet.



Door Meten tot Weten

Geheel in de traditie van de experimentele fysica is aldus besloten tot een – meten is weten – aanpak. Het is van belang op te merken dat het gezegde – meten is weten – eigenlijk een verbastering is van het oorspronkelijke: door meten tot weten.

Dit gezegde is destijds door de Groningse hoogleraar en Nobelprijswinnaar Heike Kamerlingh Onnes bij zijn inaugurele rede in 1882 als slagzin en lijfspreuk geïntroduceerd [2]. Het gezegde geeft aan dat het uitvoeren van metingen en het bestuderen van de meetresultaten kan leiden tot inzicht en daarmee tot wetenschap. Juist deze bestuderingsstap, die in het gezegde verpakt is in het woord – tot –, is essentieel: **Meetresultaten laten vaak onverwachte dingen zien die de opening zijn tot discussie en nieuwe inzichten.** Het demonstratieproject

is hiervan een goed voorbeeld; het heeft geleid tot reacties van verbazing bij intern en extern betrokkenen.

Het woord – door – in het gezegde van Onnes geeft aan dat het uitvoeren van metingen ook nodig is om tot verklaringen en inzichten te komen. Voorwaarde hierbij is natuurlijk transparantie: alleen als anderen de meetresultaten en de verwerking daarvan kunnen nazien, is er sprake van een navolgbaar inzicht. Herleidbare en daarmee verifieerbare resultaten zijn de basis van wetenschap. In de data onderzoeksgemeenschap heeft dit geleid tot concepten als JupyterLab: **een open omgeving waarin data, code, figuren en tekst aan elkaar verbonden zijn, zodat eenieder kan nagaan hoe inzichten en conclusies tot stand zijn gekomen.** De verwerking van de meetdata tot inzichten is in dit project uitgevoerd in JupyterLab en is daarmee voor iedereen navolgbaar.

Het Demonstratieproject Hybride warmtepompen

Doelstelling van het demonstratieproject is om in 200, qua bouwjaar en type uiteenlopende, woningen het effect van de plaatsing van een hybride te bepalen.

De hoofdonderzoeksvragen van het project zijn:

1. Hoeveel is de daling van het gasgebruik na plaatsing van de hybride?
3. Wat is het gevolg voor de energielast en daarmee de energierekening voor de bewoners?

In het klimaatakkoord is gekozen voor een scope 1 benadering, waardoor de CO₂ emissies worden toegekend aan de organisatie of huishouden die het uitstoten. De daling van het gasgebruik na plaatsing van de hybride is daarmee 1 op 1 een daling van de CO₂ uitstoot [17].

Het demonstratieproject is uitgevoerd door de Stichting SEF die optrad namens de zes fabrikanten die deel uitmaken van de Vereniging voor Duurzame Warmte (VDW eerder Nederlandse Verwarmingsindustrie (NVI)). Deelnemers

konden zich via de opengestelde website aanmelden en zijn via het installateursnetwerk van de fabrikanten geworven [8]. Aanmelding verliep middels het online aanmeldformulier, het inleveren van twee energiejaarrekeningen voorafgaand aan plaatsing van de hybride en een goedkeuring door de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

Voor het project is een meetset ontwikkeld die onafhankelijk van het fabrikaat van het toestel de benodigde meetdata verzamelt. Middels de meetset worden energiestromen en temperaturen in de woning gemeten en via een mobiele LTE-4G netwerkverbinding doorgegeven aan het servercluster waar de data-analyse werd uitgevoerd. De data-analyse is uitgevoerd middels Grafana (kijken naar de ruwe data) en het hiervoor genoemde JupyterLab.

Veruit de meeste deelnemers waren eigenaar van de woning. De woningen zijn niet bouwkundig aangepast en zonder tussenkomst van een EPA adviseur is de hybride

door bewoner en/of installateur geselecteerd. In een aantal gevallen is sprake van onder- of overdimensionering. In de praktijk bleek dit geen probleem: **er zijn woningen waar de hybride het volledige gasgebruik voor verwarming heeft overgenomen en er zijn woningen waar de CV-ketel relatief snel bijschakelt.**

In een viertal gevallen is het afgiftesysteem, vanwege de zeer slechte staat of foute uitvoering, verbeterd door een aantal radiatoren te vervangen. Het was de bedoeling dat de installaties na plaatsing van de hybride ingeregeld zouden worden. Dit is gezien de grote waargenomen verschillen in CV watertemperaturen in de meeste gevallen niet, of onvoldoende, uitgevoerd.

De belangstelling voor deelname was groot. Er zijn diverse, deels Covid-19 gerelateerde, aanloopproblemen geweest (zie hoofdstuk 2).

Door allerlei oorzaken is het aantal deelnemers, die data voor het project geleverd hebben, achtergebleven. Uiteindelijk telde het project 174 deelnemers met een geïnstalleerde hybride en een functionerende meetset.

Het project komt feitelijk neer op een verschilmeting. Het energiegebruik van de woning voor plaatsing van de hybride wordt vergeleken met het gebruik na plaatsing. Dit is ook de manier waarop bewoners er naar kijken. Door de verlenging van het project is voor veel deelnemers het gebruik twee winters voorafgaand aan plaatsing en over twee winters na plaatsing bekend. **Over het algemeen zal het gebruik van de woning, zoals bijvoorbeeld het warm tapwatergebruik en het gebruik van de thermostaat, redelijk constant zijn met de tijd.**

Dit blijkt ook uit de beschikbare data. Middels een enquête onder de deelnemers is bevestigd dat veruit de meesten hun stookgedrag na plaatsing niet hebben veranderd en dat vrijwel iedereen tevreden is over de hybride (bijlage 11).

Indeling

In het navolgende zijn de opzet van de meetset en de dataverwerking beschreven en worden gedane waarnemingen toegelicht. Middels door JupyterLab gegenereerde afbeeldingen en een gegenereerde overzichtstabel van alle deelnemers worden de onderzoeksresultaten weergegeven. Voor snel inzicht is een overzicht, van de data en de hieruit bepaalde prestaties, van alle deelnemers gegenereerd [12].

Dit is nader toegelicht in de volgende hoofdstukken:

2. Meetset en dataverwerking
3. Data en waarnemingen
4. Gasbesparing, COP en besparingsprestatie
5. Conclusies en aanbevelingen



Besparingsprestatie

Voor de hand liggend is om de door de hybride gerealiseerde vermindering van het gasgebruik in verhouding tot het meergebruik van elektrische energie uit te drukken.

Hiervoor is het begrip besparingsprestatie geïntroduceerd:

$$\text{besparingsprestatie} = (\text{bespaarde hoeveelheid gas in kWh}) / (\text{meergebruik elektrische energie in kWh})$$

De besparingsprestatie geeft aan hoeveel kWh gas bespaard wordt door 1 kWh stroomgebruik van de hybride warmtepomp. Waarbij 1 m³ Nederlands gas een energiewaarde van 9,77 kWh heeft [10]. Uitgaande van een 100% rendement van de CV-ketel en een onveranderd gedrag van de verwarmingsinstallatie en de besturing na plaatsing van de hybride is de verwachting dat

de besparingsprestatie gelijk zou zijn aan de COP waarde van de hybride warmtepomp. Immers, uit de energiewaarde van de bespaarde hoeveelheid gas zou middels de COP het gebruik van elektriciteit door de warmtepomp volgen. Vastgesteld is echter dat de gemiddelde COP waarde van de hybriden in dit project 3,8 is, terwijl de gemiddelde besparingsprestatie 5,7 is.

Los van de exacte fysische verklaring is dit een zeer opmerkelijk resultaat van het demonstratieproject: iedere bespaarde m³ gas, geeft in plaats van 2,6 kWh maar 1,7 kWh meergebruik van elektriciteit. Bij de huidige prijzen (juni 2024) van 1,33 voor een m³ gas en 0,31 euro voor een kWh elektriciteit geeft dat dus gemiddeld een opbrengst van 0,8 euro voor iedere door een hybride bespaarde kuub gas.

Nieuw Werkgebied

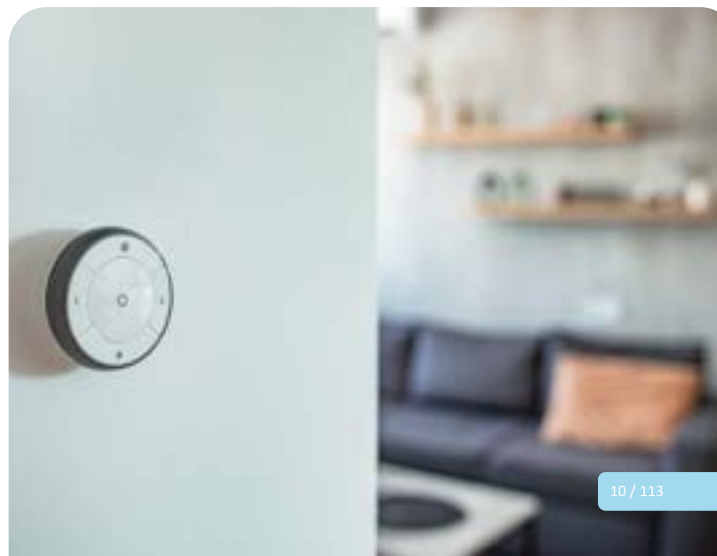
Geheel in de traditie van Onnes bleken de hybriden bij meting een ander, veel lager, elektriciteitsgebruik te laten zien dan vooraf voorspeld. Hoe is dit nu mogelijk?

Door toevoeging van de hybride warmtepomp aan een bestaande CV-installatie gaat deze in een ander werkgebied opereren. Het minimum vermogen van CV-ketels ligt in de orde van 5-7 kW maar voor een hybride warmtepomp ligt dit in de orde van 1-2 kW. Een installatie met een hybride kan langdurig op laag vermogen en daarmee op lage watertemperaturen draaien. Veel lager dan met de CV-ketel mogelijk is. De hybride vergroot het werkgebied van de installatie en doet dus iets anders dan het vervangen van eerder energiegebruik van de CV-ketel. **De hybride vergroot het modulatiebereik en verlaagt de watertemperaturen. Dat levert extra energiewinst.**

Netbelasting

De netbelasting van de hybriden is in de praktijk veel lager dan doorgaans wordt verondersteld.

De gemiddelde vermogenslast, zelfs op dagen met temperaturen rond de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ligt onder de 1 kW. Aangezien de meeste laagspanningsnetten zijn uitgelegd op 1,5 kW per woning, hoeft netcapaciteit geen belemmering te zijn voor de installatie van hybride warmtepompen.



Conclusies

Het gemiddelde bouwjaar van de deelnemende woningen is 1974. Het gasgebruik van de woningen voor deelname aan het project lag rond de 1900 m³. Dat is meer dan het gemiddelde gasgebruik voor een huishouden waarvoor getallen in de orde van 1200 tot 1500 m³ circuleren. Appartementen zitten niet in de projectpopulatie. Vrijstaande en halfvrijstaande woningen zijn in het project oververtegenwoordigd. De halfvrijstaande woningen laten de hoogste absolute besparingen zien en de tussenwoningen de hoogste procentuele besparingen. De kleinere woningen laten opmerkelijk genoeg geen slechtere resultaten zien.

Hoofdconclusie voor de gemiddelde deelnemer is dat de hybride warmtepomp een gas- en daarmee CO₂ besparing geeft van 75% en dat de jaarlijkse energielast rond de 1000 euro daalt. Deze besparing is gebaseerd op het gemiddelde tarief van juni 2024 van 1,33 euro voor een m³ gas en 0,31 euro voor een kWh elektriciteit [11]. De gas- en CO₂ besparing is

aanmerkelijk hoger dan voorafgaand aan het project berekend. De daling van de energiekosten is, met verrekening van de gestegen prijzen, hoger dan gedacht.

De over het jaar gemeten COP waarde, ook wel SCOP genoemd, ligt rond de 3,8 en dit komt goed overeen met gangbare getallen [1]. Veelal wordt gedacht dat gasbesparing, warmtelast van de woning en electriciteitsgebruik van de hybride warmtepomp met elkaar in verband staan middels de SCOP. Dit blijkt niet zo te zijn. **Opmerkelijk is dan ook de gemiddeld veel betere energieprestatie na toevoeging van de hybride warmtepomp aan de installatie.** Hierdoor is ook het gebruik van elektriciteit aanmerkelijk lager dan verwacht.

Gemiddeld is de gasbesparing 1392 m³. Voor het door PBL genoemde aantal van 2,5 miljoen eengezinswoningen komt dit neer op een CO₂ besparing van 6,3 Mton. Een getal dat erg veel afwijkt van de 1,7 Mton van het planbureau.

De warmtevraag verwarming wordt bij dertig woningen voor meer dan 97,5% ingevuld door de hybride warmtepomp. Bij vier deelnemers heeft de hybride de warmtevraag verwarming, de afgelopen twee winters, zelfs volledig overgenomen. Wel was het aantal ijsdagen met dagwaarden onder de nul °C minder dan normaal. Woningen worden uitgelegd op temperaturen tot -10 °C.

De spreiding in resultaten is groot. Een aantal woningen (10-20%) laat een veel slechtere prestatie dan gemiddeld zien. Waarschijnlijk kan bij de onder gemiddeld presterende deelnemers door aanpassing van de installatie (afgifte) en/of hybride nog een aanzienlijke verbetering gerealiseerd worden. De grote spreiding van de gemeten CV watertemperaturen wijst hier ook op.

De grote spreiding in prestaties geeft aan dat naast goede installatie ook beoordeling van de prestatie van het verwarmingssysteem als geheel nodig zal zijn om in alle gevallen tot een goed resultaat te komen. Installateurs zijn natuurlijk niet verantwoordelijk voor het doorgaans niet door hen aangelegde afgiftesysteem. Verder kan niet zonder meting beoordeeld worden of het systeem goed functioneert. Dit is dan ook de vervolggopgave van dit project: **hoe wordt zeker gesteld dat alle hybriden goed geïnstalleerd worden en goed functioneren met de, in de woning aanwezige, warmte afgifte installatie.**

Namens de Stichting Smart Energy Foundation, augustus 2024,
Peter Cool



2.MEETSET EN DATAVERWERKING

Voor het project is een meetset ontwikkeld die onafhankelijk van de hybride functioneert en waarmee gemeten wordt:

- P1 poort slimme meter: gas-, elektriciteitsgebruik en teruglevering van de woning
- Meting van de totale warmtestroom naar het afgiftesysteem:
 - vermogen
 - waterflow
 - aanvoer- en retourtemperatuur
- Elektrische vermogensopname door de ketel en de warmtepomp
- Luchttemperatuur en -vochtigheid in de woonkamer

De technische uitvoering en de nauwkeurigheid van de meetset is beschreven in bijlage 2. De volgende pagina's geven schematisch de opbouw van de meetset, de dataopslag en de dataverwerking weer (16, 17). Datatransport van de meetsets naar het servercluster vindt iedere 10 seconden plaats.

Zodat alle dynamische effecten van de verwarmingsinstallatie goed zichtbaar zijn. Voor de visualisatie van de onbewerkte data is gebruik gemaakt van Grafana (grafana.com).

Zoals in de inleiding aangegeven is herleidbaarheid van resultaten de basis van wetenschap. De meetdata en de verwerking daarvan in dit project is uitgevoerd in JupyterLab en is daarmee voor iedereen navolgbaar [3, 4, 5]. De meetdata en de notebooks die de dataverwerking beschrijven worden in anonieme vorm vrijgegeven [6]. Door JupyterLab op de aangegeven wijze te installeren is het mogelijk om de resultaten zelf te genereren en desgewenst verder onderzoek te plegen.

Naast data afkomstig van de meetsets wordt KNMI en Kadaster data gebruikt. Zoals weergegeven in het schema is er voor iedere fabrikant een zogenaamde container met een eigen data, visualisatie en analyse omgeving voor de aan hem verbonden deelnemers. Daarnaast is er een globale omgeving die gebruikt is voor de dataverwerking van alle deelnemers voor dit verslag

en waarop de WebApp van de deelnemers is aangesloten. Middels de WebApp konden de deelnemers de meetgegevens en prestatie van de eigen woning inzien. Een voorbeeld daarvan is opgenomen in bijlage 10.

In het kader van anonimiteit zijn de meetdata van deelnemers opgeslagen onder anonieme, random gegenereerde, identifiers (ID), die ook in dit verslag gebruikt worden (bijvoorbeeld H6PEe0IX). Hierdoor is gewaarborgd dat bij ongeoorloofde toegang tot de data of ontvreemding van de data er geen link gelegd kan worden met de locatie van de woning of de bewoners. Verder zijn woninggegevens, zoals bouwjaar en vloeroppervlak, in categorieën ingedeeld om ook herleiding van de woning middels matching onmogelijk te maken.

Waar data zijn, zijn er fouten, verstoringen en onvolkomenheden. Zo ook in dit project. Niet goed ingevulde aanmeldformulieren, onvolledige energierekeningen, haperende communicatie-verbindingen, gedeeltelijke of tijdelijke uitval van meetsets, bewoners die in de zomer de stekker eruit halen, etc. Belangrijke stap in het onderzoek was de data cleansing [7]. De data cleansing

stappen zijn beschreven in de JupyterLab project notebooks. Ondanks de schoonmaak zal er nog wel een foutje te vinden zijn. Code is wat dit betreft net als tekst: er is bijna altijd nog wel een vorm- of stijlfout te vinden. Gezien het totale aantal van het project zal een datafout van een enkele deelnemende woning niet direct een andere conclusie opleveren. Het is ook niet uit te sluiten dat er onjuistheden zitten in de door deelnemers verstrekte gegevens. Zoals ook in een zeer laat stadium in 1 geval bleek (zie noot bijlage 7). Experimenten hebben laten zien dat weglaten of wijzigen van de data van meerdere deelnemers marginaal van invloed is op de resultaten (bijvoorbeeld de tabel op pagina 31).

Bij de aanvang heeft het project diverse, deels aan de Corana epidemie gerelateerde, vertragingen gekend. Door chip tekorten is de productie van de meetsets en ook de hybride warmtepompen vele maanden vertraagd. Hierdoor waren de eerste woningen pas begin 2022 online.

Daarna trad een ander probleem op. Oorspronkelijk was voorzien dat de installateur van de hybride ook de meetset zou monteren.

Die werd opgestuurd na een goedgekeurde aanvraag. De distributie en het goed installeren van de meetsets is de eerste periode zeer moeizaam verlopen. Gedurende het project is daarom de keuze gemaakt de meetsets niet door de installateur, maar door de servicedienst van de fabrikanten te laten installeren.

Er zijn een aantal meetsets verloren gegaan of beschadigd waardoor er bij het installeren van de laatsten een tekort ontstond en het aantal van 200 deelnemers niet kon worden volgemaakt. Het plan was om meetsets bij te maken. De minicomputer van de meetset, een zogenaamde Raspberry Pi, was pas het laatste kwartaal 2023 weer goed leverbaar. Vanwege de resterende tijd is toen besloten geen meetsets meer bij te maken en het onderzoek uit te voeren met de woningen die op dat moment online waren.

De aanmeldprocedure verliep via RVO. Door het tekort aan meetsets is het aantal deelnemers beperkt. Uiteindelijk waren er 185 deelnemers die de aanmelding hebben doorlopen. Bij 174 deelnemers is uiteindelijk een functionerende meetset geïnstalleerd.



Locaties, meetapparatuur en data

Locatie 1:
Meting energie-opname
verwarming en elektrische opname
HR ketel en hybride warmtepomp

Locatie 2:
MiFi router

Locatie 3:
P1 poort uitlezing slimme meter

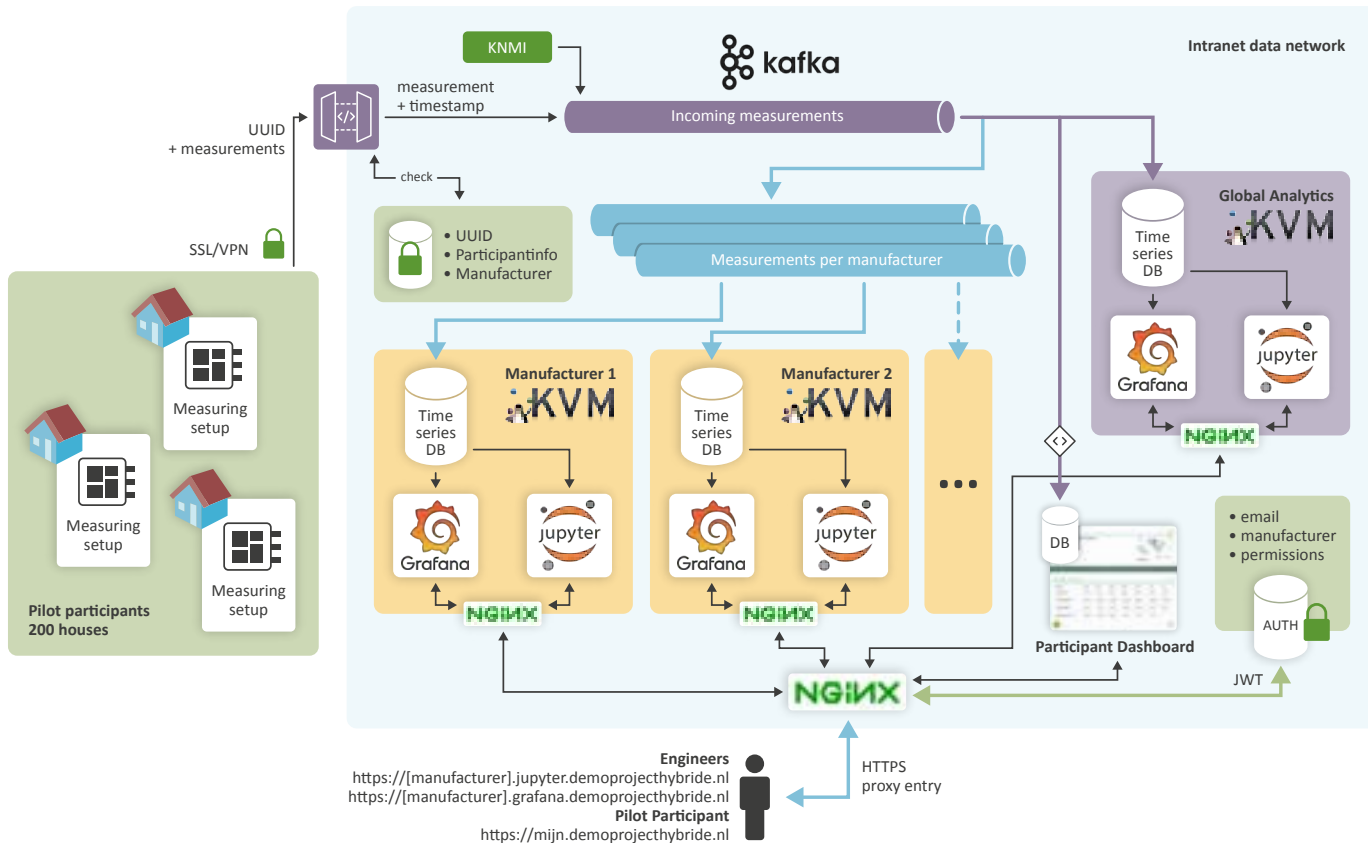
Locatie 4:
Kamertemperatuur en luchtvochtigheid

Data naar
servercluster



--- LTE 4G
--- WiFi 2.4Ghz

Opzet van de data infrastructuur



3. DATA EN WAARNEMINGEN

De ruwe data van de deelnemers zijn zichtbaar gemaakt middels Grafana dashboards.

Pagina 20 toont een dergelijk dashboard voor een woning uit de zestiger jaren, met deelnemer identificatie H6PEe0IX, die getalsmatig kenmerkend is voor het project.

Dit dashboard laat over de periode van een jaar zien:

- Het cumulatieve elektriciteitsgebruik van de woning (linksboven), dit is het saldo van afname en teruglevering van elektriciteit per etmaal. Veel deelnemers hebben zonnepanelen, waardoor terugloop van de meterstand in de zomermaanden zichtbaar is.
- De hoeveelheid warmte die de woning is ingestroomd, cumulatief per etmaal (rechts boven).
- De stand van de gasmeter in de meterkast (rechts midden). Dit is het cumulatieve gasgebruik: verwarming plus warmwater

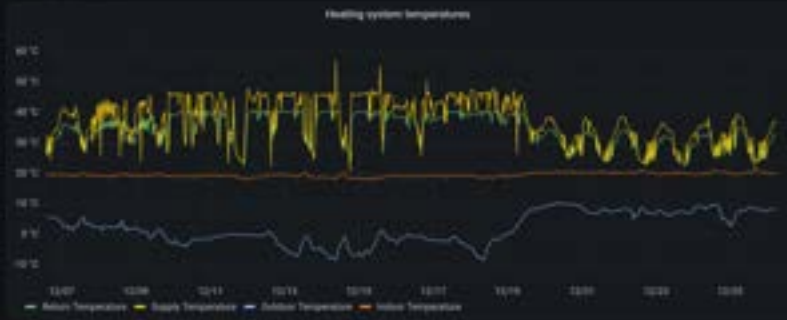
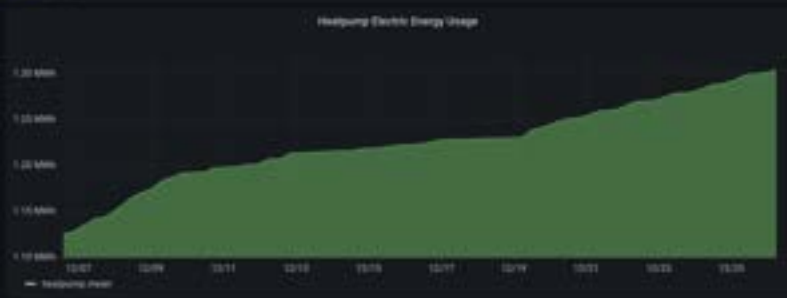
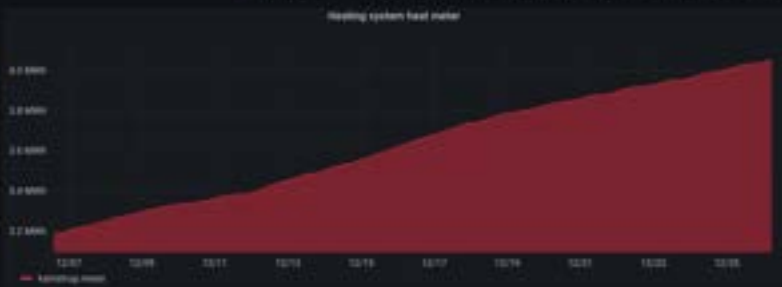
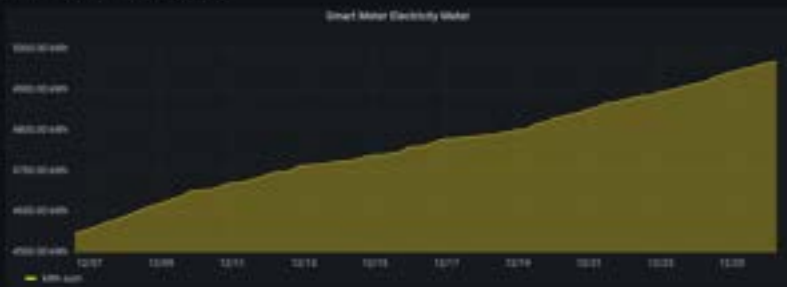
en eventueel koken. Zichtbaar is dat de meter continu oploopt door het dagelijks gebruik van warmwater en/of koken en sterker oploopt bij winterse dagen.

- Het gasgebruik per etmaal (rechts onder), de constante afname van tapwater/koken is te zien en pieken die ontstaan bij koude winterse dagen.
- Links onder, de temperatuur van de aanvoer, de retour, de sensor in de woonkamer en de buitentemperatuur (KNMI data per uur). Duidelijk zichtbaar is dat watertemperaturen, zelfs op strenge winterse dagen, veel lager zijn dan wat doorgaans aangenomen wordt.
- Het gemeten stroomgebruik van de hybride warmtepomp (links midden, cumulatief)

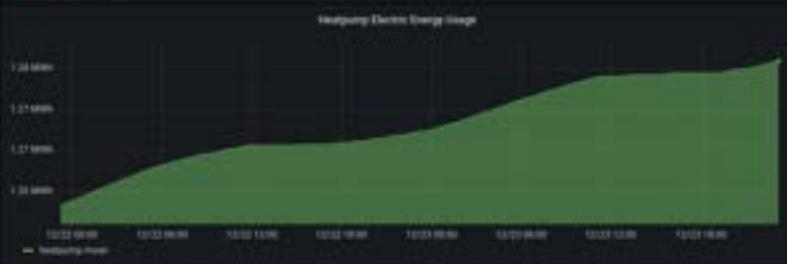
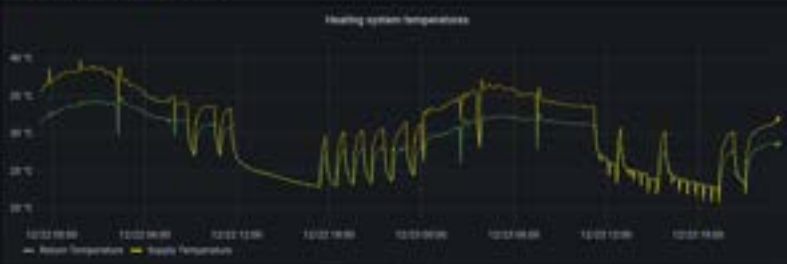
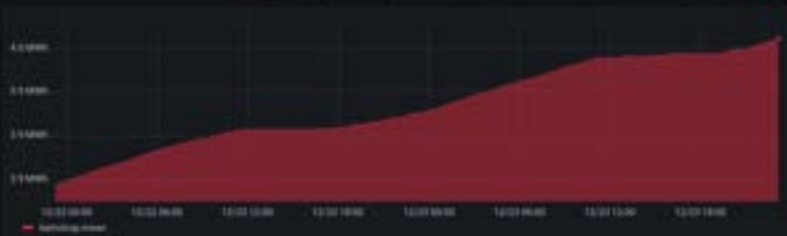
Op pagina 21 is ingezoomd op een strenge winterse week in de maand december 2022. Buitentemperaturen tot $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Duidelijk is te zien hoe het gasgebruik en de watertemperatuur stijgt om de woning warm te houden. Anderzijds daalt het elektriciteitsgebruik van de hybride, hetgeen gunstig is voor het net. Na de winterse periode daalt het gasgebruik weer tot waarden behorend bij dagelijks warm tapwatergebruik en/of koken.

Op pagina 22 is, met andere subplots, verder ingezoomd op tweemaal 24 uur in de maand december. Zichtbaar zijn de lage watertemperaturen, van rond de $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, bij een buitentemperatuur van rond de $7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Af te lezen is dat er over

de periode 100 kWh aan warmte is opgewekt en dat de hybride 22 kWh aan stroom heeft gebruikt. Dit geeft een COP van 4,5. Zichtbaar is dat de hybride lange perioden ononderbroken draait en daarbij 600 tot 800 Watt aan stroom gebruikt. De aanvoer- en retourtemperatuur liggen rond de 35 en $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dit langdurig draaien op laag vermogen en lage temperatuur is bij een installatie met louter een CV-ketel onmogelijk. Vanwege het hogere minimum vermogen van CV-ketels (5-7 kW). De hybride vergroot dus het modulatiebereik van de installatie. Het gedrag van hybride installaties is meer continu. Enkele deelnemers kwamen met de hierbij passende opmerking dat de warmte meer gelijkmatig is. De hybride bedrijft de installatie anders dan de CV-ketel.



H6PEe0IX - tweemaal 24 uur (decembermaand)



In bijlage 6 zijn voor een aantal deelnemende woningen afbeeldingen van dashboards als voorgaand opgenomen. Verschillen in watertemperaturen, gedrag van de hybride en het gasgebruik van de woningen zijn toegelicht. In de bijlage is tevens van een aantal deelnemers het dashboard, in een iets anders vorm, over een periode van twee jaar opgenomen. Daarbij zijn de beperkte verschillen tussen winters en voorkomende zaken als: data onderbrekingen, het wisselen van een slimme meter en onvolledige elektrische aansluiting van de hybride, zichtbaar.

Verlies van warmte wordt gedreven door het verschil van de binnen- en buitentemperatuur. Vanuit die gedachte ligt het voor de hand om het energiegebruik voor verwarming per 24 uur af te zetten tegen het gemiddelde temperatuurverschil tussen binnen en buiten. Op pagina 25 staan de middels JupyterLab gemaakte grafieken die de warmtebehoefte, het energiegebruik, de COP en de watertemperaturen in relatie tot het verschil van de binnen- en buitentemperatuur voor deelnemer H6PEe0IX laten zien. Een overzicht van de beschikbare meetdata die hiervoor gebruikt is, is gegeven op pagina 26.

Ieder punt in de grafiek is samengesteld uit 24 uur data. De lijnen zijn de, in mathematische zin, best passende lijnen bij de punten en geven het energiegebruik van de woning per etmaal in relatie tot het verschil tussen de binnen- en buitentemperatuur. De spreiding van de punten wordt veroorzaakt doordat naast buitentemperatuur ook zon, wind en regen van invloed zijn op het warmteverlies van de woning.

Doordat er wordt uitgegaan van het gemiddelde verschil tussen de binnen- en buitentemperatuur over 24 uur, hebben effecten als wel of geen nachtverlaging, een tijdje op vakantie gaan en de thermostaat laag zetten, een meer of minder strenge winter, geen invloed op de lijnen.

In de plot op pagina 26 is zichtbaar dat het gemiddeld gasgebruik voor andere zaken dan verwarmen $0,7 \text{ m}^3/\text{dag}$ is. Dit is voor alle woningen bepaald door over een periode in de zomer te te middelen. Het resultaat hiervan is zichtbaar gemaakt door een blauwe stippellijn in de subplot links midden. Overigens is het zo dat gasgebruik voor het maken van warm tapwater in de winter toeneemt door lagere koudwaterleidingtemperaturen. Het werkelijke gasgebruik voor tapwater zal hierdoor iets hoger zijn.

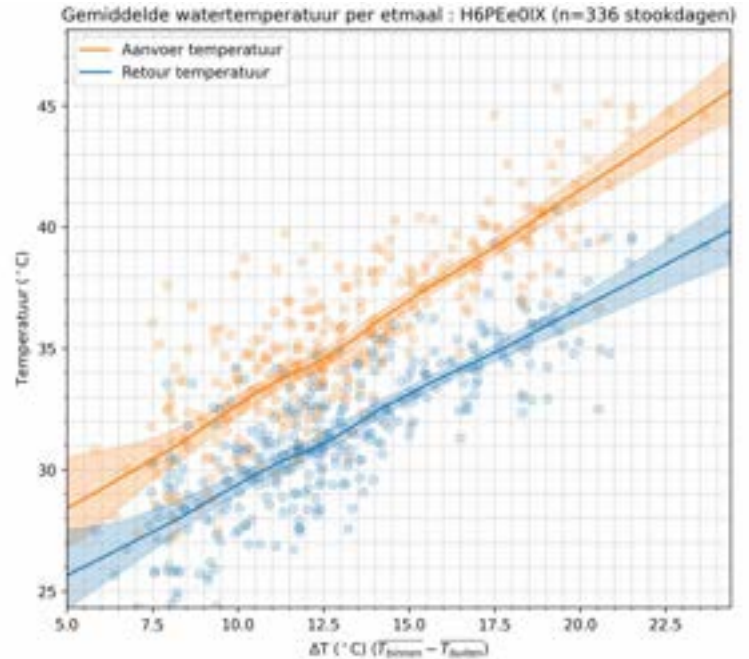
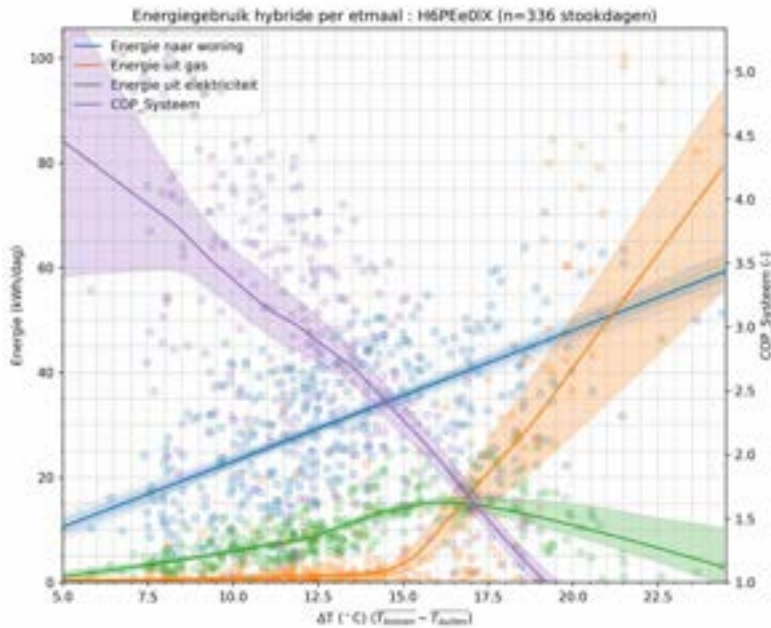
Middels JupyterLab zijn de plots voor alle deelnemers gegenereerd. Dit is een groot bestand en daarom als losse file verwerkt [12]. De grafieken van alle deelnemers, zoals afgebeeld op de pagina's 25 en 26, zijn hierin naast andere woning- en meetgegevens opgenomen.

De plots laten onder meer zien:

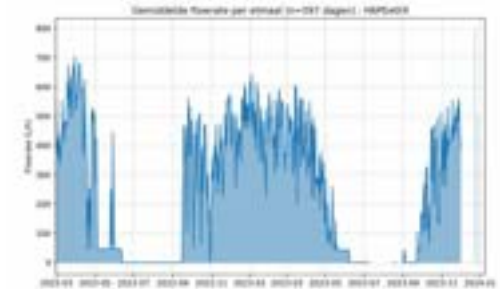
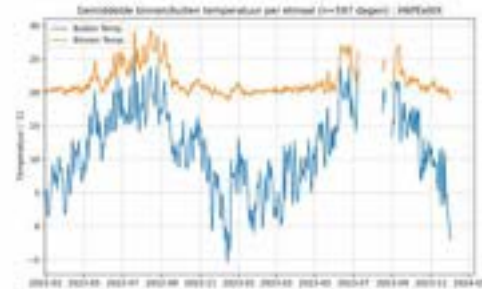
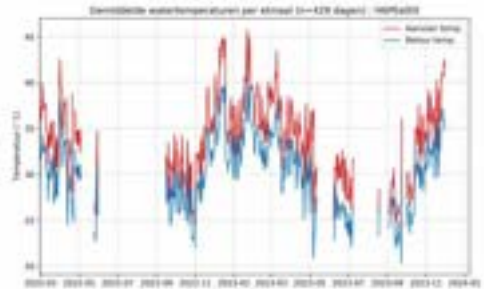
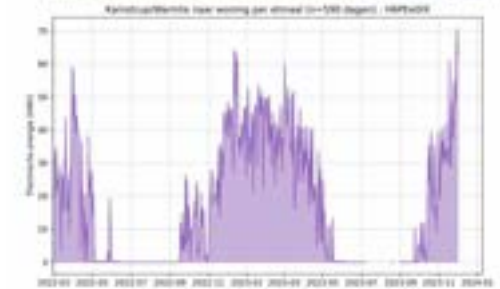
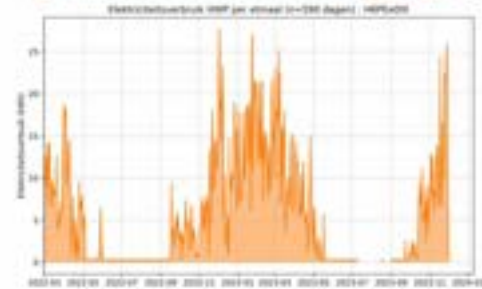
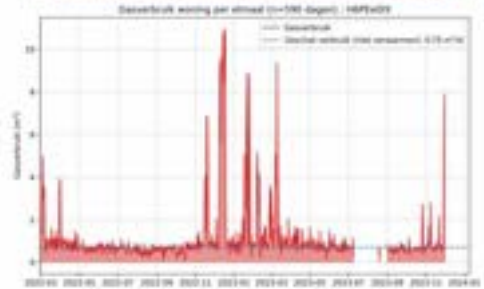
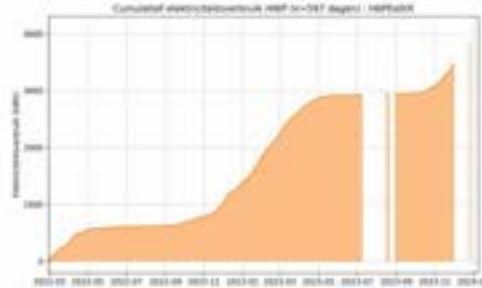
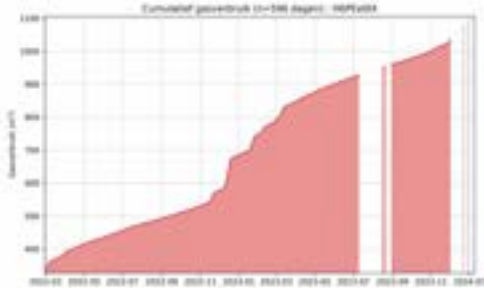
- Veel woningen hebben bij lage delta T doorgaans geen verwarming meer nodig. Dit houdt in dat op die dagen de eigen opwarming (glas), maar ook de warmte geproduceerd door apparaten en bewoners voldoende is om de woning warm te houden. Over een etmaal kan het ook zo zijn dat overdag de temperatuur hoger is dan in de nacht. Dit off-set effect is verwerkt in de definitie van graaddagen.
- Opmerkelijk is het bij sommige woningen teruglopen van de COP lijn op dagen met hoge buitentemperaturen. Dit komt doordat de hybriden over het algemeen hoge elektrische stilstandsverliezen laten zien. Rond de 0,2 kWh per dag. Dit is 73 kWh per jaar (23 euro met huidige elektriciteitsprijs). Op dagen met nauwelijks warmtebehoefte wordt de COP hierdoor negatief beïnvloed.



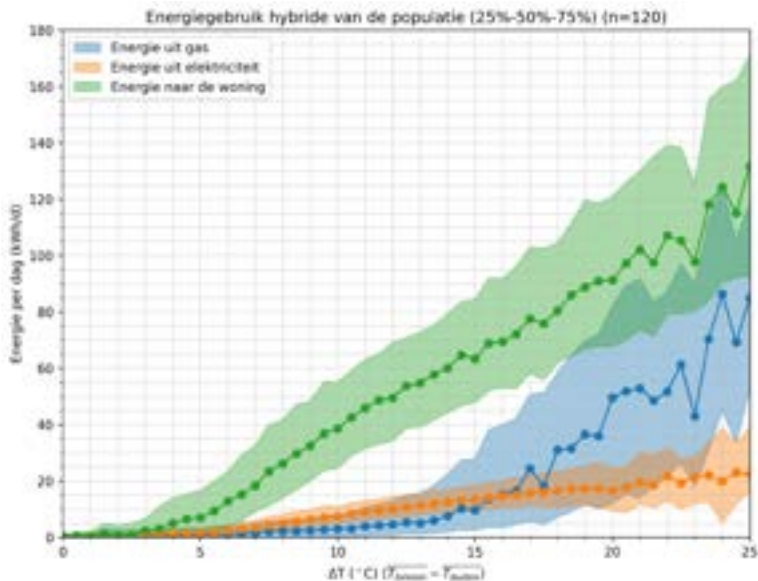
Deelnemer H6PEe0IX



Deelnemer H6PEe0IX



Naast overzichten per deelnemer zijn er verzamelplots gemaakt waarin de data van alle deelnemers over de tijd te zien is (bijlage 4). Hierin zijn het energieverbruik, de watertemperaturen en de verdeling daarvan over de deelnemers weergegeven. Als relevant voorbeeld de plot hieronder. Die laat het gemiddelde energieverbruik en de spreiding daarvan, voor alle 120 deelnemers zien, waarvoor deze bepaling gedaan kon worden. De 25 en 75 procentgrens van de populatie is aangegeven.



Uit de plot is af te lezen dat:

- Het gasgebruik voor verwarmen pas bij een delta T van 15 °C, ofwel 20 graden binnen en 5 graden buiten, voor de gemiddelde deelnemer op een 1 m³ (10 kWh) komt. Zichtbaar is een soort van kantelpunt. Het gasgebruik gaat hard omhoog bij lagere buiten-temperaturen. Dit is verklaarbaar. Rond dat punt bevriest de buitenunit van de warmtepomp en zal deze periodiek ontdooit moeten worden. Hierdoor loopt de prestatie terug en stijgt het gebruik. De ketel zal vanaf dat punt veel moeten bijdragen.
- Het gemiddeld gebruik van elektriciteit door de hybriden komt bij de koude dagen met etmaaltemperaturen van -5 °C (delta T 25 °C) nauwelijks boven de 20 kWh uit. Dit houdt in een gemiddeld etmaal vermogen van minder dan 1 kW. Aangezien de meeste laagspanningsnetten zijn uitgelegd op 1,5 kW per woning lijkt het mogelijk om de hybride breed toe te passen zonder dat netverzwaring nodig is [16]. De Het elektriciteitsnet kan de extra 80 kWh per etmaal, die gemiddeld nodig is voor deze populatie, zoals rechts afleesbaar op koude dagen, en door de CV-ketel wordt geleverd, niet opbrengen.

4. GASBESPARING, COP, EN BESPARINGSPRESTATIE

Teneinde de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden, is gebruik gemaakt van onderstaande begrippen. Hierbij is alles uitgedrukt in kWh en heeft 1 m³ Nederlands gas een energiewaarde van 9,77 kWh [10].

- **gas_voor:** over twee jaar gemiddeld gasgebruik voor plaatsing van de hybride
- **gas_na:** gemeten jaargebruik gas na plaatsing van de hybride
- **gas_tapwater:** uit meetdata bepaald jaargebruik tapwater en koken [12]
- **warmte:** gemeten jaargebruik warmte na plaatsing hybride
- **gas_hybride:** bepaling door: $\text{gas_na} - \text{gas_tapwater}$
- **elek_hybride:** gemeten jaargebruik elektriciteit door hybride
- **Gasbesparing:** $(\text{gas_voor} - \text{gas_na}) / \text{gas_voor}$
- **Gasverliesfactor:** $\text{warmte} / (\text{gas_voor} - \text{gas_tapwater})$
effectiviteit van de gasomzetting naar warmte
- **SCOP_ondergrens:** $(\text{warmte} - \text{gas_hybride}) / \text{elek_hybride}$
als het gas 100% effectief wordt omgezet in warmte
- **SCOP:** $(\text{warmte} - \text{gas_hybride} * \text{gasverliesfactor}) / \text{elek_hybride}$
effectiviteit van de gasomzetting naar warmte meegerekend
- **SCOP_systeem:** $\text{warmte} / (\text{gas_hybride} + \text{elek_hybride})$
rendement van het totale systeem
- **Dekkingsgraad:** $(\text{warmte} - \text{gas_hybride} * \text{gasverliesfactor}) / \text{warmte}$
effectiviteit van de gasomzetting naar warmte meegerekend
- **Besparingsprestatie:** $(\text{gas_voor} - \text{gas_na}) / \text{elek_hybride}$
op deze manier zullen bewoners er tegenaan kijken

De door JupyterLab gegenereerde tabel op de volgende pagina geeft voor een aantal woningen de uitkomst van bovenstaande begrippen weer (22). De volledige tabel is opgenomen in bijlage 7.

Het jaargebruik is voor zoveel mogelijk woningen bepaald over de periode van mei 2023 tot mei 2024. Voor woningen waar dit niet mogelijk was, is het voorafgaande jaar of andere passende jaarperiode gekozen. In een aantal gevallen (21) was er geen compleet jaar aan data en is dit, daar waar dit goed mogelijk was, geëxtrapoleerd. Helaas is bij een aantal woningen (40) het gebruik van elektriciteit door de hybride, door een aansluitfout, niet goed gemeten. Deze woningen zijn wat betreft elektrisch gebruik hybride niet meegenomen.

De gemiddelde waarden onderaan de tabel zijn nauwelijks gevoelig voor het weglaten van woningen of het kiezen van een andere periode. Dit blijkt uit de regels onderaan de tabel (31). De rode ID-s verwijzen naar in het verslag opgenomen verwijzingen (pagina 32 en bijlage 6).



Participant_id	Bouwjaar [jaar]	Huilstype	Gas_voor_2 [m³]	Gas_voor_1 [m³]	Gas_na [m³]	Gasbsp [-]	Elek_hyb [kWh]	Dek_graad [-]	Gasverliesf [-]	SCOP_ouder [-]	SCOP [-]	SCOP_sys [-]	Bsp_pres [-]	Netto bsp [euro]
kkISOIGx	[1960-1979]	2-onder-1-kap	2189	1834	294	0,85	5264	0,92	0,99	3,15	3,15	2,69	3,19	652,37
A0JoLuz-	[1980-1999]	vrijstaand	1129	1107	349	0,69	1925	0,74	0,96	3,68	3,74	2,11	3,9	425,49
bW_URK6	2000->	2-onder-1-kap	1867	1759	390	0,79	3753	0,96	0,94	3,47	3,48	3,14	3,71	729,56
wv6qC5z6	[1980-1999]	2-onder-1-kap	1321	1208	338	0,73	2314	0,78	0,91	3,47	3,57	2,18	3,91	514,46
SDIPnuVt	[1980-1999]	vrijstaand	1675	1521	861	0,46	1801	0,51	0,89	3,16	3,57	1,44	4	422,07
RHON9wor	[1920-1939]	2-onder-1-kap	1316	954	373	0,67	1698	0,81	0,87	3,68	3,81	2,3	4,38	487,08
fEQuZl6P	[1960-1979]	2-onder-1-kap	1275	1506	300	0,78	3137	0,89	0,85	2,82	2,88	2,28	3,39	477,27
hRPmkwLs	[1960-1979]	2-onder-1-kap	1075	1071	216	0,8	1895	0,88	0,83	3,54	3,65	2,56	4,42	551,94
CbPEtSjw	2000->	hoekwoning	941	1062	110	0,89	1961	1	0,82	3,66	3,66	3,66	4,44	578,23
Vf54k5w0	[1920-1939]	vrijstaand	2910	2898	916	0,68	4310	0,74	0,82	3,39	3,68	1,92	4,51	1307,94
SZphemL4	[1980-1999]	vrijstaand	1433	1469	261	0,82	2254	0,86	0,81	4,01	4,17	2,67	5,16	883,82
aQ1RbqD6	[1980-1999]	vrijstaand	1280	1443	79	0,94	2265	0,98	0,81	4,44	4,47	4,04	5,53	1003,51
3voUJ8cb	[1920-1939]	2-onder-1-kap	2746	2855	1236	0,56	3624	0,62	0,8	2,87	3,38	1,52	4,22	957,67
3c1fUm5M	[1980-1999]	vrijstaand	1650	1824	507	0,71	2450	0,78	0,83	3,59	3,81	2,3	4,91	876,7
d7dbR0Z3	2000->	2-onder-1-kap	1106	1146	128	0,89	2221	0,91	0,78	3,32	3,42	2,59	4,39	638,43
wEqq3fR	<1900	vrijstaand	4317	4012	2883	0,31	5360	0,37	0,76	0,64	1,79	0,94	2,34	43,19
TkMyAOp1	[1980-1999]	vrijstaand	1850	1790	302	0,83	3264	0,92	0,75	3,32	3,42	2,67	4,54	1006,8
GdemEVzZ	2000->	2-onder-1-kap	1265	1302	524	0,59	1736	0,7	0,74	2,71	3,18	1,61	4,27	471,68
e-V7pn_P	[1940-1959]	vrijstaand	2171	2307	1112	0,5	1650	0,54	0,73	3,37	4,91	1,35	6,67	987,58
aGim-uhc	2000->	vrijstaand	1680	1580	160	0,9	2685	0,92	0,73	3,8	3,93	2,91	5,35	1122,49
ez7d4xNY	[1940-1959]	hoekwoning	1717	1742	167	0,9	2536	0,92	0,73	4,37	4,4	3,97	6,02	1291,77
cXHtdNJQ	[1980-1999]	vrijstaand	1863	2037	94	0,95	4519	0,98	0,72	2,85	2,87	2,73	4,01	1067,35
uTJq5vxx	2000->	vrijstaand	1778	1554	462	0,72	2237	0,76	0,7	3,2	3,7	1,82	5,26	907,98
xSDmm63y	[1960-1979]	tussenwoning	1199	1391	799	0,38	745	0,42	0,7	1,79	4,53	1,08	6,49	427,99
5NNgThim	[1920-1939]	vrijstaand	3727	3718	811	0,78	4218	0,81	0,68	4,05	4,56	2,2	6,74	2565,16
h57Wozww	[1920-1939]	tussenwoning	2089	1886	200	0,9	2540	0,95	0,66	4,39	4,52	3,46	6,88	1590,1
vAibnS26	[1960-1979]	2-onder-1-kap	2489	2458	375	0,85	3234	0,89	0,65	3,85	4,12	2,62	6,34	1788,69
6-gOUJps	[1960-1979]	2-onder-1-kap	1809	2135	470	0,76	2590	0,84	0,64	3,22	3,63	2,05	5,67	1194,45
QtE_1vuEX	[1960-1979]	tussenwoning	1098	1022	114	0,89	1491	0,9	0,62	3,6	3,86	2,53	6,2	795,93
eTBISKYm	[1980-1999]	2-onder-1-kap	1589	1425	173	0,89	1831	0,96	0,61	4,22	4,35	3,43	7,12	1206,6
rC_pkM3K	2000->	tussenwoning	1312	1275	349	0,73	1416	0,9	0,6	3,61	3,89	2,52	6,52	816,98
IVK0bORa	[1960-1979]	vrijstaand	2198	2377	921	0,6	1870	0,71	0,58	2,95	4,17	1,49	7,14	1238,3
e9WTofef	[1980-1999]	vrijstaand	2237	2000	462	0,78	2388	0,82	0,57	3,22	3,85	1,91	6,78	1462,73
yxOWx6EO	[1980-1999]	vrijstaand	1560	1466	140	0,91	1465	0,92	0,57	4,86	5,21	3,13	9,16	1372,21
6oWZr5LM	[1980-1999]	vrijstaand	2558	2235	1256	0,48	1395	0,52	0,56	1,27	4,47	1,03	7,99	1084,45
9SiQCg0b	2000->	2-onder-1-kap	1585	1305	284	0,8	1601	0,85	0,56	3,42	3,95	2,1	7,09	1048,19
MPjpuY8a	[1960-1979]	tussenwoning	1300	1049	310	0,74	1001	0,78	0,52	3,32	4,42	1,7	8,44	839,31
UigJRsPF	[1980-1999]	vrijstaand	2372	2195	659	0,71	2360	0,76	0,5	2,32	3,39	1,42	6,73	1428,98
I7_BBTOu	[1980-1999]	vrijstaand	4226	3945	1390	0,66	2728	0,75	0,5	3,16	4,81	1,5	9,65	2739,13
141Q2Shj	[1980-1999]	2-onder-1-kap	1444	1349	700	0,5	2370	0,55	0,49	0,22	1,4	0,76	2,87	191,64
sNLALR1w	[1920-1939]	vrijstaand	3658	3201	177	0,95	3881	0,97	0,49	3,88	4,02	3,27	8,19	3122,48
1Y5XKgsd	2000->	vrijstaand	1282	1400	52	0,96	1432	0,96	0,48	4,09	4,26	3,32	8,8	1270,37
GjGxfCoD	[1920-1939]	vrijstaand	1973	1790	216	0,89	2230	0,89	0,48	3,01	3,47	2,08	7,3	1523,99
H6PEe0IX	[1960-1979]	-	1951	1814	409	0,78	2534	0,91	0,48	2,4	2,71	1,88	5,68	1173,62
Gemiddeld			1914	1850	507	0,748	2504	0,81	0,70	3,26	3,78	2,29	5,69	1051,97
Aantal			44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
Project Gem.			1914	1835	483	0,748	2514	0,83	0,75	3,34	3,82	2,27	5,67	1017,88
Project Aantal			168	170	168	158	132	152	152	120	117	120	120	120

**Door installatie van JupyterLab en het draaien van de gepubliceerde notebooks is het mogelijk de complete tabel van de voorgaande pagina te genereren [6].
Een toelichting op de geïntroduceerde en in de tabel opgenomen begrippen:**

Gasbesparing

De gemiddelde gasbesparing van 168 deelnemers is 75%. De spreiding is van 31 tot 97%. Er zijn 25 deelnemers waar de besparing minder dan 60% is. Hiertussen zitten woningen met lage SCOP waarden. Zelfs een aantal onder de 2. Dit duidt op een niet goed geïnstalleerde (hoeveelheid F gas) of niet goed functionerende warmtepomp. Daarnaast zijn er in deze groep slechte installaties die het warmtepomp deel van de hybride beperken met een lage gasbesparing tot gevolg. Zo laat bijvoorbeeld de 6oWZr5LM onnodig hoge watertemperaturen zien.

Het regelgedrag van de xSDmm63y was dermate vreemd dat de woning bezocht is (zie ook plot in bijlage 6 of zoek deelnemer in [12]). De radiatoren van deze corporatiewoning bleken te

zijn weg gebouwd in een weinig luchtdoorlatende omkasting. Een constructie die omwille van esthetiek vaker wordt toegepast. Zeker bij oudere woningen nogal eens zichtbaar.

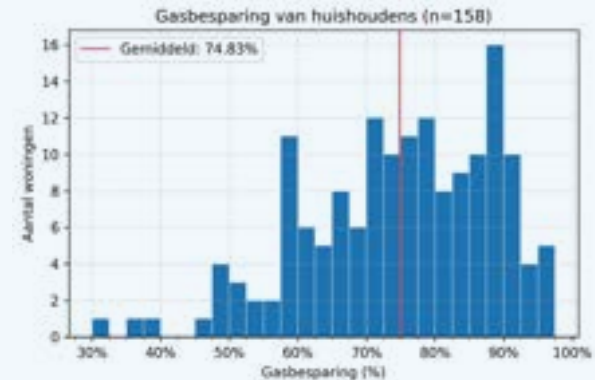
Bovendien presteren een aantal woningen in deze minder dan 60% groep, uitstekend qua financieel rendement. Bewoners denken hierdoor dat de installatie naar behoren werkt en gaan niet ten rade bij hun installateur. Bijvoorbeeld de e-V7pn_P die een gasbesparing van 50% laat zien op een startwaarde van de rond 2200 m³ en waar de hybride jaarlijks 987 euro oplevert. Een slechte prestatie in vergelijking met de UigJRSPF die ook begon rond de 2200 m³ maar een besparing van 71% laat zien en 1482 euro per jaar bespaart. Of nog beter de vAibnS26

die startte rond de 2500 m³ en 85% minder gas gebruikt en de bewoner 1789 euro per jaar oplevert.

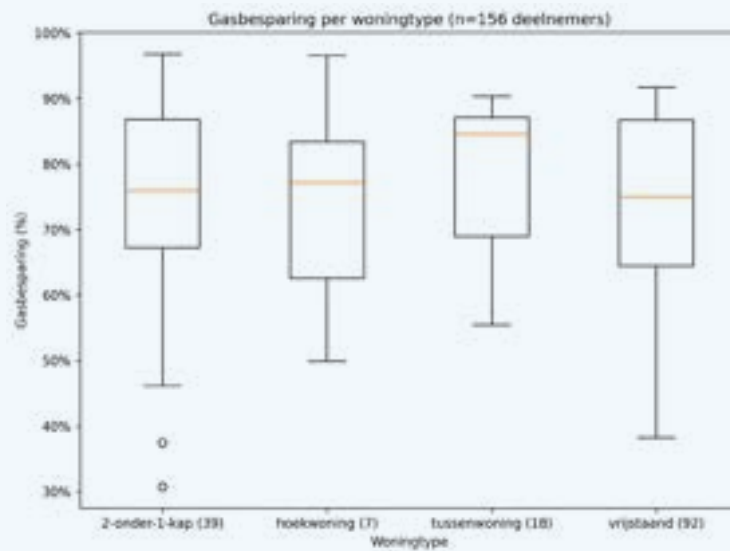
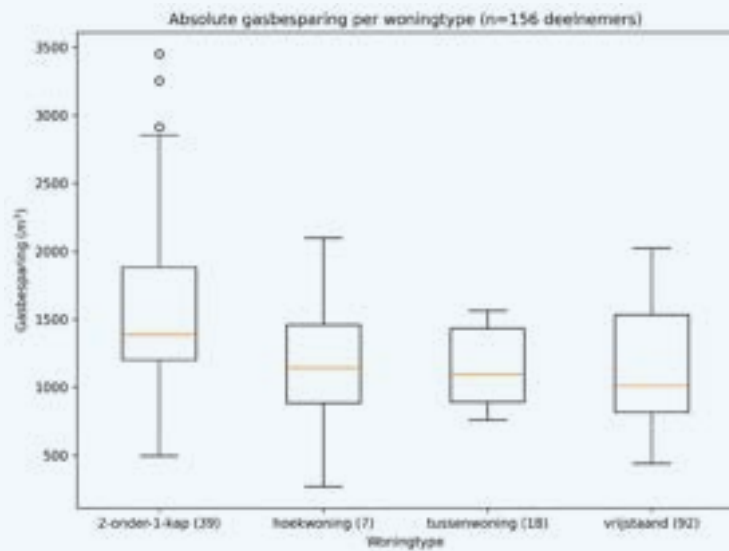
Tenslotte is er de wEqq3ifR die maar 31% besparing op een startwaarde van rond de 4200 m³ laat zien. De I7_BBT0u die startte vanaf 4000 m³ en die met 66% besparing de bewoner 2739 euro per maand oplevert laat zien wat mogelijk is. De in het project toegepaste hybriden hadden tussen de 5 en 7 kW vermogen. Zelfs bij een oorspronkelijk gebruik van 4000 m³ gas blijkt er nog een zeer goede prestatie mogelijk met een hybride van rond de 6 kW.

Opmerkelijk is dat kleine woningen het qua gasbesparing niet slechter doen (zie plots pagina 33). Enkele woningen met zeer hoge gasbesparingen bleken voorzien te zijn van een douche warmteterugwinning of er werd zeer spaarzaam omgegaan met warm water (plot hiernaast).

Net als de andere begrippen in de tabel is het gasgebruik, zoals aangegeven, bepaald over de periode van mei 2023 tot mei 2024. Ter controle is verschuiving van de jaarperiode naar een andere start en eindmaand onderzocht. Dit gaf geen ander resultaat (plot bijlage 3).



Gasbesparing per woningtype



Gasverliesfactor

Men spreekt wel eens van een warme winter, maar dat is een uitspraak met beperkte betekenis (althans op korte termijn van jaren). Het verschil tussen de winters van de afgelopen jaren is niet zo groot. Een manier om gasgebruik verwarming te relateren aan het winterweer is door gebruik te maken van zogenaamde graaddagen of effectieve graaddagen [13, 14]. Bij deze laatste wordt ook wind meegenomen voor een betere schatting van het gasgebruik. In bijlage 2 zijn de graaddagen voor de afgelopen jaren weergegeven. Er zijn geen grote verschillen zichtbaar.

Bekend is dat woningen over de jaren heen een redelijk constant energiegebruik laten zien. Hetgeen in bijna alle gevallen ook zichtbaar was aan het vooraf opgegeven gebruik over twee energiejaren.

Het gemeten tapwatergebruik en de gemeten warmtebehoefte van de woning zijn te relateren aan het gasgebruik voor plaatsing

van de hybride. Dit geeft dan een indruk hoe het gasgebruik voor verwarming en de benodigde warmte tot elkaar in verhouding staan. Dit is tot uitdrukking gebracht in de gasverliesfactor. Het verbazingwekkende is dat gemiddeld maar 75% van de energiewaarde van het gas (vanaf bovenste verbrandingswaarde) nuttig was voor de bewoner. Op de zuiverheid van deze berekening is mogelijk wel iets af te dingen, maar het gat is zo groot en zo breed over de populatie dat er toch zeker sprake is van een substantieel verlies.

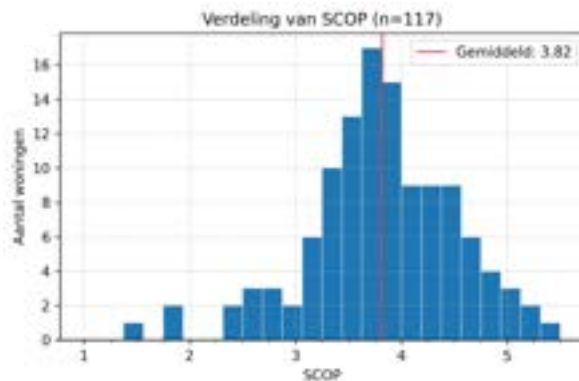
Zo is verondersteld dat het gebruik van de woning over de jaren constant is. Over het algemeen zal dit wel zo zijn. Veel bewoners hebben dit ook verklaard in de gehouden enquête (bijlage 11) Ook de gemiddelde waarde van alle woonkamer temperatuursensoren wijst op een constant gebruik (bijlage 2).

SCOP_ondergrens

De meest voor de hand liggende manier om naar de SCOP van de hybride te kijken is door energiewaarde van het gasdeel, dat nog nodig is voor verwarming, af te trekken van de gemeten warmtebehoefte. Door vervolgens te delen door het gemeten elektriciteitsgebruik van de hybride volgt de SCOP. Hier zit dan wel de veronderstelling in dat alle warmte die potentieel in het gas zit ook als warmte bij de bewoner aankomt. De voorgaande beschouwing bij de gasverliesfactor geeft aan dit niet het geval is. Deze benadering van de SCOP geeft wel een minimale onderwaarde: een waarde die juist is als alle energie van het gas wordt omgezet in warmte. De gemiddeld SCOP_ondergrens (figuur pagina 57) over 120 deelnemers is bepaald op 3,34.

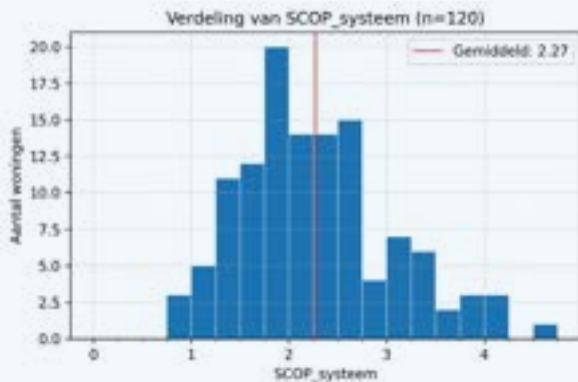
SCOP

Uit de SCOP_ondergrens volgt de SCOP door de gasverliesfactor van de betreffende woning in rekening te brengen. De gasverliesfactor kan immers gezien worden als een schatting van de efficiency van de gasomzetting naar warmte. Omdat bij de meeste woningen het resterende gasdeel verwarmen na plaatsing van de hybride niet zo groot is, is het verschil van deze bepaling met de onderwaarde van de SCOP beperkt. In de voorgaand behandelde gevallen met minder dan 60% gasbesparing is dit niet zo. Het verschil tussen de SCOP en zijn ondergrens kan daar aanzienlijk zijn. De gemiddeld SCOP waarde over 120 deelnemers is 3,82. Dit getal sluit zeer goed aan bij de certificaat waarden die destijds gebruikt zijn [1].



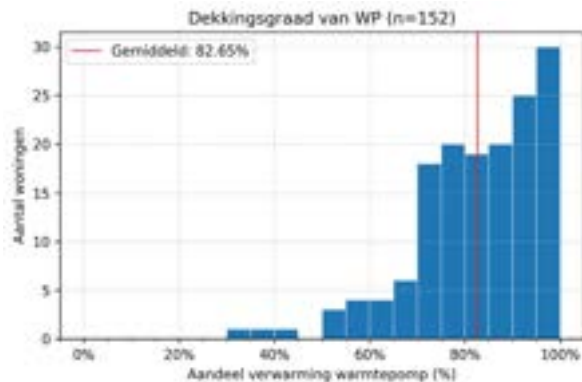
SCOP_systeem

De hybride verwarmt de woning door gebruik te maken van gas en elektriciteit. Vanuit deze gedachte is de SCOP voor het systeem gedefinieerd. De gemiddelde systeem SCOP over 120 deelnemers is 2,27. In een aantal gevallen is de systeem SCOP gelijk aan SCOP. In die gevallen is het gasdeel verwarmen nul. Het warmtepomp deel van de hybride was dan in staat de volledige verwarmingsvraag te leveren (dekkingsgraad=1).



Dekkingsgraad

De dekkingsgraad geeft aan welk deel van de warmtebehoefte voor verwarming wordt ingevuld door het warmtepompdeel. Hierbij is middels de gasverliesfactor de niet volledige omzetting van gas naar warmte in rekening gebracht. De gemiddelde dekkingsgraad over 152 deelnemers is 83%. Bij een aantal woningen (30) blijkt de hybride de warmtevraag verwarming voor meer dan 97,5% af te dekken (plot pagina 34). Er zijn 4 deelnemers waar de warmtepomp de volledige warmtehoeft heeft opgewekt, ofwel een dekkingsgraad gelijk aan 1 (in 3 andere gevallen is dekkingsgraad 1 een afgeronde waarde).



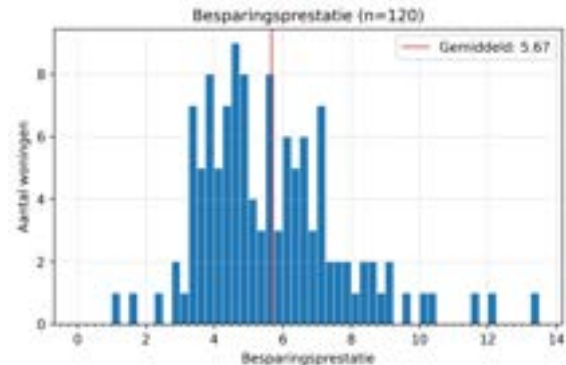
Besparingsprestatie

Vanuit de beleving en het financiële perspectief van bewoners gaat het bij de beoordeling van de hybride warmtepomp om de besparing van gas en het daarvoor terugkomende elektriciteitsgebruik. Ook vanuit het energetisch perspectief van de totale verwarmingsinstallatie gaat het om het vermeden energiegebruik gas en daarvoor gedane inspanning in de vorm van elektriciteit. Ofwel hoe effectief is de toevoeging van de hybride aan de installatie? Op basis van deze gedachte is het begrip besparingsprestatie geïntroduceerd. De besparingsprestatie is de energiewaarde van de bespaarde hoeveelheid gas gedeeld door de hiervoor benodigde elektriciteit.

Er wordt nogal eens verondersteld dat een CV-ketel al het gas omzet in nuttige warmte. Hiervan uitgaande zou de besparingsprestatie (vrijwel) gelijk moeten zijn aan de COP. Immers de energiewaarde van de bespaarde hoeveelheid gas wordt nu opgewekt door de warmtepomp. Het merkwaardige is nu dat de besparingsprestatie een veel groter getal is dan de SCOP. Gemiddeld over 120 woningen is de besparingsprestatie 5,7. Dit tegenover een SCOP waarde van 3,8. De besparings-

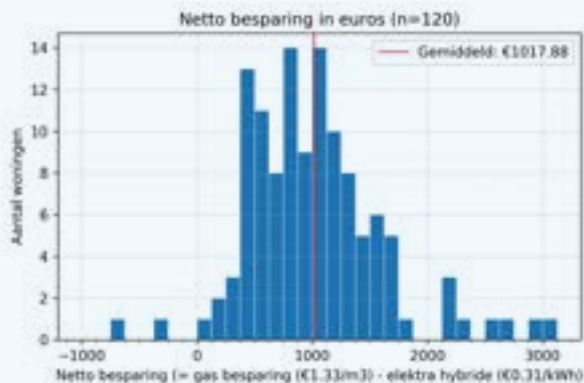
prestatie laat zien dat de gemiddelde deelnemer 5,7 kWh gas bespaart met 1 kWh elektriciteit. Ofwel 1 m^3 (9,77 kWh) gasbesparing geeft 1,7 kWh gebruik van elektriciteit. Met de huidige (juni 2024) energietarieven voor gas en elektriciteit geeft dat gemiddeld een opbrengst van 0,8 euro ($1,33 - 1,7 * 0,31$) voor iedere door een hybride bespaarde kuub gas [11].

In bijlage 1 is aangegeven hoe middels de besparingsprestatie en de prijsratio de jaarlijkse besparing door de hybride is te berekenen. Tevens is de gevoeligheid van de besparing voor veranderingen van de prijsratio en besparingsprestatie zichtbaar gemaakt.



Financiële besparing

Uit de gemiddelde gasbesparing en het gebruik van elektriciteit door de hybride is direct de jaarlijkse financiële besparing te berekenen. Dit is aangegeven in de laatste kolom van de tabel en is 1017 euro. Hierbij is uitgegaan van het marktgemiddelde van de juni 2024 tarieven: 1,33 euro voor een m³ gas en 0,31 voor een kWh [11].



Opmerkingen

- Voor de hand ligt dat de besparingprestatie ongeveer gelijk moeten zijn aan de SCOP. Evenzo is de gedachte dat de gasverliesfactor ongeveer gelijk aan 1 zou moeten zijn. **Zowel de besparingsprestatie als de gasverliesfactor laten zien dat er een energiegat zit tussen de situatie voorafgaand aan en de situatie na plaatsing van de hybride.** Waar zou die beter dan verwachte prestatie vandaan kunnen komen? De voor de hand liggende verklaring is de vergroting van het modulatiebereik. De meeste installaties voorzien van een CV-ketel moduleren voor verwarming tussen een minimum vermogen van 5-7 kW en een maximum vermogen van ongeveer 20 kW. Door toevoeging van de hybride gaat het minimum vermogen terug naar de 1-2 kW. Dit zal tot gevolg hebben dat de installatie met totaal andere temperaturen kan draaien als eerder. Opmerkelijk in dit verband is dan ook dat zichtbaar is dat veel installaties vrijwel het hele jaar onder de 35 tot 40 °C en soms zelfs onder de 30 °C aanvoer draaien. Met het hogere minimum vermogen van een ketel zou dit onmogelijk zijn. Daarnaast speelt natuurlijk de regeling van de hybride een rol. De gemeten watertemperaturen zijn

in ieder veel lager dan wat voor mogelijk werd gehouden. Feitelijk zijn de in dit onderzoek betrokken afgiftesystemen te zien als lage temperatuursysteem. Daarbij is het ook zo dat bijna alle deelnemers radiatoren hebben en in ongeveer 30% van de gevallen uitsluitend radiatoren. De hybride is in staat om langdurig op laag vermogen met lage watertemperaturen te draaien (zoals ook zichtbaar in de plot van hoofdstuk 3).

- **Door de lagere watertemperaturen en het hogere modulatiebereik schakelen de installaties minder.** De lagere watertemperaturen geven ook minder opwarming van de bouwkundige omgeving van leidingen en radiatoren waardoor voortijdige warmtelekkage vermindert (verlies van warmte voordat deze de leefruimte heeft bereikt). Het minder schakelen is opgemerkt door bewoners die aangaven dat de warmte van de hybride prettiger is, omdat deze gelijkmatiger is.
- **Veel discussie is er geweest over het wel of niet nuttig zijn van buffervaten.** Er zijn installateurs die stellen dat in combinatie met een hybride een buffervat altijd noodzakelijk is. Terwijl anderen van mening zijn dat het alleen nodig is met in de markt voorkomende zoneregelsystemen waarbij alle zones kunnen dichtlopen. Omdat dan de doorstroming terugloopt waardoor de hybride afschakelt. De fabrikanten

van zonesystemen hebben dit inmiddels ook in de gaten en komen met oplossingen die altijd genoeg doorstroming garanderen (bijvoorbeeld hydraulische abgleich bij vloerverwarming of regelkleppen in plaats van open-dicht kleppen).

- In veel woningen zijn er relatief lange leidingen naar de woonkamer en keuken waar de radiatoren staan die altijd open zijn. De toevoerleidingen lopen nogal eens deels door niet verwarmde ruimtes. Een vraag die gesteld kan worden is hoe het zit met warmteverliezen van deze leidingen.
- **Middels zogenaamde radiatorventilatoren of geblazen convectoren kan warmte veel sneller worden verspreid en blijft deze niet hangen rondom het afgiftelichaam.** Al bij eerdere onderzoeken is de vraag gesteld hoe effectief dit soort oplossingen zijn [19]. Daarbij is vastgesteld dat er met goed uitgevoerde radiatorventilatoren behoorlijke reducties van de warmtevraag te halen zijn (orde 15-20%) bij gelijkblijvende kamertemperaturen. Ondanks dat de muur en daarmee de isolatie van de woning gelijk blijft, neemt de warmtevraag bij gelijkblijvende binnentemperatuur af. Dit is mogelijk door betere verspreiding van de warmte. In bijlage 9 is illustratief aangegeven hoe lagere watertemperaturen en betere verspreiding van de warmte kunnen bijdragen tot

een lagere delta T over de muur naar buiten, terwijl de temperatuur in het midden van de kamer gelijk blijft.

- **Het al of niet vervangen van de ketel bij plaatsing van de hybride zou van invloed kunnen zijn op de meetresultaten.**

Het is niet volledig te achterhalen, maar het is zo dat in veruit de meeste gevallen de ketel is blijven hangen bij plaatsing van de hybride. Er zijn ook gevallen bekend waar relatief jonge ketels uit voorzorg vervangen zijn. Een eventueel effect op de populatie door vervanging van de ketel wordt daarom als nihil gezien.

- Bij een aantal tabelwaarden zijn wel opmerkingen te maken. Zo zijn er deelnemers die sterk verschillend energiegebruik over twee jaar hebben opgegeven of er staan vreemde getallen. Alleen in een paar uitzonderlijke gevallen waarvan overduidelijk of bekend was dat de gegevens niet klopten is de deelnemer verwijderd (13). De keuze is gemaakt om zoveel mogelijk alle getallen te nemen zoals ze verzameld zijn. Daarnaast is gebleken dat het weglaten van deelnemers niet tot wezenlijk andere resultaten leidt. Verder liet de deelgroep waarvan vastgesteld is dat energie opgaven klopten met de facturen geen ander resultaat zien (plot links onder bijlage 3).

Bovenstaande punten hebben geleid tot een onderzoek afgifte dat is opgenomen in bijlage 5.

Daarbij is vastgesteld dat:

- De warmteverliezen van transportleidingen tussen opwek en afgifte erg groot kunnen zijn (orde 15% en meer).
- De beste oplossing voor kleine afgiftesystemen is een warmtepomp met een laag minimum vermogen (1 kW) en de toepassing van afgifteverbetering (radiatorventilatoren of convectoren). Ook in een kleine opstelling met twee radiatoren loopt het systeem dan continu door bij 35 °C aanvoertemperatuur.
- Kleine buffervaten helpen maar zeer beperkt tegen cyclisch aan-uit gedrag. Zeker in vergelijking met afgifteverbetering.
- Buffervaten, hoe dan ook geschakeld, geven een warmteverlies in de orde van 10%.
- Er rondom de installatie als systeem en de afgifte van warmte nog veel verbetering mogelijk is.

5. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De hoofdonderzoeksvragen zijn:

- 1) Hoeveel is de daling van het gasgebruik na plaatsing van een hybride warmtepomp.
- 2) Wat is het gevolg voor de energielast en daarmee de rekening voor de bewoners.

De beantwoording van deze vragen en de omliggende context is in de voorgaande hoofdstukken aan de orde geweest.

Conclusies

- De deelnemende woningen hadden voorafgaand een over twee jaar gemiddeld gasgebruik van 1875 m³. **Door plaatsing van de hybride is het gasgebruik voor 158 huishoudens met gemiddeld 75% verminderd tot 478 m³.** Gemiddeld heeft de hybride voor deze vermindering 2514 kWh elektriciteit nodig.
- Gerekend met de energieprijzen van juni 2024: 1,33 euro voor een kuub gas en 0,31 euro voor een kWh elektriciteit, resulteert dit in **een jaarlijkse vermindering van de energierekening ten bedrage van 1018 euro.**
- De gemiddeld 75% vermindering van het gasgebruik is veel meer dan de 55% die vooraf werd verondersteld [1].

Een vermindering van 75% werd alleen haalbaar geacht voor woningen voorzien van een LT (laag temperatuur) verwarmingssysteem. Bijna alle deelnemers hebben radiatoren en 30% heeft alleen maar radiatoren. **De hybride kan langdurig met lage watertemperaturen de woning goed verwarmen. Zelfs met radiatoren.** Een opmerkelijk resultaat.

- Voorafgaand werd gedacht dat de vermindering van het gasgebruik en de daarvoor benodigde elektriciteit met elkaar in verband staan middels de COP. Dit blijkt niet zo te zijn. **De vermindering van het gasgebruik en het meer gebruik van elektriciteit staan tot elkaar in verhouding met een**

factor 5,7. Dit wordt de besparingsprestatie genoemd.

Terwijl de eveneens gemeten COP 3,8 is. Een, in de traditie van Onnes (inleiding), verrassend en groot verschil.

De gemeten COP waarde stemt goed overeen met bekende waarden van certificaten [1]. **De hybride vergroot het modulatiebereik en verlaagt watertemperaturen van het verwarmingssysteem.** Het geheel functioneert daardoor wezenlijk anders dan alleen met een CV-ketel.

- De terugrekening van de gemeten warmtelast en het gasgebruik voor douchen en koken naar de voorgaande jaren, en vergelijking met het voorafgaande energiegebruik, laat bij veel deelnemers een verrassend groot gat zien (de gasverliesfactor). Onvermijdelijke conclusie is dat **verwarmingsinstallaties voorzien van een hybride, als geheel beter presteren dan alleen voorzien van een CV-ketel.** Critici van de resultaten komen met opmerkingen als: de winters zijn niet gelijk en de thermostaten zijn lager gezet. Dit is in tegenspraak met meetdata. De eventuele effecten hiervan zijn te marginaal om de grote verschillen te kunnen verklaren.
- De spreiding in de resultaten is groot: er zijn deelnemers met meer dan 90% gasbesparing, maar ook deelnemers met minder dan 40%. Dit geldt ook voor het elektriciteitsgebruik

van de hybride. **Een relatief lage gasbesparing kan gepaard gaan met een relatief hoog elektriciteitsgebruik.** De groep deelnemers met 60% of minder gasbesparing is met 20% vrij groot. In bijna alle gevallen is direct aan de meetdata te zien dat het beter kan.

- Als op een totaal van 158 deelnemers de groep met een gasbesparing van 60% of minder wordt verwijderd (ofwel deze lage waarden kunnen nog worden verbeterd) **dan stijgt het gemiddelde van de resterende 133 deelnemers naar 80% gasbesparing.** De spreiding in watertemperaturen is ook aanzienlijk. Woningen met lage temperaturen doen het aantoonbaar beter (bijlage 3). Er is nog veel ruimte voor verbetering.
- De mindset van de markt is altijd gericht geweest op comfort en geen klachten (vaak resulterend in hoge aanvoertemperatuur) en niet op een hoge efficiëntie van het verwarmingssysteem als geheel (wel op onderdelen). De verrassing van de besparingsprestatie, de gasverliesfactor en het uitgevoerde deelonderzoek laten zien dat efficiency van het distributie- en afgiftesysteem onbekend terrein is. **De kwaliteit van het afgiftesysteem en de regeling zijn van cruciaal belang om in alle gevallen tot goede prestaties**

te komen. Teneinde de hybride succesvol in grote aantallen toe te passen zal een door meten tot weten aanpak nodig zijn. Alleen als je ziet wat je doet kun je verbeteren.

- Bij 30 van de 174 deelnemers heeft de hybride voor meer dan 97,5% de warmtevraag verwarming overgenomen en in vier gevallen zelfs volledig. Hierbij wel de nuance dat de afgelopen winters weinig zogenaamde ijsdagen met lage dagtemperaturen hebben laten zien. Toch lijkt afhankelijk van de omstandigheden als beschikbare ruimte voor een tapwatervat, **de kwaliteit van het afgiftesysteem en de mate van isolatie een vervolgstap naar volledig gasloos** voor deze deelnemers betrekkelijk eenvoudig.
- Het in de inleiding aangehaalde PBL rapport geeft voor 2,5 miljoen eengezinswoningen voorzien van een hybride een CO₂ emissiereductie van 1,7 Mton aan [18]. De verdeling van eengezinswoningen in het project is mogelijk iets afwijkend, maar de besparing is gemiddeld 1392 m³ gas. Dit geeft een CO₂ emissiereductie van: $2.5e6 * 1.8 * 1392 * 1e-9 = 6.3$ Mton. Een opmerkelijk groot verschil met het planbureau (waarbij de herkomst van getallen onduidelijk is).



Aanbevelingen

- **Het onderzoek heeft laten zien dat de prestatie van het verwarmingssysteem als geheel een onbekend terrein is waar nog veel te halen valt.** Hierbij zal het nodig zijn prestaties van systemen te meten en te vergelijken. Momenteel is er geen stimulerend mechanisme in de markt dat dit bewerkstelligt.
- **De spreiding in resultaten en vooral ook het relatief grote aantal waar de hybride en/of installatie niet goed functioneren baart zorgen.** De komende jaren is er nog zeker een kwaliteitsslag nodig om alle hybride installaties goed te laten functioneren.
- **Inmiddels zijn er nieuwe ontwikkelingen zoals hybride tapwater, samenwerking met opslag en integratie met energie managementsystemen.** In enkele gevallen was er al eerder door deelnemers succesvol geëxperimenteerd met het afgiftesysteem (ventilatorstrips en LT radiatoren [19]). Ook zijn er deelnemers waarbij de woning voorzien bleek van een douchewater warmteterugwinning. Woningbouwverenigingen

blijken deze douche WTW's ook steeds meer toe te passen. De sommatie van de hybride met dit soort verbeteringen, die kennelijk al toegepast worden, kunnen verder gestalte geven aan de energietransitie van de gebouwde omgeving. Een soort van praktijkweg die voortkomt uit ontwikkeling in het veld. Het lijkt er soms op dat deze meer praktische weg niet de aandacht krijgt van de meer modelmatig gedreven regelgeving. Mogelijk lost langs deze praktische weg de opgave van de gebouwde omgeving zich helemaal op. Het verdient dan ook aanbeveling dit verder te onderzoeken en te stimuleren.

- **De nieuwe EU data act vereist dat fabrikanten gebruiksdata volledig en gemakkelijk toegankelijk maken.** Een aantal apparaten op de markt hebben de data zoals gebuikt in dit onderzoek al standaard aan boord. Online registratie, meting en vergelijking van prestaties, zou de norm moeten worden. Op een zodanige manier dat de markt gestimuleerd wordt om te verbeteren.

BIJLAGEN

- Bijlage 1** Berekening jaarlijkse verdienste middels de besparingsprestatie
- Bijlage 2** Graaddagen en Binnentemperatuur
- Bijlage 3** Verdelingen over de populatie
- Bijlage 4** Gedrag over de tijd van de populatie
- Bijlage 5** Deelonderzoek prestatie buffervat en afgifte
- Bijlage 6** Grafana dashboards van enkele deelnemers
- Bijlage 7** Jupyter tabel van alle deelnemers
- Bijlage 8** Beschrijving en specificaties van de meetset
- Bijlage 9** Watertemperatuur, delta T en verspreiding van warme lucht
- Bijlage 10** Screenshots WebApp – H6PEe0IX
- Bijlage 11** Deelnemersenquête

LITERATUUR EN VERWIJZINGEN

- [1] Rapport Hybride warmtepompen, haalbaar en betaalbaar
<https://verenigingduurzamewarmte.nl/hybride-warmtepompen-haalbaar-en-betaalbaar/>
- [2] https://nl.wikipedia.org/wiki/Heike_Kamerlingh_Onnes
- [3] Reproducible Science with Jupyter
<https://www.desy.de/~fangohr/publications/talks/2021-05-06-fortmanngrande-fangohr-fdm-workshop-Reproducible-science-with-jupyter.pdf>
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Project_Jupyter
<https://en.wikipedia.org/wiki/Grafana>
- [5] Ten Simple Rules for Reproducible Research in Jupyter Notebooks
<https://arxiv.org/abs/1810.08055>
- [6] <https://kennisdelen.rvo.nl/groups/view/1434df6b-d9c4-4d87-8c73-36834399abeb/kite>
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Data_cleansing
- [8] <https://www.demoprojecthybride.nl/>
- [9] <https://verenigingduurzamewarmte.nl/wp-content/uploads/sites/10/2024/05/Samenvatting-resultaten-Demonstratieproject-juni2023-2.pdf>
- [10] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Aardgas>
Gronings aardgas 35,17 MJ/m³ => 9,77 kWh/m³
- [11] <https://www.overstappen.nl/energie/energieprijzen/>
juni 2024: gas 1,33 euro/m³ en elektriciteit 0,31 euro/kWh.
- [12] <https://verenigingduurzamewarmte.nl/demonstratieproject-overzicht-alle-deelnemers/>
- [13] <https://cdn.knmi.nl/knmi/pdf/bibliotheek/knmipubmetnummer/knmipub219.pdf>
- [14] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Graaddag>
- [15] https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_accounting
- [16] <https://dacs-hw.nl/>
- [17] beleidsprogramma-versnelling-verduurzaming-gebouwde-omgeving.pdf - pag 19 - <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/06/01/beleidsprogramma-versnelling-verduurzaming-gebouwde-omgeving>
- [18] <https://www.pbl.nl/uploads/default/downloads/pbl-2023-klimaat-en-energieverkenning-2023-deel-1-5108.pdf> – pag 49 – $2.5e6 * 1.8 * 378 * 1e-9 = 1.7 \text{ Mton}$
- [19] Wetenschappelijke_verificatie_HR_hybride_praktijktests_UT_final4.0.pdf

Bijlage 1: Berekening jaarlijkse verdienste middels de besparingsprestatie

Zoals aangegeven op de volgende pagina is, op basis van de begrippen in hoofdstuk 4, met de besparingsprestatie en de prijsratio, de verhouding tussen de gas- en elektriciteitsprijs, een relatie voor de jaarlijkse verdienste van de hybride op te schrijven:

verdienste in euro = gasbesparing*gasprijs*h_factor

De relatie geeft middels de correctiefactor aan welk deel van gasbesparing verloren gaat door het meer gebruik van elektriciteit door de hybride. Momenteel (juni 2024) is de gasprijs 1,33 en de elektriciteitsprijs 0,31 euro [11]. De prijsratio is dan $0.31/(1.33/9.77)=2.28$. Met een besparingsprestatie van 5,7 volgt dan uit de grafiek op de volgende pagina een correctiefactor van 0,58.

Stel de inschatting is dat er 1000 m³ gas bespaard gaat worden door plaatsing van de hybride.

Dan volgt voor de jaarlijkse verdienste:

1000*1.33*0.58=771 euro

Door de gemiddelde deelnemer van het demonstratieproject is 1400 m³ bespaard. Dan volgt voor het gemiddelde besparingsbedrag van het project:

1400*1.33*0.58 = 1079 euro

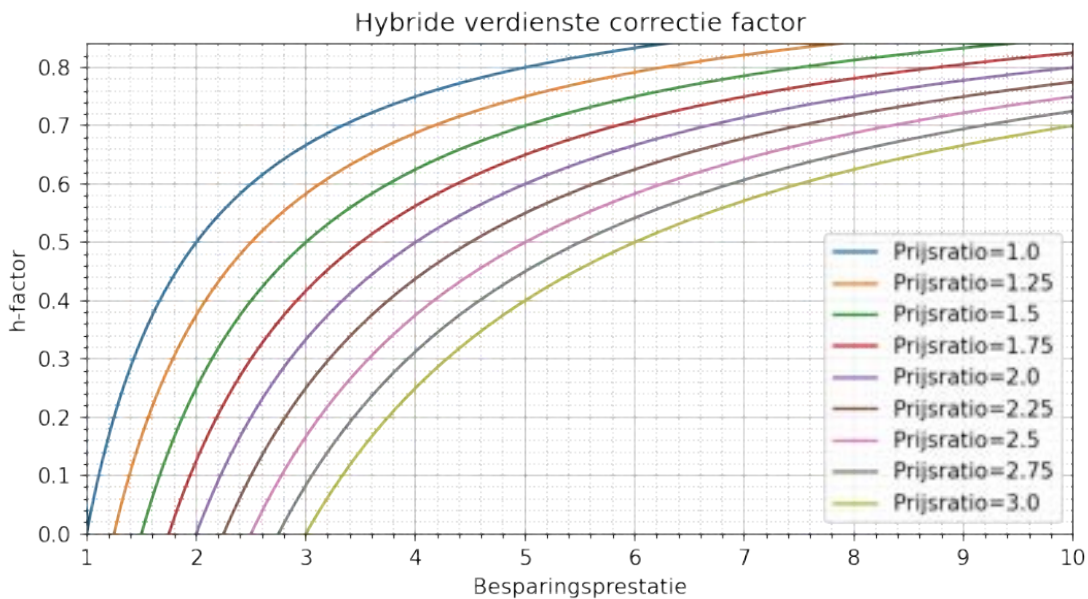
De grafiek op de volgende pagina laat zien dat de besparingsprestatie een sterke doorwerking kan hebben. Zeker als deze veel te laag is. De prijsratio werkt minder sterk door. Historisch is de verhouding tussen elektriciteitsprijs en de gasprijs aangegeven door de gascentrale. Er komt steeds meer elektriciteit uit niet fossiele bron. De fluctuaties van de opwekking door natuurlijk bronnen is groot. Duidelijk is dat zowel de fossiele verhouding in de prijsratio als ook de constantheid van energieprijzen onder druk komt te staan.

Besparingsprestatie: $\text{gasbesparing} / \text{elek_hybride}$

Verdienste: $\text{gasbesparing} * \text{gas_prijs} - \text{elek_hybrid} * \text{elek_prijs}$

Verdienste: $\text{gasbesparing} * \text{gas_prijs} * (1 - \text{prijsratio} / \text{besparingsprestatie})$ | $\text{prijsratio} = \text{elekprijs} / \text{gasprijs}$

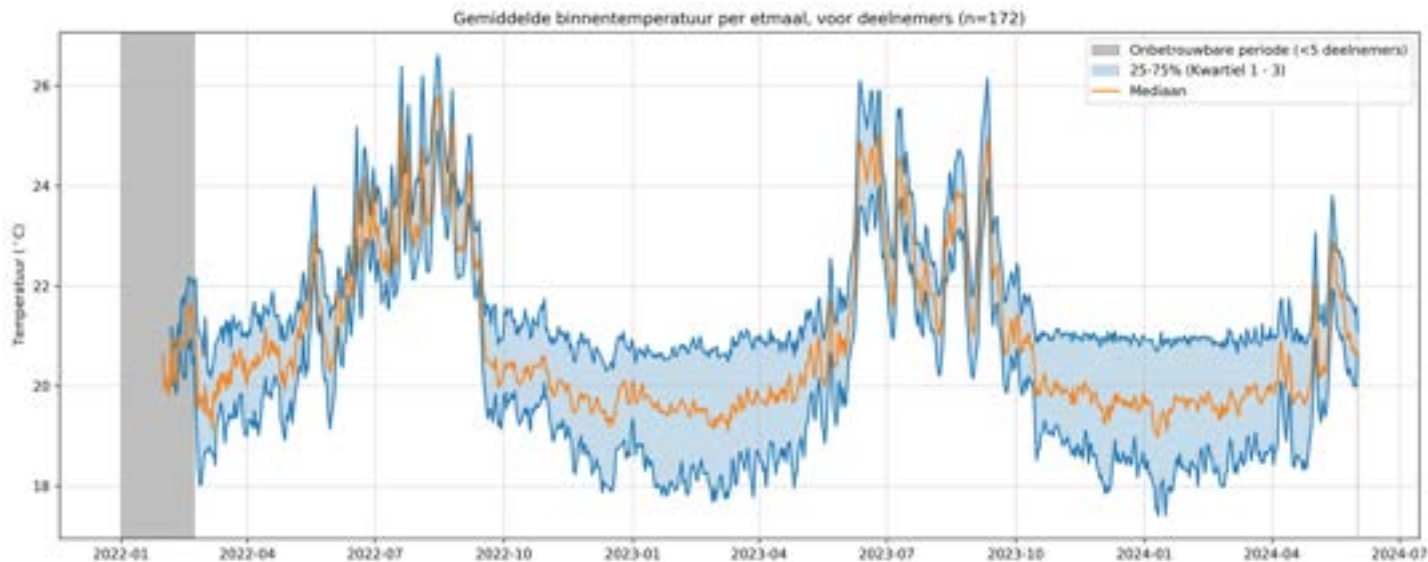
Verdienste: $\text{gasbesparing} * \text{gas_prijs} * \text{h_factor}$



Bijlage 2: Graaddagen en Binnentemperatuur

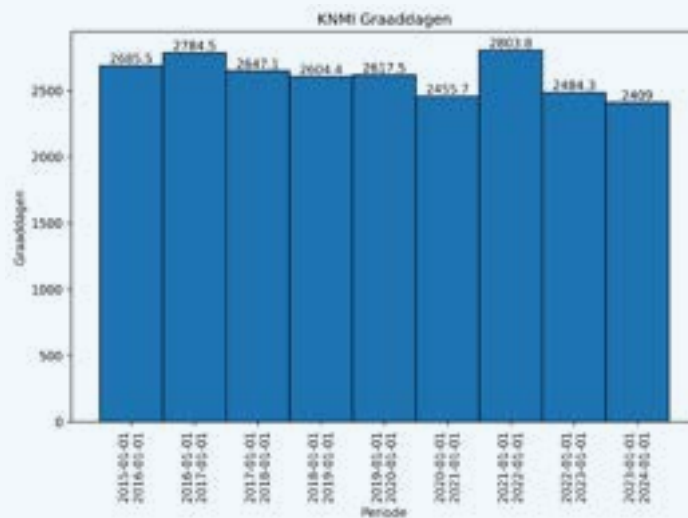
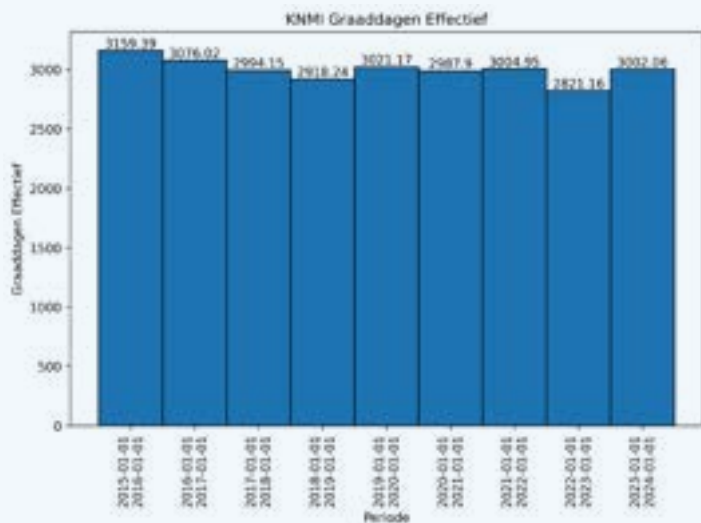
Onderstaand figuur laat zien dat de gemiddelde temperatuur over alle deelnemers de afgelopen twee winterseizoenen in het bereik van 19 tot 20 °C heeft gelegen. De meetsensor in de woonkamer is willekeurig geplaatst. Aangezien spreiding van temperatuur in kamers best een paar graden kan zijn,

en sterk van de positie in de kamer kan afhangen, heeft een individuele waarde geen exacte betekenis. Een gemiddelde van 19,5 komt niet vreemd over. Meer dan de helft van de deelnemers heeft aangegeven zijn stookgedrag de afgelopen jaren niet te hebben aangepast.

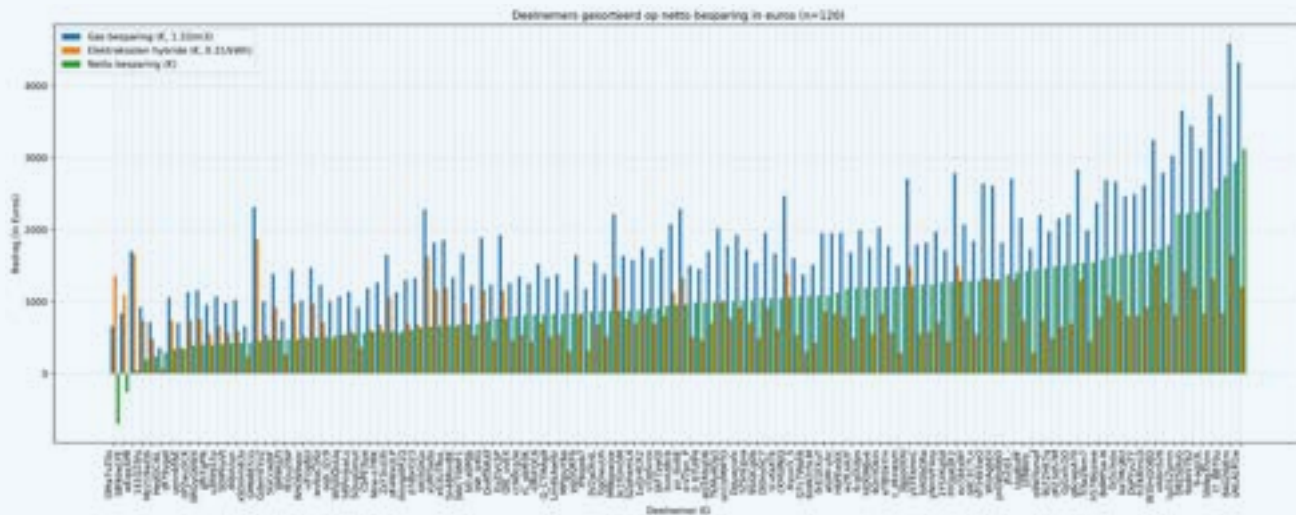
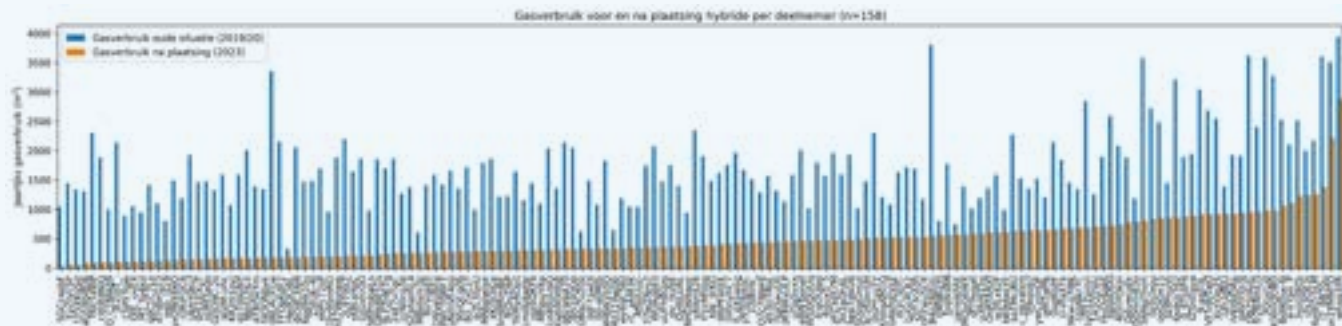


Hieronder zijn de graaddagen en de effectieve graaddagen over de afgelopen jaren aangegeven. De effectieve graaddagen zijn als begrip ontwikkeld voor een betere relatie met het gasgebruik dan de normale graaddagen [13]. De periode van de jaarrekeningen

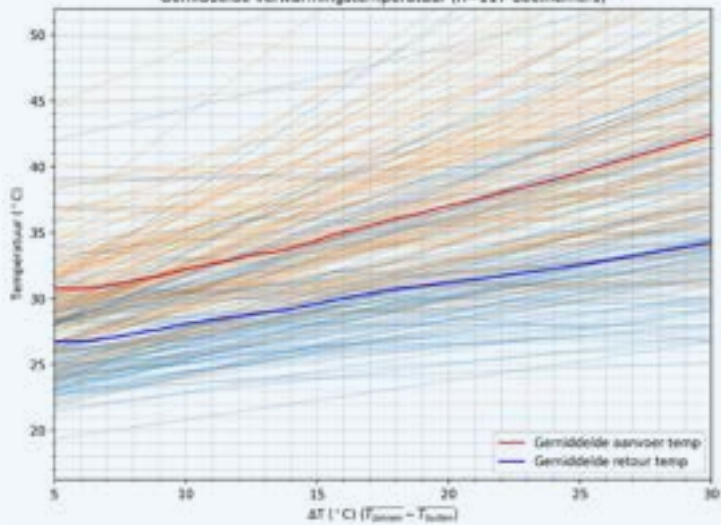
energiegebruik komen niet overeen met kalender jaren. In ieder geval is een verschil tussen de opgaven van de deelnemers over 2019-2020 en 2020-2021 niet sterk zichtbaar (geen groot verschil tussen de kolommen gas_voor1 en gas_voor2, tabel pagina 31).



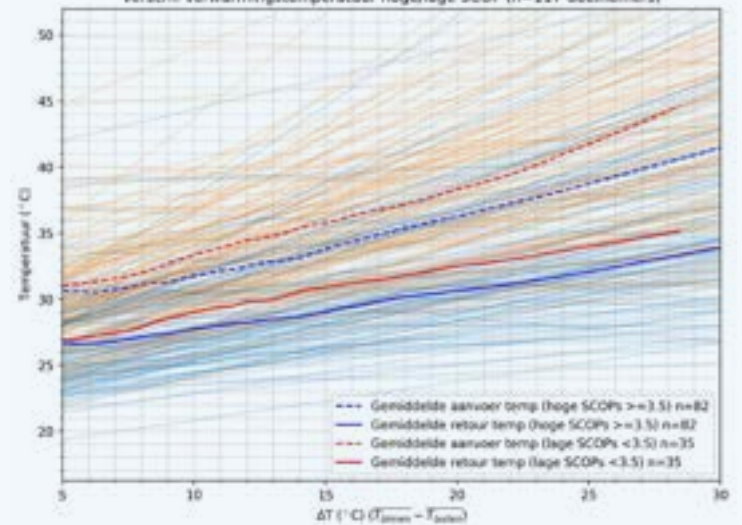
Bijlage 3: Verdelingen over de populatie



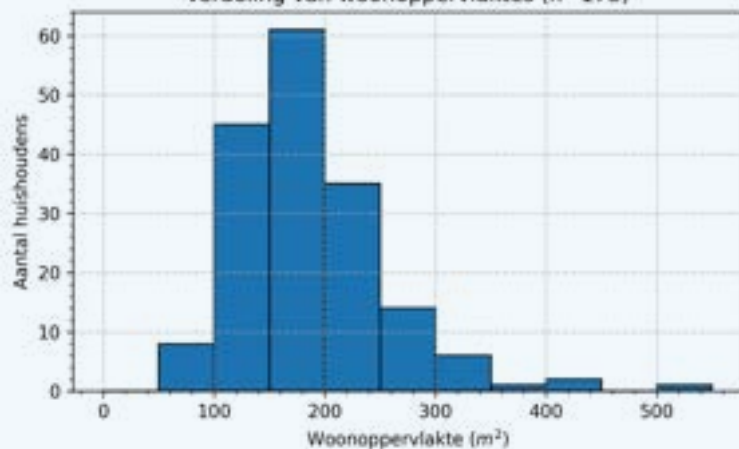
Gemiddelde verwarmingstemperatuur (n=117 deelnemers)



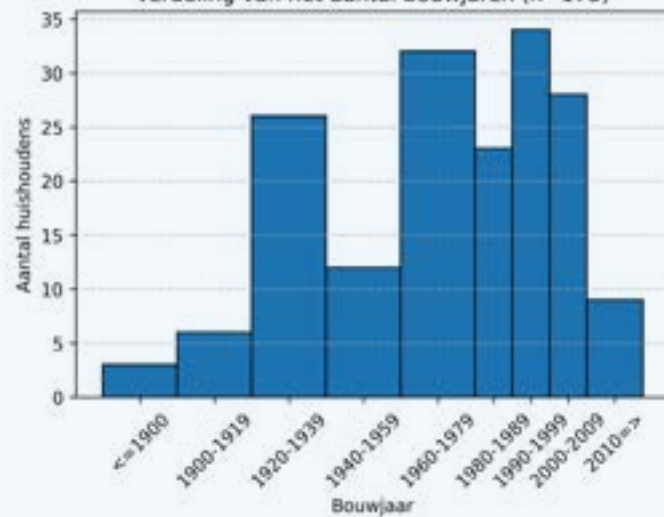
Verskil verwarmingstemperatuur hoge/lage SCOP (n=117 deelnemers)

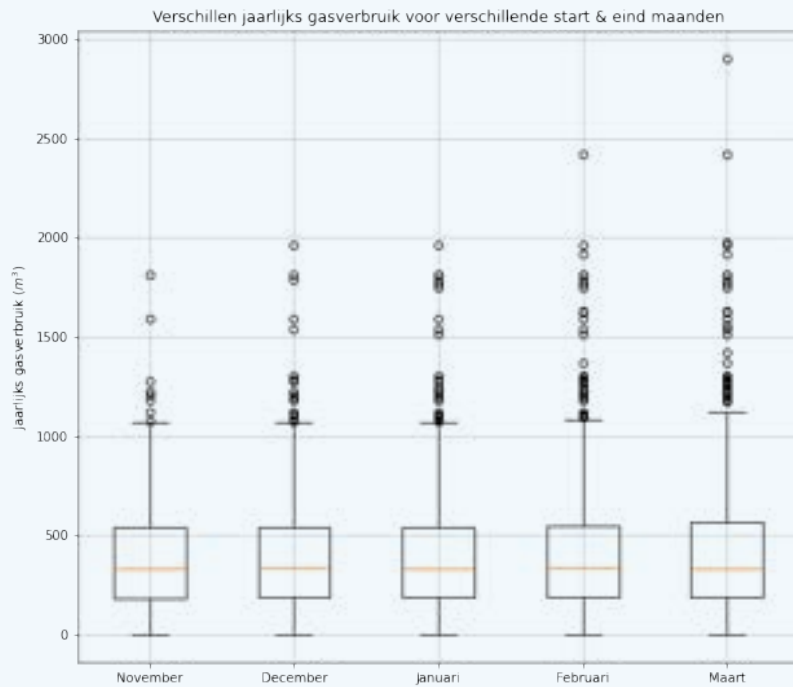
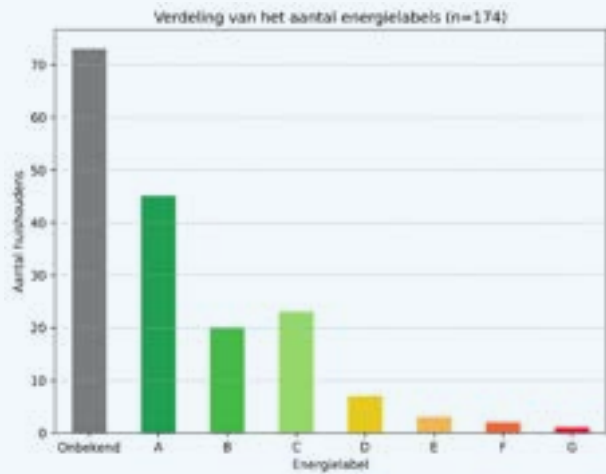


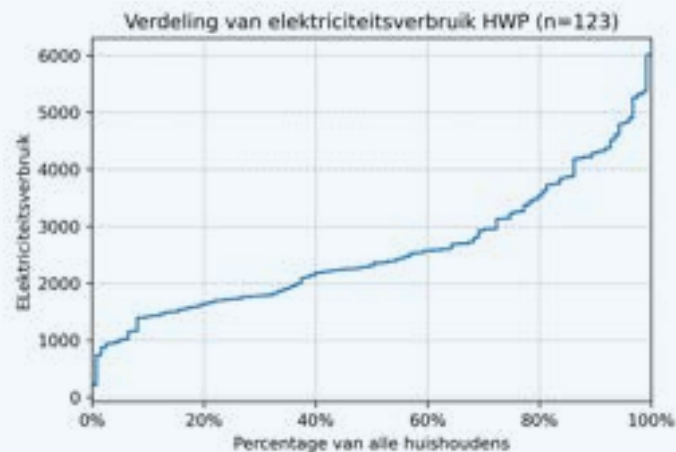
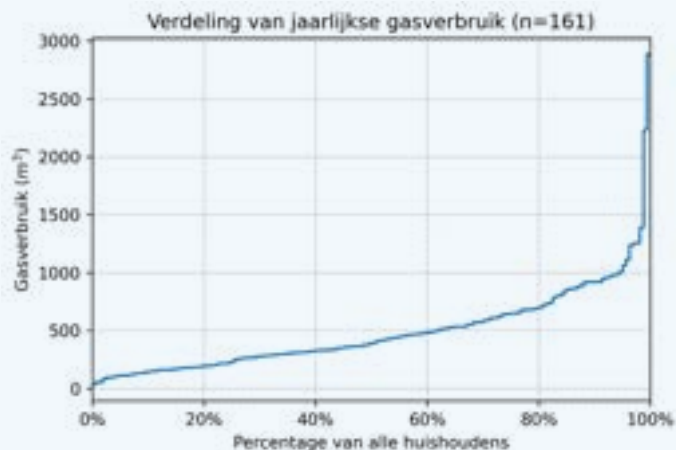
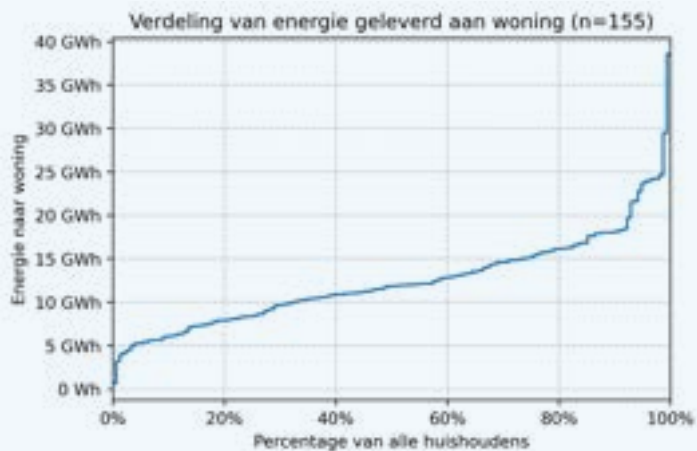
Verdeling van woonoppervlaktes (n=173)

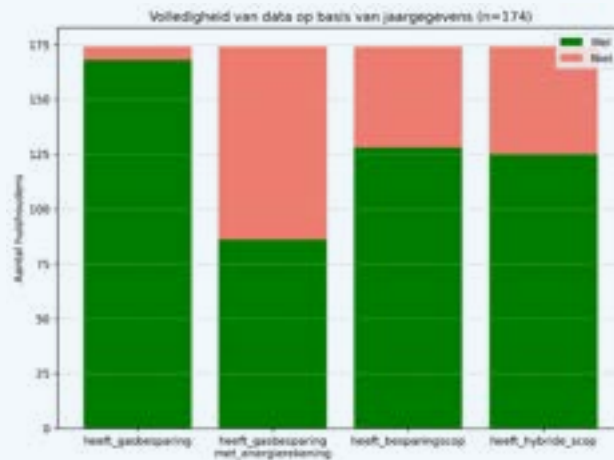
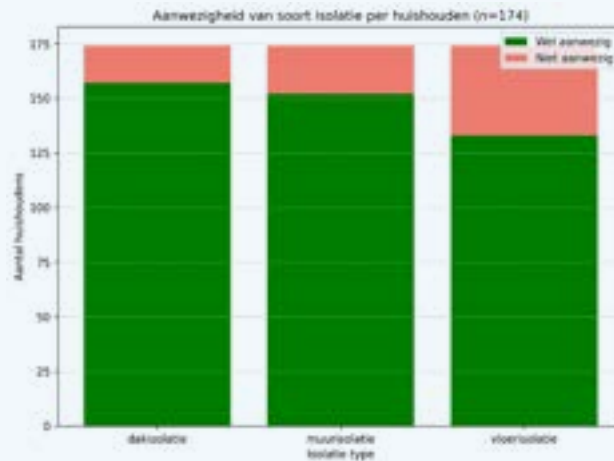
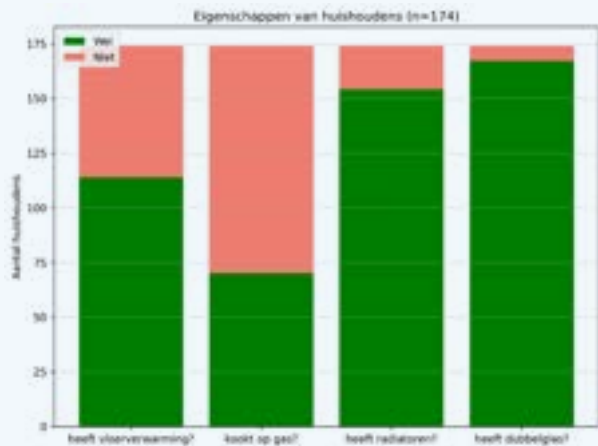


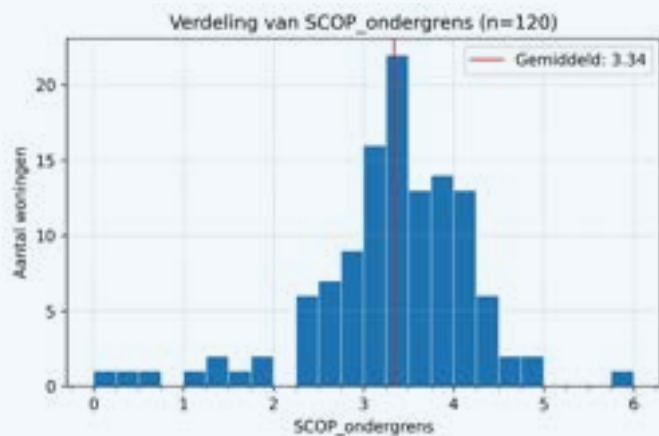
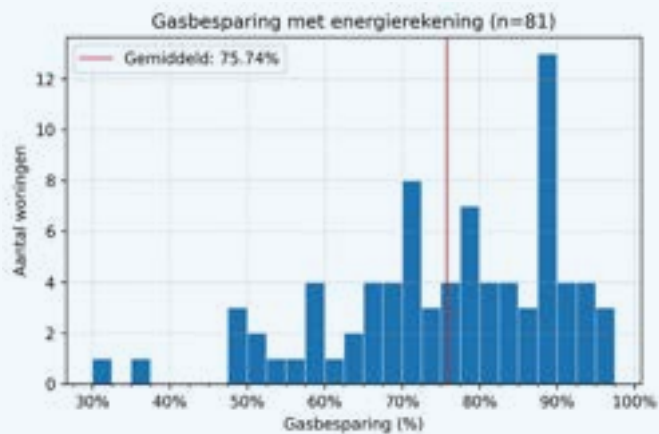
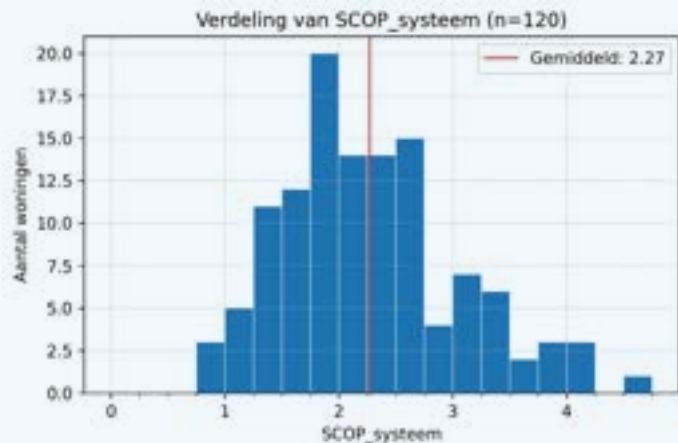
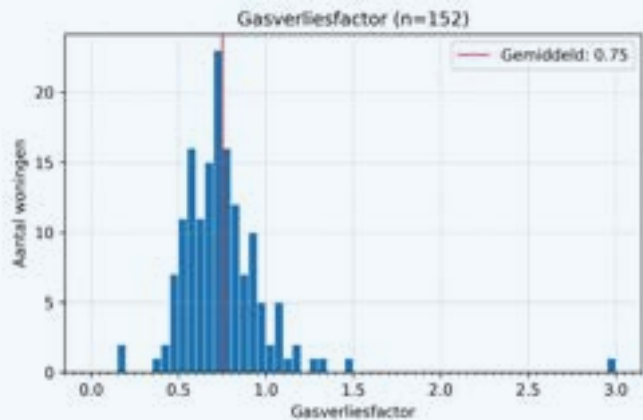
Verdeling van het aantal bouwjaren (n=173)











Bijlage 4: Gedrag over de tijd van de populatie



Gasgebruik per etmaal, van deelnemers (n=169)



Gemiddelde aanvoertemperatuur per etmaal (als hybride actief), van deelnemers (n=173)



Gemiddelde retourtemperatuur, over alle deelnemers (n=173)



Gemiddelde flow warmtepomp, over alle deelnemers (n=173)



Dagelijks geleverde hoeveelheid warmte, van deelnemers (n=173)



Dagelijks elektriciteitsgebruik warmtepomp, over alle deelnemer (n=133)



Bijlage 5: Deelonderzoek prestatie buffervat en afgifte

Op de volgende pagina's is een opstelling te zien waarmee nauwkeurig de invloed van de minimum compressorsnelheid, het toevoegen van een buffervat en het toepassen van radiatorventilatoren is onderzocht.

De opstelling bestaat uit een warmtepomp die voorzien is van meetmiddelen voor het opgenomen elektrisch vermogen, voor de opgewekte hoeveel warmte (flow, temperatuur, vermogen, middels kamstrup als aangegeven in bijlage meetset), en voor de warmte die aankomt bij de radiatoren (middels twee warmtemeters volgens bijlage).

De opstelling is gebouwd met twee radiatoren die kenmerkend zijn voor een kleine portiekwoning. Tussen de radiatoren en de warmtepomp zit een aantal meters slang die voorzien is van koppelingen. De koppelingen maken het tussen schakelen van de op de foto (op pagina 67) zichtbare buffervat oplossingen

mogelijk zonder verdere veranderingen. De installatie heeft een opwek deel en een afgiftedeel. Verschillende configuraties zijn zichtbaar op de volgende pagina. Er wordt gebruik gemaakt van een tweede pomp die uiteraard mee gemeten is.

Teneinde de invloed van een regeling buiten beschouwing te laten is de opstelling telkens meerdere uren bij een constante aanvoertemperatuur onderzocht. Daarbij kon het zijn dat het systeem ging schakelen doordat de opgewekte warmte niet helemaal werd afgevoerd. De schakeling was met een aantal graden rondom de aanvoertemperatuur. Er is telkens langdurig gemeten en er zijn een groot aantal schakelingen in stationaire situatie geselecteerd teneinde de meting zo zuiver mogelijk in vergelijkende zin te kunnen doen. Voor de aanvoertemperatuur zijn de waarden 35, 45 en 55 °C genomen om zo de hele operationele range in kaart te brengen.

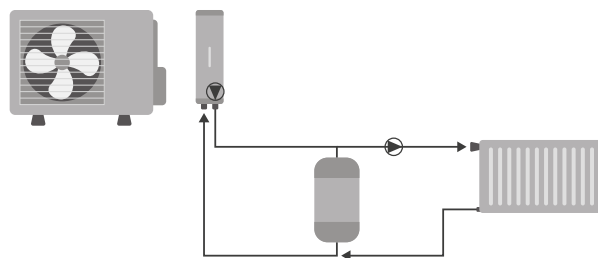
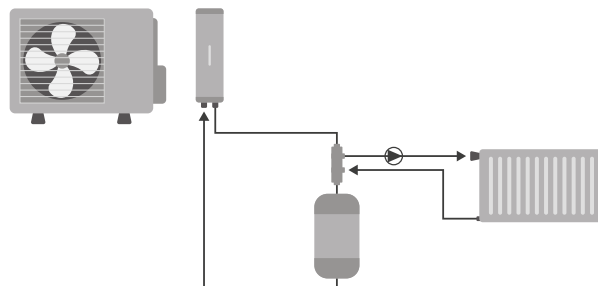
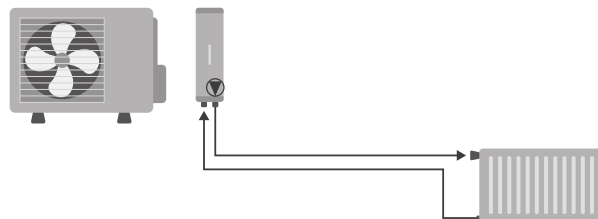
Hiernaast de configuraties:

- **Boven** is de originele configuratie met koppelingen in het midden van de twee slangen zodat onderstaande configuraties zonder verdere toevoeging gemaakt kunnen worden.
- **Midden** is de configuratie met open verdeler.
- **Onder** is de configuratie parallel.
- **Niet afgebeeld** is de configuratie serie waarbij het buffervat serieel in de retour is geplaatst.

Op deze wijze zijn de volgende

confuguraties in vergelijking onderzocht:

- a) Org – de opstelling als beschreven
- b) Org (15 Hz) – als a) maar met verlaagd minimum toerental compressor
- c) Org (ld) – als a) maar met verlaagd debiet
- d) Buffer ov – zie tekening hiernaast
- e) Buffer ov (ld) – als d) met laag debiet
- f) Buffer par – zie tekening hiernaast
- g) Buffer par (ld) – als f) met laag debiet
- h) Buffer ser – buffer serieel in de leiding
- i) Org +CB – als a) met radiatorventilatoren
- j) Org (15 Hz) +CB – als b) met radiatorventilatoren



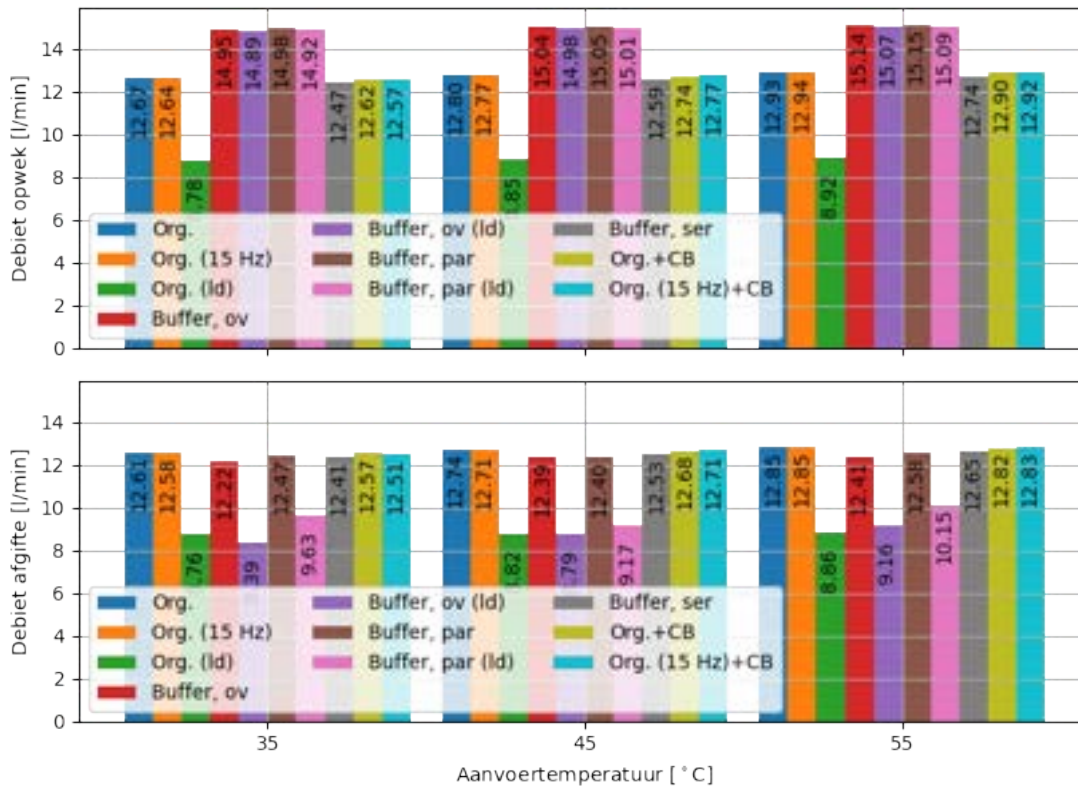
Buffervat en afgifte

Beschouwing van de meetresultaten op de volgende pagina's geeft de volgende conclusies:

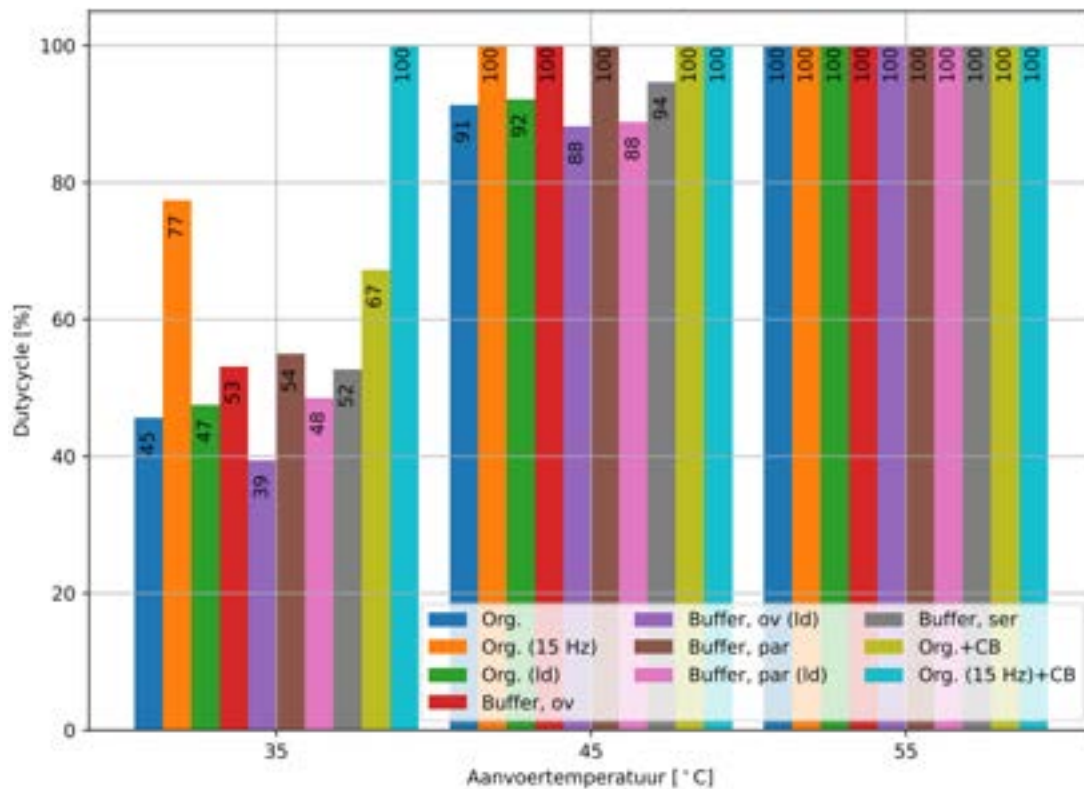
- 1) De warmteverliezen van leidingen tussen opwek en afgifte kunnen erg groot zijn (orde 15% en meer). Door een buffervat neemt dit verlies nog eens aanzienlijk toe (orde 10%). Dit is zichtbaar in de plot rendement van oplossing, waarin de verhouding tussen de kamstrup opwekking en afgifte getoond wordt. Nu zal de inbouwsituatie in woningen anders zijn dan bij de proefopstelling, maar het is over het algemeen slecht voorstelbaar dat de verliezen daar minder zijn. Mogelijk doet een keukenopstelling het beter.
- 2) De beste oplossing is om de warmtepomp continu door te laten draaien door toepassing van afgifteverbetering en verlaging van het compressor toerental. Dit is configuratie j. Bij 35 °C afgifte stijgt de COP van de afgifte van 3,88 naar 4,76. Een stijging van 22% die een op een doorwerkt op de energierekening.
- 3) Kleine buffervaten helpen beperkt tegen cycling. Na de eerste cycle is het vat opgewarmd en loopt deze mee in de aan/uit regelband van de aanvoer. Alleen het iets grotere volume dat het buffervat geeft aan de installatie helpt een beetje de schakeltijd verlengen. Het verlagen van de compressor snelheid, en daarmee het verhogen van het modulatiebereik van de warmtepomp, helpt wat dit betreft meer. Als er dan nog afgifteverbetering wordt toegevoegd verdwijnt de cycling in dit voorbeeld helemaal (configuratie j).
- 4) Buffervaten, hoe dan ook geschakeld, geven een warmteverlies in de orde van 10%.



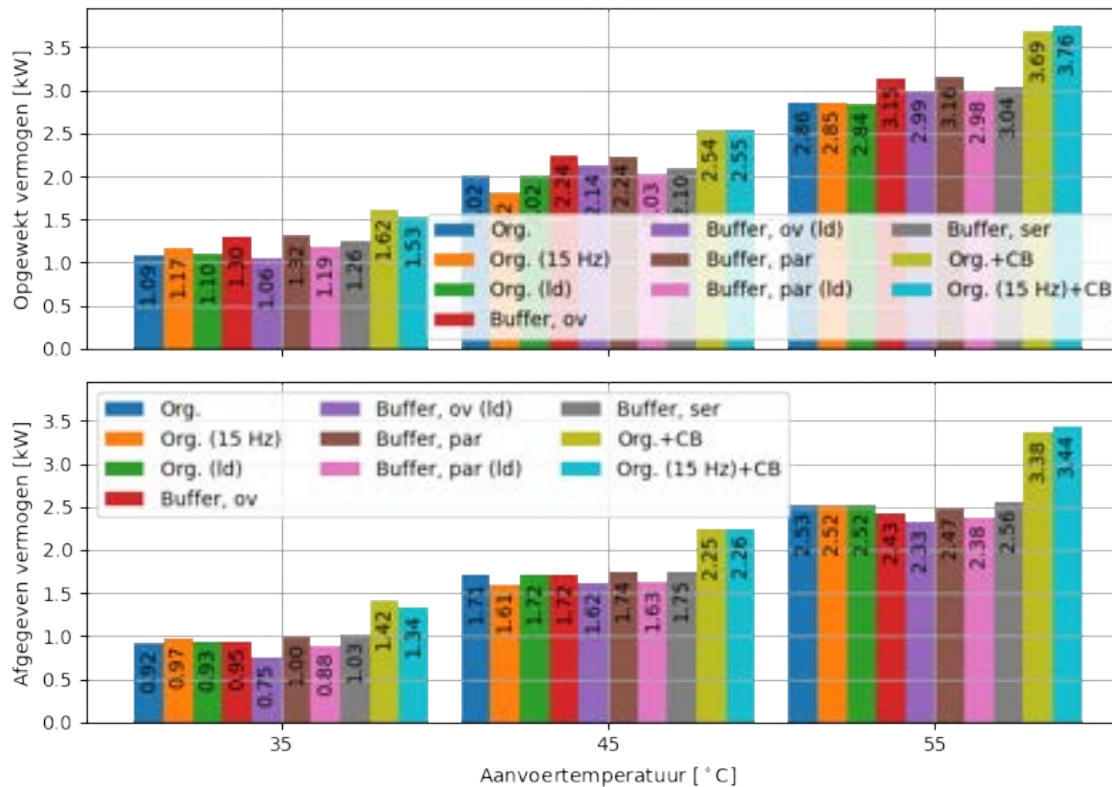
Debiet

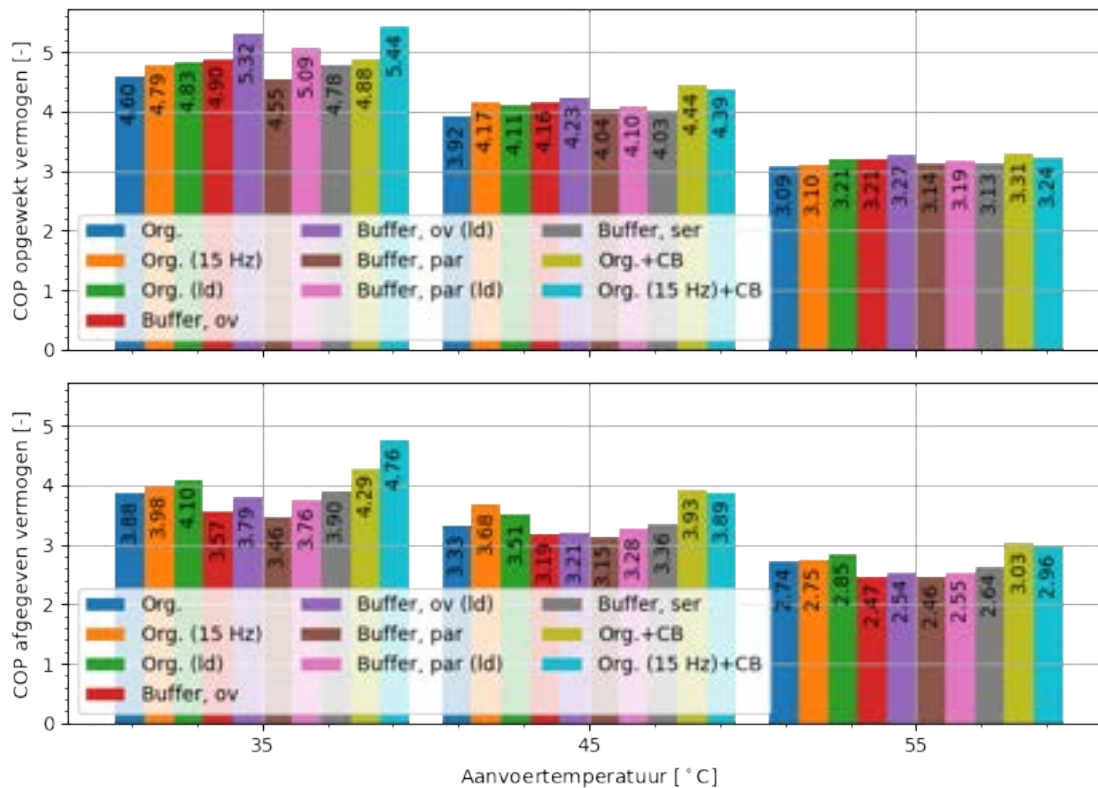


Relatieve aan-tijd

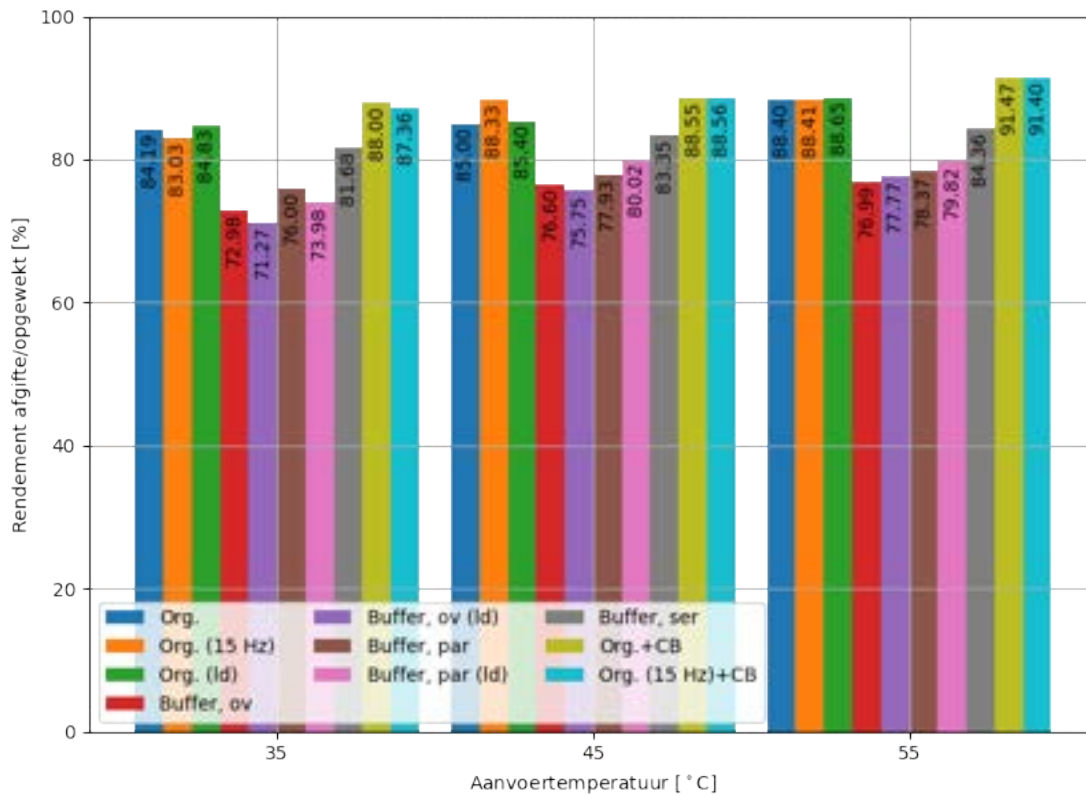


Vermogen





Rendement van oplossing



Bijlage 6: Grafana dashboards van enkele deelnemers

De volgende pagina's tonen het gedrag van een aantal deelnemende woningen die kenmerkend zijn voor het project.

De meetwaarden van de woningen zijn zichtbaar gemaakt in een Grafana dashboard. De woningen zijn ook opgenomen in de tabel in hoofdstuk 4.

Dit dashboard laat over de periode van een jaar zien:

- Het **totale elektriciteitsgebruik** van de woning (linksboven), dit is het saldo van afname en teruglevering per etmaal. Veel deelnemers hebben zonnepanelen, zo ook bij de zes van de zeven voorbeeldwoningen, waardoor terugloop zichtbaar is.
- De **hoeveelheid warmte** die de woning is ingestroomd, cumulatief per etmaal (rechts boven).

- De **stand van de gasmeter** in de meterkast (rechts midden). Dit is het totale gasgebruik: verwarming plus warmwater en koken.
- Het **gasgebruik** per etmaal (rechts onder), constante afname van tapwater is te zien en pieken die ontstaan bij koude winterse dagen.
- De **temperatuur** van de aanvoer, de retour, de temperatuur sensor in de woonkamer en de buitentemperatuur (KNMI data per uur).
- Het **gemeten stroomgebruik** van de hybride warmtepomp (links midden, cumulatief).

Op de dashboards is zichtbaar dat er soms onderbrekingen zijn geweest in de dataverbinding. Omdat de energie meetwaarden cumulatief zijn, levert dit geen problemen op.

Door de opeenvolgende plots en de tabel in hoofdstuk 3 te beschouwen, zijn voor deze deelnemers de volgende opmerkingen te maken:

GdemEVzZ – Deze **tussen-hoek woning van rond 2005** met de oorspronkelijke radiatoren heeft 59% gas bespaard. Het meergebruik gas, bovenop het tapwatergebruik, tijdens de strengere weken in de winter is duidelijk onderscheidend zichtbaar. De besparingsprestatie is met 4,27 aan de lage kant. De watertemperaturen zijn aan de hoge kant. Let hier vooral ook op het verschil tussen de Grafana plots die piekwaarden laten zien, terwijl de verzamelfile [12] gemiddelde waarden laat zien.

H6PEe0IX – Deze **twee onder een kap woning van rond 1965** met radiatoren en later aangebrachte vloerverwarming (woonkamer, ingefreesd) laat het gemiddelde projectresultaat zien: gasbesparing 78% met een besparingsprestatie van 5,68. In vergelijking met de vorige woning is de jaarlijkse besparing behoorlijk hoger. De winterse perioden zijn net als bij de eerste woning duidelijk onderscheidend zichtbaar in de 24 uren gasgrafiek.

IVK0bORa – Deze **vrijstaande uit woning van rond 1965** met radiatoren geeft een minder dan gemiddelde besparing (60%), maar heeft wel een hoge besparingsprestatie van 7,14. Te zien is ook dat er meer gas ondersteuning in de winter nodig is dan bij de voorgaande deelnemers; de winterse pieken versmeren meer met de tapwaterlijn. Vanwege het hogere oorspronkelijke gasgebruik en door de beperkte toename van elektriciteitsgebruik is de financiële jaarwinst toch behoorlijk. Watertemperaturen zijn aan de hoge kant. Hier is nog winst te behalen.

RHON9wor – Dit is een **woning van rond 1935** met radiatoren. De gasbesparing is 67% en de besparingsprestatie is met 4,38 aan de lage kant. De deelnemer heeft voorafgaand aan de plaatsing van de hybride geëxperimenteerd met radiator-ventilatoren die een aanzienlijke besparing van gas gaven (orde 25%). Later zijn er twee laag temperatuur radiatoren in de woonkamer gemonteerd. Deze verbetering zit in zijn voorgaande energierekening. Vermoedelijk is de besparingsprestatie aan de lage kant, omdat er al eerder een behoorlijke winst geboekt is.

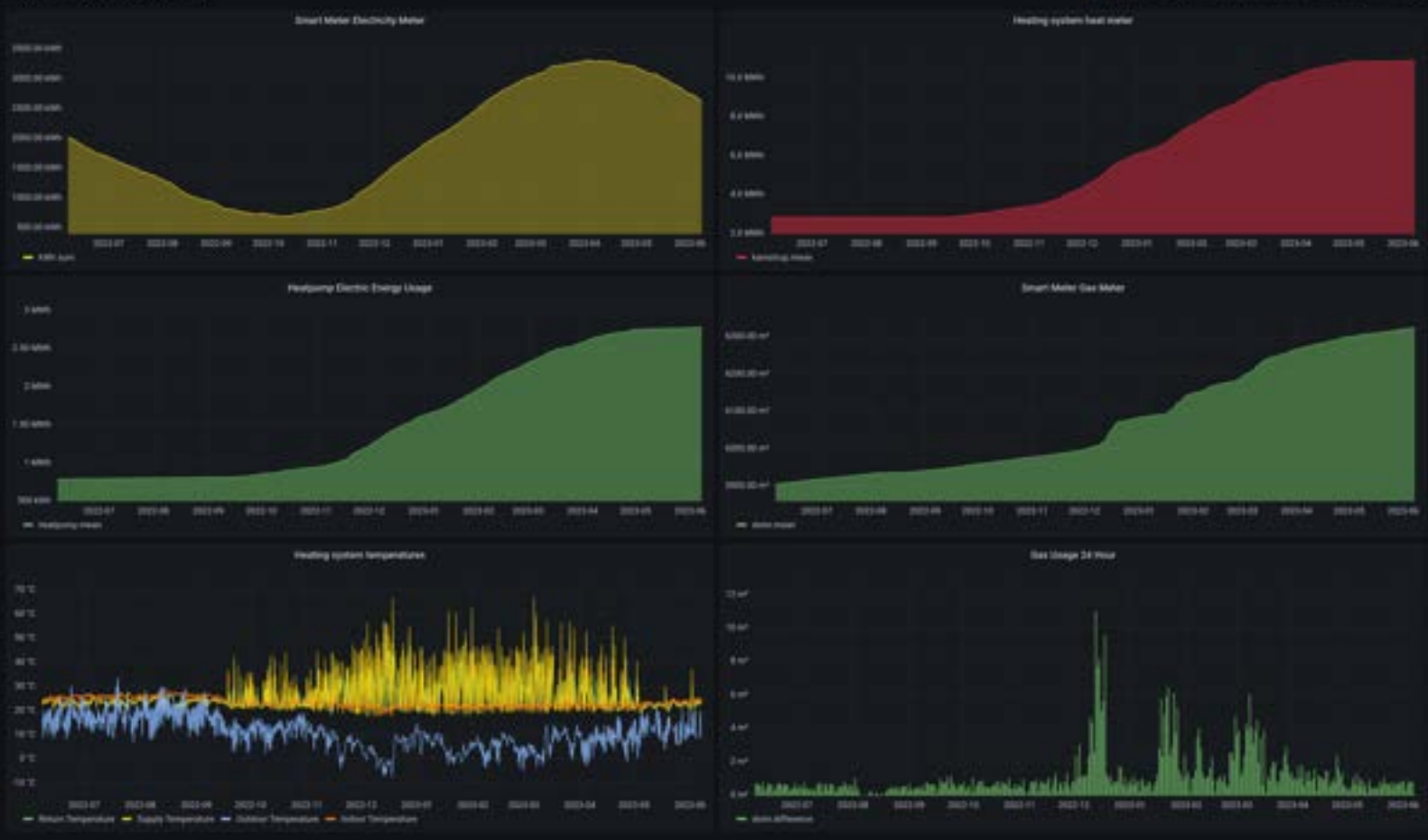
aQ1RbqD6 – Dit is een **vrijstaande woning uit 1996** die gebouwd is met grotendeels vloerverwarming. Wat opvalt is het extreem lage tapwatergebruik terwijl de woning door 3 personen bewoond wordt (0,13 m³/dag). Bij navraag bleek er een (eigen ontwerp) douch-wtw te zijn ingebouwd. Daarnaast vallen de lage watertemperaturen op. De besparingsprestatie is 5,53. Met iets meer capaciteit zou een grotere besparing haalbaar moeten zijn. Eigenlijk schiet de hybride bij deze woning iets te kort. De bewoner heeft de afgelopen winter (2023/2024) bij wijze van experiment een tweede hybride geplaatst en zo zijn gasgebruik verwarming naar nul teruggedrongen. Hetgeen duidelijk zichtbaar is in de tweejaars Grafana afbeelding van deze woning.

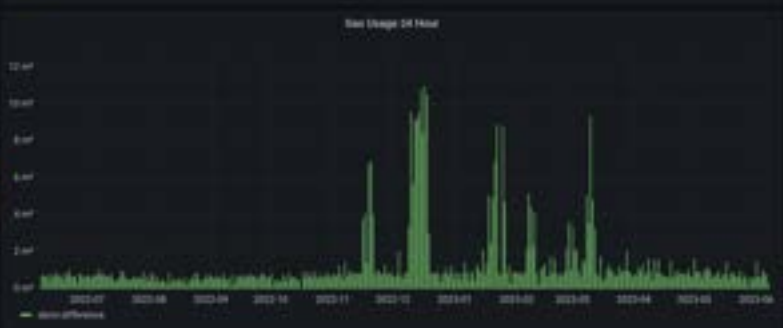
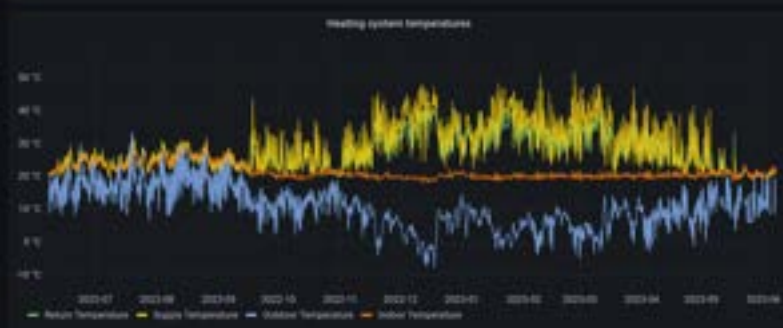
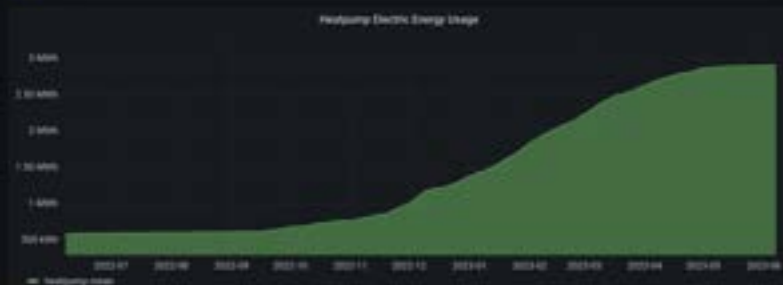
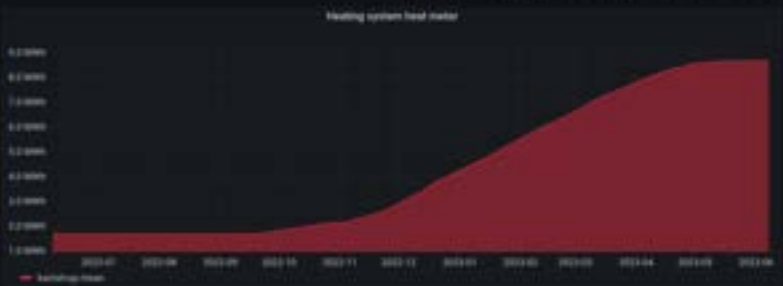
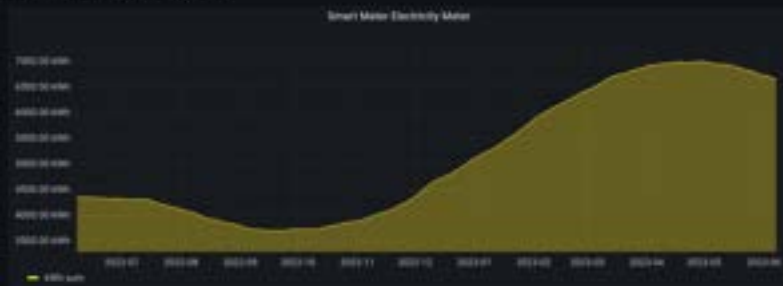
xSDmm63y – Deze **rijtjeswoning van een woningbouwvereniging die gebouwd is rond 1965** heeft veel te hoge watertemperaturen. Daarnaast is de flow door de installatie veel te laag (niet zichtbaar in het dashboard, maar wel gemeten). De gasbesparing is met 38% veel te laag en het gasgebruik heeft ook een ander patroon dan bij de andere woningen. Bij bezoek bleek dat de radiatoren achter gaatjespanelen zijn weggebouwd (de vermoedelijke

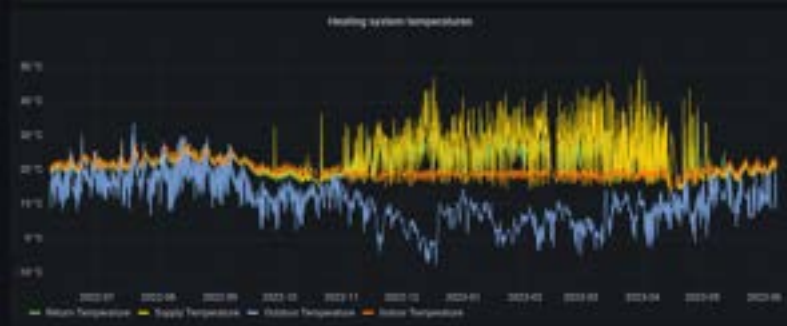
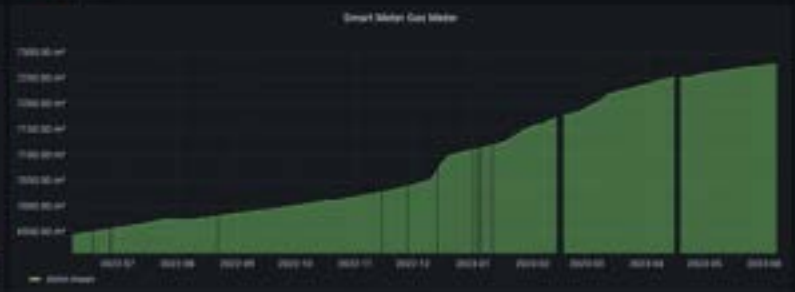
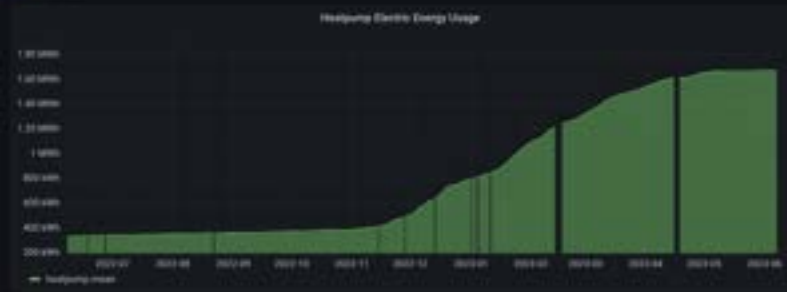
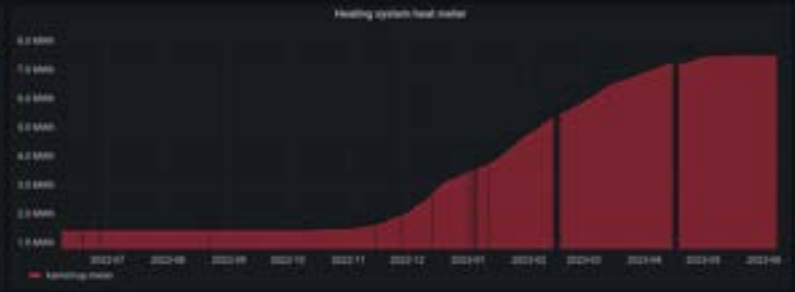
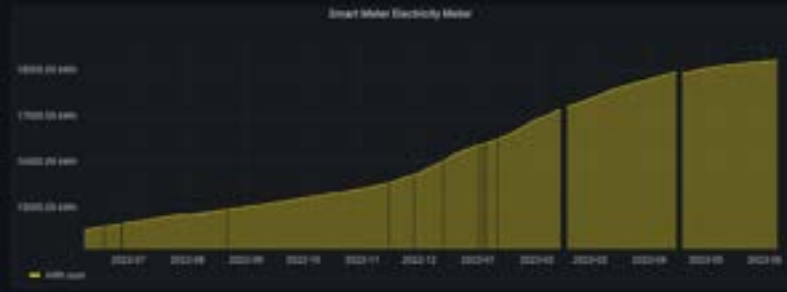
oorzaak). Dit soort panelen voor de visuele wegwerking van radiatoren zijn veel vaker toegepast. Uit het tweejarige overzicht, een aantal pagina's verder, blijkt dat het gedrag zich herhaalt. Hierin is ook zichtbaar (rechtsonder) dat er bijna dagelijks bijstook is door de ketel; immers de per 24 uur geleverde warmte (systemheat) gedeeld door het elektrisch gebruik van de warmtepomp laat onrealistisch hoge waarden zien.

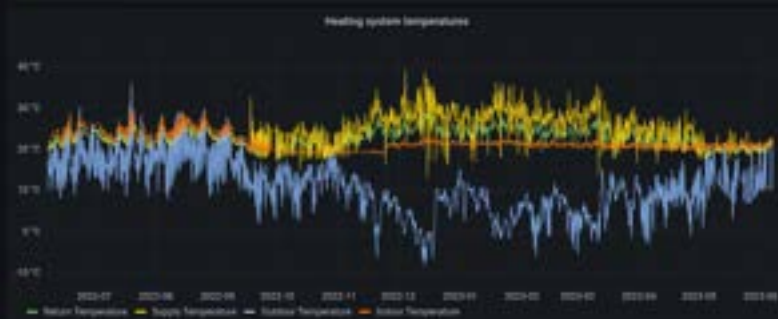
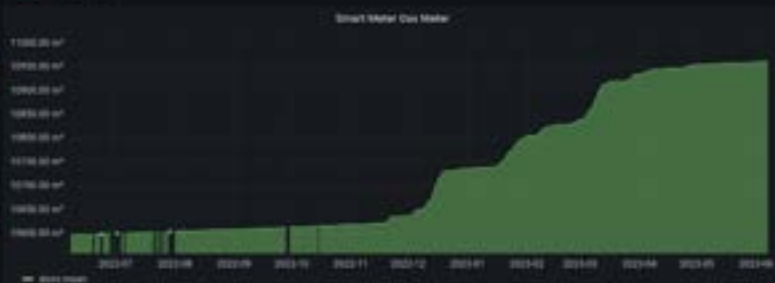
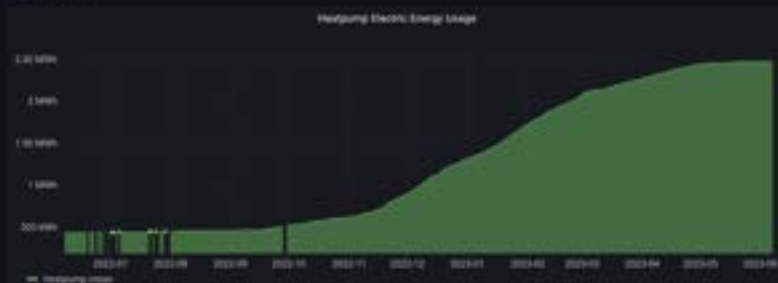
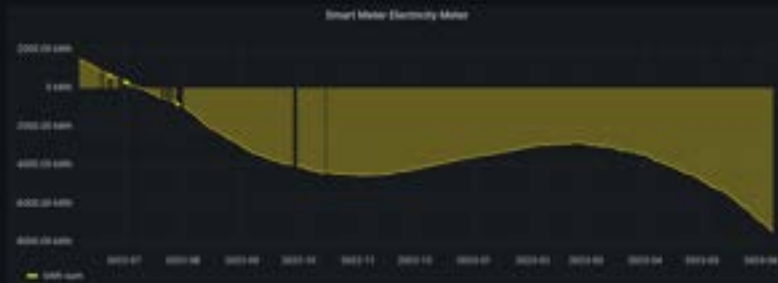
rC_pkM3K – Deze **tussen-eindwoning gebouwd rond 2015** gebruikt praktisch geen gas meer voor verwarming zoals blijkt uit het 24 uren gasgebruik. De watertemperatuur lijkt begrensd op 30 °C, gasbesparing is gemiddeld en de besparingsprestatie is met 6,52 hoger dan gemiddeld.

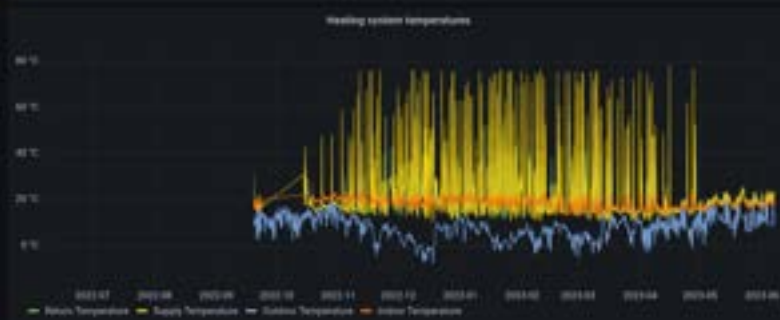
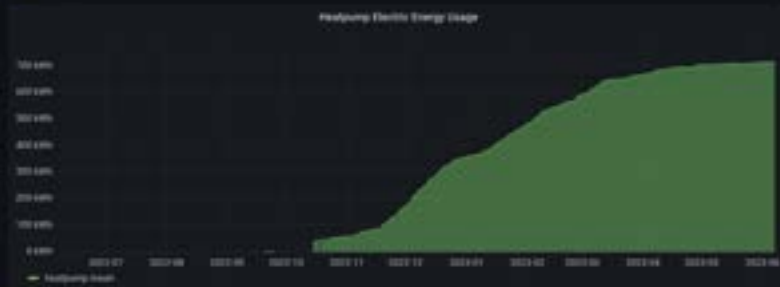
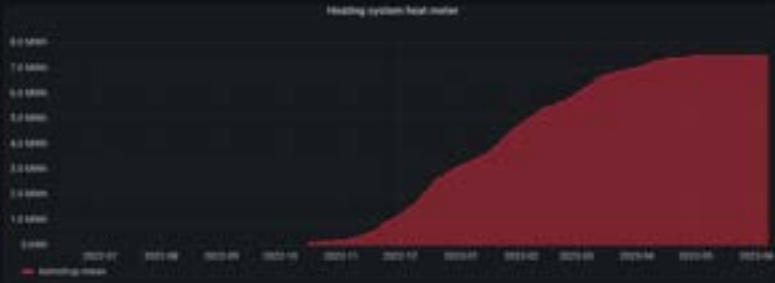
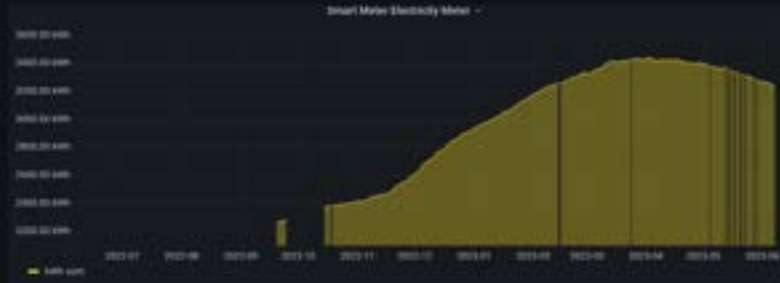
sNLALR1w – **Vervanging van de slimme meter rond maart 2023.** De meting van het elektrisch gebruik van de hybride (buitenunit) is pas in december 2023 aangesloten. In de HCOP deelplot rechtsonder is zichtbaar dat vanaf die tijd de dagwaarde van de COP rond de 4 tot 6 is (voor die tijd door het niet gemeten gebruik veel te hoge waarden).

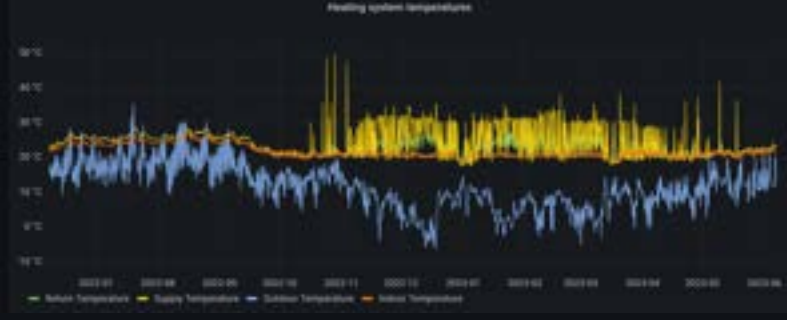
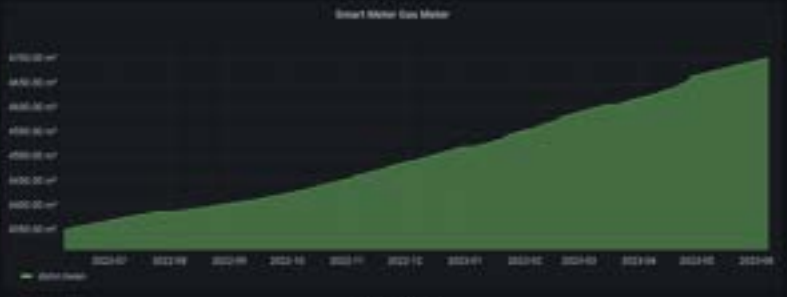
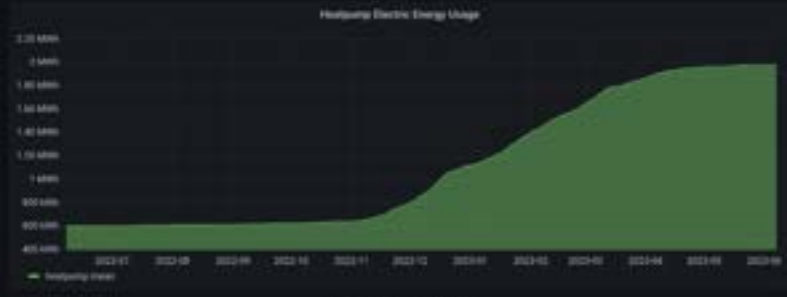
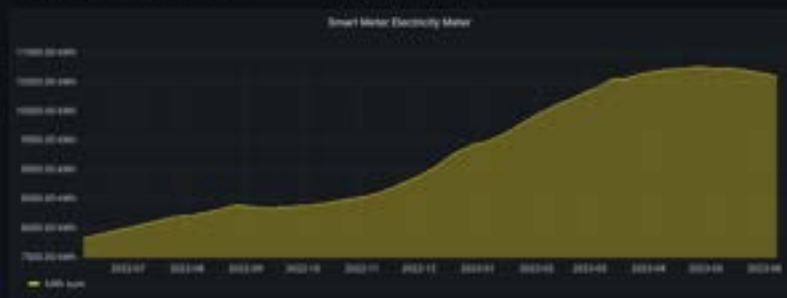


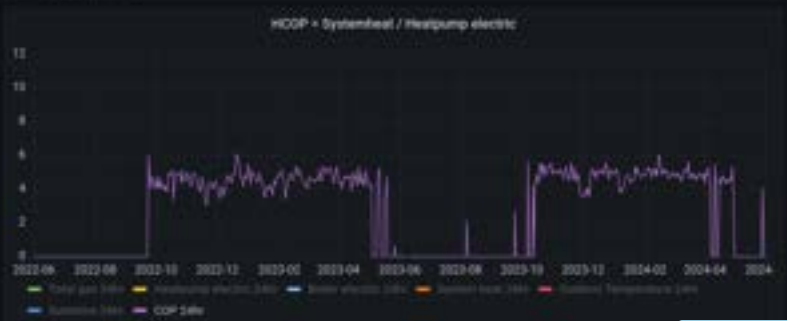
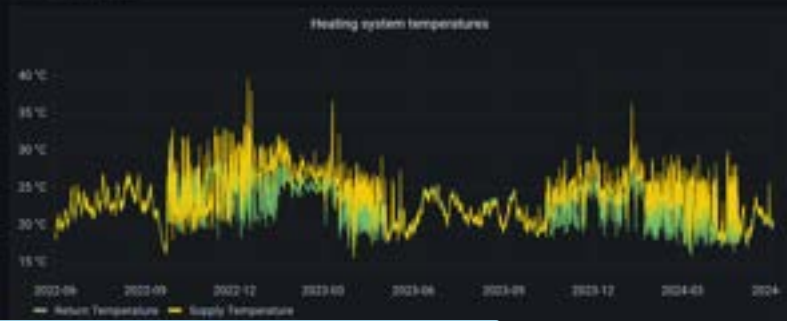
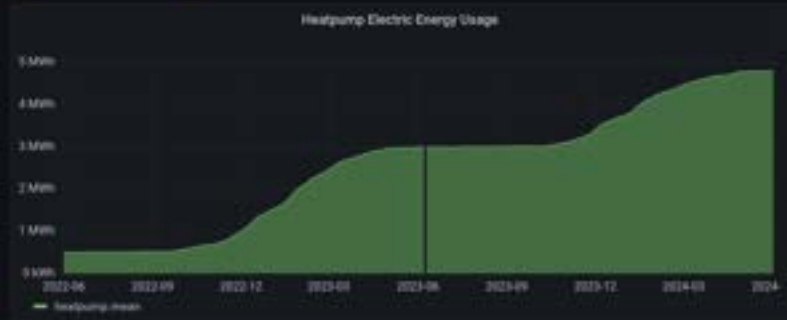
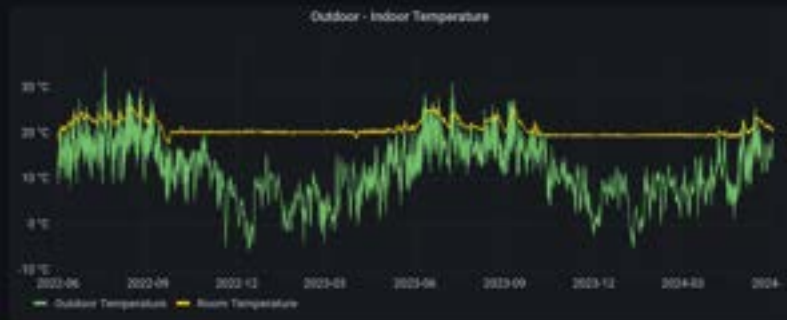


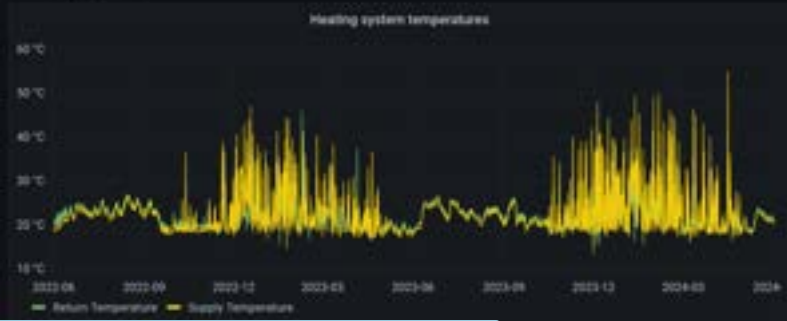
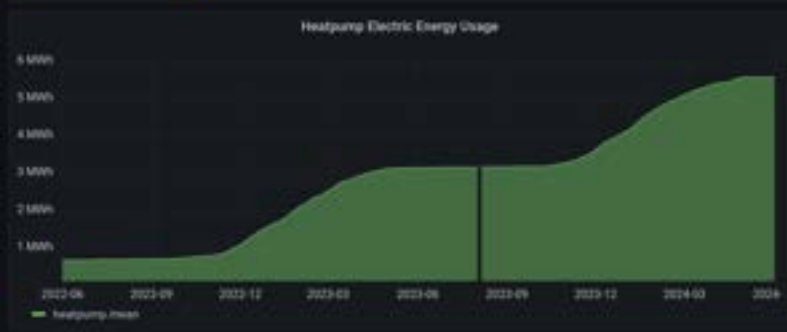
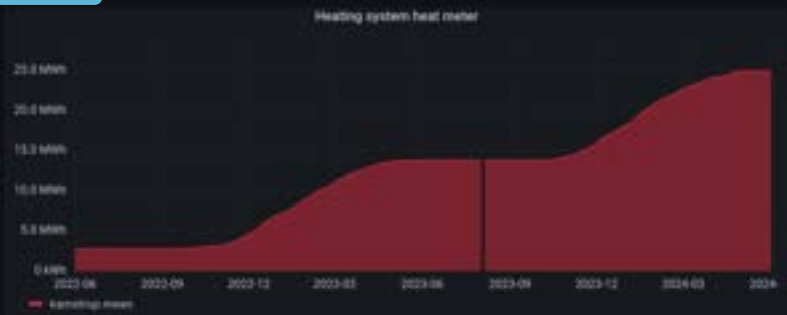
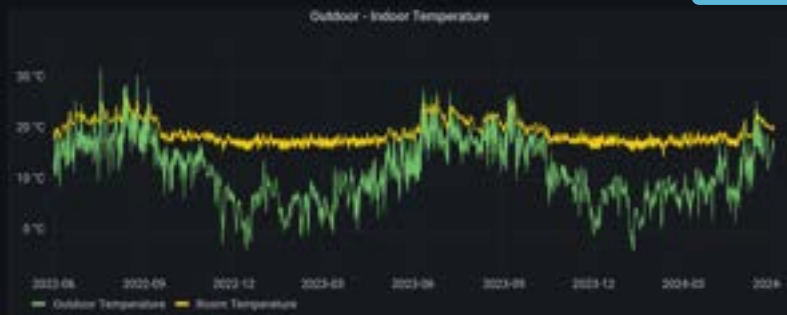


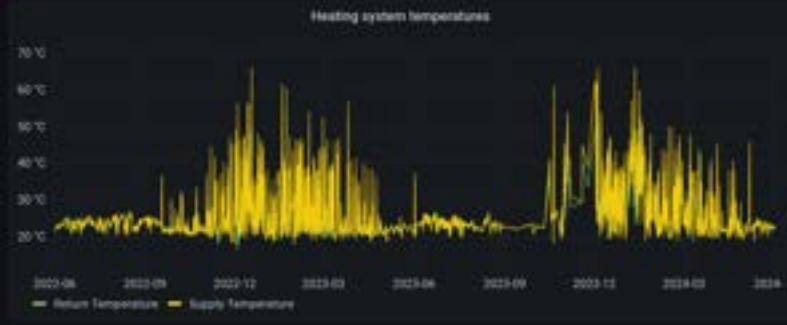
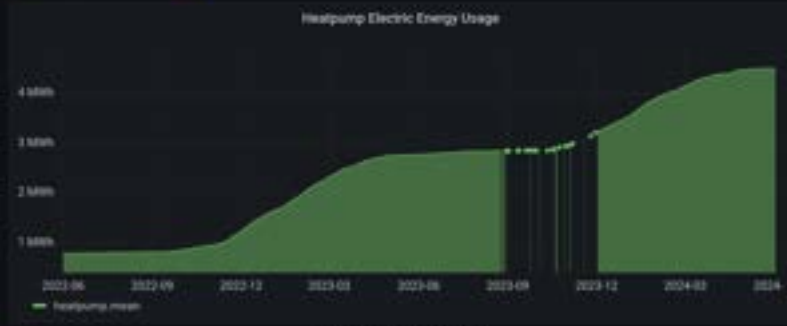
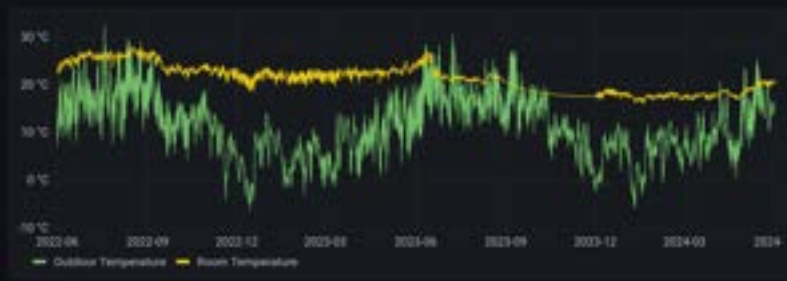


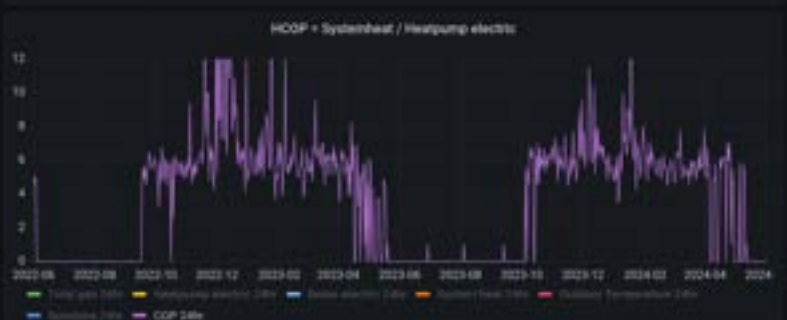
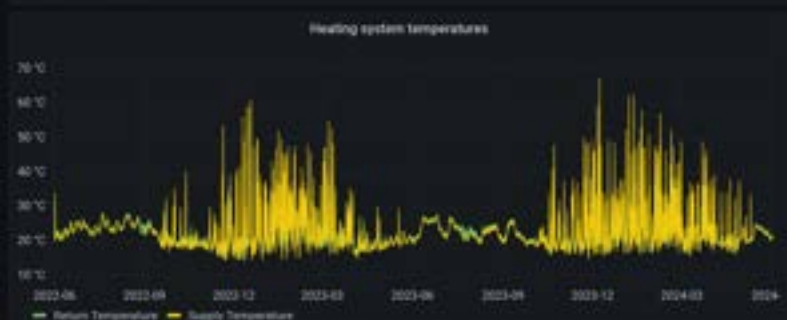
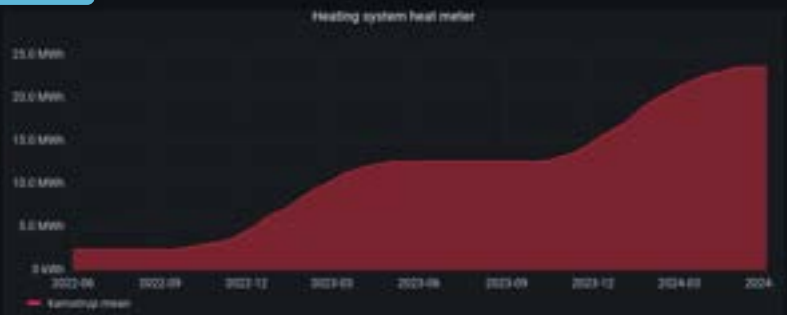
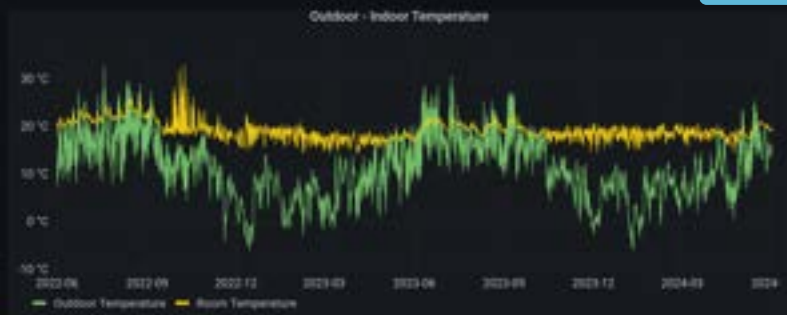


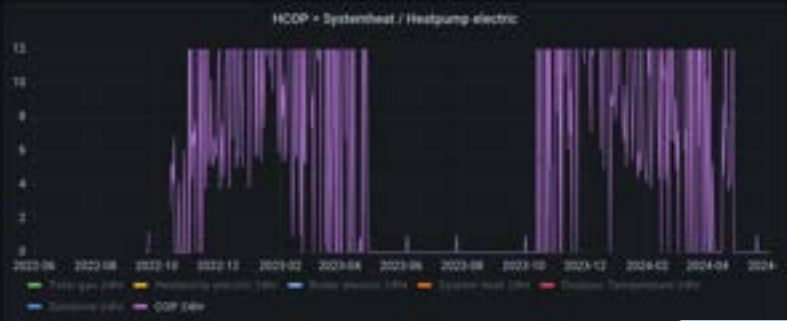
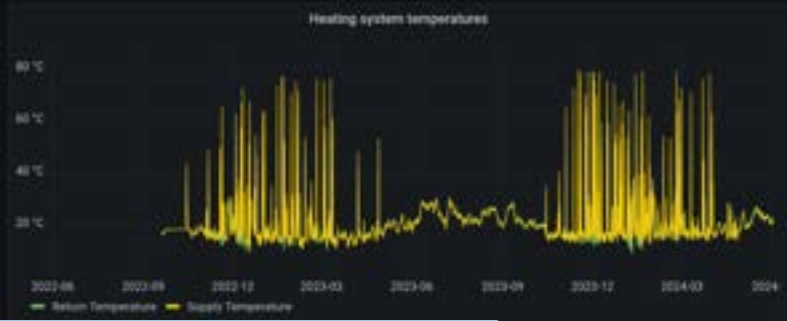
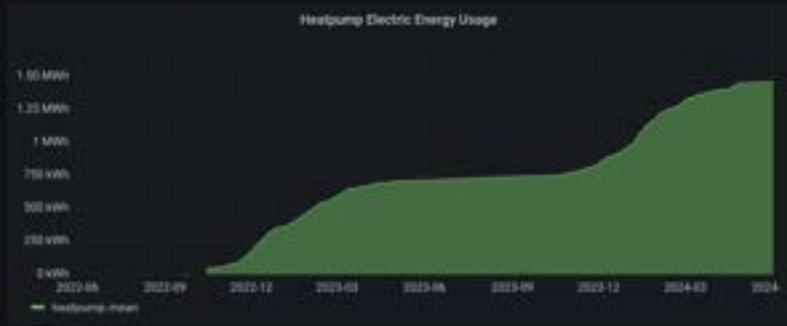
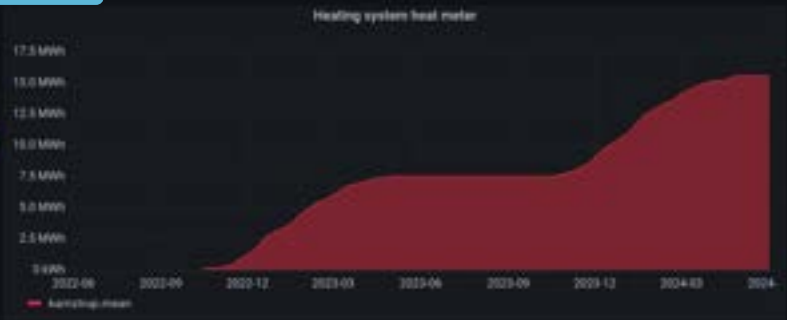
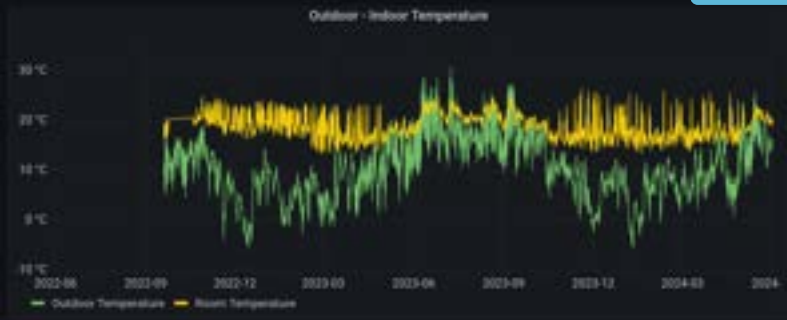


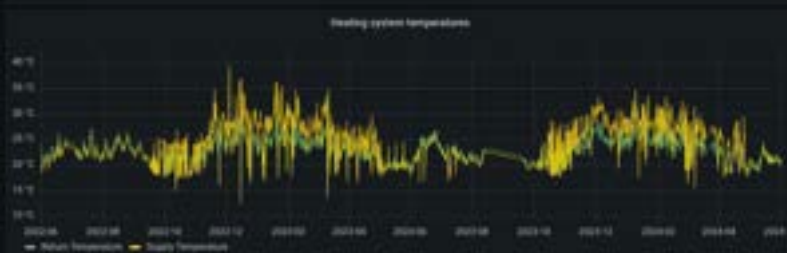
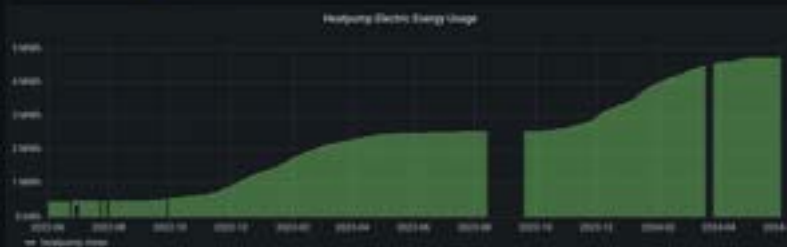
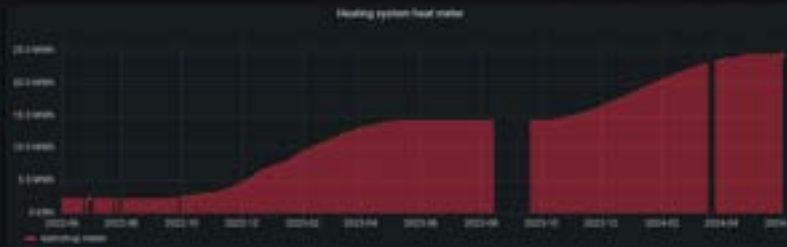
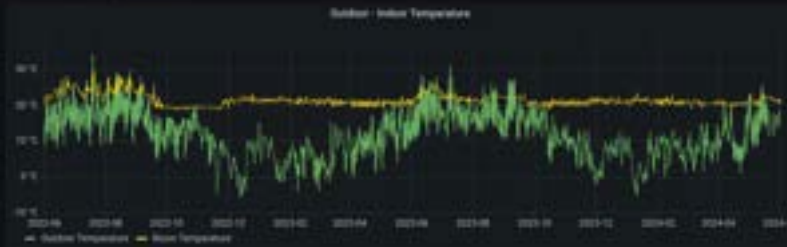


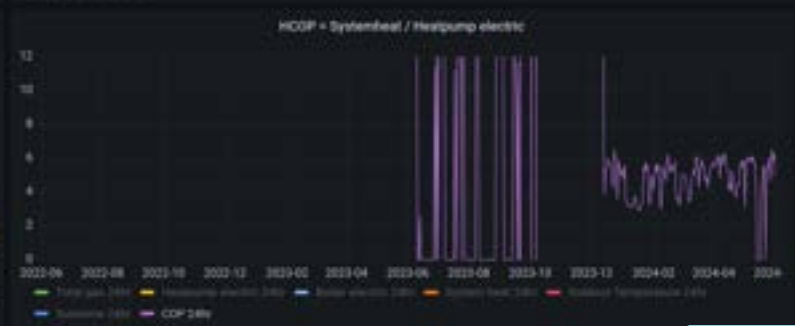
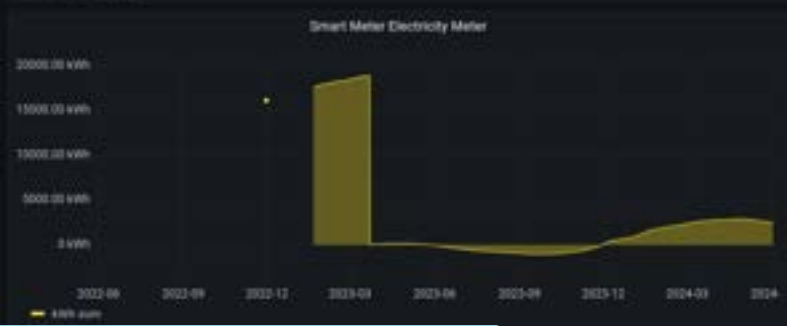
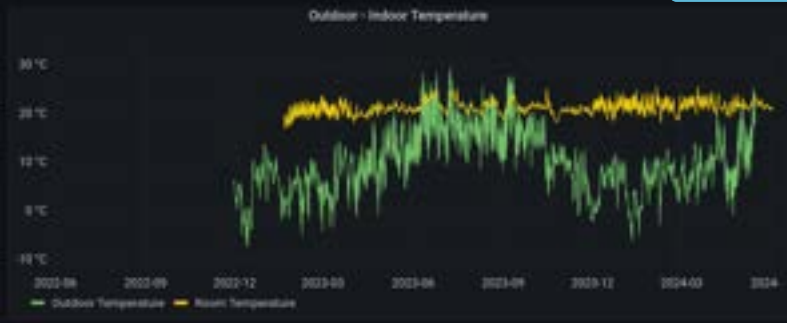












Bijlage 7: Jupyter tabel van alle deelnemers

Participant_id	Bouwjaar [jaar]	Huistype	Gas_voor_2 [m³]	Gas_voor_1 [m³]	Gas_na [m³]	Gasbsp [-]	Elek_hyb [kWh]	Dek_graad [-]	Gasverliesft [-]	SCOP_ouder [-]	SCOP [-]	SCOP_sys [-]	Bsp_pres [-]	Netto_bsp [euro]
* OMa7vZ0x	[1920-1939]	vrijstaand	1190	450	325	0,6	4375	0,79	2,99	3,88	3,3	3,23	1,11	-697,7
bB9dwLYE	[1960-1979]	vrijstaand	1294	1200	616	0,51	3533	0,63	1,48	3,07	2,59	2,03	1,75	-255,54
GMBbE51s	[1900-1919]	vrijstaand	2124	1813	228	0,88	6013	0,94	1,33	3,82	3,76	3,38	2,83	451,07
cggNkr7C	2000->	vrijstaand	2849	412	684	0,58		0,7	1,28					
ib2L3SnU	[1980-1999]	2-onder-1-kap	1512	887	288	0,76		0,92	1,19					
5GCcwbJF	[1980-1999]	vrijstaand	1334	823	34	0,97	2953	1	1,18	4,08	4,08	4,03	3,45	473,21
-uFUg8jU	[1900-1919]	vrijstaand	1468	2584	920	0,55	3126	0,8	1,13	4,03	3,91	2,6	3,46	502,35
3QyrlJd	[1960-1979]	vrijstaand	4543	3122	979	0,74		0,79	1,1					
e6Pc72sP	[1980-1999]	vrijstaand	1999	1644	195	0,89		0,96	1,08					
xURf3a0o	[1960-1979]	vrijstaand	1503	1554	158	0,9	3744	0,92	1,08	3,9	3,87	3,24	3,58	662,42
pv_IsvbE	2000->	vrijstaand	1925	2247	363	0,83	4283	0,98	1,06	4,16	4,16	3,93	3,93	963,64
eS3U7RoL	[1920-1939]	vrijstaand	1800	1881	442	0,76	3848	0,89	1,05	3,76	3,73	2,91	3,55	667,69
QytoLUAL	[1900-1919]	vrijstaand	1541	1695	364	0,77		0,89	1,02					
di1C3DT-	<1900	vrijstaand	1946	1645	528	0,71		0,78	1,01					
nP2wu5CK	[1920-1939]	vrijstaand	1387	1387	533	0,62	2390	0,73	1	3,48	3,48	2,07	3,49	394,6
ORQyG6WX	[1960-1979]	vrijstaand	1411	1475	573	0,6	2436	0,62	0,99	3,44	3,46	1,79	3,49	401,65
kkI5OIGx	[1960-1979]	2-onder-1-kap	2189	1834	294	0,85	5264	0,92	0,99	3,15	3,15	2,69	3,19	652,37
ywCyxxQF	[1980-1999]	2-onder-1-kap	1599	1649	645	0,6		0,64	0,99					
A0JoUuz-	[1980-1999]	vrijstaand	1129	1107	349	0,69	1925	0,74	0,96	3,68	3,74	2,11	3,9	425,49
P1lrM5bq	[1980-1999]	2-onder-1-kap	2175	2175	389	0,82		0,94	0,94					
bW_ürKG	2000->	2-onder-1-kap	1867	1759	390	0,79	3753	0,96	0,94	3,47	3,48	3,14	3,71	729,56
DrE1EXuT	[1980-1999]	2-onder-1-kap	1680	1558	150	0,91	2804	1	0,93	4,75	4,75	4,75	5,12	1084,89
5n48RmBE	[1920-1939]	vrijstaand		1300	295	0,77	2116	0,82	0,93	4,23	4,3	2,62	4,64	680,25
cfs3OE3j	[1920-1939]	vrijstaand	3605	1176	1253	0,48		0,57	0,92					
gfhTqPfk	[1980-1999]	2-onder-1-kap	1279	1453	647	0,53	1788	0,6	0,92	3,42	3,63	1,66	3,93	402,38
3jcFogZ5	[1980-1999]	vrijstaand	2834	2581	917	0,66		0,7	0,91					
Lo8oUaQ	2000->	vrijstaand	2376	2203	312	0,86		0,97	0,91					
XmrgAM1Q	[1960-1979]	vrijstaand	1500	1500	520	0,65	2251	0,81	0,91	3,79	3,88	2,39	4,25	605,87
wv6qC56z	[1980-1999]	2-onder-1-kap	1321	1208	338	0,73	2314	0,78	0,91	3,47	3,57	2,18	3,91	514,46
6U_ZxZc7	[1980-1999]	hoekwoning	1743	1943	284	0,85		0,91	0,9					
Dduwcofx	2000->	vrijstaand	2337	2133	783	0,65	2948	0,77	0,9	4,17	4,31	2,3	4,81	1016,84
ZzY3cd3h	[1980-1999]	vrijstaand	3000	550	533	0,7	3429	0,73	0,9	3,04	3,17	1,89	3,54	588,6
SDlPnuVt	[1980-1999]	vrijstaand	1675	1521	861	0,46	1801	0,51	0,89	3,16	3,57	1,44	4	422,07
RHON9wor	[1920-1939]	2-onder-1-kap	1316	954	373	0,67	1698	0,81	0,87	3,68	3,81	2,3	4,38	487,08
zK4WxULP	2000->	2-onder-1-kap	1406	1211	454	0,65	1766	0,75	0,87	3,89	4,1	2,13	4,73	589,39
3WCTOMF1	[1900-1919]	vrijstaand	1589	1461	275	0,82	3145	0,86	3,25	3,33	2,44	3,88	688,03	
EyZlYLSp	2000->	2-onder-1-kap	1500	1500	51	0,97	3724	1	0,85	3,21	3,21	3,21	3,8	772,21
fEQzL6P	[1960-1979]	2-onder-1-kap	1275	1506	300	0,78	3137	0,89	0,85	2,82	2,88	2,28	3,39	477,27
1WYeUbFg	[1940-1959]	tussenwoning	2114	1501	274	0,85		0,96	0,83					

Participant_id	Bouwjaar [jaar]	Huistype	Gas_voor_2 [m³]	Gas_voor_1 [m³]	Gas_na [m³]	Gasbsp [-]	Elek_hyb [kWh]	Dek_graad [-]	Gasverlies [-]	SCOP_onder [-]	SCOP [-]	SCOP_sys [-]	Bsp_pres [-]	Netto bsp [euro]
MBeIxm3z	2000=>	tussenwoning	707	696	262	0,63		0,72	0,83					
hRPmKwLs	[1960-1979]	2-onder-1-kap	1075	1071	216	0,8	1895	0,88	0,83	3,54	3,65	2,56	4,42	551,94
CbPETsjw	2000=>	hoekwoning	941	1062	110	0,89	1961	1	0,82	3,66	3,66	3,66	4,44	578,23
Mz219wDb	2000=>	2-onder-1-kap	837	902	333	0,62	1553	0,82	0,82	2,63	2,76	1,95	3,38	232,84
VF545wO	[1920-1939]	vrijstaand	2910	2898	916	0,68	4310	0,74	0,82	3,39	3,68	1,92	4,51	1307,94
SZphemL4	[1980-1999]	vrijstaand	1433	1469	261	0,82	2254	0,86	0,81	4,01	4,17	2,67	5,16	883,82
aQRbqD6	[1980-1999]	vrijstaand	1280	1443	79	0,94	2265	0,98	0,81	4,44	4,47	4,04	5,53	1003,51
-B51sQOp	[1980-1999]	vrijstaand	2400	2200	323	0,86		0,96	0,8					
3voUJ8cb	[1920-1939]	2-onder-1-kap	2746	2855	1236	0,56	3624	0,62	0,8	2,87	3,38	1,52	4,22	957,67
GD09C-2s	[1980-1999]	vrijstaand	1413	1410	159	0,89		0,94	0,8					
Y6E5x8IP	2000=>	vrijstaand	2400	2317	93	0,96		0,98	0,8					
g6cwpA70	[1980-1999]	vrijstaand	2310	2602	322	0,87	4190	1	0,8	3,99	3,99	3,94	4,98	1539,34
1uGr4CK2	[1980-1999]	vrijstaand	1786	1900	533	0,71	2697	0,76	0,78	3,36	3,69	1,95	4,75	906,38
3c1fUm5M	[1980-1999]	vrijstaand	1650	1824	507	0,71	2450	0,83	0,78	3,59	3,81	2,3	4,91	876,7
b_eXywsq	[1980-1999]	vrijstaand	2293	2293	417	0,82		0,96	0,78					
ccN0cge3	[1980-1999]	2-onder-1-kap	1260	1284	259	0,8	1725	0,8	0,78	4,15	4,47	2,28	5,74	812,5
d7dbrO23	2000=>	2-onder-1-kap	1106	1146	128	0,89	2221	0,91	0,78	3,32	3,42	2,59	4,39	638,43
diDdCX6N	[1960-1979]	tussenwoning	2204	2204	183	0,92		0,98	0,78					
2aE7xTqC	[1920-1939]	vrijstaand	2153	1746	257	0,87		0,91	0,77					
3V2aOh4L	[1980-1999]	vrijstaand	1843	1444	483	0,71	2189	0,73	0,76	3,44	3,92	1,83	5,18	865,27
RirVqJd3	2000=>	2-onder-1-kap	1539	1626	263	0,83		0,94	0,76					
W3lmQOBD	[1920-1939]	vrijstaand	3723	3126	983	0,71	4894	0,75	0,76	3,28	3,69	1,86	4,87	1730,68
b0-a0MJb	[1980-1999]	2-onder-1-kap	1304	1198	329	0,74	1725	0,85	0,76	3,74	3,96	2,44	5,22	691,07
wEqq3fR	<1900	vrijstaand	4317	4012	2883	0,31	5360	0,33	0,76	0,64	1,79	0,94	2,34	43,19
TkMyAOp1	[1980-1999]	vrijstaand	1850	1790	302	0,83	3264	0,92	0,75	3,32	3,42	2,67	4,54	1006,8
GdemEvZz	2000=>	2-onder-1-kap	1265	1302	524	0,59	1736	0,7	0,74	2,71	3,18	1,61	4,27	471,68
JyqlksBN	[1980-1999]	tussenwoning	2315	2136	569	0,74		0,93	0,74					
e-V7pn_P	[1940-1959]	vrijstaand	2171	2307	1112	0,5	1650	0,54	0,74	3,37	4,91	1,35	6,67	987,58
aGIM-uhc	2000=>	vrijstaand	1680	1580	160	0,9	2685	0,92	0,73	3,8	3,93	2,91	5,35	1122,49
btF7zwoI	2000=>	hoekwoning	1551	1723	328	0,8	2581	0,88	0,73	3,45	3,64	2,44	4,95	940,41
ez7d4xNY	[1940-1959]	hoekwoning	1717	1742	167	0,9	2536	0,98	0,73	4,37	4,4	3,97	6,02	1291,77
vtBLSHpC	2000=>	vrijstaand	1751	1741	213	0,88		0,93	0,73					
yjpsQKfb	[1980-1999]	vrijstaand	1593	1510	308	0,8	2602	0,86	0,73	3,22	3,42	2,25	4,67	846,77
-ORifQC6	2000=>	2-onder-1-kap	1271	1304	144	0,89	2258	0,97	0,72	3,52	3,57	3,14	4,95	821,13
2L9716LT	[1940-1959]	vrijstaand	2213	2305	212	0,91		0,93	0,72					
4OnYOkIn	[1900-1919]	vrijstaand	2035	2519	745	0,67	2701	0,74	0,72	3,42	3,98	1,81	5,54	1200,45
DsPYyTY	[1960-1979]	vrijstaand	2420	2363	516	0,78	2585	0,81	0,72	4,66	5,12	2,39	7,09	1692,69
OnRTARXf	[1920-1939]	vrijstaand	1505	1570	608	0,6	1500	0,68	0,72	3,59	4,37	1,68	6,05	771,14
cXHtRNjQ	[1980-1999]	vrijstaand	1863	2037	94	0,95	4519	0,92	0,72	2,85	2,87	2,73	4,01	1067,35
U-vtaXtk	[1980-1999]	vrijstaand	2109	1757	677	0,65	1995	0,68	0,71	3,54	4,37	1,65	6,15	1051,65
W5J0Uuq	2000=>	2-onder-1-kap	1235	1316	467	0,63	1701	0,79	0,71	2,93	3,29	1,87	4,64	547,84
WUAgbEIl	[1980-1999]	vrijstaand	2150	2494	359	0,85	4185	0,95	0,71	3,16	3,24	2,71	4,58	1313
on1VMMT0	[1960-1979]	vrijstaand	4031	3097	2229	0,37	2476	0,38	0,71	1,19	3,72	1,02	5,27	1007,99
w2fls42F	2000=>	vrijstaand	1753	1992	608	0,68	1586	0,79	0,71	4,9	5,5	2,28	7,79	1189,6
D8Z5j9yG	[1960-1979]	vrijstaand	3750	3656	955	0,74	4608	0,76	0,7	3,5	4,06	1,88	5,83	2226,36
D10nyhC7	[1980-1999]	vrijstaand	1850	1920	415	0,78	2922	0,83	0,7	3,16	3,45	2,1	4,91	1048,91
FFOpKdF2	[1980-1999]	vrijstaand	2319	2224	178	0,92	4819	0,97	0,7	2,95	2,99	2,74	4,24	1290,51

Participant_id	Bouwjaar [jaar]	Huistype	Gas_voor_2 [m³]	Gas_voor_1 [m³]	Gas_na [m³]	Gasbsp [-]	Elek_hyb [kWh]	Dek_graad [-]	Gasverlies [-]	SCOP_onder [-]	SCOP [-]	SCOP_sys [-]	Bsp_pres [-]	Netto bsp [euro]
I3v9SmRO	[1980-1999]	2-onder-1-kap	1209	1022	197	0,82		0,95	0,7					
JEZJ1_	[1980-1999]	vrijstaand	2138	2160	108	0,95	4218	0,95	0,7	3,23	3,3	2,81	4,73	1407,23
Lm4kAwHz	2000=>	2-onder-1-kap	1282	1402	306	0,77	1765	0,89	0,7	3,78	3,99	2,64	5,73	830,55
Z5tUk-4t	[1960-1979]	2-onder-1-kap	1585	1536	195	0,88		0,92	0,7					
uTjQ5vxx	2000=>	vrijstaand	1778	1554	462	0,72	2237	0,778	0,7	3,2	3,7	1,82	5,26	907,98
xSDmm63y	[1960-1979]	tussenwoning	1199	1391	799	0,38	745	0,42	0,7	1,79	4,53	1,08	6,49	427,99
uFhUQz5	[1940-1959]	tussenwoning	1657	1731	361	0,79		0,9	0,69					
5NNgThim	[1920-1939]	vrijstaand	3727	3718	811	0,78	4218	0,81	0,68	4,05	4,56	2,2	6,74	2565,16
96H2Z6-Y	[1980-1999]	vrijstaand	2225	2129	168	0,92		1	0,68					
MNBpwxix	[1980-1999]	vrijstaand	2301	1611	290	0,85	4326	0,93	0,68	2,45	2,55	2,11	3,76	874,83
yNmVf4oy	[1980-1999]	vrijstaand	1917	1615	281	0,84	2288	0,89	0,68	4,07	4,31	2,74	6,34	1265,35
qAVHyp3J	[1920-1939]	2-onder-1-kap	2361	2235	943	0,59		0,71	0,67					
4iyux5_5	[1980-1999]	vrijstaand	1567	1798	474	0,72	1717	0,77	0,66	3,87	4,57	1,93	6,88	1075,55
BdMf5w-N	[1960-1979]	2-onder-1-kap	3042	3135	1063	0,66	3471	0,8	0,66	3,25	3,74	1,93	5,7	1617,91
h57Wozvww	[1920-1939]	tussenwoning	2089	1886	200	0,9	2540	0,95	0,66	4,39	4,52	3,46	6,88	1590,1
0_6TUIP4	[1960-1979]	hoekwoning	1842	2103	878	0,55	1504	0,58	0,65	2,79	4,62	1,29	7,11	989,32
tZSnEgva	[1940-1959]	2-onder-1-kap	2137	2252	893	0,59	2284	0,62	0,65	2,66	3,63	1,44	5,57	1022,57
vAibnS26	[1960-1979]	2-onder-1-kap	2489	2458	375	0,85	3234	0,89	0,65	3,85	4,12	2,62	6,34	1788,69
6-gOUJps	[1960-1979]	2-onder-1-kap	1809	2135	470	0,76	2590	0,84	0,64	3,22	3,63	2,05	5,67	1194,45
Oz5ckxou	[1940-1959]	vrijstaand	743	4947	839	0,71	3253	0,74	0,63	2,96	3,77	1,62	6,03	1660,2
UkhyOkLf	[1980-1999]	vrijstaand	1922	2163	148	0,93		0,98	0,63					
QtE_uvEX	[1960-1979]	tussenwoning	1098	1022	114	0,89	1491	0,9	0,62	3,6	3,86	2,53	6,2	795,93
MT_lo4kd	[1980-1999]	tussenwoning	959	1077	118	0,88		0,95	0,61					
eTBf5kYm	[1980-1999]	2-onder-1-kap	1589	1425	173	0,89	1831	0,96	0,61	4,22	4,35	3,43	7,12	1206,6
kaTMcjBU	[1900-1919]	vrijstaand	2765	2207	635	0,74	2570	0,81	0,61	3,65	4,28	2,02	7,03	1664,4
9-agjI3L	[1920-1939]	vrijstaand	2689	3846	916	0,76	2696	0,77	0,6	4,12	5,12	1,89	8,52	2292,13
ooQJGe15	[1920-1939]	2-onder-1-kap	2849	2589	856	0,69		0,75	0,6					
rC_pkM3K	2000=>	tussenwoning	1312	1275	349	0,73	1416	0,9	0,6	3,61	3,89	2,52	6,52	816,98
6dsdV762	[1960-1979]	vrijstaand	3091	3821	865	0,75	3863	0,81	0,59	3,21	3,85	1,86	6,55	2248,18
qdC1C7Lx	2000=>	2-onder-1-kap	1538	1491	127	0,92	1779	0,98	0,59	4,47	4,53	4	7,62	1294,43
B4oz6JEm	[1980-1999]	vrijstaand	4000	550	550	0,86	5317	0,91	0,58	3,42	3,69	2,46	6,34	2940,48
hLOONbvk	[1980-1999]	vrijstaand	1458	1518	175	0,88	1780	0,97	0,58	4,13	4,21	3,64	7,21	1194,82
lVK0bORa	[1960-1979]	vrijstaand	2198	2377	921	0,6	1870	0,71	0,58	2,95	4,17	1,49	7,14	1238,3
7JgOWuUh	[1980-1999]	vrijstaand	1568	1416	450	0,7	1670	0,79	0,57	2,74	3,45	1,66	6,1	868,16
LyD12pmn	[1920-1939]	vrijstaand	2801	3136	691	0,77	2602	0,8	0,57	3,92	4,84	1,93	8,55	2223
Q_CTMAg9	2000=>	vrijstaand	1002	1206	99	0,91	1640	1	0,57	3,41	3,41	3,41	5,99	828,25
e9WTomef	[1980-1999]	vrijstaand	2237	2000	462	0,78	2388	0,82	0,57	3,22	3,85	1,91	6,78	1462,73
tJM9kqTt	[1940-1959]	tussenwoning	1080	1146	552	0,5	869	0,7	0,57	2,4	3,58	1,37	6,31	476,56
yxOWx6GO	[1980-1999]	vrijstaand	1560	1466	140	0,91	1465	0,92	0,57	3,165	5,21	3,13	9,16	1372,21
6oWZr5LM	[1980-1999]	vrijstaand	2558	2235	1256	0,48	1395	0,52	0,56	1,27	4,47	1,03	7,99	1084,45
9SIQCg0b	2000=>	2-onder-1-kap	1585	1305	284	0,8	1601	0,85	0,56	3,42	3,95	2,1	7,09	1048,19
y5TEBHnC	2000=>	vrijstaand	1661	1883	426	0,76	1784	0,8	0,56	3,36	4,15	1,84	7,37	1236,43
5QvgGmut	2000=>	tussenwoning	1184	1195	493	0,59	1156	0,68	0,55	1,98	3,21	1,26	5,89	568,2
9LFZHK7q	[1980-1999]	tussenwoning	1680	1786	246	0,86	1556	0,85	0,55	4,45	5,04	2,5	9,22	1489,31
Kwb9Dhh8	2000=>	vrijstaand	1500	1548	314	0,79		0,89	0,55					
frZKRmLD	2000=>	vrijstaand	3011	2864	966	0,67	2957	0,82	0,55	2,9	3,55	1,78	6,51	1705,43
tf9oJob7	[1980-1999]	hoekwoning	1806	1261	644	0,58	1026	0,66	0,55	2,62	4,64	1,3	8,47	864,85

Participant_id	Bouwjaar [jaar]	Huistype	Gas_voor_2 [m³]	Gas_voor_1 [m³]	Gas_na [m³]	Gasbsp [-]	Elek_hyb [kWh]	Dek_graad [-]	Gasverliesf [-]	SCOP_onder [-]	SCOP [-]	SCOP_sys [-]	Bsp_pres [-]	Netto bsp [euro]
df79ygat	[1960-1979]	tussenwoning	1403	1376	588	0,58	2359	0,79	0,54	1,4	1,8	1,21	3,32	333,97
oqb_LZc9	[1960-1979]	hoekwoning	942	838	132	0,85	1537	0,95	0,54	2,47	2,6	2,16	4,82	531,35
uennkFAE	2000=>	vrijstaand	1091	1108	570	0,48	1163	0,71	0,54	1,59	2,42	1,21	4,45	343,68
bep7sbGN	[1920-1939]	tussenwoning	2016	2016	490	0,76		0,79	0,53					
MPjpuY8a	[1960-1979]	tussenwoning	1300	1049	310	0,74	1001	0,78	0,52	3,32	4,42	1,7	8,44	839,31
7ITw2Nm7	[1920-1939]	2-onder-1-kap	2050	1655	355	0,81	1430	0,86	0,5	4,33	5,16	2,24	10,23	1548,6
UigJRsPF	[1980-1999]	vrijstaand	2372	2195	659	0,71	2360	0,76	0,5	2,32	3,39	1,42	6,73	1428,98
l7_B8TOu	[1980-1999]	vrijstaand	4226	3945	1390	0,66	2728	0,75	0,5	3,16	4,81	1,5	9,65	2739,13
141Q2Shj	[1980-1999]	2-onder-1-kap	1444	1349	700	0,5	2370	0,55	0,49	0,22	1,4	0,76	2,87	191,64
sNLALR1w	[1920-1939]	vrijstaand	3658	3201	177	0,95	3881	0,97	0,49	3,88	4,02	3,27	8,19	3122,48
1YSXkg5D	2000=>	vrijstaand	1282	1400	52	0,96	1432	0,96	0,48	4,09	4,26	3,32	8,8	1270,37
GjGxfCoD	[1920-1939]	vrijstaand	1973	1790	216	0,89	2230	0,89	0,48	3,01	3,47	2,08	7,3	1523,99
H6PEe0IX	[1960-1979]	-	1951	1814	409	0,78	2534	0,91	0,48	2,4	2,71	1,88	5,68	1173,62
zP23d57M	[1920-1939]	vrijstaand	2000	2199	480	0,77	2094	0,82	0,46	2,63	3,5	1,63	7,56	1505,09
Q7c7Wak6	2000=>	vrijstaand	1412	1538	439	0,7	966	0,8	0,45	3,26	4,69	1,63	10,48	1078,73
c_pxkwxm	[1920-1939]	vrijstaand	1939	1604	641	0,64	942	0,74	0,41	2,34	4,8	1,26	11,73	1212
J1bb1rb_	[1960-1979]	vrijstaand	1912	1561	431	0,75	949	0,86	0,35	3,35	4,74	1,75	13,44	1442,29
HedOCi6L	[1940-1959]	2-onder-1-kap	558	346	183	0,59	215	0,83	0,2	0,36	2,42	0,82	12,23	291,03
HuOvEokt	[1960-1979]	tussenwoning	2421	2411	721	0,7		0,9	0,17					
0XvCTU3v	[1940-1959]	2-onder-1-kap	1469	1386	320		1510							
46no-WLf	[1940-1959]	tussenwoning			109		1406			3,84		2,95		
66IZ2dKl	2000=>	vrijstaand	4900	4650	624		464							
6pd9A10u	[1960-1979]	vrijstaand	1746	1414	186	0,88								
9H8W2b5Q	[1960-1979]	2-onder-1-kap	2040	1959	332	0,83								
DICdUGP1	[1920-1939]	tussenwoning	203	1501	167		123							
IF9c6c-H	[1960-1979]	vrijstaand	1628	1587			1969							
JqpjoDDU	[1960-1979]	-	3261	2271	730	0,74	4797						4,15	1220,89
Jr9PijgK	[1980-1999]	vrijstaand	2179	2380			2790							
KR2H1ovj	[1940-1959]	tussenwoning	1185	1287	161	0,87								
LzZTAYkZ	2000=>	vrijstaand	2336	1804	610		2610							
Nkw-o7MK	2000=>	vrijstaand	2150	1110	679	0,58	2194						4,24	584,98
PL238TVN	[1920-1939]	vrijstaand			1005		3368			5,79		3,08		
Z5GVYH20	[1980-1999]	tussenwoning			678		2209			2,73		1,46		
gmtO-Zia	[1920-1939]	appartement	2000	1890			2901							
nkMckb09	[1980-1999]	hoekwoning	972	884	31									
qBr4JQ_w	<1900	2-onder-1-kap	3215	2887										
u3RHJ15y	[1980-1999]	2-onder-1-kap	1469	1333	593	0,58	2145						3,68	409,74
uQLTOCT9	-	2-onder-1-kap												
ueGJf9d5	2000=>	vrijstaand	2000	1732			3758							
yV4UIuB5	[1980-1999]	2-onder-1-kap	825	615	184									
zskLB4Tu	[1960-1979]	2-onder-1-kap	810	87	1360		1508							
Gemiddeld			1914	1835	483	0,748	2514	0,83	0,75	3,34	3,82	2,27	5,67	1017,88
Aantal			168	170	168	158	132	152	152	120	117	120	120	120

**) Gebleken is dat de gasgebruik opgave (Gas_voor_1) van deze deelnemer al een jaar betrof waarin de hybride operationeel was. Daarnaast is deze woning verbouwd waardoor de opgave (Gas_voor_1) niet meer voor vergelijking gebruikt kan worden. Omdat dit pas duidelijk werd bij uitgifte van dit document is verwijdering van deze regel niet meer doorgevoerd. De sterk afwijkende waarden van dit geval zijn hiermee verklaard.*

Bijlage 8: Beschrijving en specificaties van de meetset

Het Demonstratieproject Hybride warmtepompen maakt gebruik van verschillende meetinstrumenten die bij bewoners thuis zijn geplaatst om het functioneren van de hybride CV-ketel te monitoren. Er is veel zorg besteed aan de nauwkeurigheid van de gebruikte meetinstrumenten om betrouwbare gegevens te verkrijgen.

Een belangrijk meetinstrument dat wordt ingezet, is de **Kamstrup Multical 403 warmtemeter**. Deze warmtemeter heeft een MID klasse B nauwkeurigheid, wat betekent dat het voldoet aan strenge Europese richtlijnen voor meetinstrumenten. Dit garandeert een betrouwbare meting van de warmte-output van de hybride CV-ketel.

Daarnaast wordt het stroomverbruik van de warmtepomp en de CV-ketel apart gemeten met behulp van twee losse **meters van het type SDM120M**. Deze elektrische vermogensmeters hebben ook een MID klasse B nauwkeurigheid.

Dit houdt in dat ze zeer precieze metingen kunnen leveren en voldoen aan dezelfde hoge standaarden.

De kamertemperatuur en luchtvochtigheid worden gemeten middels een **Sonoff WiFi meter**. Hoewel de nauwkeurigheid van de Sonoff Wifi temperatuur- en luchtvochtigheidsmeter niet erg hoog is, is het belangrijk om op te merken dat de plaatsing van deze sensor in de ruimte van groter belang is voor de metingen. De focus ligt meer op de trend in de kamertemperatuur en het gebruik van de verwarming, dan de exacte meetwaarden zelf. Het stroom- en het gasgebruik van het gehele huishouden wordt gemeten door middel van uitlezing van de aanwezige **slimme meter** in de meterkast.

Alle meetgegevens van deze sensoren worden verzameld en elke 10 seconden naar de cloudserver van de derde partij genaamd Inversible® verzonden. Door de gegevens te bundelen en te analyseren, kunnen we een goed inzicht krijgen in het

functioneren van de hybride CV-ketel. Ondanks de iets minder nauwkeurige kamertemperatuurmeting, bieden de nauwkeurige warmte-, gas- en elektriciteitsmetingen van de gebruikte meetinstrumenten voldoende betrouwbare gegevens om een gedegen uitspraak te kunnen doen over de prestatie van de hybride CV-ketel in het demonstratieproject.



De Kamstrup MULTICAL® 403 is een geavanceerde energiemeter die wordt gebruikt voor het meten en registreren van thermisch energieverbruik in verwarmings- en koelsystemen. Het apparaat

maakt gebruik van verschillende sensoren en technologieën om nauwkeurige metingen uit te voeren en het totale geleverde thermische vermogen te bepalen.

De MULTICAL® 403 meet verschillende fysieke waarden om het thermische energieverbruik te bepalen. Het maakt gebruik van ultrasone sensoren om de stroming van het verwarmings- of koelmedium te meten. Deze sensoren meten de snelheid van het medium en registreren de volumestromen.

Daarnaast maakt de MULTICAL® 403 gebruik van temperatuursensoren om de inlaat- en uitlaattemperaturen van het medium te meten. Deze sensoren worden geplaatst op de toevoer- en retourleidingen van het systeem. Door het verschil in temperatuur te meten, kan de meter de thermische energieberekening uitvoeren.

Met behulp van de gemeten stromingssnelheid en temperatuurverschil kan de MULTICAL® 403 het thermische vermogen bepalen. Het apparaat maakt gebruik van de formule voor thermische energie ($Q = m \times C_p \times \Delta T$), waarbij Q het

thermische vermogen is, m de massastroom is, C_p de specifieke warmtecapaciteit van het medium is en ΔT het temperatuurverschil is tussen de inlaat- en uitlaattemperaturen.

Door het thermische vermogen gedurende een bepaalde periode te integreren, kan de MULTICAL® 403 de totaal geleverde hoeveelheid thermische energie berekenen. Dit stelt gebruikers in staat om het energieverbruik te monitoren, verbruikspatronen te analyseren en kosten te beheren.

De MID (Measurement Instruments Directive) klasse B verwijst naar een specifieke classificatie voor meetinstrumenten die wordt gehanteerd in overeenstemming met de Europese richtlijn voor meetinstrumenten. Klasse B meetinstrumenten zijn bedoeld voor metingen op het gebied van elektriciteit, gas, water en thermische energie. Ze moeten voldoen aan strikte nauwkeurigheidseisen en worden vaak gebruikt voor facturatie- en handelsdoeleinden. Klasse B-instrumenten zijn geschikt voor het meten van grote hoeveelheden energie en worden vaak gebruikt door nutsbedrijven.

TS TS27.02+DK268 verwijst naar technische specificaties die betrekking hebben op de meting van elektriciteit. TS27.02 staat voor een technische specificatie die betrekking heeft op actieve energie- en vermogensmeting in elektrische installaties. Het definieert de eisen en specificaties waaraan de meetinstrumenten moeten voldoen om nauwkeurige metingen te garanderen.



SDM120M Klasse B vermogensmeters zijn zeer nauwkeurige meetinstrumenten die worden gebruikt om het vermogen van elektrische apparaten of systemen te meten. Ze voldoen aan de strenge nauwkeurigheidseisen van klasse B volgens de Europese meetinstrumentenrichtlijn (MID).

Klasse B-meters zijn geschikt voor toepassingen waarbij hoge precisie en betrouwbaarheid essentieel zijn, zoals facturatie, handel en kritieke energiemonitoring.

Klasse B vermogensmeters bieden een uitzonderlijk hoge mate van nauwkeurigheid en betrouwbaarheid in hun metingen. Ze zijn ontworpen om zeer kleine afwijkingen te hebben ten opzichte van de werkelijke vermogenswaarden die worden gemeten. Dit zorgt voor een zeer precieze en betrouwbare meting van het vermogen.

De nauwkeurigheid van klasse B vermogensmeters wordt meestal uitgedrukt als een percentage van de gemeten waarde, plus een bepaald aantal eenheden van de kleinste meetwaarde. Bijvoorbeeld, een klasse B-meter kan een nauwkeurigheid hebben van $\pm 0,5\%$ van de gemeten waarde plus 0,1 eenheden. Dit betekent dat bijvoorbeeld een meting van 100 watt een maximale afwijking van $\pm 0,5$ watt plus 0,1 watt kan hebben.

Het is belangrijk om op te merken dat klasse B vermogensmeters vaak geavanceerde functies en technologieën bevatten om de nauwkeurigheid te waarborgen. Ze kunnen bijvoorbeeld gebruikmaken van digitale signaalverwerking, kalibratietechnieken en compensatiemethoden om de metingen te optimaliseren.

In het kort, klasse B vermogensmeters bieden een uitzonderlijk hoge precisie en betrouwbaarheid in hun metingen. Ze zijn geschikt voor toepassingen waarbij een nauwkeurige meting van het vermogen vereist is en bieden de zekerheid van zeer nauwkeurige resultaten voor kritieke energieregelateerde processen.

Voor het meten van temperatuur en luchtvochtigheid is de Sonoff WiFi-temperatuur- en vochtigheidssensor gebruikt. De meetwaarde van de meting is sterk afhankelijk van de locatie van de sensor in de kamer, en daarom is de precisie van deze sensor niet het belangrijkste criterium.



Bij het plaatsen van de Sonoff-sensor in een kamer is het essentieel om rekening te houden met de positie ten opzichte van mogelijke warmte- of vochtbronnen, zoals radiatoren, direct zonlicht, luchtstromen of andere elektronische apparaten. Deze factoren kunnen invloed hebben op de metingen van de sensor en kunnen leiden tot afwijkingen in de weergegeven temperatuur- en vochtigheidswaarden.

Kortom, bij het gebruik van een Sonoff WiFi-temperatuur- en vochtigheidssensor is de locatie van de sensor in de kamer van groot belang voor de nauwkeurigheid van de meting.

Het is belangrijk om rekening te houden met de positionering ten opzichte van warmte- en vochtbronnen en om indien nodig de sensor te kalibreren. De precisie van de sensor is niet het meest cruciale aspect, maar het zorgvuldig plaatsen en afstellen ervan kan zorgen voor meer betrouwbare metingen van temperatuur en vochtigheid in de kamer (dit zal in de praktijk van het project vast niet altijd gebeurd zijn).

In het demonstratieproject wordt ook gebruik gemaakt van een **P1-poortmeter** om het stroom- en gasgebruik te meten. Bij het

gebruik van een P1-poortmeter is men grotendeels afhankelijk van de nauwkeurigheid van de slimme meter, omdat de P1-poortmeter de gegevens direct uitleest vanuit de slimme meter.

Slimme meters, die in veel huishoudens worden geïnstalleerd, bieden over het algemeen een goede nauwkeurigheid bij het meten van stroom- en gasgebruik. Ze worden ontworpen en geproduceerd volgens strikte technische normen om betrouwbare meetresultaten te leveren. De nauwkeurigheid van een typische slimme meter voldoet aan de geldende wet- en regelgeving, zoals de MID (Meetinstrumentenrichtlijn) in Europa.



De nauwkeurigheid van een slimme meter wordt vaak uitgedrukt als een percentage van de gemeten waarde, plus een bepaald aantal eenheden van de kleinste meetwaarde. Bijvoorbeeld, een slimme meter kan een nauwkeurigheid hebben van $\pm 1\%$ van de gemeten waarde plus 0,2 eenheden. Dit betekent dat bijvoorbeeld een meting van 1000 kWh een maximale afwijking van ± 10 kWh plus 0,2 kWh kan hebben.

Het is belangrijk om op te merken dat de nauwkeurigheid van slimme meters kan variëren afhankelijk van het specifieke merk en model. Over het algemeen zijn slimme meters echter ontworpen om betrouwbare en nauwkeurige metingen te bieden. Bovendien worden slimme meters regelmatig onderworpen aan kalibraties en controles om ervoor te zorgen dat ze nauwkeurig blijven werken.

In het demonstratieproject vertrouwen we op de nauwkeurigheid van de slimme meter voor het meten van stroom- en gasgebruik. Gezien de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van typische slimme meters bij mensen thuis, kunnen we redelijkerwijs vertrouwen op de meetgegevens die worden verkregen via de P1-poortmeter. Dit stelt ons in staat om gedetailleerde analyses uit te voeren en inzicht te krijgen in het energieverbruik en de prestaties van het hybride systeem in het project.

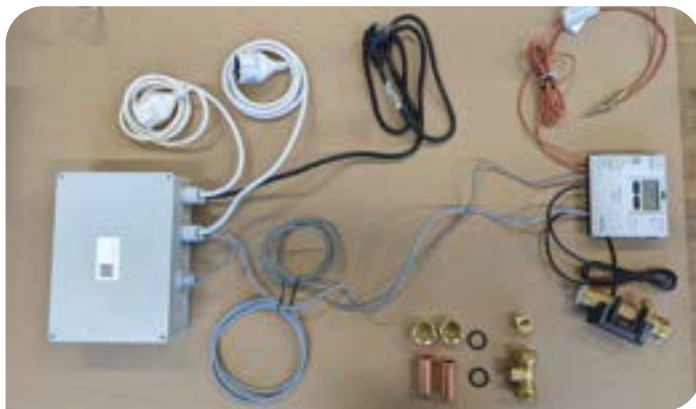
Volgende pagina's bevatten afbeeldingen van de meetset met de voorgaande meetmiddelen en de daaraan toegevoegde datacommunicatie. De meeteenheden zijn verbonden aan de Mifi router middels een voor de bewoner afgeschermd Wifi kanaal waarmee de eenheden de data overdragen aan de router. Dit is gerealiseerd met off-the-shelf Raspberry PI hardware. De ruwe opzet van de dataverwerking is toegelicht in de hoofdtekst.



P1 poort
uitlezing
slimme
meter



Mifi
router



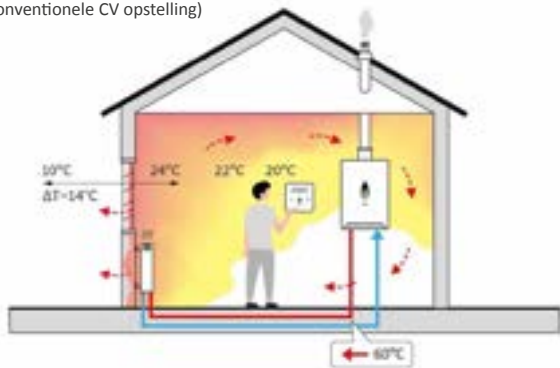
Meeteenheid voor de door de ketel en hybride opgenomen stroom, en de aan de installatie afgegeven hoeveelheid warmte middels flow en delta-T, aanvoer- en retourtemperatuur, meting.



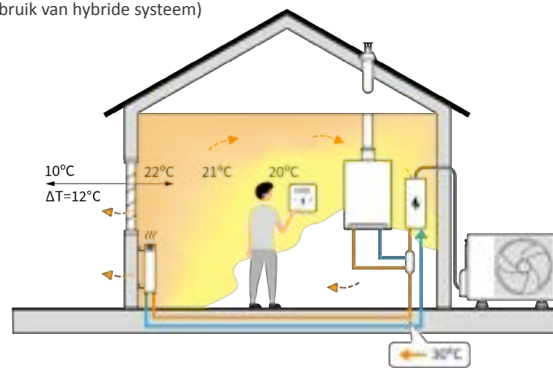
Meeteenheid voor de temperatuur en de luchtvochtigheid in de woonkamer

Bijlage 9: Watertemperatuur, delta T en verspreiding van warme lucht

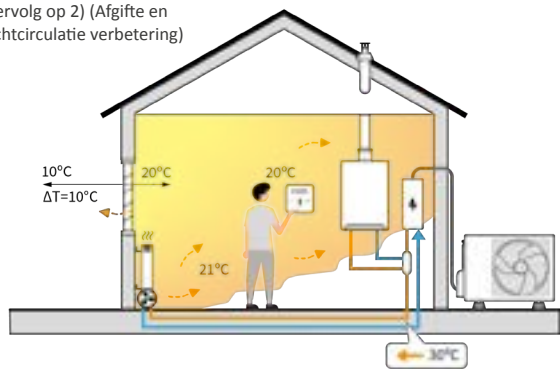
- 1 Hoge aanvoertemperatuur
(Conventionele CV opstelling)



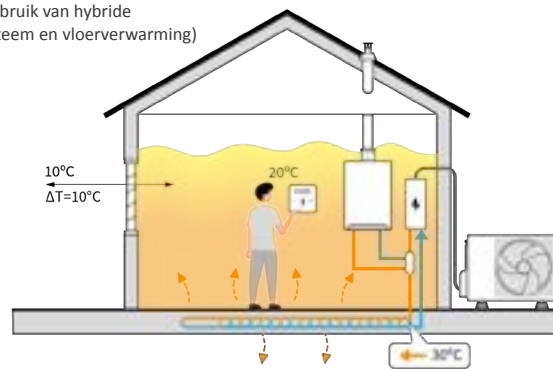
- 2 Lage aanvoertemperatuur
(Gebruik van hybride systeem)



- 3 Lage aanvoertemperatuur
(Vervolg op 2) (Afgifte en
luchtcirculatie verbetering)



- 4 Lage aanvoertemperatuur
(Gebruik van hybride
systeem en vloerverwarming)



Bijlage 10: Screenshots WebApp – H6PEe0IX

Energie, CO₂ en besparing

Periode	12 maanden	2019	2020
Gasverbruik	465 m ³	1951 m ³	1824 m ³
Gas bespaard	1417.5 m ³ (75%)	-	-
CO ₂ bespaard	2552 kg (75%)	-	-
Hybrideverbruik	2318 kWh	-	-
Besparingsprestatie	6	-	-

Jaarlijkse besparing Hybride

Tarief	Gas m ³	Elektriciteit kWh	Besparing
juli 2021	€ 0,86	€ 0,24	€ 662,73
Piek 2022	€ 3,90	€ 0,89	€ 3465,23
Prijsplafond	€ 1,45	€ 0,40	€ 1128,17
Maart 2023	€ 2,20	€ 0,61	€ 1704,52
Eigen tarief	€ 1,90	€ 0,53	€ 1464,71

Bijlage 11: Deelnemersenquête

ID	Hoe is het installatie-proces verlopen?	Hoe tevreden bent u over de prestaties van de hybride warmte-pomp?	Zijn er problemen / storingen (geweest) met de werking van de hybride warmtepomp?	Indien er problemen / storingen zijn (geweest), kunt u deze dan beschrijven?	"Hoe ervaart u het verwarmen met een hybride installatie (vergeleken met een traditionele CV-ketel)?"	Hoe ervaart u het geluid van de buitenunit van de warmtepomp?	Hoe vindt u de buitenunit eruitzien?	Is uw stookgedrag veranderd?	Indien uw stookgedrag is veranderd, wat is dan daarvoor de reden?	Is uw warmwater gebruik veranderd?	"Is het aantal gezinsleden veranderd in uw huishouden sinds de deelname aan het project?"
2	Het nam veel tijd in beslag;	Tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Niet hoorbaar / niet hinderlijk	Niet mooi	Zuiniger gaan stoken (bijv. lagere kamertemperatuur / thermostaat eerder lager)	Trachten een zo laag mogelijk gasgebruik te realiseren	Minder warm water gaan gebruiken / minder douchen	Niet veranderd
3	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Aangenaam, nu de verwarming 24/7 op 20gr staat. Anders kost het te veel energie om de vloer weer op te warmen	Niet hoorbaar / niet hinderlijk	Niet mooi	Constante temperatuur beneden van 20gr	Om de vloerverwarming op te warmen is veel energie nodig.	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
4	Probleemloos; Er waren veel extra werkzaamheden nodig;	Zeer tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Meer / warmer gaan stoken (hogere kamertemperatuur / thermostaat hoger)	Meer constanter, kamer thermostaat moet hoger afgesteld zijn om het comfort van CV temperatuur te evenaren.	Geen verandering in warmwater gebruik	Minder gezinsleden
5	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Niet hoorbaar / niet hinderlijk	Mooi	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
6	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Niet mooi	Standaard de thermostaat lager ingesteld		Minder warm water gaan gebruiken / minder douchen	Niet veranderd
7	Probleemloos;	Tevreden	Ja	Ontsnapt koelmiddel	Het duurt langer om het huis te verwarmen	Niet hoorbaar / niet hinderlijk	Niet mooi	Geen verandering in stookgedrag		Meer warm water gaan gebruiken / meer douchen	Niet veranderd
8	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Standaard de thermostaat lager ingesteld		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
9	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Onder 5° blijft temperatuur tussen 18° en 19°	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
10	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Minder gezinsleden
11	Er waren veel extra werkzaamheden nodig;	Zeer tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Minder gezinsleden

ID	Hoe is het installatie-proces verlopen?	Hoe tevreden bent u over de prestaties van de hybride warmte-pomp?	Zijn er problemen / storingen (geweest) met de werking van de hybride warmtepomp?	Indien er problemen / storingen zijn (geweest), kunt u deze dan beschrijven?	"Hoe ervaart u het verwarmen met een hybride installatie (vergeleken met een traditionele CV-ketel)?"	Hoe ervaart u het geluid van de buitenunit van de warmtepomp?	Hoe vindt u de buitenunit eruitzien?	Is uw stookgedrag veranderd?	Indien uw stookgedrag is veranderd, wat is dan daarvoor de reden?	Is uw warmwater gebruik veranderd?	"Is het aantal gezinsleden veranderd in uw huishouden sinds de deelname aan het project?"
12	Probleemloos;	Tevreden	Ja	Er was iets verkeerd aangesloten. Is echter later kosteloos verholpen	Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Standaard de thermostaat lager ingesteld	Zuiver en temp. Constant dag en nacht.	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
13	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hinderlijk	Geen mening / neutraal	Meer / warmer gaan stoken (hogere kamertemperatuur / thermostaat hoger)	Nachttemperatuur hoger gezet omdat het anders te lang duurt om de dagtemperatuur te bereiken.	Minder warm water gaan gebruiken / minder douchen	Niet veranderd
14	Probleemloos;	Neutraal	Nee		Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
15	Er waren veel extra werkzaamheden nodig;	Tevreden	Nee		Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
16	Probleemloos;	Ontevreden	Ja	Na een stroomstoring is de hele pomp ontregeld geweest.	Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Buitenunit geen geluidshinder. Maar de binnen unit staat bij ons op zolder en geeft erg veel lawaai.	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
17	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Minder warm water gaan gebruiken / minder douchen	Niet veranderd
18	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Niet mooi	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
19	Probleemloos, echter weinig uitleg;	Zeer tevreden	Ja	"Het bedrijf welke de installatie en onderhoud zou gaan verzorgen is vorig jaar oktober failliet gegaan. Geen onderhoud, dus onderhoudscontract opgezegd en een ander bedrijf moeten inschakelen."	Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Niet hoorbaar / niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Thermostaat 24/7 op 21,5C ivm vloerverwarming	n.v.t.	Minder warm water gaan gebruiken / minder douchen	Niet veranderd
20	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
21	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
22	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Gelijk gebleven wel iets meer lawaai door de buitenunit	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Niet mooi	Vloerverwarming dus zo min mogelijk tijdelijk verlagen van de thermostaat		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd

ID	Hoe is het installatie-proces verlopen?	Hoe tevreden bent u over de prestaties van de hybride warmte-pomp?	Zijn er problemen / storingen (geweest) met de werking van de hybride warmtepomp?	Indien er problemen / storingen zijn (geweest), kunt u deze dan beschrijven?	"Hoe ervaart u het verwarmen met een hybride installatie (vergeleken met een traditionele CV-ketel)?"	Hoe ervaart u het geluid van de buitenunit van de warmtepomp?	Hoe vindt u de buitenunit eruit?	Is uw stookgedrag veranderd?	Indien uw stookgedrag is veranderd, wat is dan daarvoor de reden?	Is uw warmwatergebruik veranderd?	"Is het aantal gezinsleden veranderd in uw huishouden sinds de deelname aan het project?"
23	Probleemloos;	Zeervrededen	Nee	Hybride warmtepomp is op zich geen probleem, alleen de aansturing vanuit Honeywell EvoHome om te kunnen verwarmen per kamer is een drama. Half uur aan, uit, aan, uit, aan uit... i.p.v. mooie lange runs voor de warmtepomp. Hiervoor heb ik zelf een naregeling gemaakt.	Het duurt langer om het huis te verwarmen	Niet hoorbaar / niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Meer / warmer gaan stoken (hogere kamertemperatuur / thermostaat hoger)	Vroeger stond de thermostaat op 20,5 graden en werd alleen beneden verwarmd. Nu op 22 graden en kan er per (studie/kinder/slaap/werk)kamer verwarmd worden. Dat deden we voorheen met elektrische kachel. De spekteenkachel gebruiken we nu bijna niet meer, voorheen tot wel 3m ² hout per jaar.	Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
24	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
25	Probleemloos;	Zeervrededen	Nee		Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Hinderlijk	Niet mooi	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
26	Probleemloos;	Zeervrededen	Nee	Uitsluitend het geluid is een probleem. Daar heb ik een SUS-kast voor gekocht die best prijzig was (ca. € 2.000)	Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Hinderlijk	Niet mooi	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
27	Probleemloos;	Zeervrededen	Ja	Samenspel CV-ketel en wp om balans te vinden tussen comfort en besparing	Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Niet hoorbaar / niet hinderlijk	Niet mooi	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
28	Het nam veel tijd in beslag;	Neutraal	Ja	Hoofdzekering Enexis 3 maal uitgeklipt	Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hinderlijk	Geen mening / neutraal	Zuiniger gaan stoken (bijv. lagere kamertemperatuur / thermostaat eerder lager)	Minderstroom verbruiken	Geen verandering in warmwatergebruik	Minder gezinsleden
29	Probleemloos;	Zeervrededen	Ja	Soms start de warmtepomp niet op terwijl de thermostaat een te lage temp aangeeft. Kan ook aan de thermostaat liggen.	Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Meer warm water gaan gebruiken / meer douchen	Niet veranderd
30	Probleemloos;	Tevreden	Ja	"De installatie sprong op enkele momenten op storing omdat de installatie de warmte niet kwijt kan. De vloerverwarming is begrenst in temperatuur en op andere plekken is de temperatuur bereikt/geknepen. Om dat zelf op te lossen heb ik een aantal locaties (keuken, werkkamer en badkamer vol op gezet voor warmte als buffer."	Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar maar niet hinderlijk. We een probleem gehad met een ijsprop in de uitstroom waardoor er een hard geluid is ontstaan. Na twee dagen dit opgelost door met een föhn het ijs weg te halen.	Niet mooi	Thermostaat staat alle momenten op 19 graden. Temperatuur is standaard 19,5 in de woonkamer		Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
31	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Niet hoorbaar / niet hinderlijk	Is niet zichtbaar	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd

ID	Hoe is het installatie-proces verlopen?	Hoe tevreden bent u over de prestaties van de hybride warmte-pomp?	Zijn er problemen / storingen (geweest) met de werking van de hybride warmtepomp?	Indien er problemen / storingen zijn (geweest), kunt u deze dan beschrijven?	"Hoe ervaart u het verwarmen met een hybride installatie (vergeleken met een traditionele CV-ketel)?"	Hoe ervaart u het geluid van de buitenunit van de warmte-pomp?	Hoe vindt u de buitenunit eruit?	Is uw stookgedrag veranderd?	Indien uw stookgedrag is veranderd, wat is dan daarvoor de reden?	Is uw warmwater gebruik veranderd?	"Is het aantal gezinsleden veranderd in uw huishouden sinds de deelname aan het project?"
32	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Gelijk belevten, het wordt even snel warm in huis	Hinderlijk	Niet mooi	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
33	Het nam veel tijd in beslag;	Neutraal	Nee		door minder gradaties blijft het huis warm	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	er is ingeregeld in de nacht 20 en overdag 21 graden	De nacht temperatuur is hoger omdat de installateur aangaf dat dit minder energie kost als er grotere verschillen zijn tussen de nacht en dag temperatuur.	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
34	Er waren veel extra werkzaamheden nodig;	Tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
35	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Gelijk belevten, het wordt even snel warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
36	Er waren veel extra werkzaamheden nodig;	Neutraal	Ja	Combinatie warmtepomp en cv werkte niet goed de software is vervangen	Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Mooi	Standaard de thermostaat lager ingesteld	Het went om de verwarming lager te zetten goed voor milieu	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
37	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Het duurt langer, maar de warmte is constant.	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Niet mooi	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
38	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
37	Was niet goed ingeregeld;	Neutraal	Nee		Onder goed, boven vochtproblemen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Niet mooi	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
38	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Met de vloerverwarming blijft de temperatuur dag en nacht gelijk	Niet hoorbaar / niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
41	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee	Wel wakte de e-Twist thermostaat niet goed in januari 2024 tijdens de vorstperiode.	Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Ik heb er nu een zwarte Case omheen gezet.	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
42	Er was onduidelijkheid over de mogelijkheden en de manier van verwarmen. Remeha is 4x langs geweest ;	Tevreden	Ja	Er was onduidelijkheid over de aanvoer warmte die de WP zou moeten kunnen leveren bij een Delta van 5°. Ook door monteurs van Remeha zelf. Printplaat vervangen, warmtemiddel vervangen en debiet sensor vervangen. Laatste monteur gaf aan dat hij werkte zoals verwacht en dat ze verder niks konden doen.	Ik ben iets anders gaan verwarmen, altijd constante temperatuur. Daardoor kan ik niks zeggen over de aanwarmtijd. Bij vrieskou de CV laten helpen en dan werkt het zoals voor de pomp	Niet hoorbaar / niet hinderlijk	Niet mooi	Standaard de thermostaat lager ingesteld		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd

ID	Hoe is het installatie-proces verlopen?	Hoe tevreden bent u over de prestaties van de hybride warmte-pomp?	Zijn er problemen / storingen (geweest) met de werking van de hybride warmtepomp?	Indien er problemen / storingen zijn (geweest), kunt u deze dan beschrijven?	"Hoe ervaart u het verwarmen met een hybride installatie (vergeleken met een traditionele CV-ketel)?"	Hoe ervaart u het geluid van de buitenunit van de warmtepomp?	Hoe vindt u de buitenunit eruit?	Is uw stookgedrag veranderd?	Indien uw stookgedrag is veranderd, wat is dan daarvoor de reden?	Is uw warmwatergebruik veranderd?	"Is het aantal gezinsleden veranderd in uw huishouden sinds de deelname aan het project?"
43	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Het wordt sneller warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Mooi	Meer / warmer gaan stoken (hogere kamertemperatuur / thermostaat hoger)	Constant dag en nacht op 20 graden, in plaats van de nacht lager.	Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
44	Probleemloos;	Neutraal	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Niet mooi	Zuiveriger gaan stoken (bijv. lagere kamertemperatuur / thermostaat eerder lager)	19 graden is nu waarop wij stoken, "Zet ook de knop om"	Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
45	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Niet hoorbaar / niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
46	Probleemloos;	Tevreden	Ja	Er bleek iets met de installatie niet goed te zijn gegaan. Volgens de monteur die een storing behandelde is er nog steeds iets niet goed aangesloten. Ook is er geen buffervat geplaatst volgens de onderhoudsmonteur van de cv installatie.	Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Niet hoorbaar / niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Standaard de thermostaat lager ingesteld	We hebben vaker de houtkachel in de avonden aan.	Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
47	Er waren veel extra werkzaamheden nodig;	Zeer tevreden	Ja	Buitenunit bevroor te vaak	Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Niet hoorbaar / niet hinderlijk	Mooi	Geen verandering in stookgedrag		Minder warm water gaan gebruiken / minder douchen	Niet veranderd
48	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Niet mooi	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
49	Instelling omdat goed te krijgen was een puzzel;	Zeer tevreden	Ja	Om de instellingen goed te krijgen naar mijn wensen	Badkamer bleef te koud	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen nachtverlaging toegepast	Het duurde te lang om 's morgens op te stoken	Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
50	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Niet mooi	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
51	Probleemloos;	Tevreden	Nee	n.v.t.	Het wordt sneller warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Kan mooier ...	Zuiveriger gaan stoken (bijv. lagere kamertemperatuur / thermostaat eerder lager)	We hebben een houtkachel en hoeven mede daardoor ook de cv installatie / thermostaat hoger in te stellen.	Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
52	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Niet mooi	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
53	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
54	Het nam veel tijd in beslag;	Tevreden	Nee		Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag	Meer verwarmen via airco's	Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd

ID	Hoe is het installatie-proces verlopen?	Hoe tevreden bent u over de prestaties van de hybride warmte-pomp?	Zijn er problemen / storingen (geweest) met de werking van de hybride warmtepomp?	Indien er problemen / storingen zijn (geweest), kunt u deze dan beschrijven?	"Hoe ervaart u het verwarmen met een hybride installatie (vergeleken met een traditionele CV-ketel)?"	Hoe ervaart u het geluid van de buitenunit van de warmte-pomp?	Hoe vindt u de buitenunit eruitzien?	Is uw stookgedrag veranderd?	Indien uw stookgedrag is veranderd, wat is dan daarvoor de reden?	Is uw warmwater gebruik veranderd?	"Is het aantal gezinsleden veranderd in uw huishouden sinds de deelname aan het project?"
55	Er waren veel extra werkzaamheden nodig;Het nam veel tijd in beslag;Het was voor de installateur de eerste....;	Tevreden	Nee	"Boven verdieping koud (radiatoren) Begane Grond prima (vloerverwarming) "	Boven koud, beneden warm	Hinderlijk	Geen mening / neutraal	Nu weersafhankelijke regeling, om comfort bovenverdieping enigszins acceptabel te maken	Comfort te laag (koud op 1e etage)	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
56	Het nam meer tijd in beslag als vooraf gepland.;	Tevreden	Nee	n.v.t.	Je moet de temperatuurstelling proberen zoveel mogelijk constant te houden. Dan blijft het goed warm in huis.	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Zuigner gaan stoken (bijv. lagere kamertemperatuur / thermostaat eerder lager)	Het isoleren van de begane grond vloer, maar ook door de iets zachtere winter.	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
57	Probleemloos;	Tevreden	Nee		De temperatuur blijft hetzelfde omdat je de thermostaat niet meer terug zet.	Hinderlijk voor de burens en dat is best lastig.	Niet mooi	Van de thermostaat afblijven.	Op advies van installateur thermostaat op dezelfde temperatuur houden.	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
58	Probleemloos;	Zeer tevreden	Ja	Eerst geen buffervat, toen problemen met ontdoien	Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Constante temperatuur	Constante temperatuur, ik heb vloerverwarming.	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
59	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Veel meer gelijkmatige verwarming.	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Standaard de thermostaat lager ingesteld	Door de gelijkmatige verwarming kan de temperatuurstelling van de thermostaat 1 graad lager	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
60	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Zuigner gaan stoken (bijv. lagere kamertemperatuur / thermostaat eerder lager)	Eén graad lager, kijken hoe dit bevalt. Tot nu toe: goed.	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
61	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Niet mooi	Airco installatie bijgeplaatst om 's avonds extra warmte in de woonkamer toe te voegen Kamerthermostaat staat 24 uur per dag op 19 graden, is voor avonds net niet warm genoeg.	zie vraag 12	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
62	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Weersafhankelijk	Door de weersafhankelijk stooklijn is er geen nachtverlaging ingesteld	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
63	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
64	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd

ID	Hoe is het installatie-proces verlopen?	Hoe tevreden bent u over de prestaties van de hybride warmte-pomp?	Zijn er problemen / storingen (geweest) met de werking van de hybride warmtepomp?	Indien er problemen / storingen zijn (geweest), kunt u deze dan beschrijven?	"Hoe ervaart u het verwarmen met een hybride installatie (vergeleken met een traditionele CV-ketel)?"	Hoe ervaart u het geluid van de buitenunit van de warmtepomp?	Hoe vindt u de buitenunit eruitzien?	Is uw stookgedrag veranderd?	Indien uw stookgedrag is veranderd, wat is dan daarvoor de reden?	Is uw warmwater gebruik veranderd?	"Is het aantal gezinsleden veranderd in uw huishouden sinds de deelname aan het project?"
65	Terugslag bleek verkeerd geplaatst. Installatiebedrijf heeft dit 6 maanden na plaatsing hersteld-maanden;	Tevreden	Nee	Zoals eerder aangegeven was de terugslagklep verkeerd geplaatst. Eerste maand zo'n beetje verrekt van de kou. 6 maanden na plaatsing opgelost.	Op plaatsen waar vloerverwarming aanwezig is, is er geen verschil met D oude installatie. Op plaatsen waar radiatoren aanwezig zijn wordt het niet goed warm.	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Constante temperatuur. Vroeger m'n in de nacht lagere temp.	Het duurt lang als in de nachten lagere temp. wordt ingesteld	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
66	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
67	Het nam veel tijd in beslag;	Neutraal	Nee		Het wordt niet warm genoeg in huis	Hinderlijk	Niet mooi	Standaard de thermostaat lager ingesteld	Omdat de warmtepomp het huis niet of met veel moeite op 20 graden kan verwarmen	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
68	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Meer / warmer gaan stoken (hogere kamertemperatuur / thermostaat hoger)	Warmtepomp werkt beter bij gelijkmatige temperatuur. 's Nachts staat de verwarming dus hoger.	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
69	Installatie liep goed. In bedrijfsstelling duurde iets langer. Pompunt was al snel stuk, maar is netjes vervangen. Overall tevreden;	Tevreden	Ja	"1 bleef in eerste winter enkele dagen op gasketel draaien terwijl de temperatuur alweer gestegen was. Is redelijk snel hersteld. 2 pompunit deed het niet en die is vervangen"	Het duurt langer om het huis te verwarmen	Alleen op volvermogen hoorbaar wanneer je buiten staat. Binnen geen last. Alleen het aan/uit schakelen horen we.	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
70	Probleemloos;	Tevreden	Nee	Wel lastig om de juiste instellingen/parameter goed te krijgen	Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Standaard de thermostaat lager ingesteld		Meer warm water gaan gebruiken / meer douchen	Niet veranderd
71	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar en hinderlijk, denk zelf dat het vooral diep in de winter een issue is. Dan hoor je binnen bij mij stroomgeluid in de installatie en brom-geluid van de buitenunit.	Mooi	Standaard de thermostaat lager ingesteld	Oekraïne oorlog	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
72	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee	Ik vind wel dat een optimale efficiency van de warmtepomp vereist dat je als gebruiker goed kunt configureren. Een installateur configureert te standaard.	Het duurt iets langer maar dat is geen probleem.	Niet hinderlijk omdat wij geen naaste burens hebben.	Niet mooi	Standaard de thermostaat lager ingesteld		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd

ID	Hoe is het installatie-proces verlopen?	Hoe tevreden bent u over de prestaties van de hybride warmte-pomp?	Zijn er problemen / storingen (geweest) met de werking van de hybride warmtepomp?	Indien er problemen / storingen zijn (geweest), kunt u deze dan beschrijven?	"Hoe ervaart u het verwarmen met een hybride installatie (vergeleken met een traditionele CV-ketel)?"	Hoe ervaart u het geluid van de buitenunit van de warmtepomp?	Hoe vindt u de buitenunit eruit?	Is uw stookgedrag veranderd?	Indien uw stookgedrag is veranderd, wat is dan daarvoor de reden?	Is uw warmwater gebruik veranderd?	"Is het aantal gezinsleden veranderd in uw huishouden sinds de deelname aan het project?"
73	Er waren veel extra werkzaamheden nodig; Het nam veel tijd in beslag;	Tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Zuiniger gaan stoken (bijv. lagere kamertemperatuur / thermostaat eerder lager)	Energie kosten	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
74	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Meer / warmer gaan stoken (hogere kamertemperatuur / thermostaat hoger)	De temperatuur staat nu constant op 20 graden. Voorheen was dit wisselend tussen 17 en 20 gedurende dag	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
75	Probleemloos;	Zeer tevreden	Ja	Het kiezen van de juiste settings is erg ingewikkeld en voor elke individuele situatie weer anders. Hier zou een wizard of duidelijke handleiding vanuit de fabrikant moeten komen. Zeker in koude periodes neemt het verbruik schrikbarend toe en de COP af. Terug naar gas zou dan moeten worden ingeged, maar veel mensen hebben die setting te laag staan.	Het duurt langer om het huis te verwarmen	Niet hoorbaar / niet hinderlijk	Niet mooi	Meer / warmer gaan stoken (hogere kamertemperatuur / thermostaat hoger)	Ik heb continu 20 graden aangezet en op sommige momenten 21. Nachterverlaging niet meer gebruikt.	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
76	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Standaard de thermostaat lager ingesteld	Verskil tussen de dag en nachttemperatuur verkleinen..... dag=19.5 graden en de nacht=18 graden	Minder warm water gaan gebruiken / minder douchen	Niet veranderd
77	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Niet mooi	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
78	Er waren veel extra werkzaamheden nodig;	Zeer ontevreden	Ja	Teveel dingen om nu nog op te noemen. Geen warm water, onderdelen kapot, bij een paar graden vorst temperatuur pas haalbaar tegen de middag, 18.5 graad. En nog vele andere zaken.	Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
79	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Mooi	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
80	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Zuiniger gaan stoken (bijv. lagere kamertemperatuur / thermostaat eerder lager)	Bewust van mogelijke besparingen	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
81	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
82	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Niet hoorbaar / niet hinderlijk	Mooi	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd

ID	Hoe is het installatie-proces verlopen?	Hoe tevreden bent u over de prestaties van de hybride warmte-pomp?	Zijn er problemen / storingen (geweest) met de werking van de hybride warmtepomp?	Indien er problemen / storingen zijn (geweest), kunt u deze dan beschrijven?	"Hoe ervaart u het verwarmen met een hybride installatie (vergeleken met een traditionele CV-ketel)?"	Hoe ervaart u het geluid van de buitenunit van de warmtepomp?	Hoe vindt u de buitenunit eruit?	Is uw stookgedrag veranderd?	Indien uw stookgedrag is veranderd, wat is dan daarvoor de reden?	Is uw warmwatergebruik veranderd?	"Is het aantal gezinsleden veranderd in uw huishouden sinds de deelname aan het project?"
83	Probleemloos;	Tevreden	Ja	Na de eerste zomer functioneerde de pomp niet meer. Oorzaak was de vloeistof in de leiding tussen binnen- en buitenunit. Dat is na melding door het installatiebedrijf verholpen.	Gelijk belevten, het wordt even snel warm in huis	Niet hoorbaar / niet hinderlijk	Niet mooi	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
84	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Het wordt sneller warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Slecht. Niet over nagedacht. Afdekkap grijs, behuizing wit, afdekkap onderin zwart, roosterafdekking zwart, ventilatorafdekking beige. Al met al verkeerde kleuren combinatie.	Zuiniger gaan stoken (bijv. lagere kamertemperatuur / thermostaat eerder lager)	Het was te warm in de woning.	Geen verandering in warmwatergebruik	Meer gezinsleden
85	Nazorg verdient aandacht. ;	Tevreden	Ja	Thermostaat vertoont kuren.	Gelijk belevten, het wordt even snel warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Zuiniger gaan stoken (bijv. lagere kamertemperatuur / thermostaat eerder lager)	Nieuwe thermostaat laten plaatsen die per kamer wordt aangestuurd.	Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
86	Condens opvang/ afvoerfunctie-onderde niet goed. Wordt nu hopelijk verholpen.;	Tevreden	Ja	Zie vraag 3	Gelijk belevten, het wordt even snel warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
87	Probleemloos;	Tevreden	Nee		Gelijk belevten, het wordt even snel warm in huis	Niet hoorbaar / niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Meer / warmer gaan stoken (hogere kamertemperatuur / thermostaat hoger)	Comfort	Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd
88	Probleemloos;	Zeer ontevreden	Ja	"De warmtepomp verbruikt heel veel Kwh's (6.000 - 6.500 per jaar). Ik lees dat er per jaar een gemiddeld meer verbruik is van plusminus 2.300 Kwh . Bij ons bijna het driedubbele. Ik houd vanaf 25 sept.2022 middels een digitale tijdschakelklok dagelijks het stroomverbruik van de WP bij. De huidige stand (9 maart 2024) van het stroomverbruik van de WP is 9.339,1 Kwh in17 mnd tijd. Inmiddels is er al 5 keer een monteur langs geweest *****	Kantoor blijft veel te koud	Niet erg hinderlijk, maar het geluid wordt wel hinderlijker (harder)	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwatergebruik	Niet veranderd

ID	Hoe is het installatie-proces verlopen?	Hoe tevreden bent u over de prestaties van de hybride warmte-pomp?	Zijn er problemen / storingen (geweest) met de werking van de hybride warmtepomp?	Indien er problemen / storingen zijn (geweest), kunt u deze dan beschrijven?	"Hoe ervaart u het verwarmen met een hybride installatie (vergeleken met een traditionele CV-ketel)?"	Hoe ervaart u het geluid van de buitenunit van de warmte-pomp?	Hoe vindt u de buitenunit eruitzien?	Is uw stookgedrag veranderd?	Indien uw stookgedrag is veranderd, wat is dan daarvoor de reden?	Is uw warmwater gebruik veranderd?	"Is het aantal gezinsleden veranderd in uw huishouden sinds de deelname aan het project?"
87	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Gelijk gebleven, het wordt even snel warm in huis	Hoorbaar, maar niet hinderlijk	Niet mooi	Zuiniger gaan stoken (bijv. lagere kamertemperatuur / thermostaat eerder lager)		Minder warm water gaan gebruiken / minder douchen	Niet veranderd
88	Het liep niet helemaal volgens plan. Intergas is vele malen geweest om de problemen op te lossen;	Neutraal	Ja	"Foutmelding op warmtepomp. Na telefonisch contact is de warmtepomp gereset. Thermostaat die het niet deed"	Het duurt langer om het huis te verwarmen	Hinderlijk	Niet mooi	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
91	Probleemloos;	Zeer tevreden	Nee		Warmte in het huis goed, badkamer blijft te koud als het buiten ook koud is.	Hinderlijk	Niet mooi	Met name langer, om de opwarmtijd te verkorten.	De verwarmtijd is langer, dus langer aan staan. Ook nog aangepast naar later in de ochtend, omdat de buurman last heeft van de buitenunit.	Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd
92	Probleemloos; Hier en daar wat problemen, zo is bv de koelvloeistof bij de installatie ontsnapt.;	Zeer tevreden	Nee		Het duurt langer om het huis te verwarmen	Niet hoorbaar / niet hinderlijk	Geen mening / neutraal	Geen verandering in stookgedrag		Geen verandering in warmwater gebruik	Niet veranderd



Eindrapportage Demonstratieproject Hybride Warmtepompen, augustus 2024 (ref. 2021-53403)

Dit project is voortgekomen uit een samenwerking van Rijksoverheid, Techniek Nederland en Vereniging voor Duurzame Warmte en uitgevoerd door de stichting Smart Energy Foundation. De resultaten zijn geverifieerd door de Universiteit Twente.

Leden van de Vereniging voor Duurzame Warmte:

