



Installatiemonitor

Publieke eindrapportage februari 2022

Versie: 15-02-2022
Auteurs: Maarten Hommelberg
Guido Janssen
Paul Friedel
Contact: E-mail: hommelberg@bdho.nl
Telefoon: 0341 – 707 462
Onderwerp: Eindrapportage project *Installatiemonitor: praktijkpresentaties van warmtepompen*



Inhoudsopgave

1. Inleiding en achtergrond	5
1.1 Het project Installatiemonitor	5
1.2 Deelnemers en data-kwaliteit	5
1.3 Invloed van Covid-19	6
2. Netbelasting door warmtepompen	7
2.1 Woningenmerken en warmtepompverbruik	7
2.2 Afnameprofielen	10
2.3 Belastingduurkromme	14
3. Prestaties hybride warmtepompen	17
3.1 Dekkingsgraad op jaarbasis	17
3.2 (S)COP van hybride warmtepompen	18
3.3 Gas- en elektriciteitsverbruik	19
4. Gelijktijdigheid van hybride en all-electric warmtepompen	20
5. Conclusies	22

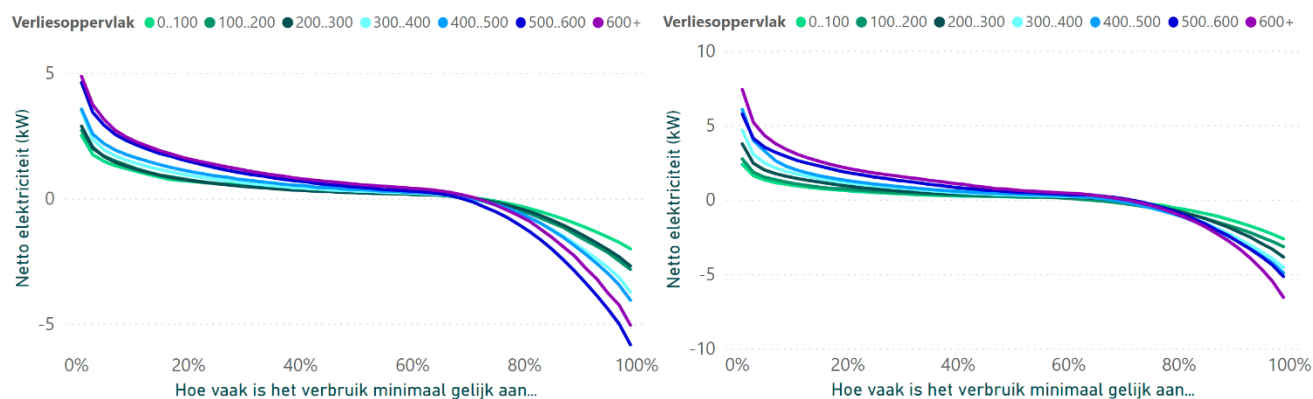
Samenvatting

De doelstelling van het project Installatiemonitor is informatie te verkrijgen over de praktijkprestaties van (hybride) warmtepompen. Op basis van de prestaties wordt vervolgens inzicht verkregen in de vermindering van aardgasverbruik en CO₂-uitstoot, de impact op de elektrische infrastructuur en de (S)COP en dekkingsgraad. Daarnaast zijn de resultaten gekoppeld aan verschillende woningkenmerken om te bepalen wat het meest voorspellende kenmerk is voor het warmtepompverbruik.

Om inzicht te krijgen in de praktijkprestaties van warmtepompen, is een meetcampagne opgezet bij enkele honderden woningen. Er wordt hierbij gebruikgemaakt van slimme meterdata en antwoorden van de deelnemers op een enquête die bij de online aanmelding werd getoond. Van de ongeveer 800 aanmeldingen zijn uiteindelijk van ca. 450 aansluitingen de meetgegevens beschikbaar voor analyse.

Uit de resultaten blijkt dat het energieverbruik van de warmtepomp het best wordt voorspeld door het schiloppervlak van een woning. Daarnaast blijkt uit de analyse dat een lagere afgiftetemperatuur in de woning resulteert in lager warmtepompverbruik. Voor andere woningkenmerken, zoals het installatiejaar, type muurisolatie en energielabels is geen duidelijk correlatie gevonden met het warmtepompverbruik.

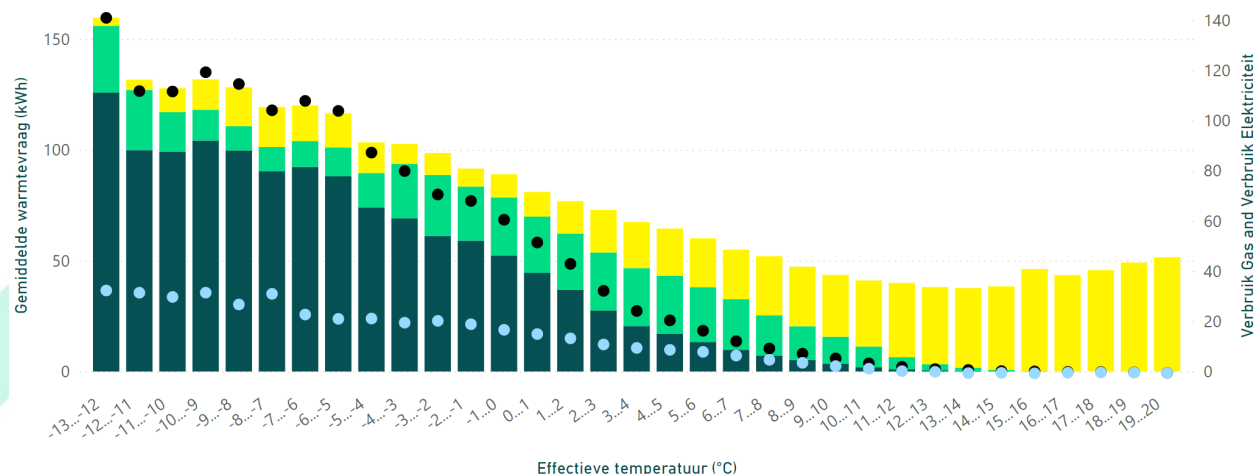
Netbelasting



De bovenstaande figuren tonen dat de piekvraag van woningen met een all-electric warmtepomp (rechts) zo'n 1,5 keer hoger ligt dan woningen met een hybride warmtepomp (links). Daarentegen ligt voor beide groepen woningen de piekvraag in de orde van de piek die zonnepanelen op het net veroorzaken. Alleen voor echt grote woningen is de piekvraag groter dan de piek die de zonnepanelen op het net veroorzaken.

Dekking warmtevraag door hybride warmtepompen

● Uit ketel ● Uit warmtepomp ● Zoninstraling ● Verbruik Gas ● Verbruik Elektriciteit



Bovenstaande figuur toont de gemiddelde invulling van de warmtevraag als functie van effectieve dagtemperatuur voor alle woningen met een hybride warmtepomp uit dit project. Hieruit blijkt dat het verbruik van elektriciteit consequent lager ligt dan het gasverbruik. De extreem lage temperaturen waarbij de warmtepomp nauwelijks wordt gebruikt, komen zeer zelden voor in Nederland. Bij effectieve temperaturen tussen 0 en 12 °C neemt de warmtepomp een significant deel van invulling van de warmtevraag voor zijn rekening. Deze temperaturen komen in Nederland juist wel relatief vaak voor.

Parameters hybride warmtepompen

Op basis van de energiebalans kunnen een aantal parameters van de hybride warmtepomp worden benaderd:

- De dekkingsgraad van hybride warmtepompen is gemiddeld over een jaar over de verschillende woningtypen 60%
- De SCOP van hybride warmtepompen is gemiddeld over een jaar over de verschillende woningtypen 3,8
- Toepassing van een hybride warmtepomp betekent gemiddeld een meerverbruik van 2,3 kWh aan elektriciteit voor iedere m³ aardgas die wordt bespaard

	Gemiddelde van alle deelnemende woningen
Gasbesparing [m ³]	648
Extra elektriciteit [kWh]	1535
Ratio [kWh/m ³]	2,3
Gasbesparing [€]	603
Extra elektriciteit [€]	399
Kostenbesparing [€]	204
Reductie CO ₂ -uitstoot ruimteverwarming	23%
Totale reductie CO ₂ -uitstoot	13%

Op basis van bovenstaande tabel kan worden geconcludeerd dat een hybride warmtepomp een significant bijdrage levert aan het verminderen van CO₂-uitstoot. Ook tonen de resultaten aan dat zeker met de huidige gas- en elektriciteitsprijzen een hybride warmtepomp financieel gezien een aantrekkelijke optie is. Bovendien laten de resultaten een hoge dekkingsgraad en SCOP zien. Er kan dus worden geconcludeerd dat de hybride warmtepomp een interessante optie is voor de Nederlandse woningvoorraad.

Gelijktijdigheid hybride en all-electric warmtepompen

Vanuit het netperspectief zijn hybride en all-electric warmtepompen compleet andere fenomenen. All-electric warmtepompen veroorzaken weinig tot geen scherpe pieken op het net, omdat ze modulerend werken. Hybride warmtepompen daarentegen veroorzaken wel scherpe pieken, omdat de meeste hybride warmtepompen op dit moment op buitentemperatuur gestuurd worden. Dit zorgt ervoor dat hybride warmtepompen vaak op dezelfde momenten aanspringen; ze worden door de buitentemperatuur in een zelfde patroon gedwongen. Daarnaast blijkt dat de zonneproductie veelal plaatsvindt op momenten dat er geen tot weinig warmtevraag in de woning is. Vooral bij hybride warmtepompen is de overlap zeer beperkt en kan elektrische opslag een uitkomst bieden.

Het toepassen van hybride warmtepompen leidt tot een lagere belasting van het elektriciteitsnetwerk dan het toepassen van all-electric warmtepompen. Echter, ook de grootschalige adoptie van hybride warmtepompen (zoals een wijkaanpak), of de grootschalige installatie van PV-panelen, leidt in veel gevallen tot een noodzakelijke netverzwaring.

1. Inleiding en achtergrond

1.1 Het project Installatiemonitor

In 2019 is het project “Installatiemonitor” gestart. De doelstelling van dit project is informatie te verkrijgen over de praktijkprestaties van (hybride) warmtepompen. Installatiemonitor is een samenwerkingsverband tussen Enpuls, Gasterra, Gasunie, Liander, N-Tra, RVO, Stedin en Techniek Nederland. Het onderzoek is uitgevoerd door adviesbureau BDH.

Om inzicht te krijgen in de praktijkprestaties van warmtepompen, is een meetcampagne opgezet bij enkele honderden woningen. De bewoners van deze woningen hebben zich aangemeld via de website www.installatiemonitor.nl, na een oproep van RVO onder Nederlanders die een ISDE-subsidie voor een (hybride) warmtepomp hadden ontvangen.

Er is gekozen zonder het aanleggen van meetapparatuur te werk te gaan. Dat wil zeggen dat de meetcampagne enkel gebruikmaakt van slimme meterdata en de antwoorden op enkele vragen die de bewoners bij online aanmelding voor het project hebben ingevuld.

Aangezien er geen fysieke meetapparatuur in de woningen geplaatst is, is de impact voor deelnemers minimaal. Na aanmelding hoefden bewoners niets meer te doen. Het uitlezen van de slimme meters is automatisch gestopt na afloop van de meetcampagne, op 30 juni 2021. Mede hierdoor is een aanzienlijk aantal deelnemers bereid gevonden om mee te doen. Van ca. 800 woningen is in de afgelopen periode de slimme meter uitgelezen. Alle ontvangen gegevens zijn tijdens het project direct anoniem opgeslagen, zodat alle analyses ‘blind’ uitgevoerd konden worden en de gegevens nooit konden worden herleid tot een specifieke woning. Deelnemers kunnen om die reden ook geen terugkoppeling uit het project krijgen over het energiegebruik in hun eigen woning.

1.2 Deelnemers en data-kwaliteit

Zo'n 800 mensen hebben zich aangemeld via installatiemonitor.nl. De meeste deelnemers aan het onderzoek hebben zich in het derde kwartaal van 2019 aangemeld. Vervolgens is er gedurende de periode tussen medio 2019 en 30 juni 2021 data verzameld via de slimme meters in deze woningen. Het is voor het eerst in Nederland dat van een dermate grote groep warmtepompgebruikers meetgegevens verzameld en geanalyseerd zijn.

Een fors deel van de aanmeldingen is afgefallen, met name door data-uitval bij het uitlezen van de slimme meters. Daarnaast kunnen deelnemers tijdens de meetperiode zijn verhuisd of was er een andere reden waardoor er geen data meer kon worden verzameld.

Ook voor de woningen waarvoor wel data kon worden verzameld, is vaak geen data beschikbaar over de gehele periode. Vaak ontbreekt er data, maar er zijn ook meerdere woningen waarbij in een later stadium helemaal geen meetgegevens meer konden worden verzameld. Woningen waarvan te weinig data beschikbaar was, zijn uit de dataset gefilterd. Daarnaast zijn er handmatig nog een aantal woningen uit de data gefilterd, bijvoorbeeld woningen waar geen sporen van warmtepompverbruik terug te vinden waren. Uiteindelijk zijn van ca. 450 aansluitingen voldoende meetgegevens beschikbaar voor analyse.

Van de deelnemende woningen heeft ca. 70% een hybride warmtepomp en ca. 30% een all-electric warmtepomp. Meer dan 90% van de woningen beschikt over een PV-installatie. Daarnaast zijn de woningen relatief groot ten opzichte van het Nederlands gemiddelde en is het merendeel een vrijstaande woning of twee-onder-een kap. De deelnemende woningen vormen dus geen representatief beeld van de Nederlandse woningvoorraad.

1.3 Invloed van Covid-19

Het verzamelen van data heeft plaatsgevonden tussen medio 2019 en 30 juni 2021. Hierdoor bestaat de dataset uit een periode van vóór en tijdens Covid-19. De verschillende lockdowns in zowel het voorjaar van 2020, als in de winter van 2020-2021 hebben ervoor gezorgd dat mensen meer thuis waren dan voorheen. Het gevolg hiervan is dat het achtergrondverbruik in de periode tijdens Covid-19 hoger ligt dan in de periode hiervoor. Om ervoor te zorgen dat het verschil in achtergrondverbruik geen effect heeft op de resultaten van dit project, is er gekozen alleen gebruik te maken van de data die is verzameld in de periode tijdens Covid-19. De resultaten die in dit rapport worden gepresenteerd zijn dus gebaseerd op data uit de periode tussen 15 maart 2020 en 30 juni 2021.

Er is data verzameld gedurende een periode van langer dan één jaar, waardoor er een goed beeld van de praktijkprestaties van warmtepompen in de verschillende seizoenen kan worden geschetst. Daarnaast is de extreem koude week in februari 2021 meegenomen en kunnen er resultaten worden getoond over de prestaties van warmtepompen bij zeer lage buitentemperaturen.

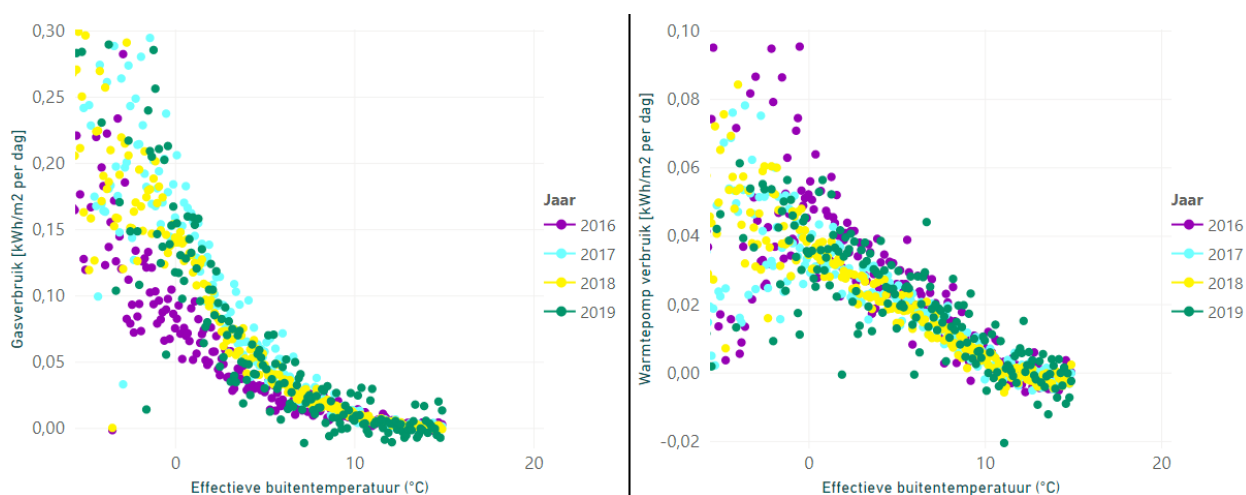
2. Netbelasting door warmtepompen

2.1 Woningkenmerken en warmtepompverbruik

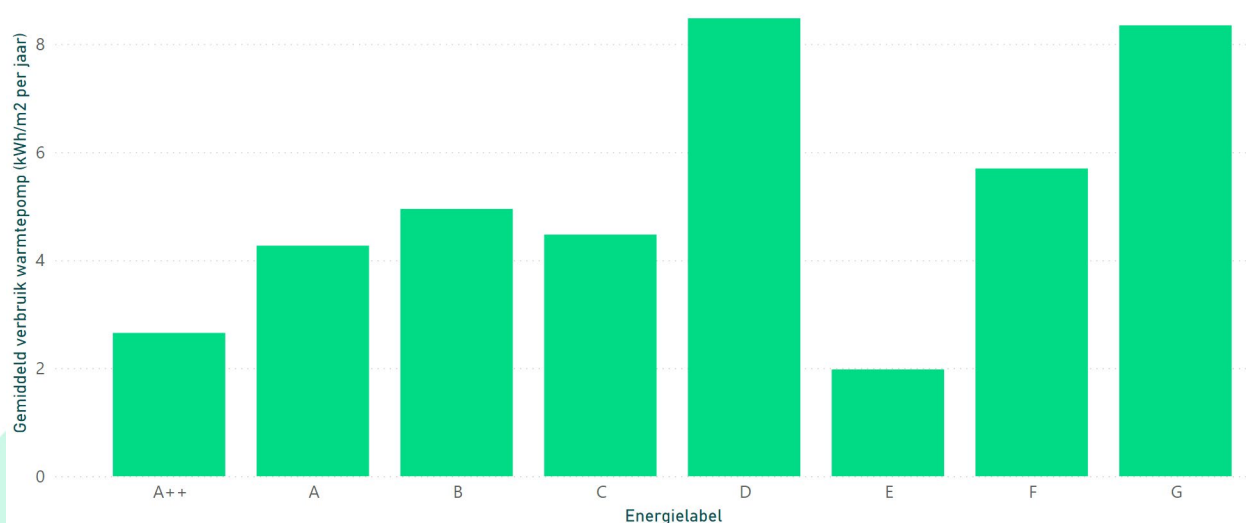
Om een goede inschatting te kunnen maken van de netbelasting van warmtepompen, is het nuttig om te bepalen welke woningkenmerken de beste voorspeller zijn van het warmtepompverbruik. In dit project is dan ook naar verschillende woningkenmerken gekeken om de correlatie met het warmtepompverbruik te bepalen.

Installatiejaar warmtepomp en energielabel

Uit de resultaten blijkt dat het installatiejaar van de warmtepomp geen goede voorspeller is van het warmtepompverbruik. De energievraag van de verschillende installatiejaren overlapt compleet. Voor energielabels lijken de resultaten wel een correlatie te suggereren wanneer er wordt gekeken naar de trendlijn. Des te slechter het energielabel, des te hoger het verbruik van de warmtepomp. Er zijn echter verschillende energielabels die volledig uit de toon vallen. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de beperkte data die beschikbaar is. Daarnaast kan het plaatsen van zonnepanelen leiden tot een beter label, terwijl de schilkwaliteit hetzelfde is gebleven. Energielabels zijn dus geen goede maatstaf om het energiegebruik van de warmtepomp te bepalen.



Figuur 1 – Gemiddeld energieverbruik in kWh/m² per dag (links gasverbruik en rechts elektriciteitsverbruik van de warmtepomp) in relatie tot de effectieve buitentemperatuur, uitgesplitst naar installatiejaar van de warmtepomp (hybride warmtepompen).

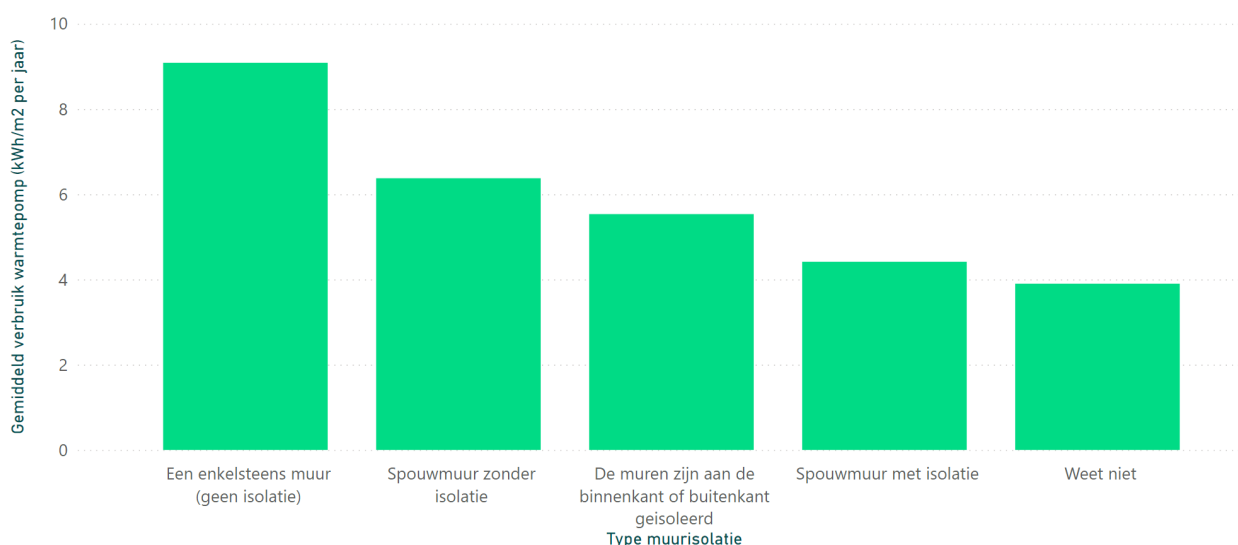


Figuur 2 - Gemiddeld warmtepompverbruik in kWh/m² over een jaar per energielabel.

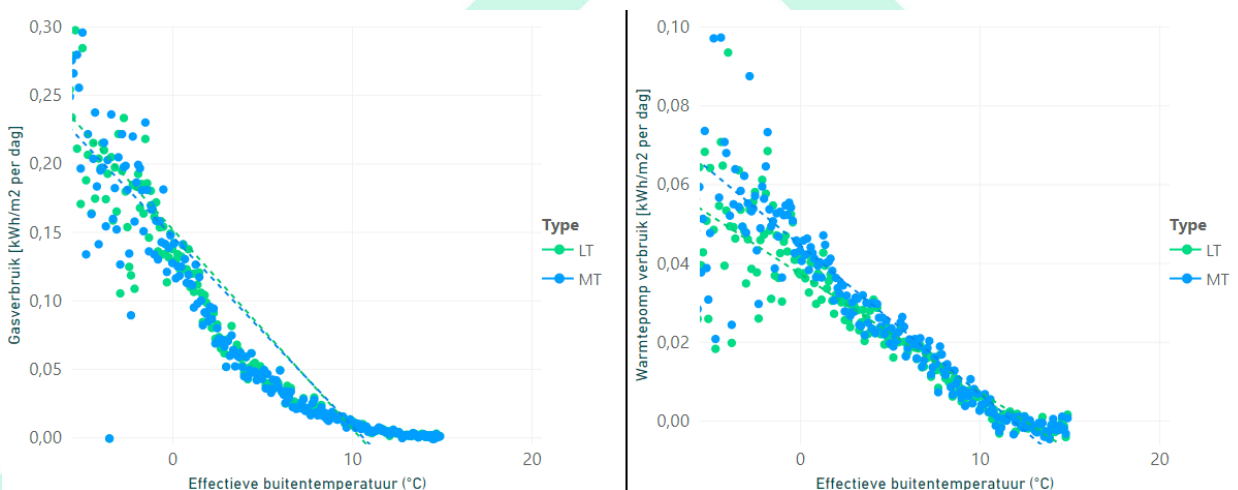
Type muurisolatie en afgiftetemperatuur

In de resultaten is te zien dat woningen met een enkelsteensmuur zonder isolatie het hoogste warmtepompverbruik hebben, terwijl woningen met een spouwmuur en isolatie een lager verbruik hebben. Het laagste warmtepompverbruik vindt echter plaats in de groep woningen waarbij niet bekend is wat het type muurisolatie is, terwijl er verwacht mag worden dat deze groep een gemiddeld verbruik heeft. Hoewel er dus sprake lijkt te zijn van een correlatie, kunnen er geen conclusies worden verbonden aan het verband tussen het type muurisolatie en het verbruik van de warmtepomp.

Uit deze analyse blijkt dat woningen met een LT-afgifte systeem een lager elektriciteitsverbruik voor de warmtepomp hebben dan woningen met een MT-afgifte systeem. De lineaire trendlijn laat zien dat de elektriciteitsvraag van woningen met een LT-afgifte systeem consequent ca. 20% lager is. Dat duidt er op dat de COP van de warmtepomp inderdaad hoger is. Daarnaast liggen de lineaire trendlijnen van het gasverbruik boven op elkaar. De gasvraag van LT- en MT-woningen is dus exact hetzelfde bij de verschillende effectieve buitentemperaturen. Uit deze analyse kan worden geconcludeerd dat de afgiftetemperatuur van een woning een duidelijke correlatie heeft met het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp. Des te lager de afgiftetemperatuur, des te lager het elektriciteitsverbruik.



Figuur 3 - Gemiddeld warmtepompverbruik in kWh/m² over een jaar per type muurisolatie.



Figuur 4 - Invloed van afgiftetemperatuur in de woning op gasvraag (links) en elektriciteitsvraag (rechts) van hybride warmtepompen. Het gemiddelde energieverbruik in kWh/m² per dag is uitgezet tegen de effectieve buitentemperatuur.

Verliesoppervlak

Het verliesoppervlak van een woning geeft de beste correlatie met het energieverbruik van de warmtepomp.

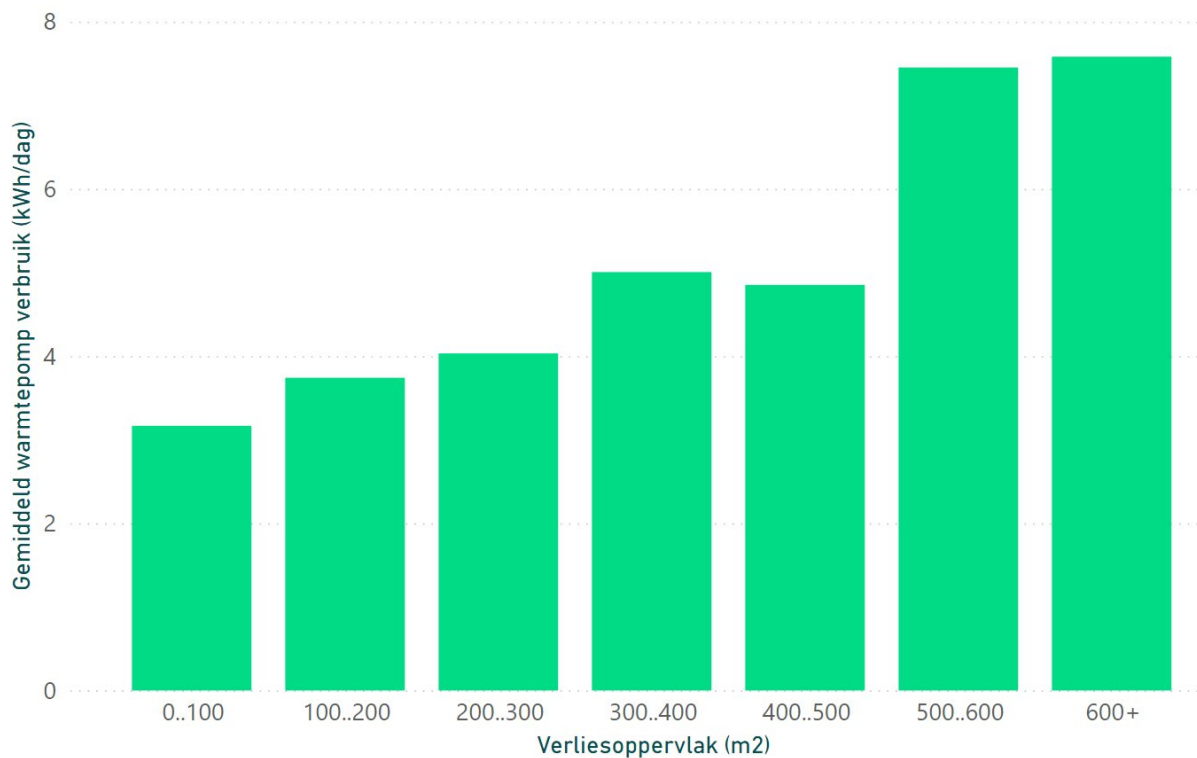
Van alle deelnemende woningen is het vloeroppervlak bekend. Hieruit is het verliesoppervlak berekend volgens:

Verliesoppervlak = Vloeroppervlak x Geometriefactor

De geometriefactor is afhankelijk van het woningtype volgens onderstaande tabel 1. Een vrijstaande woning heeft een duidelijk groter verliesoppervlak dan een appartement met hetzelfde vloeroppervlak.

Tabel 1: Geometriefactor voor de verschillende woningtypen

Woningtype	Factor
Vrijstaand	2,5
Rijwoning (hoek)	2,0
Rijwoning (tussen)	1,5
Twee-onder-een kap	2,0
Appartement	0,8
Maisonnette	1,2



Figuur 5 - Het verliesoppervlak van de woningen in relatie tot het gemiddeld warmtepomp verbruik per dag (kWh).

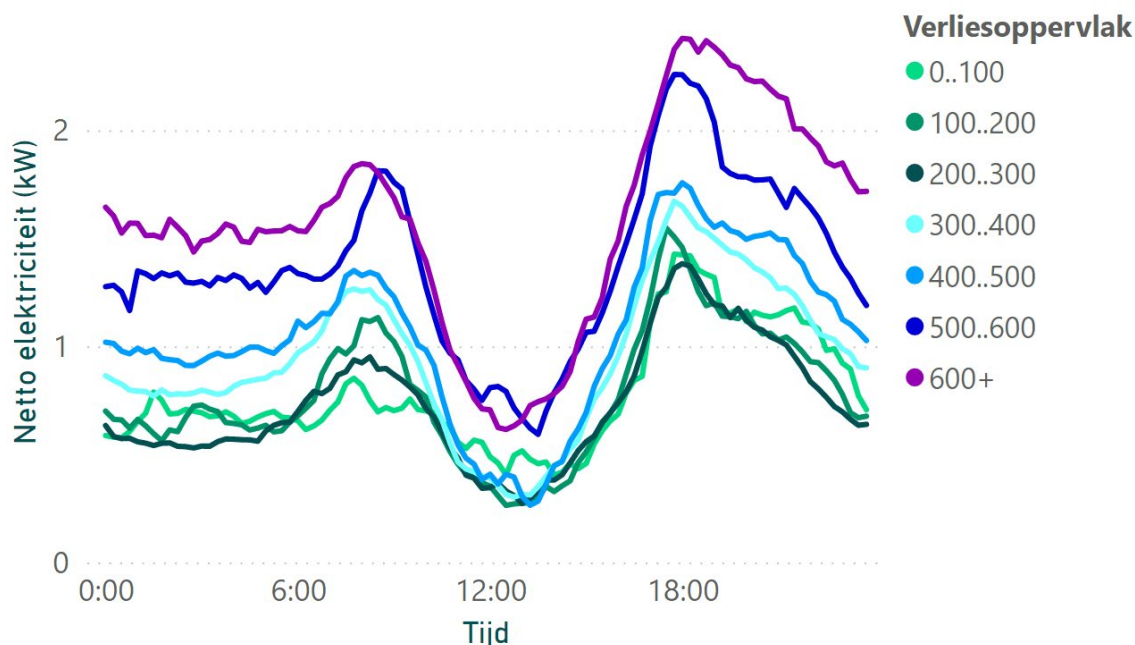
2.2 Afnameprofielen

- De gemiddelde afnameprofielen voor de winter zijn berekend over de periode januari 2021 tot en met maart 2021. Deze drie maanden komen overeen met de koudste maanden van het jaar in Nederland. Daarnaast zijn de afnameprofielen geanalyseerd voor de vijf koudste dagen van deze winter (februari 2021). Op deze dagen was de gemiddelde temperatuur in De Bilt -5,2 °C.
- De figuren in dit hoofdstuk geven het afgenomen elektrische vermogen (en aardgasvermogen voor hybride systemen) over de dag weer.

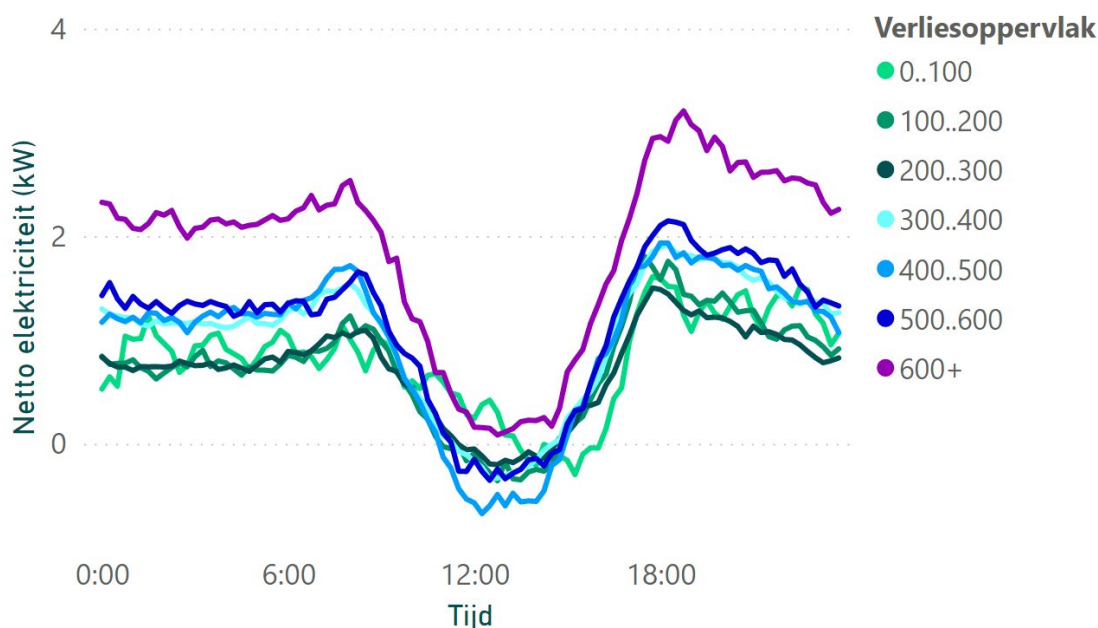
Hybride warmtepomp

Figuur 6 laat zien dat de belasting van woningen met hybride warmtepompen een grote piek heeft in de avond, wanneer de PV-productie stilvalt, het huishoudelijk verbruik stijgt en er tegelijk een toenemende warmtebehoefte is. Daarnaast is er een kleinere piek te zien in de ochtend rond 7.00 uur. Gezien het feit dat er tijdens deze piekmomenten geen PV-productie is, is de piek in bruto vermogen net zo hoog als de netto piek.

Onderstaande figuren tonen de piekbelasting over de winterperiode. Figuur 6 geeft het gemiddelde over de gehele winterperiode, Figuur 7 toont het resultaat voor de koudste vijf dagen (met een gemiddelde temperatuur van -5,2 °C.).



Figuur 6 - Hybride warmtepompen. Gemiddeld elektrisch vermogen per 15 minuten. Gemiddeld over de periode 1 januari t/m 31 maart 2021. Het verliesoppervlak geeft een consequente en bruikbare indicatie van het energieprofiel. Met name rondom de piekbelasting in de avonduren.



Figuur 7 - Hybride warmtepompen. Netbelasting per 15 minuten over de koudste vijf dagen van de meetperiode

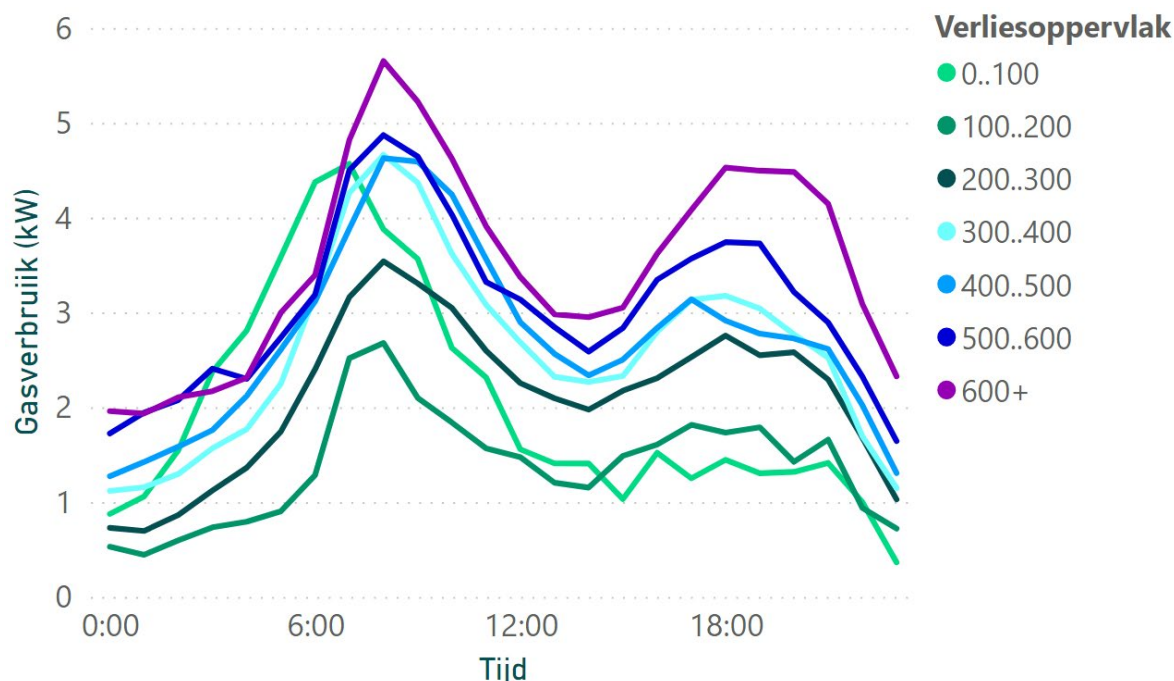
De resultaten laten zien dat de piekbelasting van de hybride systemen beperkt is. Voor een rijwoning met 125 m² vloeroppervlak is het verliesoppervlak 250 m². Voor een dergelijke woning laten de resultaten een maximale afnamepiek zien van ca. 1,5 kW. Deze piekbelasting is echter wel een factor om rekening mee te houden bij het netbeheer, aangezien dit al dicht bij de ontwerpbelasting per woning van gemiddelde Nederlandse netten komt. Voor grotere woningen neemt de piekbelasting toe tot net boven 2 kW voor grote woningen en zelfs 3 kW voor zeer grote woningen (verliesoppervlak >600 m², overeenkomend met vloeroppervlak >240 m²).

Het elektriciteitsverbruik van hybride warmtepompen is door het maximale vermogen van de warmtepomp begrensd. De elektrische vermogens van het apparaat zelf zijn typisch in de orde van één kW en de inzet van de warmtepomp groeit niet onbegrensd mee als de buitentemperatuur daalt. Bij (zeer) lage buitentemperaturen neemt de ketel het immers over van de warmtepomp. Dit is ook terug te zien in de resultaten voor de koudste vijf dagen. De curves zijn minder glad, omdat er minder inputgegevens beschikbaar zijn, maar de netbelasting is slechts marginaal hoger dan het geval is gemiddeld genomen over de winter. Niettemin, voor zeer grote woningen komt de piekbelasting wel uit op ca. 3 kW.

Gasverbruik

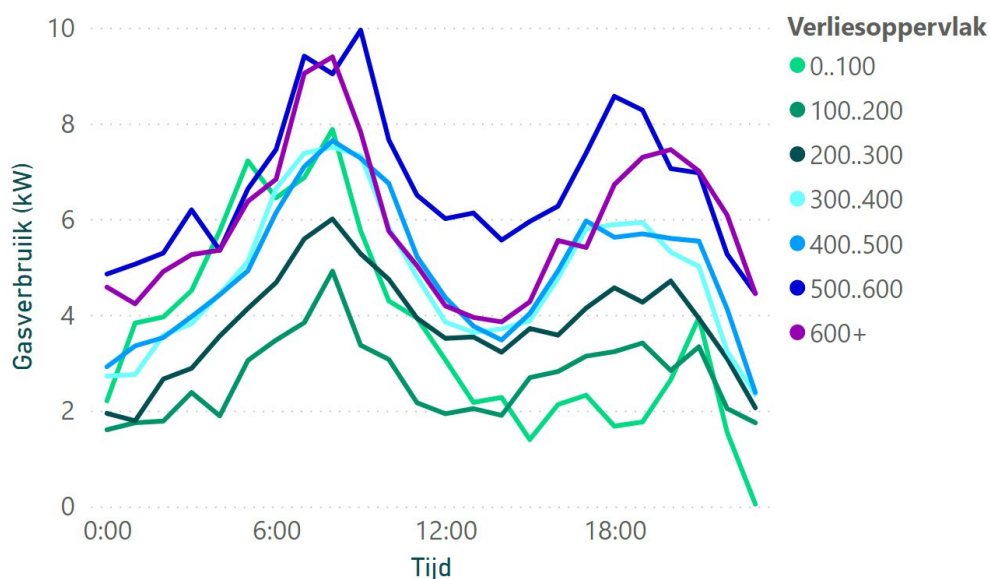
De piekbelasting op het gasnet is probleemloos te verwerken voor de netbeheerders, aangezien het netwerk immers is uitgelegd op een volledige warmtevoorziening met gasketels. Wel is het interessant om vast te stellen dat het gemiddelde vermogen dat aan aardgas gebruikt wordt, nog altijd hoger ligt dan het afgenomen elektrisch vermogen. Zeker in de ochtenduren is de piek in het gasverbruik tot meerdere malen hoger dan de elektriciteitspiek.

Toch is het gasverbruik relatief laag t.o.v. woningen zonder warmtepomp. Uitgaande van een gemiddeld gasvermogen van 2.2 kW uit de grafiek, wordt over de drie wintermaanden gemiddeld ca. 4.750 kWh aardgas gebruikt, oftewel ongeveer 490 m³.



Figuur 8 - Gasprofiel van de woningen met een hybride warmtepomp over de maanden januari t/m maart 2021.

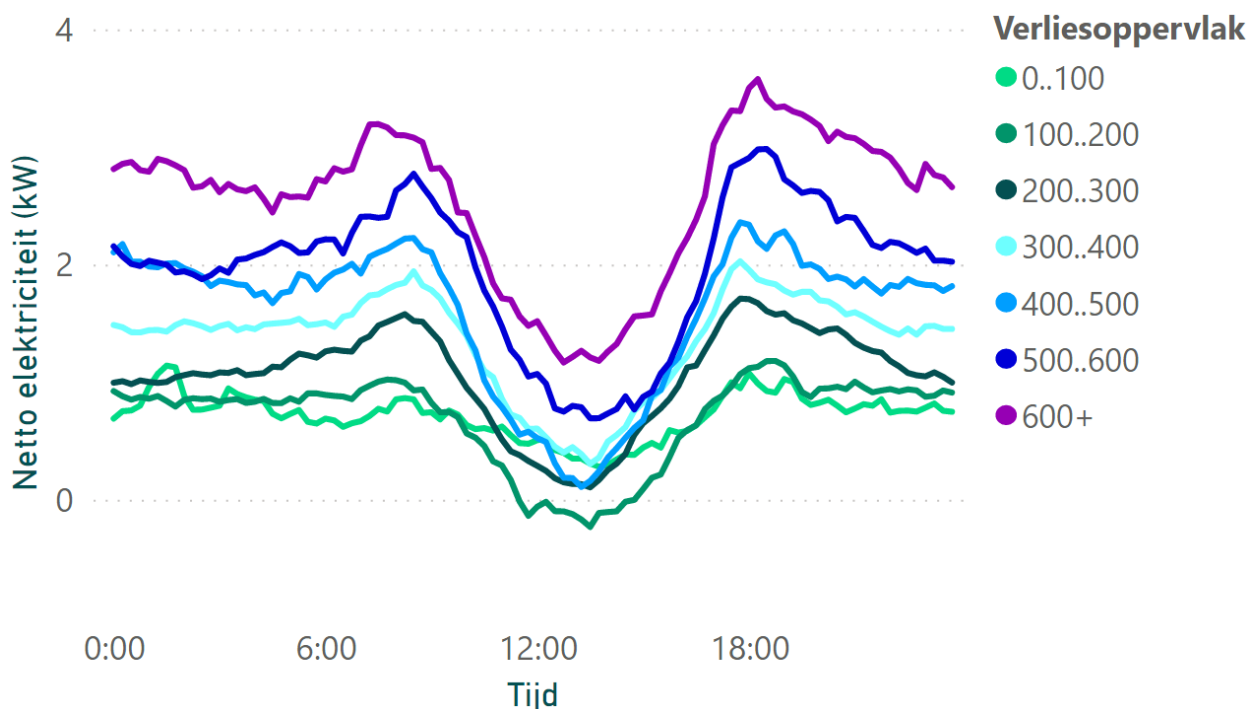
Het gasverbruik van de woningen in de koudste vijf dagen laat duidelijk zien dat bij zeer lage temperaturen de ketel het overneemt van de warmtepomp. In figuur 4 is te zien dat de pieken in gasverbruik in de koudste week beduidend hoger liggen dan de pieken gemiddeld over de winter.



Figuur 9 - Gasprofiel van de woningen met een hybride warmtepomp over de vijf koudste dagen van de meetperiode.

All-electric warmtepomp

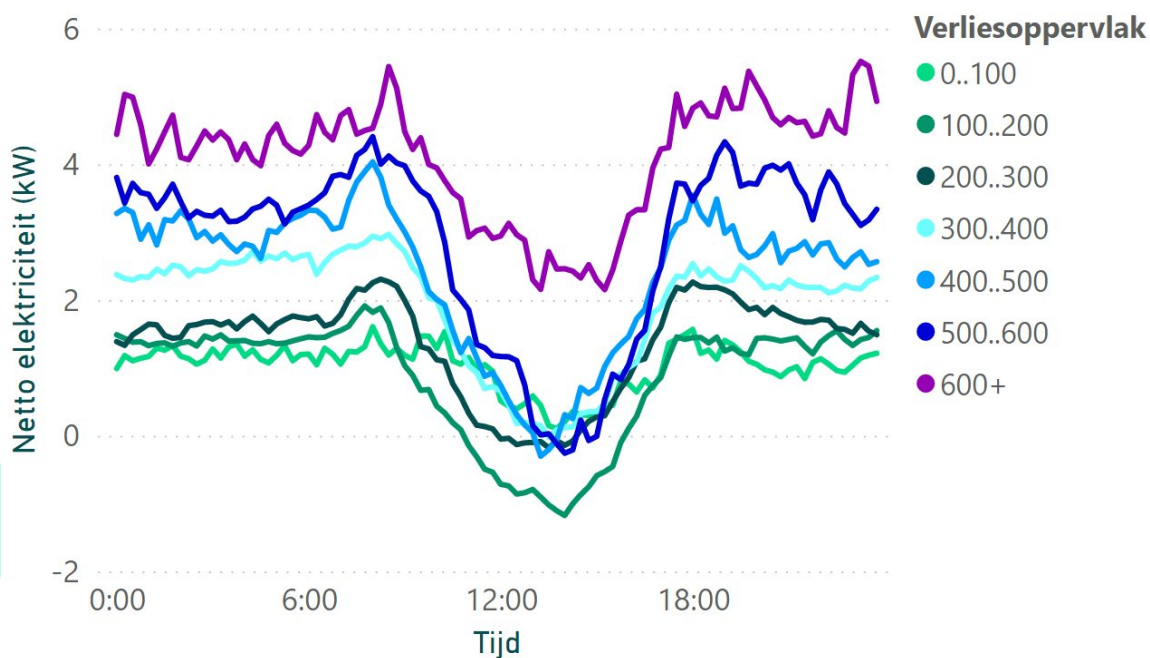
Voor all-electric warmtepompen is het beeld vergelijkbaar, ook hier is een piek in de avond zichtbaar. Echter, die piek ligt duidelijk hoger dan bij hybride systemen. Gemiddeld over de winter is de piek voor de kleinere woningen in de dataset ca. 1 tot 2 kW_{elektrisch}. Voor een rijwoning met 125 m² vloeroppervlak is de piek ca. 1,75 kW_{elektrisch}. Deze piek is hoger dan de gemiddelde netcapaciteit per woning. Aangezien het gemiddeld betreft, betekent dit dat deze piek elke dag terug komt en dus een probleem op kan leveren voor het elektriciteitsnet.



Figuur 10 - All-electric warmtepompen. Netbelasting per 15 minuten over de periode 1 januari t/m 31 maart 2021.

Als we kijken naar de vijf koudste dagen van de maanden januari 2021 t/m maart 2021, ligt de piekbelasting nog eens ca. 1,5 kW_{elektrisch} hoger dan op een doorsnee winterdag. Ook hier is de grafiek minder glad door een kleinere hoeveelheid data. Echter, het is zichtbaar dat de piekbelasting in deze extreem koude periode beduidend hoger ligt. Voor grote en zeer grote woningen komt de piekbelasting zelfs boven de 4 en 5 kW_{elektrisch} uit.

Daarnaast wordt mogelijk bij een deel van de all-electric warmtepompen gebruikgemaakt van een elektrisch bijstookelement, dat bij zeer strenge vorst voor een extreem hoge piekbelasting kan zorgen. We zien dit echter niet terug in de onderstaande resultaten.



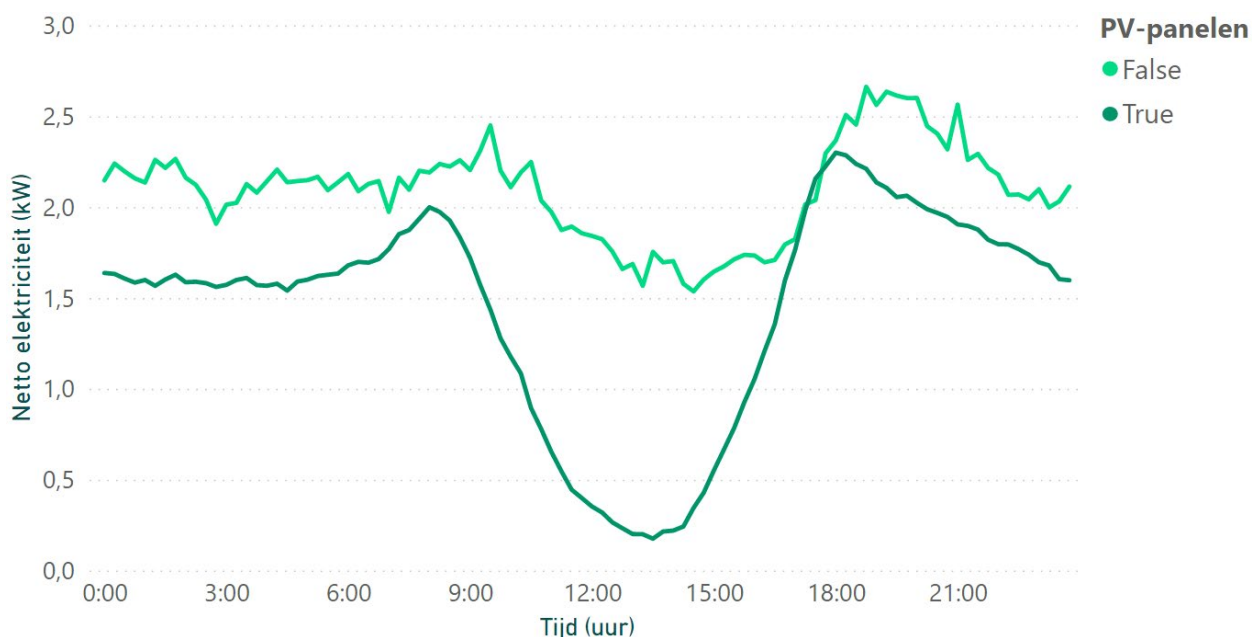
Figuur 11 - All-electric warmtepompen. Netbelasting per 15 minuten over de koudste vijf dagen van de meetperiode.

Impact zon-PV

De meeste woningen in de dataset beschikken over PV-panelen. Het is daarom de vraag of zon-PV mogelijk een bijdrage levert aan het verlagen van de piekbelasting in de winter.

Figuur 12 geeft het afnameprofiel van de woningen met PV-panelen versus woningen zonder PV. De grafiek geeft het profiel over de vijf koudste dagen. Het is duidelijk te zien dat de PV-opbrengst juist op het verkeerde moment valt. De ochtend- en avondpiek worden nauwelijks afgevlakt door de PV-productie midden op de dag. Hoewel het lijkt alsof de pieken wel enigszins worden afgevlakt, moet hierbij de kanttekening worden geplaatst dat het aantal woningen zonder PV-panelen relatief laag is en daardoor dus een onzekerheid met zich meebrengt.

Deze resultaten bevestigen het feit dat het interessant kan zijn om elektrische of thermische opslag te gebruiken om de PV-teruglevering en warmtepomppiek beter met elkaar in balans te brengen.



Figuur 12 - Vergelijking elektrisch profiel voor woningen met en zonder PV-panelen. Profiel gemiddeld voor alle warmtepompen over de vijf koudste dagen van de meetperiode.

2.3 Belastingduurkromme

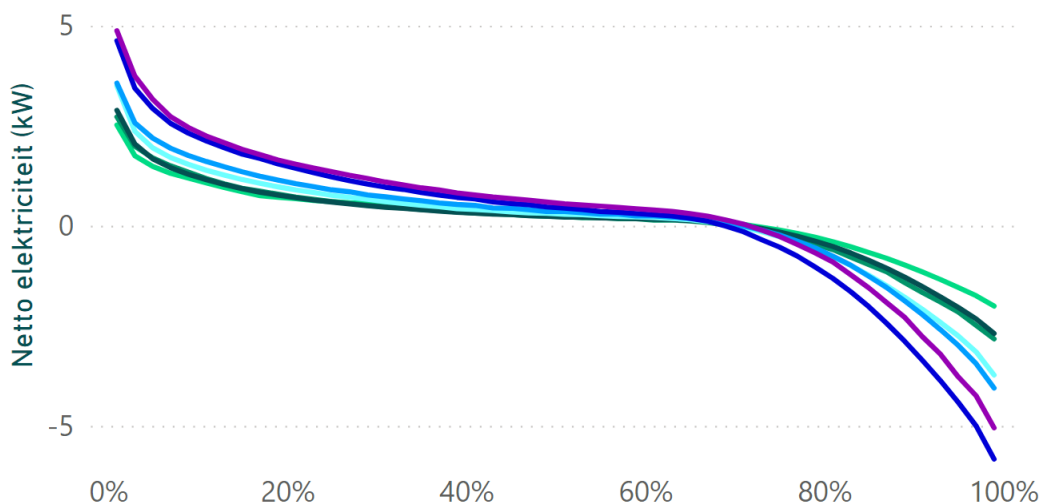
Hybride warmtepomp

Als we kijken naar de belastingduurkromme van elektriciteit, zien we dat de maximale elektriciteitspiek schaalst met het verliesoppervlak van de woning. Grotendeels komt dit doordat grotere woningen een hogere warmtevraag hebben en ook het huishoudelijk energiegebruik is groter voor woningen met een groot verliesoppervlak.

Op basis van de verzamelde data blijkt dat de maximale afname (in de winter) qua omvang gelijk is aan de maximale teruglevering (in de zomer). Dat betekent dat de impact op het netwerk van hybride warmtepompen en van PV-panelen vergelijkbaar is, wat betreft de benodigde capaciteit.¹

¹ De afnamepiek voor woningen zonder PV-panelen volgt hetzelfde patroon als woningen met PV-panelen.

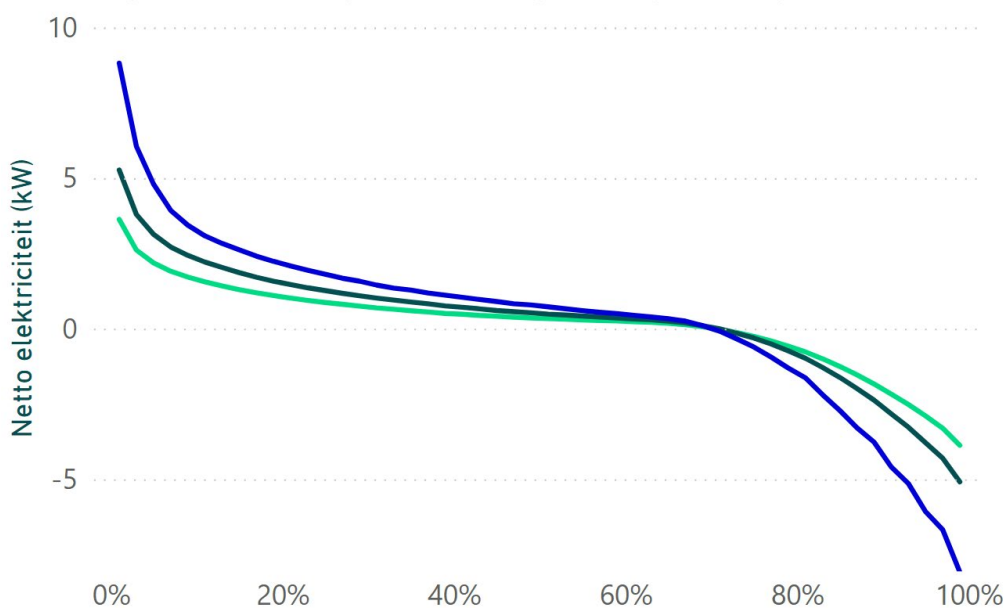
Verliesoppervlak 0..100 100..200 200..300 300..400 400..500 500..600 600+



Hoe vaak is het verbruik minimaal gelijk aan...

Figuur 13 - Belastingduurkromme voor hybride warmtepompen voor woningen met PV-panelen. De maximale afnamepiek schaaft met het verliesoppervlak per woning. Maximale afname en teruglevering zijn vergelijkbaar in vermogen.

Echter, de variatie in afnameprofielen tussen woningen met een hybride warmtepomp is fors. Als we kijken naar woningen met de hoogste afnamepieken, zien we dat de belasting van de top 5% woningen twee keer zo groot is als gemiddeld.



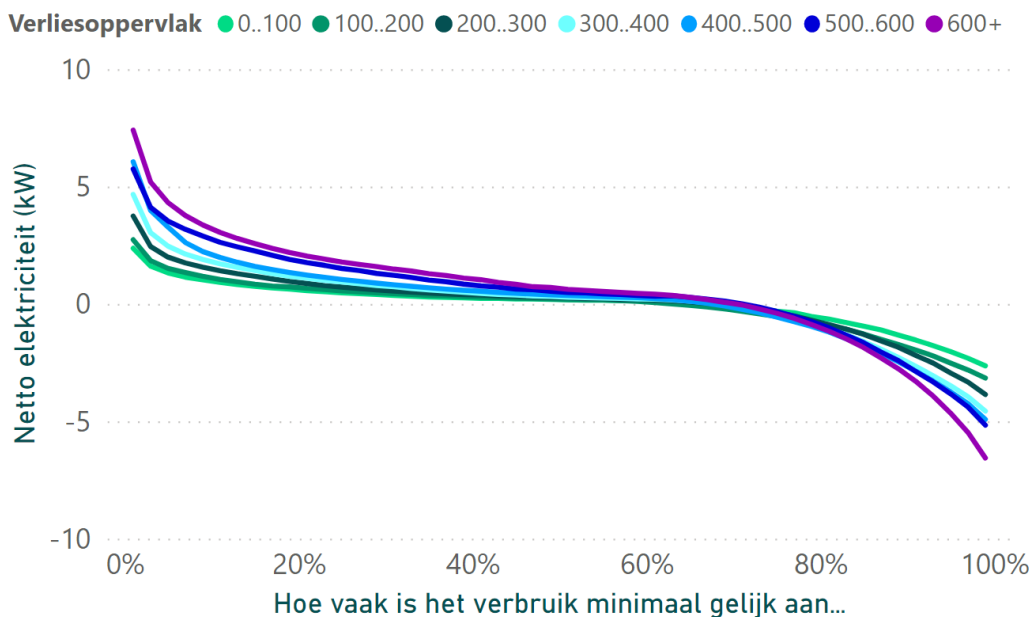
Hoe vaak is het verbruik minimaal gelijk aan...

Figuur 14 - Variatie in piekbelasting. De belastingduurkromme is weergegeven als gemiddelde en voor de top 25% en 5% woningen met de hoogste afnamepiek.

Groen: gemiddelde over de woningen, donkergroen: top 25% van de woningen en blauw: top 5% van de woningen.

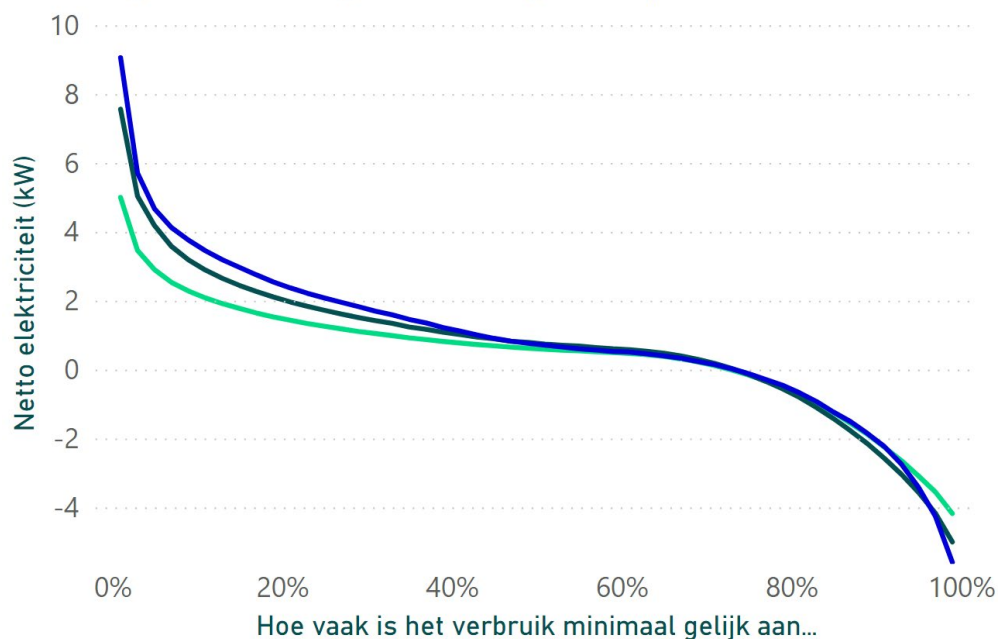
All-electric warmtepomp

Figuur 15 laat zien dat ook bij all-electric woningen de maximale afnamepiek schaaft met het verliesoppervlak. Daarnaast zien we hier dat de maximale afname van elektriciteit en de maximale teruglevering weer van vergelijkbare grootte zijn. Echter, vooral in zeer grote woningen is de maximale afname erg groot, ook t.o.v. de maximale teruglevering in dezelfde woningen.



Figuur 15 - Belastingduurkromme voor all-electric warmtepompen, voor woningen mét PV-panelen. De terugleverpiek is qua omvang vergelijkbaar met de afnamepiek.

De variatie in piekbelasting is vergelijkbaar met de hybride situatie. De top 5% woningen met de hoogste afnamepiek hebben gemiddeld een netbelasting die twee keer zo hoog als het gemiddelde is.

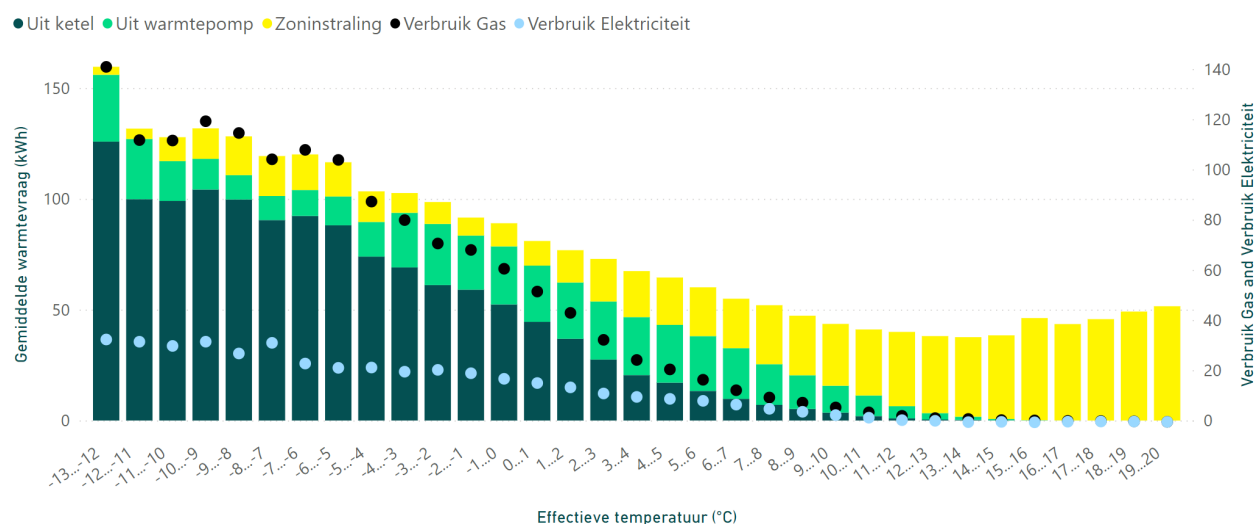


Figuur 16 - Variatie in de piekbelasting. De belastingduurkromme is weergegeven als gemiddelde, en voor de top 25% en 5% woningen met de hoogste afnamepiek.

Groen: gemiddelde over de woningen, donkergroen: top 25% van de woningen en blauw: top 5% van de woningen.

3. Prestaties hybride warmtepompen

Dankzij het gasgebruik is het mogelijk een uitspraak te doen over de praktijkprestaties van hybride warmtepompen. In figuur 17 is de gemiddelde warmtevraag van een woning te zien in relatie tot de effectieve buitentemperatuur. Ook is de invulling van de warmtevraag door de gasketel, warmtepomp en zoninstraling zichtbaar. De effectieve buitentemperatuur wordt bepaald als functie van de gemiddelde buitentemperatuur en de windsnelheid. De effectieve temperatuur voor een gebouw is het equivalent van de gevoelstemperatuur voor de mens.



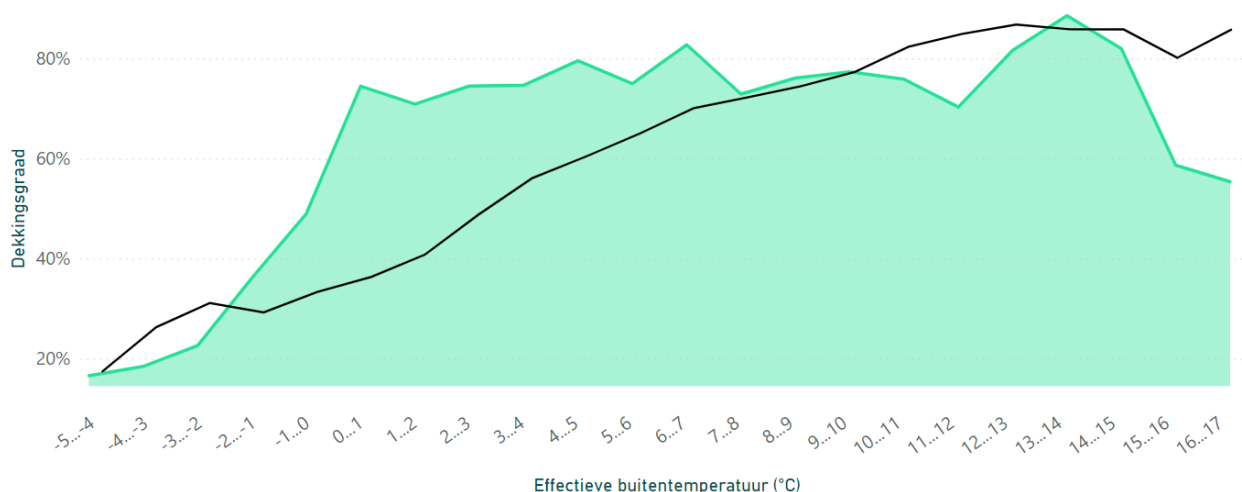
Figuur 17 - Invulling van de warmtevraag door de gasketel, warmtepomp en zoninstraling. Vooral bij temperaturen tussen 0 en 13 °C neemt de warmtepomp een groot deel van de invulling van de warmtevraag voor zijn rekening. Let op: voor zeer koude dagen lijkt de invulling van de warmtepomp hoger te worden. Dit is echter een statistische fluctuatie gezien dankzij de beperkte hoeveelheid data bij die temperaturen en heeft verder geen betekenis.

Het verbruik van elektriciteit is consequent lager dan het verbruik van gas. De warmtepomp gebruikt de elektriciteit om energie uit de buitenlucht te halen, de uiteindelijke warmteproductie met de warmtepomp ligt daarom veel hoger dan het verbruik aan elektriciteit. Bij een Hr-ketel is dit omgekeerd. Bij het omzetten van aardgas in warmte gaat juist energie verloren in de rookgassen. Ca. 90% van de hoeveelheid energie in het aardgas komt als warmte in de woning terecht.

Het is duidelijk zichtbaar dat bij een effectieve dagtemperatuur boven 13 °C zowel de gasketel als warmtepomp niet meer worden gebruikt. Bij deze temperaturen wordt de warmtevraag door de zoninstraling ingevuld. Ook is goed zichtbaar dat bij extreem lage temperaturen de gasketel het voornaamste deel van de invulling verzorgt. Echter, bij effectieve dagtemperaturen tussen -3 en 13 °C neemt de warmtepomp een aanzienlijk deel van de warmtevraag voor zijn rekening. Extreem lage temperaturen waarin de warmtepomp nauwelijks wordt gebruikt komen zelden voor. Daarentegen komen de temperaturen waarin de warmtepomp veel warmte produceert veel vaker voor in Nederland.

3.1 Dekkingsgraad op jaarbasis

In de vorige paragraaf is de relatie tussen de effectieve buitentemperatuur en dekkingsbijdrage van de warmtepomp gevonden. Op basis van de frequentie van de effectieve buitentemperaturen kan bepaald worden wat de dekking gedurende het gehele jaar is. Figuur 18 geeft hiervan een overzicht.

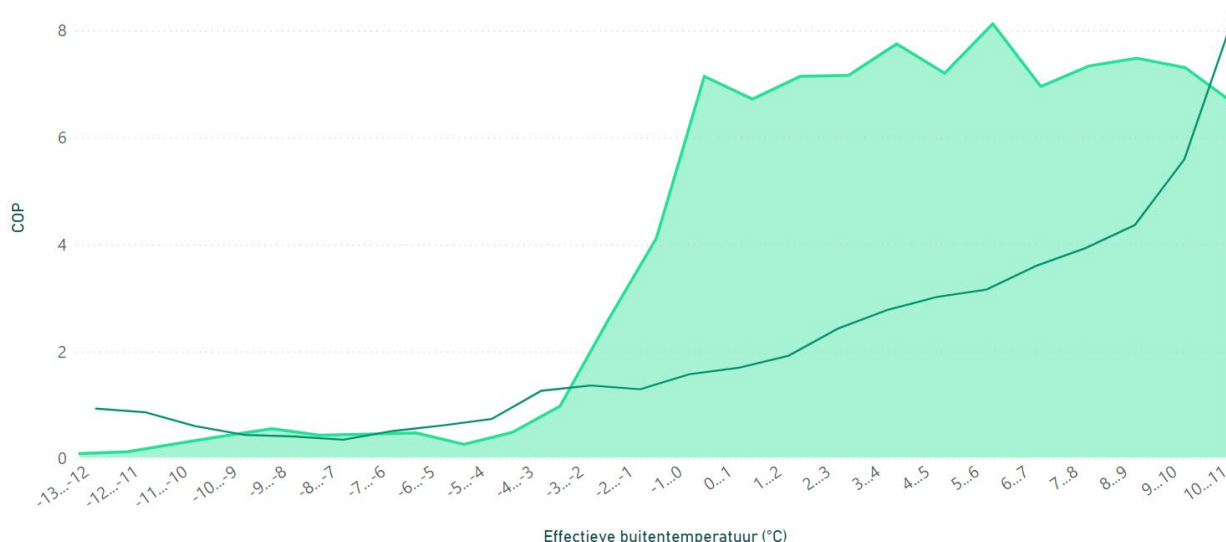


Figuur 18 - Dekkingsbijdrage van de warmtepomp uitgezet tegen de effectieve buitentemperatuur. De frequentie van iedere temperatuur is bekend (groene vlak). Hieruit volgt de totale dekking op jaarbasis.

Op jaarbasis levert de warmtepomp een bijdrage van ca. 60% van de totale warmtevraag (exclusief tapwater) voor alle woningen.

3.2 (S)COP van hybride warmtepompen

De energiebalans uit figuur 19 kan worden gebruikt om de gemiddelde COP te berekenen per temperatuurinterval. De door de warmtepomp ingevulde warmtevraag gedeeld door het elektrische verbruik van de warmtepomp levert een COP op. In figuur 14 zijn de COP's te vinden bij de verschillende effectieve temperatuurintervallen.



Figuur 19 - COP als functie van de effectieve buitentemperatuur. Op de achtergrond de frequentie waarmee de betreffende effectieve buitentemperatuur is voorgekomen in 2020-2021.

De COP neemt zo goed als lineair toe bij temperaturen tussen 0 en 10 °C. Voor zeer koude dagen lijkt de COP van de warmtepomp beter te worden. Dit is echter een statistische fluctuatie vanwege de geringe hoeveelheid beschikbare data en heeft verder geen betekenis. Op het jaartotaal zijn deze punten zeer beperkt van belang. De SCOP van hybride warmtepompen is gemiddeld over een jaar over de verschillende woningtypen 3,8.

3.3 Gas- en elektriciteitsverbruik

Hybride warmtepompen verminderen het gasverbruik en verhogen het elektriciteitsverbruik in de winter. Om hoeveel gas- en elektriciteitsverbruik gaat het? Op basis van de energiebalans kunnen we berekenen wat er gemiddeld over de meetperiode en de woningen in het portfolio bespaard is aan gas en extra verbruikt is aan elektriciteit. Voor de berekening van het aardgas en elektriciteitsverbruik wordt de data gebruikt van 15 maart 2020 tot 15 maart 2021. De berekeningen zijn dus gebaseerd op een geheel jaar, waarin ook de koude winterweek van februari 2021 is meegenomen.

In de onderstaande tabel zijn per woningtype de gasbesparing en extra benodigde elektriciteit te vinden. Daarnaast zijn de kosten doorberekend, waarmee een financiële besparing is bepaald. Voor deze berekening zijn de gas- en elektriciteitsprijzen van september 2021 gebruikt. Voor de vermindering van CO₂-uitstoot, is de gemiddelde uitstoot per kWh elektriciteit volgens het CBS uit 2019 genomen.

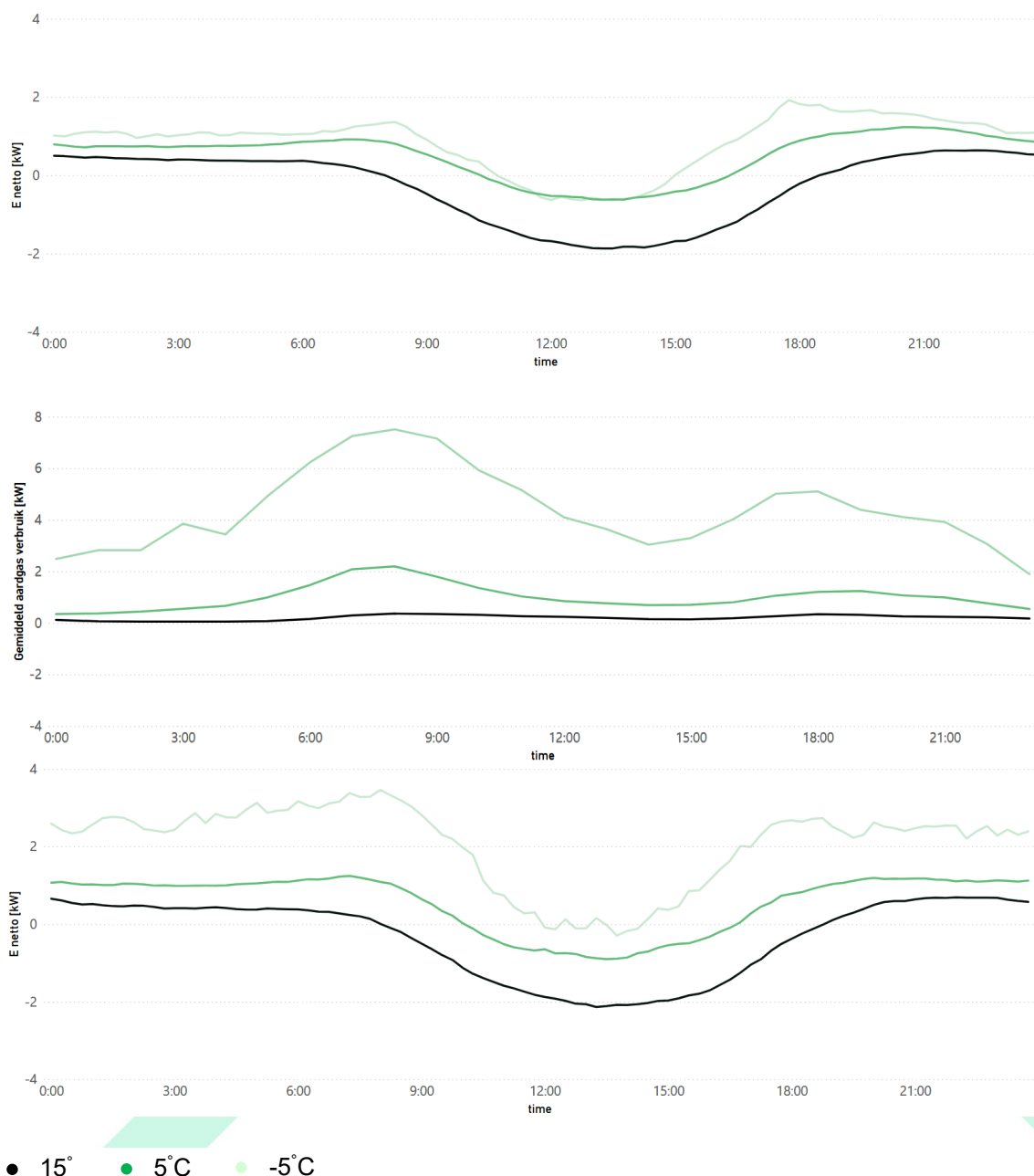
Tabel 2: Gemiddelde gasbesparing, extra verbruikte elektriciteit en CO₂-besparing over de woningen in de dataset.

	Gemiddelde van alle deelnemende woningen
Gasbesparing [m ³]	648
Extra elektriciteit [kWh]	1535
Ratio [kWh/m ³]	2,3
Gasbesparing [€]	603
Extra elektriciteit [€]	399
Kostenbesparing [€]	204
CO ₂ -reductie ruimteverwarming	23%
Totale CO ₂ -reductie	13%

Uit deze analyse blijkt dat de hybride warmtepomp de CO₂-uitstoot voor ruimteverwarming met gemiddeld 23% verlaagt. Wanneer ook het achtergrondverbruik van elektriciteit en aardgas wordt meegenomen in de berekening, bedraagt de gemiddelde vermindering van CO₂ 13%. Conclusie: het implementeren van een hybride warmtepomp zorgt direct voor een duidelijke vermindering van de uitstoot. Wanneer in de toekomst de elektriciteitsmix duurzamer wordt, neemt de CO₂-reductie toe. Ook laten de resultaten zien dat met de huidige gas- en elektriciteitsprijzen een hybride warmtepomp financieel gezien een aantrekkelijke optie is.

4. Gelijktijdigheid van hybride en all-electric warmtepompen

Voor het ontwerp van elektrische netten is het niet alleen belangrijk te weten hoeveel energie warmtepompen nu precies gebruiken, maar zeker ook wanneer dat gebruik gedurende de dag plaats vindt. Aangezien de analyse op dagbasis is gemaakt, is het lastig om de dag 'in' te kijken. Toch geven onderstaande figuren een aardige indruk van de gelijktijdigheid van hybride en all-electric warmtepompen.



Figuur 20 - Gelijktijdigheid van hybride en all-electric warmtepompen. Boven het gemiddelde elektriciteitsgebruik van een hybride warmtepomp, in het midden het gemiddelde gasverbruik van dezelfde groep woningen en onder het gemiddelde voor all-electric warmtepompen. Voor alle grafieken geldt: zwart is bij 15°C, groen is bij 5°C en licht groen is bij -5°C effectieve temperatuur.

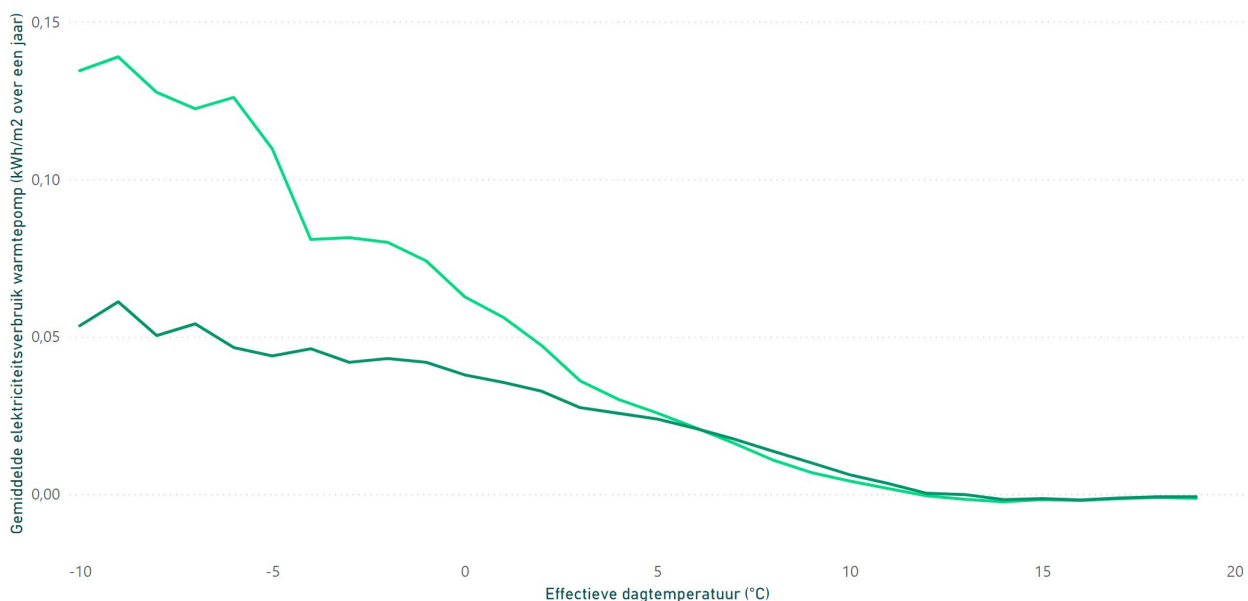
De ruimte tussen de drie lijnen in de grafieken ontstaat door een drietal verschillende factoren:

- De opbrengst van de zonnepanelen varieert over het jaar; in de zomer leveren zonnepanelen meer op. Bij lagere effectieve temperaturen is er gemiddeld minder zonnestroomproductie.
- Het achtergrondverbruik verandert gedurende het jaar; in de winter is het achtergrondverbruik hoger.
- Het warmtepompverbruik verandert als functie van de buitentemperatuur; als het buiten kouder is moet de warmtepomp harder werken om de woning op temperatuur te houden.

Het is niet mogelijk om de ruimte tussen de lijnen direct aan een van de drie factoren toe te schrijven, wel vallen een aantal dingen op:

- Op (zeer) koude dagen verwarmen hybride warmtepompen de woning in de ochtend en avond. 's nachts is het te koud en 's middags is er beperkt warmtevraag door een hogere buitentemperatuur en zoninstraling. De avondpiek in elektriciteitsconsumptie is hoger dan de ochtendpiek en voor gas vice versa. Dit komt omdat het 's ochtends vaker te koud is en 's avonds vaker warm genoeg is voor de hybride om te draaien.
- De gelijktijdigheid van PV en hybrides is ongeveer nul. In de zomer is er geen warmtevraag en wel veel PV-productie. In de tussenseizoenen komen de hybrides vooral in de ochtend en avond in, wanneer er weinig of geen PV-productie beschikbaar is. In de winter worden de stookmomenten wel wat langer, maar is er ook korter zonlicht tijdens de dag.
- Bij -5°C effectieve temperatuur schiet het gasverbruik omhoog; de warmtepomp doet weinig meer en de cv-ketel neemt het over.
- Het verbruik van een all-electric warmtepomp hangt direct af van de buitentemperatuur. Hoe kouder het wordt, des te meer warmte moet de warmtepomp leveren. Omdat bij lagere temperaturen de COP van de warmtepomp lager wordt, is er in verhouding meer elektriciteit nodig naarmate de temperatuur lager wordt. Dit exponentiële verband is goed te zien in het figuur, omdat het netto elektriciteitsverbruik oploopt tot ongeveer 8 uur in de ochtend, wat vaak overeenkomt met het koudste moment van de dag.

Hybride warmtepomp ● False ● True



Figuur 21 - Gemiddeld elektriciteitsverbruik van de warmtepomp in kWh/m² per jaar uitgezet tegen de effectieve dagtemperatuur.

Figuur 22 bevestigt dat bij lagere temperaturen de cv-ketel het overneemt van de hybride warmtepomp, terwijl de all-electric warmtepomp blijft draaien. Omdat het hier om gemiddelde dagtemperaturen gaat is het verbruik van de hybride warmtepomp bij lagere temperaturen niet per se nul. Ook op dagen met een lage gemiddelde dagtemperatuur is het mogelijk dat de warmtepomp nog een deel van de warmte invulling kan voorzien wanneer de temperatuur gedurende de dag oploopt. Daarnaast is zichtbaar dat de all-electric

relatief meer gaat verbruiken bij lagere temperaturen. Dit is het gevolg van de hogere warmtevraag in combinatie met een lagere COP bij lagere effectieve temperaturen.

5. Conclusies

Dit is de eerste keer dat in Nederland een grootschalig onderzoek is gedaan naar de impact van hybride en all-electric warmtepompen. Ook is het de eerste keer dat slimme meter data met enquêteresultaten gecombineerd zijn om een analyse te doen van de warmtebalans van een woning. Dit heeft ertoe geleid dat over een aantal aspecten zeer gedetailleerd uitspraken gedaan kunnen worden; de aspecten die direct gebaseerd zijn op slimme meter data. Terwijl bij andere aspecten enkele slagen om de arm moeten worden gehouden; de aspecten die zijn gebaseerd op de enquête en aannames. Het is interessant te zien hoe ver gegaan kan worden met de analyse op basis van de beperkte beschikbare data.

Het overgrote deel van de aanmeldingen is afkomstig uit de database van RVO met ISDE-ontvangers voor warmtepompen. In totaal zijn er 800 aanmeldingen en slimme meter data sets binnengekomen. Voor de analyse zijn uiteindelijk zo'n 450 bruikbare woningen overgebleven. De overige woningen zijn afgefallen door fouten in de ODA-data en andere factoren, zoals verhuizingen. Er is een stevige bias te zien in de deelnemende woningen: het betreft veelal grote woningen met extreem veel zonnepanelen en weinig appartementen. Dit geeft waarschijnlijk wel een goed beeld van de marktsegmenten waar de voorlopers van warmtepompen zich bevinden. Daarnaast heeft Covid-19 een aanwijsbare impact gehad op de meetresultaten, met name het huishoudelijke achtergrondverbruik.

Binnen de dataset is gezocht naar verschillende aspecten die een impact hebben op het energieverbruik van warmtepompen. Er is gekeken naar de isolatiegraad van de gevels, energielabel, installatiejaar, temperatuurniveau, bouwjaar en schiloppervlak. Enkele van deze factoren hebben wel degelijk een correlatie met het energieverbruik, zoals energielabel, isolatiegraad en temperatuurniveau. Bij andere factoren, zoals installatiejaar, is geen verband gevonden. De beste voorspeller voor het energieverbruik is het schiloppervlak van de woning.

Hybride en all-electric warmtepompen zijn vanuit het netperspectief gezien compleet verschillende fenomenen. Zo zijn all-electric warmtepompen verantwoordelijk voor de volledige verwarming van de woning en het tapwater, waar hybride warmtepompen vooralsnog alleen de ruimteverwarming (bij voor warmtepompen gunstiger temperaturen) voor hun rekening nemen. Daarbij kunnen hybride warmtepompen in principe in elke aardgas gestookte woning bijgeplaatst worden, waar voor een all-electric oplossing een goede isolatiegraad een vereiste is. Waarschijnlijk heeft dit ook impact op de thermostaatinstellingen, en dus het gedrag van het apparaat, bij de twee technologieën.

De piekvraag van woningen met een all-electric warmtepomp ligt zo'n 1,5 keer hoger dan die van woningen met een hybride warmtepomp. Daarentegen ligt voor beide groepen de piekvraag in de orde van de piek die zonnepanelen op het net veroorzaken. Alleen voor echt grote woningen is de piekvraag groter dan de piek die de zonnepanelen veroorzaken. Zoals gebruikelijk is er een kleine groep gebruikers die onevenredig grote pieken op het net veroorzaken; zo'n 5% van de warmtepompen in de dataset heeft een piek die twee keer zo hoog ligt als het gemiddelde. De elektrische bijstook naast all-electric warmtepompen heeft niet geleid tot detecteerbare pieken, ook niet in extreem koud winterweer. In zo'n 10% van de woningen waar een all-electric warmtepomp is geïnstalleerd, zijn ook sporen van koeling terug te vinden.

De momenten waarop de grootste pieken worden veroorzaakt door hybride en all-electric warmtepompen liggen op verschillende tijdstippen op de dag en op verschillende momenten in het jaar. In die zin zijn vanuit het elektriciteitsnetperspectief hybride en all-electric warmtepompen een mooie combinatie. Tegenwoordig moduleren all-electric warmtepompen hun vermogen, waardoor er weinig scherpe pieken op het net te zien zijn. Hybride warmtepompen daarentegen veroorzaken wel scherpe pieken omdat de meeste hybride warmtepompen op dit moment op buitentemperatuur gestuurd worden. Dit zorgt ervoor dat de hybride warmtepompen vaak op dezelfde momenten aanspringen; ze worden door de buitentemperatuur in een zelfde patroon gedwongen. Zonnestroomproductie vindt veelal plaats op momenten dat er weinig tot geen warmtevraag in de woning is. Zeker bij hybride warmtepompen lijkt de overlap zeer beperkt, elektrische opslag kan hier een uitkomst bieden.

Dankzij het gasgebruik is het mogelijk een uitspraak te doen over de praktijkprestaties van hybride warmtepompen. Door het groot aantal aannames, onzekerheid op de enquêteresultaten en lineaire trendlijnen die gebruikt zijn in de analyse is het onmogelijk uitspraken te doen over de nauwkeurigheid van de resultaten. De energiebalans van de woningen bij verschillende effectieve buitentemperaturen geeft een beeld in de warmtehuishouding van de woningen dat realistisch oogt. Uit dat beeld kunnen een aantal parameters van de hybride elektrische warmtepompen geschat worden:

- De dekkinggraad van hybride warmtepompen is gemiddeld over een jaar over de verschillende woningtypen 60%
- De SCOP van hybride warmtepompen is gemiddeld over een jaar over de verschillende woningtypen 3,8
- Toepassing van een hybride warmtepomp betekent gemiddeld een meerverbruik van 2,3 kWh aan elektriciteit voor iedere m³ aardgas die wordt bespaard
- Toepassing van een hybride warmtepomp vermindert de CO₂-uitstoot voor ruimteverwarming met 23%

Samenvattend kunnen we concluderen dat warmtepompen niet de 'ramp' voor het elektriciteitsnet zijn waar sommigen voor vreesden. Het toepassen van hybride warmtepompen leidt tot een lagere belasting van het elektriciteitsnetwerk dan het toepassen van all-electric warmtepompen. Echter ook de grootschalige adoptie van hybride warmtepompen (zoals een wijkaanpak), of de grootschalige installatie van PV-panelen, leidt in veel gevallen tot een noodzakelijke netverzwaring.