Installatiemonitor 3.0

De warmtepomp in de gebouwde omgeving

Datum: 2026-06-15
Versie: definitief 1.02
Opdrachtgevers: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Techniek Nederland, Netbeheer Nederland
Auteurs: Thijs Poiesz, Guido Janssen, Angelique Biemans, Peter Wagener, Maarten Hommelberg

Voorwoord

De energietransitie in Nederland leidt tot een toenemende elektrificatie van de gebouwde omgeving. Warmtepompen spelen hierin een belangrijke rol als alternatief voor aardgasgestookte verwarming. Tegelijkertijd groeit de behoefte aan beter inzicht in hoe deze systemen in de praktijk functioneren. Beleidsmakers, netbeheerders en de installatiesector hebben betrouwbare praktijkdata nodig om realistische inschattingen te maken van energiegebruik, systeemprestaties en de impact op het elektriciteitssysteem.

Het project Installatiemonitor is opgezet om deze inzichten te ontwikkelen. Door gebruik te maken van slimme meterdata van woningen met een warmtepomp ontstaat een uniek beeld van het energiegebruik en de prestaties van warmtepompen in de praktijk. De analyses worden aangevuld met informatie over woningen, installaties en bewoners, waardoor het mogelijk is om patronen en verschillen tussen woningen beter te begrijpen.

Met Installatiemonitor 3.0 wordt voortgebouwd op eerdere edities van het onderzoek. De dataset is verder uitgebreid en de analysemethoden zijn verder ontwikkeld en gevalideerd met praktijkmetingen. Hierdoor kan een steeds gedetailleerder beeld worden verkregen van de prestaties van warmtepompen en de interactie met andere technologieën in woningen, zoals zonnepanelen en elektrische voertuigen.

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), Netbeheer Nederland en Techniek Nederland. Wij danken alle deelnemers die hun gegevens beschikbaar hebben gesteld voor dit onderzoek. Hun bijdrage maakt het mogelijk om op grote schaal inzicht te krijgen in het energiegebruik van woningen met warmtepompen.

Wij hopen dat de inzichten uit dit rapport bijdragen aan een beter begrip van de rol van warmtepompen in de energietransitie en ondersteuning bieden bij beleidsontwikkeling, netbeheer en verdere innovatie in de gebouwde omgeving.

Begrippenlijst

Afgiftesysteem Het systeem waarmee warmte in een woning wordt afgegeven aan de binnenruimte, zoals radiatoren, vloerverwarming of een combinatie daarvan.

All-electric warmtepomp Een warmtepomp die volledig voorziet in de warmtebehoefte van een woning zonder gebruik van een gasgestookte cv-ketel.

Benuttingsgraad De verhouding tussen het gebruikte vermogen van een warmtepomp en zijn nominaal vermogen gemiddeld over een tijdsperiode, zoals bijvoorbeeld een dag. Het hiervoor gebruikte nominaal vermogen komt uit de ISDE subsidie aanvraag.

Dekkingsgraad Het percentage van de totale warmtevraag voor ruimteverwarming van een woning dat door de warmtepomp wordt geleverd.

Disaggregatie Het proces waarbij het totale energieverbruik (zowel gas- als elektriciteitsverbruik) van een woning wordt opgesplitst in afzonderlijke componenten, zoals huishoudelijk verbruik, warmtepompverbruik, elektrisch laden en zonnepanelen.

Elektriciteitsverbruik van de warmtepomp Het elektriciteitsverbruik dat direct toe te schrijven is aan de werking van de warmtepompinstallatie, inclusief compressor, ventilatoren en eventuele elektrische bijverwarming.

Hybride warmtepomp Een systeem waarbij een warmtepomp samenwerkt met een cv-ketel, waarbij de warmtepomp het grootste deel van het jaar de warmte voor ruimteverwarming levert.

Nachtverlaging Een nachtelijke verlaging van de thermosstaatinstellingen waardoor de warmtevraag ‘s nachts lager is dan overdag. Deze verlaging wordt bij hybride warmtepompen als ‘problematisch’ aangeduid wanneer de gasketel in de ochtend moet bijspringen.

Nominaal vermogen Het vermogen van de warmtepomp bij de bivalente temperatuur van de warmtepomp zoals bepaald voor de ISDE subsidie.

PV-systeem Een installatie van zonnepanelen die elektriciteit opwekt uit zonlicht.

Referentieprofiel Een model van het energiegebruik van een woning vóór installatie van de warmtepomp, dat wordt gebruikt als basis voor het analyseren van veranderingen in energieverbruik.

SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) De verhouding tussen de totale geproduceerde warmte en het totale elektriciteitsverbruik van de warmtepomp over een volledig stookseizoen.

Slimme meterdata Elektriciteits- en gasverbruiksdata die door slimme meters wordt geregistreerd en beschikbaar is op kwartier- of uurbasis. Deze data komt binnen op de P4 poort en bevat alleen cumulatieve waarden voor verbruik of levering.

Verliesoppervlak Het oppervlak van de gebouwschil dat grenst aan buitenlucht of onverwarmde ruimtes en waardoor warmteverlies kan optreden.

Warmteproductie De hoeveelheid warmte die door een warmtepomp wordt geleverd aan het verwarmingssysteem en eventueel voor warm tapwater.

Warmtevraag De hoeveelheid warmte die nodig is om een woning te verwarmen en eventueel warm tapwater te produceren.

Zelfconsumptie van zonnestroom Het aandeel van de door zonnepanelen opgewekte elektriciteit dat direct in de woning wordt gebruikt in plaats van aan het elektriciteitsnet te worden teruggeleverd.

Managementsamenvatting

De energietransitie in de gebouwde omgeving leidt tot een toenemende elektrificatie van huishoudens, waarbij warmtepompen een centrale rol spelen als alternatief voor aardgasgestookte verwarming. Installatiemonitor 3.0 brengt op basis van grootschalige praktijkdata in beeld hoe deze systemen daadwerkelijk functioneren in Nederlandse woningen en welke factoren bepalend zijn voor hun prestaties.

Door slimme meterdata te combineren met woning- en installatiegegevens wordt het energiegebruik opgesplitst in componenten zoals warmtepompgebruik, zonnestroom en elektrisch laden. Validatie laat zien dat hiermee een betrouwbare inschattingen gemaakt wordt van de warmtevraag, het elektriciteitsverbruik en prestatie-indicatoren zoals SCOP en dekkingsgraad. Een belangrijke randvoorwaarde is dat voldoende historische meetdata beschikbaar is van vóór installatie van de warmtepomp, zodat een warmtevraagprofiel van de woning kan worden vastgesteld.

Dataset en context

De dataset omvat meer dan zesduizend woningen en biedt daarmee een uniek inzicht in praktijkprestaties. De populatie is representatief voor de Nederlandse warmtepompkoper van de afgelopen jaren, echter niet representatief voor de Nederlandse woningvoorraad als geheel. De woningen in Installatiemonitor zijn gemiddeld groter (circa 175 m^2, tegenover 120m^2 gemiddeld in Nederland), betreffen allemaal koopwoningen en huishoudens die vooroplopen in de energietransitie, met een zeer hoge aanwezigheid van zonnepanelen (93%) en een bovengemiddeld aandeel elektrische voertuigen (25%). De resultaten zijn daarmee representatief voor de huidige groep warmtepompgebruikers.

Warmtepomprestaties

De resultaten laten zien dat warmtepompen in de praktijk een substantieel aandeel van de warmtevraag leveren. Voor hybride warmtepompen bedraagt de gemiddelde dekkingsgraad voor ruimteverwarming 78%. De gemiddelde SCOP voor ruimteverwarming bedraagt 3,4 voor hybride warmtepompen en circa 3,5 voor all-electric systemen. De gemiddelde SCOP voor tapwaterbereiding door all-electric warmtepompen bedraagt 2,3.

De spreiding in prestaties is groot. Binnen de hybride groep zijn er woningen met een dekkingsgraad van circa 95–100%, maar ook een substantiële groep met een dekkingsgraad van 50% of lager. Deze spreiding hangt samen met het hele verwarmingssysteem en vormt een belangrijk uitgangspunt voor verdere analyse.

Samenhang tussen woning, systeem en prestaties

De prestaties van warmtepompen worden in belangrijke mate bepaald door de combinatie van woningkenmerken, installatiekeuzes en gebruik. Verschillen in SCOP en dekkingsgraad hangen samen met bewonersgedrag, warmtevraag, type afgiftesysteem en dimensionering van de installatie.

Het verschil in gemiddelde SCOP tussen hybride (3,4) en all-electric systemen (3,5) moet in dat licht worden geïnterpreteerd. All-electric warmtepompen worden vaker toegepast in woningen met een lagere warmtevraag en met lagetemperatuurafgiftesystemen. Daarnaast draaien deze systemen ook bij lagere buitentemperaturen volledig door, waar hybride systemen vaker terugvallen op de cv-ketel. Hierdoor worden efficiëntieverschillen tussen woningconfiguraties en afgiftesystemen duidelijker zichtbaar bij all-electric systemen.

Invloed van afgiftesystemen

Voor hybride warmtepompen blijkt de invloed van het afgiftesysteem op de gemiddelde prestaties beperkt. De verschillen in SCOP gaan gemiddeld van 3.1 voor radiatoren tot 3.3 voor vloerverwarming en zijn daarmee beperkt.

Voor all-electric warmtepompen zijn deze verschillen groter en beter zichtbaar: Radiatoren geven bij all-electric systemen een gemiddelde SCOP van 3.2 en deze stijgen tot gemiddeld 3,8 voor alleen vloerverwarming. Woningen met lagetemperatuurafgiftesystemen realiseren daardoor structureel betere prestaties dan woningen met systemen die hogere temperaturen vereisen. Dit bevestigt dat het belang van het afgiftesysteem toeneemt naarmate de warmtepomp een groter deel van de warmtevraag moet leveren.

Invloed van dimensionering en benuttingsgraad

De analyse van benuttingsgraad laat zien dat een groot deel van de warmtepompen in de praktijk niet optimaal wordt ingezet. Ongeveer 55% van de installaties benut structureel minder dan de helft van het beschikbare vermogen. Slechts 28% van de warmtepompen gebruikt een aanzienlijk deel van zijn nominale vermogen en blijft dit ook bij lagere temperaturen doen.

Overdimensionering leidt in de praktijk tot een significant lagere SCOP; er is een groep grotere woningen, waarbij een warmtepomp is gedimensioneerd op de grootte van de woning, maar niet op het werkelijk verbruik van die woning. In werkelijkheid wordt slechts een klein deel van de woning verwarmd, hierdoor daalt de SCOP van 3,3 gemiddeld naar 2,7 voor hybride woningen of van 3,8 naar 3,0 voor woningen met een all-electric warmtepomp.

Onderdimensionering komt wat minder vaak voor in de praktijk en heeft een minder grote impact op de warmtepomppprestaties. Voor hybride warmtepompen wordt de gemiddelde dekkingsgraad iets lager (6% t.o.v. optimaal gedimensioneerd) en is er geen impact op de gemiddelde SCOP. Bij all-electric warmtepompen lijkt er een optimum SCOP te zijn voor warmtepompen die 25% kleiner zijn gedimensioneerd dan optimaal. Het risico is dat er dan een elektrisch element nodig kan zijn bij echt lage temperaturen. In de meetperiode is het niet koud genoeg geweest om dit te bevestigen.

Invloed van nachtverlaging

Bewonersgedrag blijkt een belangrijke factor in de gerealiseerde prestaties. In het bijzonder heeft nachtverlaging een duidelijke invloed op het functioneren van warmtepompen.

Voor hybride warmtepompen daalt de gemiddelde dekkingsgraad van 86% zonder nachtverlaging naar 69% met problematische nachtverlaging, terwijl de SCOP stijgt van 3,1 naar 3,3. Deze stijging van de SCOP komt doordat de warmtepomp minder draait en relatief vaker onder gunstige omstandigheden opereert, terwijl piekbelasting wordt overgenomen door de cv-ketel. Een gemiddeld 17% lagere dekkingsgraad is significant.

Voor all-electric warmtepompen is geen alternatieve warmtebron beschikbaar. Nachtverlaging leidt hier tot een gemiddeld lagere efficiëntie: de SCOP daalt van 3,6 naar 3,5, doordat de warmtepomp vaker onder ongunstige condities moet draaien met hogere aanvoertemperaturen.

De analyse laat zien dat woningen waarin nachtverlaging wordt toegepast gemiddeld lagere prestaties realiseren dan woningen waarin de temperatuur constanter wordt gehouden. Het effect is daarmee zowel zichtbaar in de SCOP als in de dekkingsgraad.

Ondermaatse prestaties en optimalisatiepotentieel

De spreiding in prestaties betekent dat er aanzienlijke optimalisatiepotentie aanwezig is. Ondermaatse prestaties blijken in de praktijk vaak terug te voeren op een beperkt aantal oorzaken, waaronder onjuiste dimensionering, suboptimale afgiftesystemen, onjuiste inregeling en bewonersgedrag.

Slimme meterdata maakt het mogelijk om deze afwijkingen op grote schaal te detecteren en in veel gevallen ook een waarschijnlijke oorzaak te identificeren. Daarmee ontstaat de mogelijkheid om installaties gericht te verbeteren zonder fysieke inspectie in alle gevallen noodzakelijk is. In een spin-off project, het 'praktijkonderzoek warmtepompen, wordt precies dit getest.

Elektrificatie en netimpact

Warmtepompen worden in de praktijk vaak gecombineerd met zonnepanelen en elektrische voertuigen. Deze combinatie leidt tot complexere elektriciteitsprofielen en grotere variatie in netbelasting tussen woningen.

De netimpact wordt niet primair bepaald door de warmtepomp alleen. Elektrische voertuigen veroorzaken vaak hogere piekvermogens, terwijl zonnepanelen leiden tot terugleverpieken. All-electric warmtepompen vergroten de elektriciteitsvraag met name bij lage buitentemperaturen. De belasting van het net wordt daarmee bepaald door de gelijktijdigheid van deze factoren en is sterk contextafhankelijk. Voor een voorbeeld tussenwoning met een vloeroppervlak van 178m^2 betekent dit een gelijktijdig piekvermogen van 2,8 kW bij gebruik van een all-electric warmtepomp en voor een hybride 1,7 kW voor de woning als geheel. Ter referentie; een gemiddelde elektriciteitsaansluiting voor een Nederlandse woning is uitgelegd op 1,5 kW.

Betekenis voor kosten en emissies

De praktijkprestaties van warmtepompen vertalen zich direct naar energieverbruikskosten en CO_2-reductie. Voor een voorbeeldwoning met 1.000 m^3 gasverbruik voor ruimteverwarming en 200m^3 voor tapwater bereiding bedragen de jaarlijkse energiekosten met een cv-ketel ongeveer €1.440, gebaseerd op de kale gas- en stroomprijzen inclusief BTW. Bij toepassing van een hybride warmtepomp dalen deze kosten naar circa €1033 per jaar, een besparing van €407. Voor een all-electric warmtepomp liggen de jaarlijkse kosten nog lager, met een besparing van €603 per jaar ten opzichte van de cv-ketel.

In termen van emissies resulteert dit in een CO_2-reductie van circa 998 kg per jaar (ongeveer 46%) voor hybride systemen en circa 1.504 kg per jaar (ongeveer 70%) voor all-electric systemen.

Conclusies per doelgroep

Voor beleidsmakers laten de resultaten zien dat praktijkdata noodzakelijk is om realistische aannames te doen over prestaties en netimpact. De effectiviteit van warmtepompen wordt in belangrijke mate bepaald door de wijze waarop systemen worden toegepast, en niet alleen door het type technologie.

Voor netbeheerders maken de resultaten duidelijk dat de impact van warmtepompen onderdeel is van een breder elektrificatievraagstuk. De combinatie van warmtepompen, zonnepanelen en elektrische voertuigen bepaalt de belasting van het net en vraagt om een integrale benadering.

Voor de installatiesector laten de resultaten zien dat ontwerp, dimensionering, installatie en inregeling direct bepalend zijn voor de prestaties in de praktijk. Een aanzienlijk deel

van de prestatieverschillen is terug te voeren op factoren die beïnvloedbaar zijn, wat betekent dat verbetering van installatiekwaliteit direct leidt tot betere prestaties.

Slotconclusie

Warmtepompen functioneren in de praktijk goed en leveren een belangrijke bijdrage aan de verduurzaming van de gebouwde omgeving. Tegelijkertijd laten de resultaten zien dat prestaties sterk variëren en in belangrijke mate afhankelijk zijn van de wijze waarop systemen worden toegepast.

De centrale conclusie van dit onderzoek is dat de effectiviteit van warmtepompen niet primair wordt bepaald door de technologie zelf, maar door de integrale toepassing in de woning. Verdere opschaling vraagt daarom niet alleen om meer installaties, maar vooral om betere toepassing, ondersteund door grootschalige monitoring en datagedreven inzichten.

Inhoudsopgave

Begrippenlijst 3

Managementsamenvatting 5

1 Inleiding 12
1.1 Elektrificatie van de gebouwde omgeving 12
1.2 De praktijk van de warmtepompen 12
1.3 Installatiemonitor 12
1.4 Resultaten uit eerdere Installatiemonitor onderzoeken 13
1.5 Installatiemonitor 3.0 14
1.6 Doel van dit rapport 14
1.7 Leeswijzer 14

2 Dataset en dataverzameling 15
2.1 Aanmelding en deelname 15
2.2 Databronnen 15
2.3 Slimme meterdata 16
2.4 Aanvullende databronnen 16
2.5 Datakwaliteit 17

3 Populatie van Installatiemonitor deelnemers 19
3.1 Kenmerken van de woningen 19
3.1.1 Woningtypen 19
3.1.2 Bouwperioden 19
3.1.3 Energielabels 20
3.1.4 Woninggrootte 20
3.1.5 Verliesoppervlak 21
3.2 Kenmerken van huishoudens 22
3.2.1 Huishoudgrootte 22
3.2.2 Huishoudelijk elektriciteitsverbruik 22
3.3 Aanwezige installaties 23
3.3.1 Zonnepanelen 23
3.3.2 Elektrische voertuigen 23
3.4 Klimaat van het meetjaar 24
3.5 Warmtevraag 25
3.6 Kenmerken van de warmtepompen 25
3.7 Afgiftesystemen 26
3.8 Representativiteit van de dataset 26
3.9 Samenvatting van de populatie 26

4 Model & Validatie 28
4.1 Introductie 28
4.2 PV-model prestaties 29
4.2.1 Aannames en vereisten 29
4.2.2 Validatie 30
4.2.3 Jaartotalen 30
4.3 EV-model prestaties 34
4.3.1 Aannames en vereisten 34
4.3.2 Validatie 34
4.3.3 Voorbeeld van een herkende laadbeurt 36
4.4 Warmtepomp model prestaties 37

4.4.1 Beschikbare data Demoproject Hybride 37
4.4.2 Dataselectie 38
4.4.3 Validatie van warmtepomppresteties 39
4.5 Validatie conclusies 42

5 Warmtepomp prestaties in de praktijk 44
5.1 Hybride warmtepompen 45
5.1.1 Dekkingsgraad en SCOP 46
5.1.2 Nachtverlaging 47
5.1.3 Woningkenmerken 48
5.1.4 Warmtevraag en vloeroppervlak 49
5.1.5 Dimensionering 50
5.1.6 Afgiftesysteem 51
5.1.7 Benuttingsgraad als functie van buitentemperatuur 52
5.1.8 Vergelijking met Installatiemonitor 1.0 53
5.2 All-electric warmtepompen: resultaten en verklaringen 54
5.2.1 Overzicht en spreiding van SCOP 54
5.2.2 Nachtverlaging en woningkenmerken 55
5.2.3 Warmtevraag en afgiftesysteem 57
5.2.4 Dimensionering 58
5.3 Vergelijking tussen all-electric en hybride warmtepompen 60
5.4 Ondermaats presterende installaties 61
5.5 Wat betekenen deze prestaties? 62
5.6 Samenvatting 63

6 Conclusies 64
6.1 Hoofdconclusies 64
6.1.1 Prestaties van warmtepompen in de praktijk 64
6.1.2 Belang van dimensionering en installatieontwerp 65
6.1.3 Vergelijking tussen hybride en all-electric warmtepompen 65
6.1.4 Betrouwbaarheid van de analysemethode 66
6.1.5 Elektrificatie van huishoudens 66
6.1.6 Implicaties voor het elektriciteitsnet 66
6.1.7 Lessen voor verschillende doelgroepen 66
6.2 Discussie 67
6.3 Vervolgonderzoek 69

7 Bijlagen 70

A Enquête 1 – Beleving installatieproces (eind 2023) 70

B Enquête 2 – Ervaringen in gebruik (mei 2024) 71

C Enquête 3: Slimme sturing, onderhoud en koeling (oktober 2025) 72

D Netcongestie samenvatting 73
D.1 Doel en context van het onderzoek 73
D.2 Belangrijkste bevindingen 73
D.3 Implicaties voor beleid en netbeheer 74
D.4 Conclusies 74

E Praktijkonderzoek samenvatting 75

F Installatiemonitor data op KITE platform 77

G Berekening besparing en CO_2 besparing **80**

H PV validatie verdieping **82**
H.1 PV opwek profielen 82

I Zelfconsumptie zonnestroom **83**

J Warmtepomp Validatie uitschieters. **86**

K Elektrisch element **87**

L Verliesoppervlak **89**

1 Inleiding

1.1 Elektrificatie van de gebouwde omgeving

De energietransitie in Nederland leidt tot een snelle elektrificatie van huishoudens. Technologieën zoals warmtepompen, zonnepanelen en elektrische voertuigen worden in toenemende mate toegepast in woningen. Deze ontwikkeling speelt een belangrijke rol in het verminderen van het gebruik van fossiele brandstoffen en het terugdringen van de CO_2-uitstoot.

Warmtepompen vormen hierbij een belangrijke technologie voor het verduurzamen van de gebouwde omgeving. Door gebruik te maken van elektriciteit in plaats van aardgas kunnen warmtepompen een groot deel van de warmtevraag van woningen leveren. Tegelijkertijd zorgt deze verschuiving van aardgas naar elektriciteit voor veranderingen in het energiegebruik van huishoudens en kan de belasting van het elektriciteitsnet toenemen.

Voor beleidsmakers, netbeheerders en de installatiesector is het daarom belangrijk om inzicht te hebben in de werkelijke prestaties van warmtepompen in de praktijk.

1.2 De praktijk van de warmtepompen

Veel kennis over warmtepompen is gebaseerd op theoretische modellen, laboratoriumtesten of kleinschalige meetprojecten. In de praktijk kunnen prestaties echter sterk variëren tussen woningen. Factoren zoals woninggrootte, isolatiekwaliteit, afgiftesystemen, instellingen van de installatie en het gedrag van bewoners hebben invloed op het energiegebruik en de efficiëntie van warmtepompen.

Daarnaast wordt het elektriciteitsverbruik van huishoudens steeds complexer door de combinatie van verschillende technologieën. In veel woningen met een warmtepomp zijn bijvoorbeeld ook zonnepanelen en een elektrische auto aanwezig. Hierdoor ontstaan nieuwe interacties tussen elektriciteitsopwekking, elektriciteitsverbruik en belasting van het elektriciteitsnet.

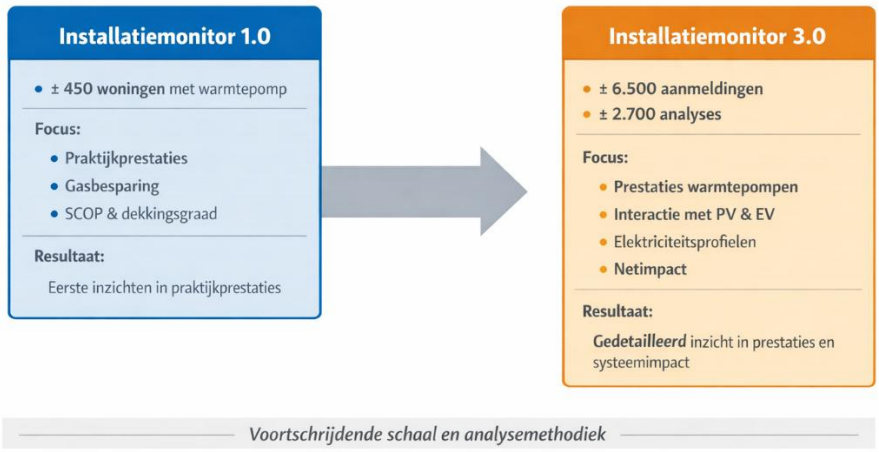
Om de energietransitie goed te kunnen sturen is het daarom belangrijk om grootschalig inzicht te krijgen in de prestaties van warmtepompen in echte woningen.

1.3 Installatiemonitor

Het project Installatiemonitor is opgezet door de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), Netbeheer Nederland en Techniek Nederland om inzicht te verkrijgen in de praktijkprestaties van warmtepompen in Nederlandse woningen.

Binnen dit project wordt gebruikgemaakt van slimme meterdata van woningen met een warmtepomp. Door deze data te combineren met aanvullende informatie over woningen, installaties en bewoners kan het energiegebruik van woningen worden geanalyseerd en kunnen de prestaties van warmtepompen worden bepaald.

Installatiemonitor bouwt voort op eerdere onderzoeken waarin de prestaties van warmtepompen in de praktijk zijn onderzocht. Met Installatiemonitor 3.0 is de dataset verder uitgebreid en zijn analysemethoden verder ontwikkeld. Hierdoor kan een steeds beter beeld worden verkregen van de prestaties van warmtepompen in Nederlandse woningen.



Figuur 1-1: Ontwikkeling van Installatiemonitor projecten

1.4 Resultaten uit eerdere Installatiemonitor onderzoeken

Eerdere fases van het Installatiemonitor project hebben al belangrijke inzichten opgeleverd in de praktijkprestaties van warmtepompen in Nederlandse woningen. In Installatiemonitor 1.0 zijn de prestaties van ongeveer 450 woningen met een warmtepomp geanalyseerd.

Uit dit onderzoek bleek onder andere dat het energieverbruik van warmtepompen sterk samenhangt met kenmerken van de woning, zoals het schiloppervlak en de afgiftetemperatuur van het verwarmingssysteem. Andere woningkenmerken bleken minder voorspellende waarde te hebben.

Daarnaast liet het onderzoek zien dat hybride warmtepompen gemiddeld een groot deel van de warmtevraag kunnen leveren. In de onderzochte woningen leverden hybride warmtepompen gemiddeld ongeveer 60% van de warmtevraag voor ruimteverwarming, met een gemiddelde SCOP van ongeveer 3,8.

Ook werd duidelijk dat warmtepompen een merkbare invloed hebben op het elektriciteitsverbruik van woningen. Hoewel all-electric warmtepompen een hogere piekvraag kennen, bleek dat hybride systemen door gelijktijdige inschakeling ook duidelijke pieken in het elektriciteitsverbruik kunnen veroorzaken.

Deze resultaten hebben bijgedragen aan een beter begrip van de rol van warmtepompen in de energietransitie en vormden de basis voor verdere ontwikkeling van het Installatiemonitor project.

Klik hier om het eindrapport van Installatiemonitor 1.0 te downloaden.
https://kennisdelen.rvo.nl/kite/installatiemonitor

1.5 Installatiemonitor 3.0

Met Installatiemonitor 3.0 wordt voortgebouwd op de eerdere onderzoeken en technologische ontwikkelingen waaronder die binnen BDH. De dataset is aanzienlijk uitgebreid en de analysemethoden zijn verder ontwikkeld. Hierdoor kan een gedetailleerder beeld worden verkregen van de prestaties van warmtepompen in Nederlandse woningen.

Naast de prestaties van warmtepompen zelf wordt in Installatiemonitor 3.0 ook gekeken naar de interactie tussen warmtepompen en andere technologieën in huishoudens, zoals zonnepanelen en elektrische voertuigen. Daarnaast wordt onderzocht wat de mogelijke gevolgen zijn voor het elektriciteitsnet.

1.6 Doel van dit rapport

Dit rapport presenteert de resultaten van Installatiemonitor 3.0. Het doel van dit rapport is om inzicht te geven in:

1. de prestaties van warmtepompen in Nederlandse woningen
2. de variatie in prestaties tussen verschillende woningtypen en installaties
3. de mogelijke gevolgen van deze ontwikkelingen voor het elektriciteitsnet.

De inzichten uit dit onderzoek zijn relevant voor beleidsmakers, netbeheerders, installateurs en andere partijen die betrokken zijn bij de energietransitie in de gebouwde omgeving.

1.7 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd.

Hoofdstuk 2 beschrijft de dataset en de manier waarop data binnen Installatiemonitor wordt verzameld. In hoofdstuk 3 wordt de populatie van deelnemende woningen beschreven en wordt ingegaan op de representativiteit van de dataset. In hoofdstuk 4 wordt de analysemethode gevalideerd aan de hand van praktijkmetingen. Hoofdstuk 5 presenteert de resultaten van de analyse van warmtepomppresta ties in de dataset.

Het rapport sluit af met conclusies en aanbevelingen voor toekomstig onderzoek.

2 Dataset en dataverzameling

Installatiemonitor maakt gebruik van verschillende databronnen om inzicht te krijgen in het energiegebruik van woningen met een warmtepomp. De basis van de dataset bestaat uit slimme meterdata van deelnemende woningen. Deze data wordt aangevuld met informatie over het weer, de woningen, installaties en bewoners.

Door deze databronnen te combineren kan het energiegebruik van woningen worden geanalyseerd en kunnen de prestaties van warmtepompen in de praktijk worden bepaald.

2.1 Aanmelding en deelname

Deelnemers aan Installatiemonitor worden geworven via de subsidieaanvraag voor de Investeringssubsidie duurzame energie en energiebesparing (ISDE). Na de aanvraag van subsidie voor een warmtepomp ontvangen geselecteerde bewoners een uitnodiging om deel te nemen aan Installatiemonitor.

Wanneer bewoners besluiten deel te nemen, melden zij zich online aan voor het onderzoek. Tijdens deze aanmelding wordt toestemming gevraagd voor het uitlezen van de slimme meterdata. Omdat BDH een Onafhankelijke Diensten Aanbieder (ODA) is kan deze data vervolgens bij Energie Data Service Nederland (EDSN) opgehaald worden. Daarnaast vullen deelnemers een korte vragenlijst in over kenmerken van de woning en de verwarmingsinstallatie. Deze informatie wordt gebruikt om woningen te categoriseren en om verschillen in prestaties tussen woningen te kunnen analyseren.

2.2 Databronnen

Binnen Installatiemonitor wordt gebruikgemaakt van verschillende databronnen:

Slimme meterdata

De belangrijkste databron is het energieverbruik dat wordt geregistreerd door de slimme meter in woningen. De P4 data wordt uitgelezen voor het Installatiemonitor onderzoek. Deze data vormt de basis voor de analyse van het energiegebruik.

Vragenlijsten

Bij de aanmelding vullen deelnemers een vragenlijst in met informatie over de woning en de verwarmingsinstallatie.

Registratiegegevens

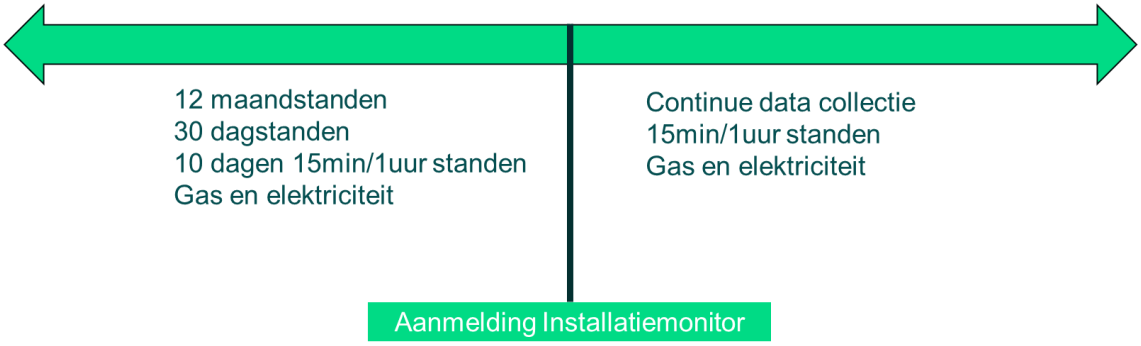
Aanvullende informatie over woningen wordt verkregen uit externe databronnen, zoals de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG) en energielabeldata.

Weerdata

Voor de analyse van energiegebruik wordt gebruikgemaakt van weergegevens van het KNMI.

Door deze verschillende databronnen te combineren ontstaat een dataset die inzicht geeft in zowel het energiegebruik als de kenmerken van de woningen.

2.3 Slimme meterdata



Figuur 2-1: Overzicht van beschikbare slimme meterdata voor Installatiemonitor

Voor Installatiemonitor wordt gebruikgemaakt van data uit de slimme meter van woningen. De slimme meter registreert het totale elektriciteitsverbruik en het totale aardgasverbruik van een woning.

De elektriciteitsdata is beschikbaar op kwartierbasis, terwijl gasverbruik op uurbasis beschikbaar is. Hierdoor kan het energiegebruik van woningen met een relatief hoge tijdsresolutie worden geanalyseerd.

In Installatiemonitor wordt uitsluitend gebruikgemaakt van data die via de slimme meter beschikbaar is. Er wordt geen extra meetapparatuur in woningen geplaatst. Hierdoor is het mogelijk om op grote schaal data te verzamelen zonder ingrepen in de woning.

De slimme meter registreert alleen het totale energieverbruik van een woning. Het energiegebruik van afzonderlijke apparaten, zoals warmtepompen, wordt niet direct gemeten. Daarom worden analysemethoden toegepast om het totale energieverbruik op te splitsen in verschillende componenten. Deze methode wordt verder uitgelegd in hoofdstuk 4.

2.4 Aanvullende databronnen

Naast de slimme meterdata wordt aanvullende informatie over woningen gebruikt om de analyses te verbeteren.

Bij de aanmelding voor Installatiemonitor geven deelnemers informatie over onder andere:

- woningtype
- bouwjaar
- aantal bewoners
- type warmtepomp
- Installatiedatum warmtepomp
- afgiftesysteem
- aanwezigheid van zonnepanelen
- aanwezigheid van een elektrische auto
- thermostaatinstellingen.

Daarnaast wordt gebruikgemaakt van externe databronnen. Via de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG) wordt informatie verkregen over kenmerken van woningen, zoals het bouwjaar en de gebruiksfunctie. Ook worden energielabelgegevens gebruikt om inzicht te krijgen in de energetische kwaliteit van woningen.

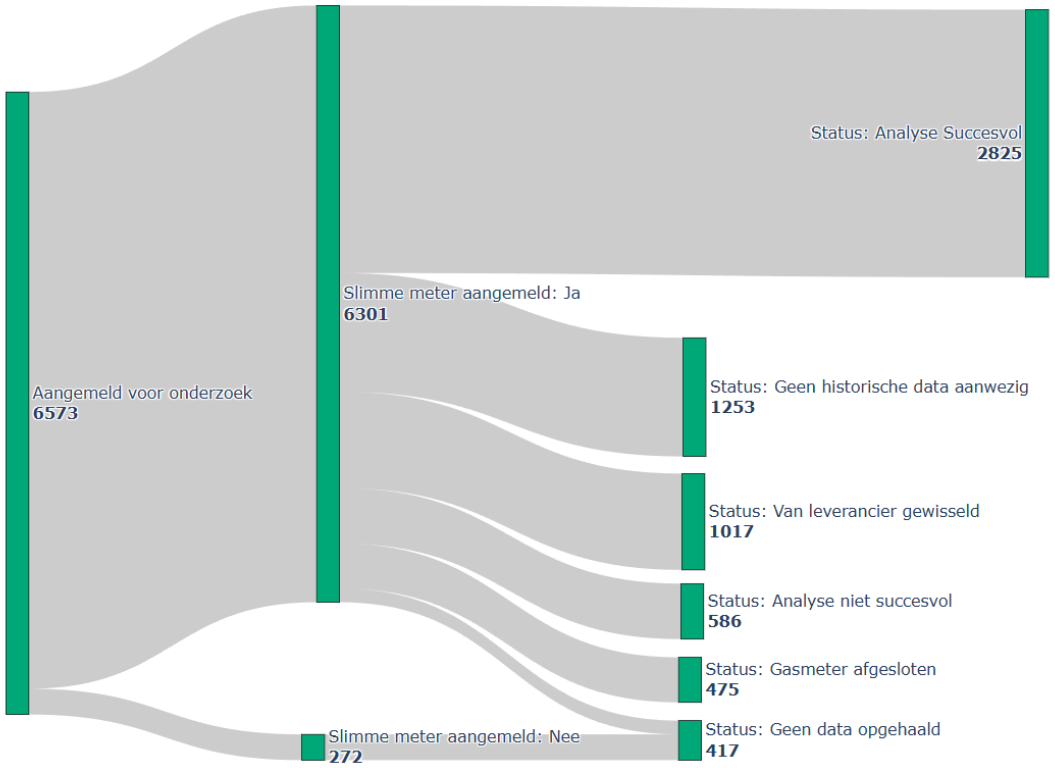
Voor de analyse van energiegebruik wordt daarnaast gebruikgemaakt van weerdata van het KNMI.

2.5 Datakwaliteit

Voor Installatiemonitor hebben duizenden huishoudens zich aangemeld voor deelname aan het onderzoek. Niet alle aanmeldingen kunnen echter worden gebruikt voor analyse. In sommige gevallen ontbreekt voldoende meetdata of blijkt de datakwaliteit onvoldoende.

Voor een betrouwbare analyse is het bijvoorbeeld noodzakelijk dat voldoende historische energiegegevens beschikbaar zijn van vóór de installatie van de warmtepomp. Deze gegevens worden gebruikt om een referentieprofiel van de woning te bepalen. Daarnaast kan het voorkomen dat het uitlezen van slimme-meterdata niet mogelijk is, bijvoorbeeld doordat bewoners van energieleverancier wisselen of doordat de toestemming voor datagebruik wordt ingetrokken.

Na controle van de datakwaliteit blijft een subset van woningen over waarvoor een volledige analyse kan worden uitgevoerd. Deze woningen vormen de basis voor de analyses in dit rapport.



Figuur 2-2: Overzicht van de datakwaliteit en selectie van woningen binnen Installatiemonitor. De figuur toont hoeveel aanmeldingen uiteindelijk leiden tot een succesvolle analyse van warmtepompprestaties. Vanuit het totaal aantal aangemelde woningen worden verschillende subsets onderscheiden afhankelijk van de beschikbaarheid en kwaliteit van de data.
De verschillende labels in de figuur hebben de volgende betekenis:
Analyse succesvol
Woningen waarvoor voldoende data beschikbaar is en waarvoor de volledige Installatiemonitor-analyse succesvol is uitgevoerd.
Analyse niet succesvol
Woningen waarvoor wel data beschikbaar is, maar waarbij de analyse niet succesvol kon worden afgerond. Dit kan bijvoorbeeld komen door sterk wisselend stookgedrag of grote veranderingen in de woning, zoals het uitschakelen van de warmtepomp of ingrijpende renovaties.
Van leverancier gewisseld
Woningen waarvoor het ophalen van slimme-meterdata is gestopt doordat bewoners van energieleverancier zijn veranderd of de toestemming voor datagebruik hebben ingetrokken.
Geen historische data aanwezig
Woningen die pas na installatie van de warmtepomp zijn aangemeld voor Installatiemonitor, waardoor onvoldoende historische energiegegevens beschikbaar zijn om een referentieprofiel van de woning te bepalen.
Gasmeter afgesloten
Woningen waarbij de gasmeter is verwijderd waardoor niet voldoende historische gasdata kon worden verzameld. Dit komt met name voor bij all-electric warmtepompen waar de gasmeter is afgesloten voordat gestart wordt met data ophalen.
Geen data opgehaald
Woningen waarbij het ophalen van slimme-meterdata niet kon worden gestart, bijvoorbeeld door een onjuiste slimme-metercode of ontbrekende toestemming.

Voor de validatie van de warmtepompanalyse wordt daarnaast gebruikgemaakt van data uit het Demoproject Hybride. In dit project zijn in woningen directe metingen uitgevoerd aan warmtepompinstallaties, waaronder het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp en de geleverde warmte. Deze metingen maken het mogelijk om de resultaten van de Installatiemonitor-analyse te vergelijken met gemeten prestaties. Ook de zonnestroomproductie en het elektrisch laden van voertuigen is gevalideerd. Voor de uitwerking van de validatie van de analysemethode zie hoofdstuk 4

3 Populatie van Installatiemonitor deelnemers

Het doel van Installatiemonitor is het in kaart brengen van de praktijkprestaties van hybride en all-electric warmtepompen in bestaande woningen. In totaal hebben 6.307 huishoudens zich tussen 2023 en 2026 aangemeld voor het onderzoek. Daarvan beschikken 4.707 woningen over een hybride warmtepomp (75%) en 1.600 woningen over een all-electric warmtepomp (25%).

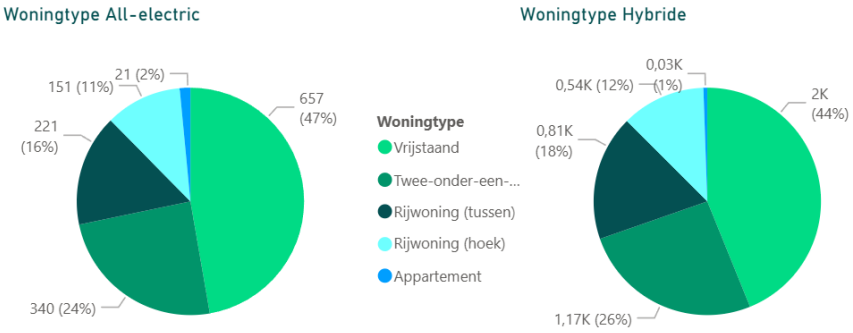
De dataset bevat woningen uit verschillende bouwperioden en met uiteenlopende woningkenmerken, installaties en bewonerssamenstellingen. Hierdoor ontstaat een breed beeld van woningen waarin warmtepompen in de praktijk worden toegepast.

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste kenmerken van de woningen, huishoudens en installaties in de dataset beschreven. Deze beschrijving geeft context voor de analyse van warmtepompprestaties in de volgende hoofdstukken.

3.1 Kenmerken van de woningen

Deze paragraaf beschrijft de belangrijkste woningkenmerken binnen de Installatiemonitorpopulatie.

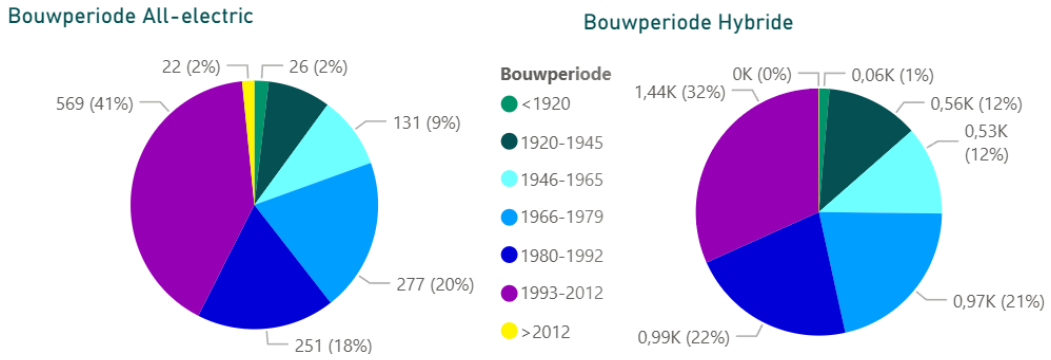
3.1.1 Woningtypen



Figuur 3-1: De verdeling van woningtypen binnen de Installatiemonitor populatie. Vrijstaande woningen en twee-onder-één-kapwoningen zijn relatief sterk vertegenwoordigd, terwijl appartementen beperkt voorkomen. Dit wijkt af van de Nederlandse woningvoorraad, waar appartementen een groter aandeel hebben. De relatief grote aanwezigheid van vrijstaande en grotere woningen heeft invloed op de gemiddelde warmtevraag en het energiegebruik binnen de dataset.

3.1.2 Bouwperioden

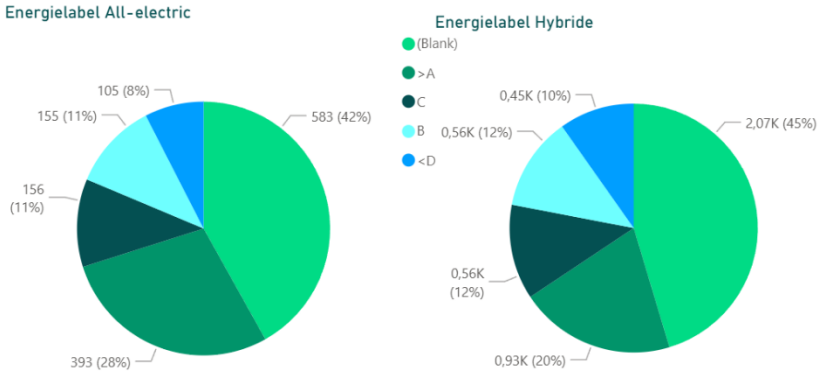
De selectie van deelnemers richtte zich op woningen gebouwd tussen 1920 en 2012. Woningen van vóór 1920 zijn divers en weinig representatief voor de gehele periode, terwijl woningen van na 2012 qua isolatieniveau dicht bij nieuwbouw liggen.



Figuur 3-2: Verdeling van woningen naar bouwperiode voor hybride en all-electric warmtepompen. De dataset bevat woningen uit een brede range aan bouwperioden, met een redelijk gelijkmatige verdeling. Woningen met een all-electric warmtepomp zijn gemiddeld iets recenter gebouwd dan woningen met een hybride systeem.

3.1.3 Energielabels

Voor ruim 40% van de woningen in de dataset is geen energielabel beschikbaar[1]. Voor de woningen waarbij dit wel bekend is, kan een vergelijking worden gemaakt tussen hybride en all-electric systemen.

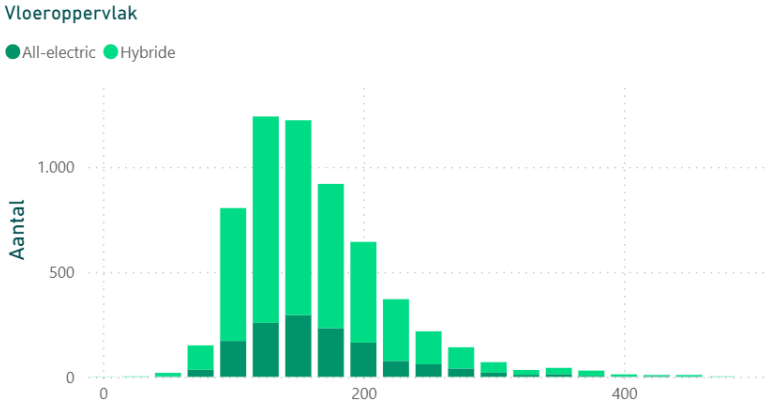


Figuur 3-3: Verdeling van energielabels voor Installatiemonitor woningen. Voor een groot deel van de woningen ontbreekt energielabel informatie. Binnen de woningen waar wel labelinformatie beschikbaar is, komt label A of hoger relatief vaak voor.

3.1.4 Woninggrootte

De woningen in de Installatiemonitorpopulatie zijn gemiddeld groter dan de Nederlandse woningvoorraad. Het gemiddelde vloeroppervlak bedraagt circa 175 m^2, terwijl het landelijke gemiddelde rond 120 m^2 ligt.

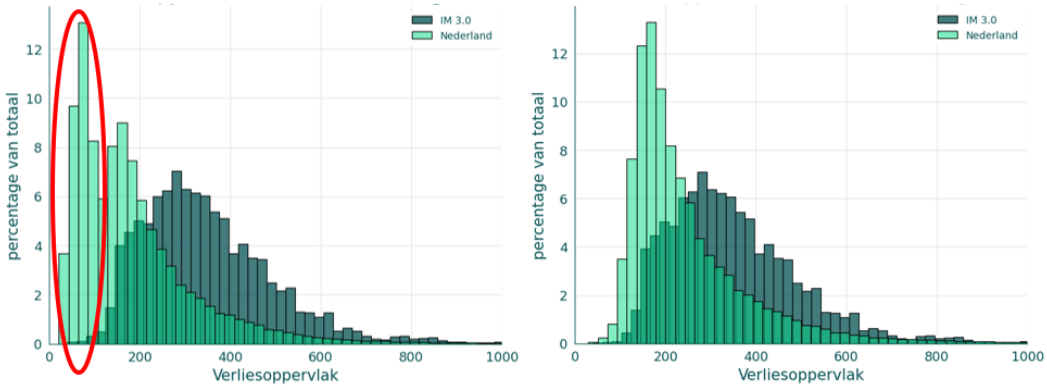
[1] De definitieve energielabels worden via de landelijke database **EP-online** verzameld.



Figuur 3-4: Verdeling van het vloeroppervlak van woningen in de Installatiemonitorpopulatie. Het gemiddelde vloeroppervlak bedraagt circa 175 m², wat aanzienlijk groter is dan het Nederlandse gemiddelde van ongeveer 120 m². De dataset bevat daardoor relatief veel grotere woningen.

3.1.5 Verliesoppervlak

Voor het vergelijken van woningen met verschillende vormen en groottes wordt gebruikgemaakt van het verliesoppervlak: het deel van de gebouwschil dat grenst aan buitenlucht of onverwarmde ruimtes. Zie Bijlage K voor het omrekenen van vloeroppervlak naar verliesoppervlak.



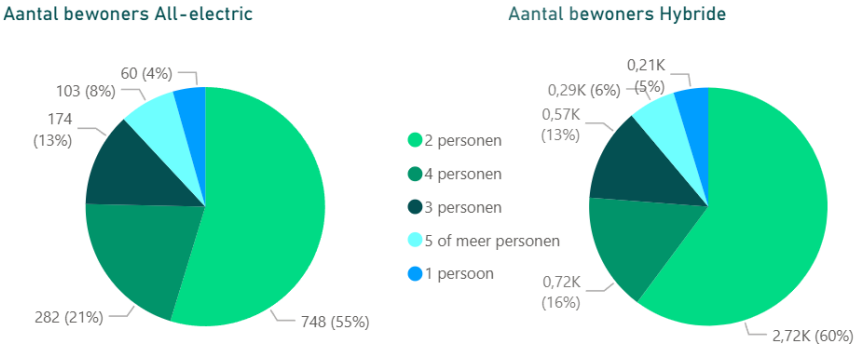
Figuur 3-5 Vergelijking van het verliesoppervlak van woningen in de Installatiemonitorpopulatie met de Nederlandse woningvoorraad. Nederlandse woningvoorraad inclusief appartementen (a) en exclusief appartementen (b). In de dataset ontbreken met name woningen met kleine verliesoppervlakken, die in de praktijk vaak appartementen zijn. Dit verklaart een deel van het verschil tussen de dataset en de Nederlandse woningvoorraad. De vloeroppervlakken waar deze grafieken op gebaseerd zijn komen uit de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG).

3.2 Kenmerken van huishoudens

Naast woningkenmerken is ook gekeken naar kenmerken van de huishoudens zoals aantal bewoners en huishoudelijk elektriciteitsverbruik.

3.2.1 Huishoudgrootte

Het gemiddelde aantal bewoners per woning bedraagt circa 2,6 personen. Het grootste deel van de huishoudens bestaat uit twee bewoners.



Figuur 3-6: Verdeling van het aantal bewoners per woning voor hybride en all-electric systemen. Het gemiddelde aantal bewoners bedraagt circa 2,6 personen per woning. De meeste huishoudens bestaan uit twee bewoners.

3.2.2 Huishoudelijk elektriciteitsverbruik

Het gemiddelde huishoudelijke elektriciteitsverbruik (exclusief warmtepomp, zonnepanelen en elektrisch laden) bedraagt ongeveer 3.600 kWh per jaar. Dit ligt hoger dan het landelijke gemiddelde voor huishoudens met twee of meer bewoners. Zonder teruglevering maar inclusief eventuele warmtepomp of elektrische auto ligt dat rond 2.600 kWh per jaar[2].

Een deel van het huishoudelijke elektriciteitsverbruik hangt samen met elektrisch koken. Ongeveer 30% van de deelnemers kookt nog op gas, in tegenstelling tot 65% gemiddeld voor Nederland.

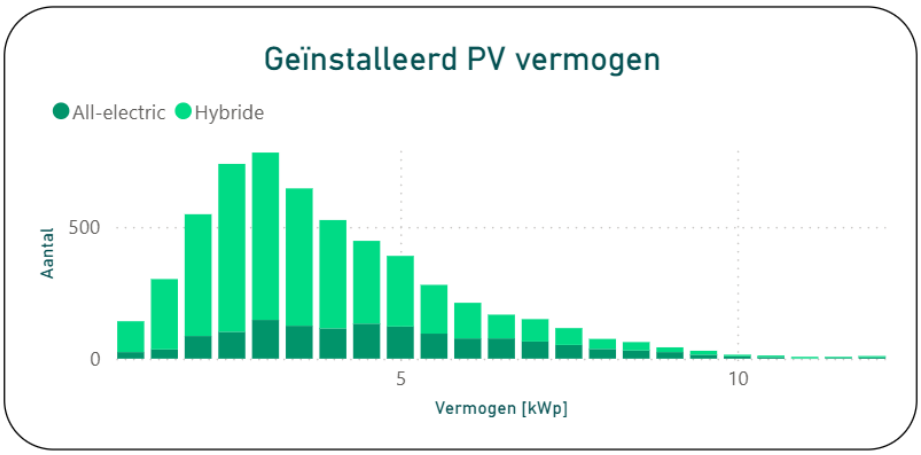
[2] Centraal Bureau voor de Statistiek:
https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/81528NED/table?fromstatweb

3.3 Aanwezige installaties

Veel woningen in de Installatiemonitorpopulatie beschikken naast een warmtepomp ook over andere elektrische technologieën, zoals zonnepanelen en elektrische voertuigen. Door analyse van Slimme Meterdata kunnen ook de eigenschappen van die installaties worden afgeleid.

3.3.1 Zonnepanelen

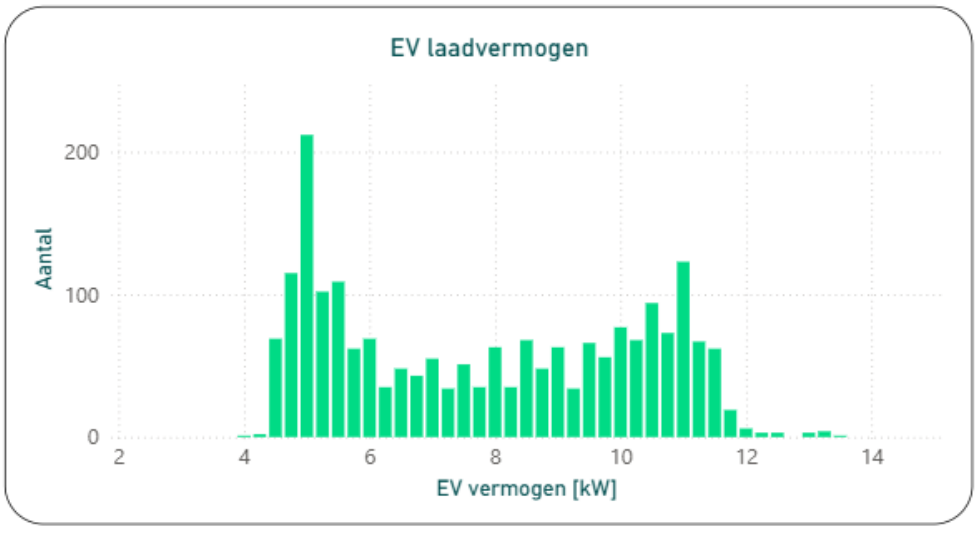
Zonnepanelen zijn in de dataset zeer sterk vertegenwoordigd. Het overgrote deel van de deelnemers beschikt over een PV-installatie.



Figuur 3-7: Verdeling van het geïnstalleerde PV-vermogen in de Installatiemonitorpopulatie. Ruim 95% van de woningen beschikt over zonnepanelen. Het gemiddelde geïnstalleerde vermogen bedraagt circa 5 kWp, wat aanzienlijk hoger ligt dan het Nederlandse gemiddelde van 4 kWp volgens het CBS (2023). De vermogens in de grafiek hierboven zijn afgeleid uit Slimme Meterdata

3.3.2 Elektrische voertuigen

Een aanzienlijk deel van de deelnemers beschikt over een elektrische auto die thuis wordt geladen.



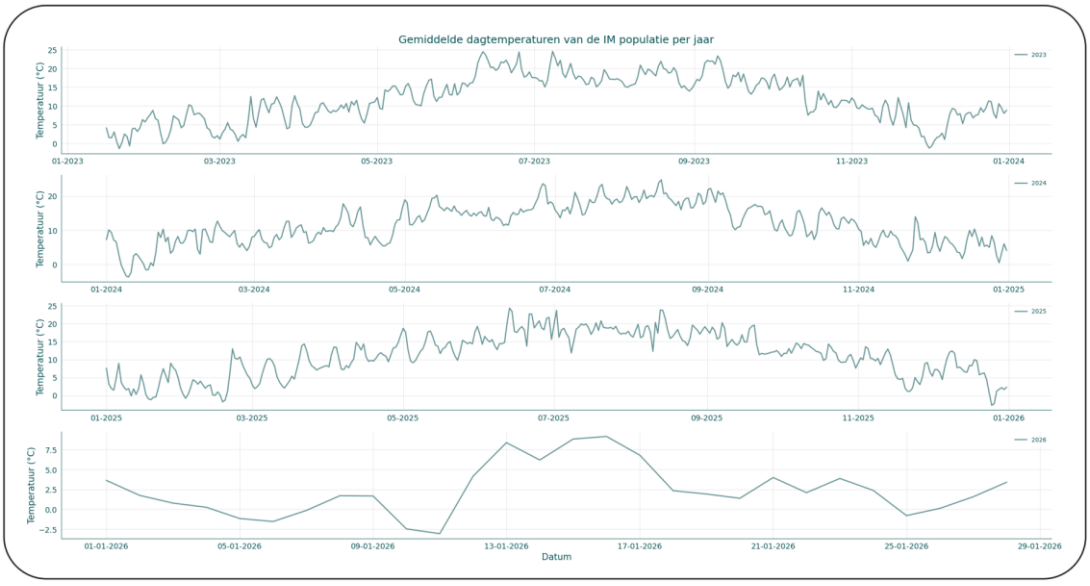
Figuur 3-8: Verdeling van laadvermogens van elektrische voertuigen bij woningen met een thuislaadpunt. Ongeveer 27% van de deelnemers beschikt over een elektrische auto die thuis wordt geladen. Dit aandeel ligt aanzienlijk hoger dan het landelijke

gemiddelde van ongeveer 5-6%. Dit landelijk gemiddelde is gebaseerd op het aandeel huishoudens met een elektrische auto (7-8%) en studies waaruit blijkt dat het merendeel van de laadsessies thuis (70-80%) plaatsvindt. De grafiek geeft de gemiddelde laadvermogens van de EV welke afgeleid zijn uit Slimme Meterdata.

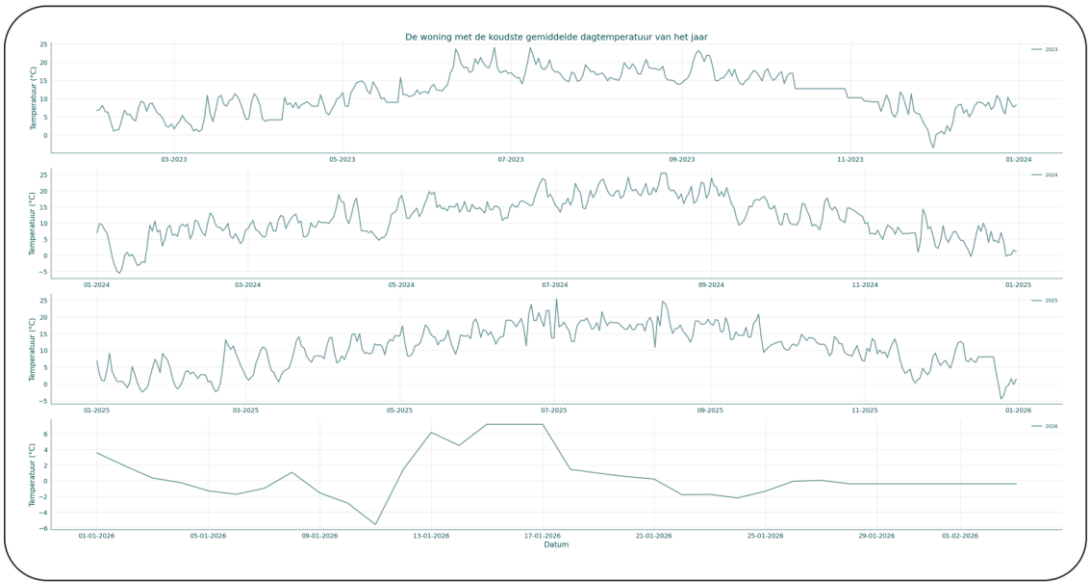
3.4 Klimaat van het meetjaar

De data waarop Installatiemonitor is gebaseerd is verzameld tussen januari 2023 en januari 2026. Gedurende deze jaren is het niet erg koud geweest.

De gemiddelde buitentemperatuur van de gehele populatie is maar één dag onder de -2,5° C geweest (Figuur 3-9). Dat betekend dat de prestaties van warmtepompen tot deze temperaturen goed in kaart te brengen zijn. Ook koudere dagen zijn voorgekomen in delen van het land zie bijvoorbeeld Figuur 3-10: De gemiddelde dagtemperatuur voor de woning met de koudste dag van het jaar voor elk van de 4 kalenderjaren. Zowel januari 2024 als januari 2026 is het bij tenminste één woning een dag lang gemiddeld -5,5° C geweest.. Daarmee kan het temperatuurbereik van de analyse worden opgerekt tot en met -5°C.



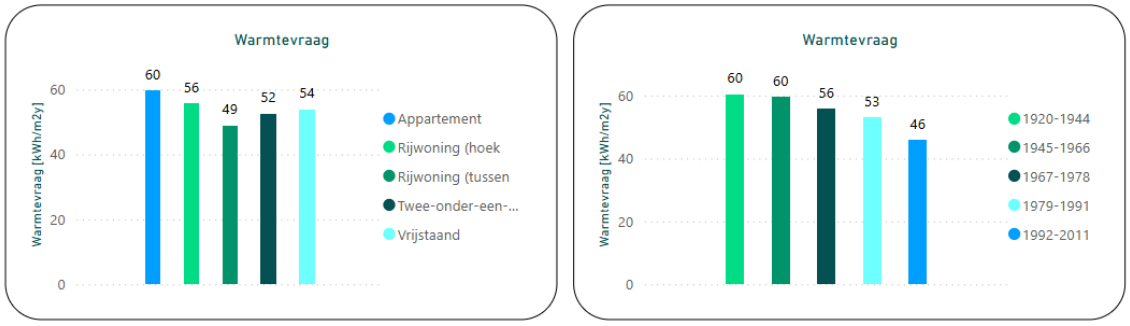
Figuur 3-9: De gemiddelde dagtemperatuur van de Installatiemonitorpopulatie van de afgelopen 3 jaren. De laagste gemiddelde dagtemperatuur over alle woningen is net onder de -2,5° C. Er zijn dus geen extreem koude dagen voorgekomen in deze periode.



Figuur 3-10: De gemiddelde dagtemperatuur voor de woning met de koudste dag van het jaar voor elk van de 4 kalenderjaren. Zowel januari 2024 als januari 2026 is het bij tenminste één woning een dag lang gemiddeld -5,5° C geweest.

3.5 Warmtevraag

De warmtevraag van woningen in de dataset kan worden bepaald op basis van het historische energiegebruik en woningkenmerken.

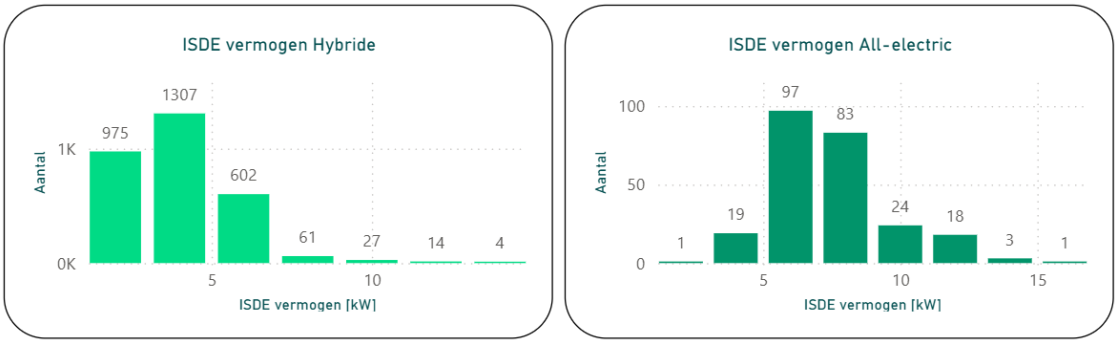


Figuur 3-11: a) Warmtevraag van woningen uitgesplitst naar woningtype (a) en bouwperiode (b). De gemiddelde warmtevraag ligt rond de 50 kWh thermisch per m^2 per jaar en varieert slechts beperkt tussen verschillende bouwperioden en woningtypen. Dit suggereert dat veel oudere woningen in de dataset zijn gerenoveerd tot een vergelijkbaar isolatieniveau.

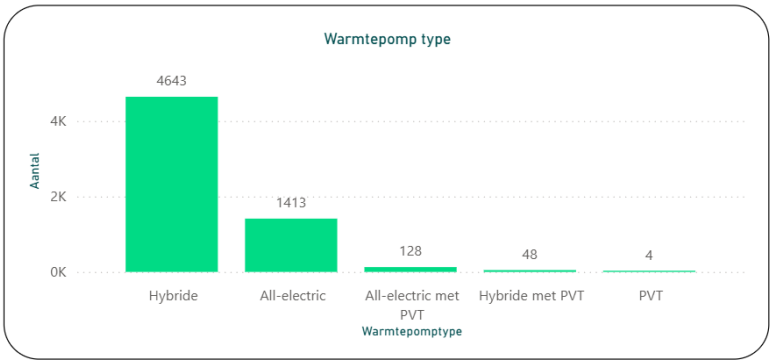
3.6 Kenmerken van de warmtepompen

In de Installatiemonitor populatie komen verschillende soorten warmtepompen voor. Hieronder zijn de vermogens van zowel hybride- als all-electric warmtepompen gegeven.

Ook is in Figuur 3-13 een overzicht te zien van het type warmtepompen dat aanwezig is in dit onderzoek.



Figuur 3-12: ISDE bivalente vermogens van a) Hybride en b) All-electric warmtepompen. Hybride warmtepompen hebben gemiddeld een vermogen van 4.6kW dat is lager dan het gemiddeld vermogen van all-electric warmtepompen welke 7.8 kW is.



Figuur 3-13: Soorten warmtepompen in de Installatiemonitor populatie. Zoals opgegeven in aanmeldformulier.

3.7 Afgiftesystemen

In de onderzochte woningen worden verschillende afgiftesystemen toegepast, zoals radiatoren, vloerverwarming of een combinatie daarvan.

Figuur 3-14: Verdeling van afgiftesystemen in woningen met hybride en all-electric warmtepompen. In veel woningen wordt een combinatie van radiatoren en vloerverwarming toegepast. Bij hybride systemen komen radiatoren relatief vaker voor dan bij all-electric system. De categorie vloerverwarming+ zijn woningen waar naast vloerverwarming ook radiatoren en convectoren aanwezig zijn.

3.8 Representativiteit van de dataset

Hoewel de dataset een brede variatie aan woningen bevat, vormt de populatie geen volledige afspiegeling van de Nederlandse woningvoorraad. Het is daarentegen een goede afspiegeling van de populatie in Nederland die de afgelopen drie jaar een warmtepomp heeft gekocht.

Installatiemonitordeelnemers zijn relatief vaak voorlopers in de energietransitie. Zij beschikken vaker over technologieën zoals warmtepompen, zonnepanelen en elektrische voertuigen dan gemiddeld in Nederland.

Daarnaast bevat de dataset relatief veel grotere eengezinswoningen, terwijl appartementen beperkt vertegenwoordigd zijn. Deze kenmerken moeten worden meegenomen bij de interpretatie van de resultaten in de volgende hoofdstukken.

3.9 Samenvatting van de populatie

De Installatiemonitorpopulatie bestaat voornamelijk uit grotere eengezinswoningen, vaak vrijstaand of twee-onder-één-kap. Appartementen zijn beperkt vertegenwoordigd. De woningen zijn gemiddeld groter dan de Nederlandse woningvoorraad en beschikken relatief vaak over aanvullende elektrische technologieën zoals zonnepanelen en elektrische voertuigen.

Deze kenmerken passen bij huishoudens die vooroplopen in de energietransitie en een warmtepomp installeren. Tegelijkertijd betekent dit dat de dataset niet volledig representatief is voor alle Nederlandse woningen. Bij het interpreteren van de resultaten in de volgende hoofdstukken moet hiermee rekening worden gehouden.

4 Model & Validatie

4.1 Introductie

Figuur 4-1: Schematische weergave van de analyse van slimme-meterdata binnen Installatiemonitor. Het totale elektriciteitsverbruik van een woning, zoals geregistreerd door de slimme meter, wordt met behulp van analysemethoden opgesplitst in verschillende componenten. Eerst wordt de zonnestroomproductie van aanwezige PV-installaties bepaald. Vervolgens wordt het elektriciteitsverbruik voor het laden van elektrische voertuigen geïdentificeerd. Na correctie voor deze componenten blijft een elektriciteitsprofiel over waarin het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp kan worden bepaald.
De verschillende stappen in deze analyseketen worden in de volgende paragrafen afzonderlijk gevalideerd op basis van onafhankelijke meetdata.

Binnen Installatiemonitor wordt gebruikgemaakt van slimme-meterdata om het energiegebruik van woningen met een warmtepomp te analyseren. De slimme meter registreert echter alleen het totale elektriciteitsverbruik en gasverbruik van een woning. Het energiegebruik van afzonderlijke installaties, zoals zonnepanelen, elektrische voertuigen en warmtepompen, wordt niet direct gemeten.

Om deze componenten toch te kunnen analyseren wordt een disaggregatiemethode toegepast. Hierbij wordt het totale elektriciteitsverbruik van een woning opgesplitst in verschillende onderdelen, waaronder zonnestroomproductie, elektrisch laden en het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp, en eventueel maken van tapwater.

Omdat deze componenten elkaar beïnvloeden is het belangrijk om de analysemethode zorgvuldig te valideren. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste onderdelen van de analyse afzonderlijk getoetst door de modelresultaten te vergelijken met onafhankelijke meetdata.

De validatie richt zich op drie onderdelen van de analyseketen:

- de bepaling van zonnestroomproductie

- de detectie van elektrisch laden
- de bepaling van het elektriciteitsverbruik en de prestaties van warmtepompen

De werkwijze van deze analyse is schematisch weergegeven in Figuur 4-1.

In de volgende paragrafen worden deze onderdelen afzonderlijk gevalideerd.

4.2 PV-model prestaties

De eerste stap in de analyseketen is het bepalen van de elektriciteitsproductie door zonnepanelen. Zonnestroom heeft een herkenbaar profiel dat wordt bepaald door de instraling van zonlicht en de eigenschappen van het PV-systeem. Door dit profiel te reconstrueren kan de invloed van zonnestroom worden gescheiden van het totale elektriciteitsverbruik van een woning.

Het PV-disaggregatiealgoritme maakt uitsluitend gebruik van gegevens die op afstand beschikbaar zijn, zonder de installatie van aanvullende sensoren in de woning. Hierdoor is het algoritme breed toepasbaar en schaalbaar voor grootschalige analyse van slimme-meterdata.

Het model combineert drie databronnen:

• KNMI-weerdata voor zoninstraling
• locatiegegevens van de woning op postcode-4 niveau
• slimme-meterdata van het elektriciteitsverbruik van de woning

Op basis van deze gegevens wordt zowel de tijdsafhankelijke zonnestroomproductie als een aantal eigenschappen van het PV-systeem berekend. Het gaat daarbij om:

• het nominale vermogen van de installatie (kWp)
• de oriëntatie van de panelen
• de hellingshoek van de panelen

De berekende zonnestroomproductie wordt vervolgens vergeleken met het gemeten elektriciteitsprofiel van de woning. In perioden waarin de elektriciteitsproductie groter is dan het huishoudelijk verbruik kan teruglevering aan het net optreden. Deze informatie wordt gebruikt om het model te kalibreren en het profiel van de zonnestroomproductie te reconstrueren. Een uitgebreide analyse van de zelfconsumptie is te vinden in Bijlage I.

4.2.1 Aannames en vereisten

Voor een betrouwbare disaggregatie van zonnestroom gelden enkele randvoorwaarden.

Ten eerste is voldoende meetdata nodig om karakteristieke patronen van zonne-opwek te herkennen. Het algoritme vereist minimaal drie maanden met voldoende zonnige dagen, bij voorkeur in de periode mei tot en met augustus. In deze maanden is de PV-opwek hoog genoeg om duidelijke patronen in de slimme-meterdata te onderscheiden.

Daarnaast is het belangrijk dat er sprake is van teruglevering aan het elektriciteitsnet. Zonder teruglevering is het onderscheid tussen huishoudelijk elektriciteitsverbruik en zonnestroomproductie beperkt mogelijk.

Ten slotte geldt dat kleine PV-systemen een hogere onzekerheid kennen. Bij installaties kleiner dan circa 1,5 kWp is de verhouding tussen PV-opwek en huishoudelijk elektriciteitsverbruik klein, waardoor het signaal minder goed te onderscheiden is.

4.2.2 Validatie

De betrouwbaarheid van het algoritme is onderzocht door de resultaten te vergelijken met omvormerdata van een groep testwoningen. De omvormerdata geeft een betrouwbare meting van de totale zonnestroomproductie van een installatie.

De validatie richt zich op drie aspecten:

- de totale jaarproductie
- de geschatte systeemspecificaties
- het profiel van de zonnestroomproductie binnen de dag

4.2.3 Jaartotalen

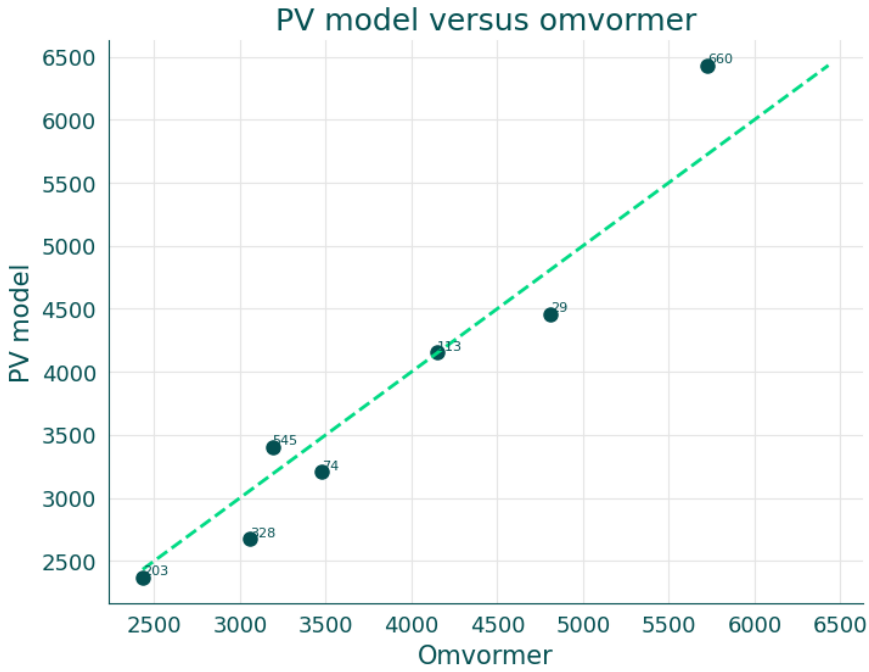
Voor de validatie is een jaar aan beschikbare data gebruikt waarvoor zowel slimme-meterdata als omvormerdata beschikbaar was.

Voor de testgroep berekent het model een gemiddelde jaarproductie van 3794 kWh, terwijl de gemeten omvormerdata een gemiddelde opwek van 3835 kWh laat zien. De gemiddelde absolute afwijking op het jaartotaal bedraagt daarmee ongeveer ±6%.

De strengste maat voor afwijking is de absolute fout op uurniveau. Hierbij wordt per uur de absolute afwijking tussen model en meting bepaald. Voor de testgroep bedraagt deze gemiddelde afwijking 18,7%.

Woning-id	Jaar productie Omvormer (kWh)	Jaar productie PV model (kWh)	Netto jaarlijkse afwijking (kWh)	Netto jaarlijkse fout (%)	Totale absolute fout per uur (%)
113	4151	4084	-67	1.6	17.6
74	3478	3253	-225	6.5	15.0
29	4809	4447	-362	7.5	19.9
545	3189	3228	+39	-1.2	20.3
203	2433	2462	+29	-1.2	16.2
660	5726	6413	+687	-12.0	22.9
328	3056	2673	-383	12.5	-
Gemiddeld	**3835**	**3794**	**+256**	**6.1%**	**18.7 %**

Tabel 1: Resultaten van validatie PV algoritme op jaartotalen. De grote afwijking bij woning 660 wordt veroorzaakt doordat de panelen zuidoost georiënteerd liggen op een plat dak. Deze panelen staan zo dicht op elkaar dat ze elkaar in de schaduw leggen. De grote afwijking bij woning 328 wordt veroorzaakt doordat de panelen 3 verschillende oriëntaties op een plat dak hebben.



Figuur 4-2: De jaartotalen van PV opwek vanuit de omvormer tegen de jaartotalen van PV opwek vanuit het disaggregatiealgoritme. De groene stippellijn geeft een perfecte match weer.

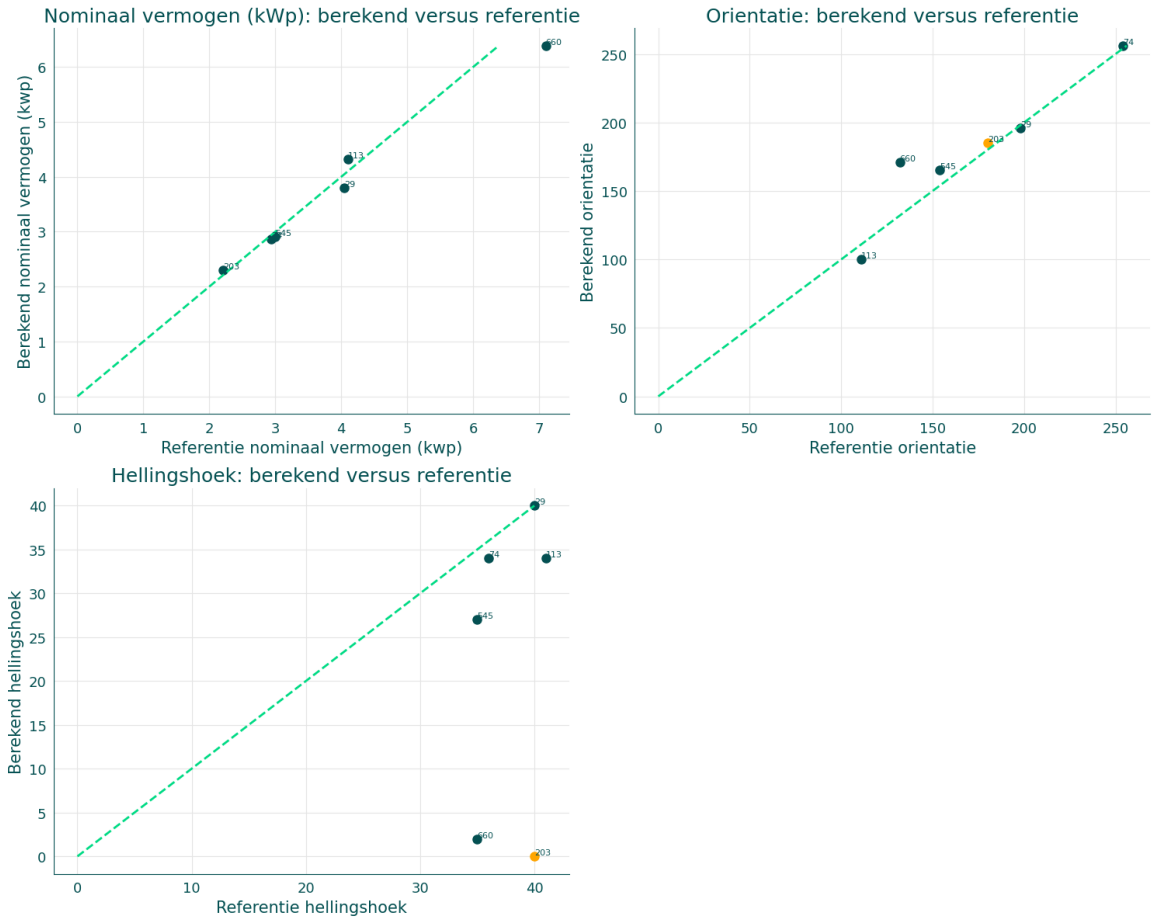
Systeemspecificaties

Naast de totale energieproductie zijn ook de geschatte systeemeigenschappen gevalideerd. Hiervoor zijn de berekende waarden vergeleken met installatiegegevens uit omvormers en satellietbeelden.

De gemiddelde absolute afwijking bedraagt:

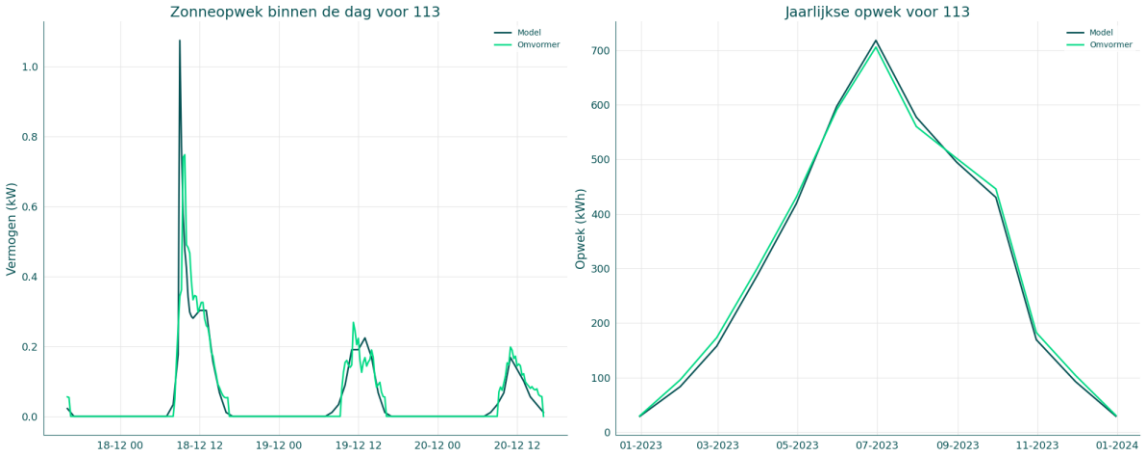
- 0,2 kWp voor het nominale vermogen (ongeveer 5%)
- 12 graden voor de oriëntatie van de panelen
- 15 graden voor de hellingshoek

De grotere afwijking bij hellingshoek komt mede doordat deze parameter vaak moeilijk nauwkeurig te bepalen is op basis van externe gegevens.



Figuur 4-3: Woning 203 (oranje) heeft een oost-west (90/270 graden) ligging met een hellingshoek van 40 graden. Dit betekent dat er niet 1 oriëntatie is die precies overeenkomt. Het resultaat van het algoritme is een oriëntatie en hellingshoek welke een vergelijkbaar zon opwek-profiel geeft met de referentie. Woning 660 heeft de panelen zo dicht op elkaar liggen dat ze elkaar in de schaduw houden. Het algoritme berekend hierdoor een kleinere hellingshoek dan de referentie. Wederom leidt dit tot een vergelijkbaar profiel.

Dag- en jaarprofielen



Figuur 4-4: Vergelijking van het gemodelleerde en gemeten profiel van zonnestroomproductie. (a) Gemiddeld uurlijks profiel van de PV-opwek over de dag en (b) gemiddelde maandelijkse opwek over het jaar. De figuren tonen dat het PV-disaggregatiemodel zowel de vorm van het dagelijkse productieprofiel als de seizoensvariatie in zonnestroomproductie goed reproduceert. Kleine afwijkingen worden voornamelijk veroorzaakt door installaties met meerdere oriëntaties of lokale schaduweffecten. Voor een kwantitatieve vergelijking van de afwijkingen wordt verwezen naar Tabel 1.

Tot slot zijn de profielen van de zonnestroomproductie over de tijd vergeleken met de omvormerdata. Deze vergelijking laat zien dat het algoritme de vorm van de dagelijkse zonne-opwek goed reproduceert.

De resterende afwijkingen worden voornamelijk veroorzaakt door specifieke installatiesituaties, zoals panelen met meerdere oriëntaties of panelen die gedeeltelijk in elkaars schaduw liggen.

De gereconstrueerde PV-opwek vormt de basis voor de verdere disaggregatie van het elektriciteitsverbruik in woningen. Na correctie voor zonnestroom kan het resterende elektriciteitsprofiel worden gebruikt om andere componenten te identificeren, zoals het laden van elektrische voertuigen en het elektriciteitsgebruik van warmtepompen.

4.3 EV-model prestaties

Na bepaling van de zonnestroomproductie wordt het resterende elektriciteitsprofiel gebruikt om het laadgedrag van elektrische voertuigen te identificeren. Het laden van een elektrisch voertuig veroorzaakt doorgaans duidelijke pieken in het elektriciteitsverbruik van een woning. Door deze pieken te analyseren kan het laadgedrag van elektrische voertuigen worden onderscheiden van andere vormen van elektriciteitsverbruik.

Het algoritme analyseert patronen in het elektriciteitsprofiel van de woning om laadbeurten te detecteren en het bijbehorende elektriciteitsverbruik te bepalen. Daarbij wordt gebruikgemaakt van de karakteristieke vermogensvraag van laadprocessen, zoals het relatief hoge en constante vermogen gedurende een laadbeurt.

Het model houdt daarnaast rekening met veranderingen in het laadgedrag van huishoudens, bijvoorbeeld wanneer een ander elektrisch voertuig wordt aangeschaft of wanneer het laadgedrag verandert.

4.3.1 Aannames en vereisten

Voor een betrouwbare detectie van laadbeurten gelden enkele randvoorwaarden.

Ten eerste moet het elektrische voertuig gedurende het jaar regelmatig thuis worden geladen. Wanneer laden alleen in een beperkte periode plaatsvindt, bijvoorbeeld uitsluitend in de winter, kan het onderscheid tussen EV-laden en andere elektrische vermogensvragen – zoals elektrische bijverwarming – moeilijker worden.

Daarnaast moet het laadvermogen voldoende groot zijn om te onderscheiden van normaal huishoudelijk elektriciteitsverbruik. Laadsessies via een standaard stopcontact worden daarom meestal niet herkend, omdat het vermogen te laag is om betrouwbaar te onderscheiden van andere apparaten.

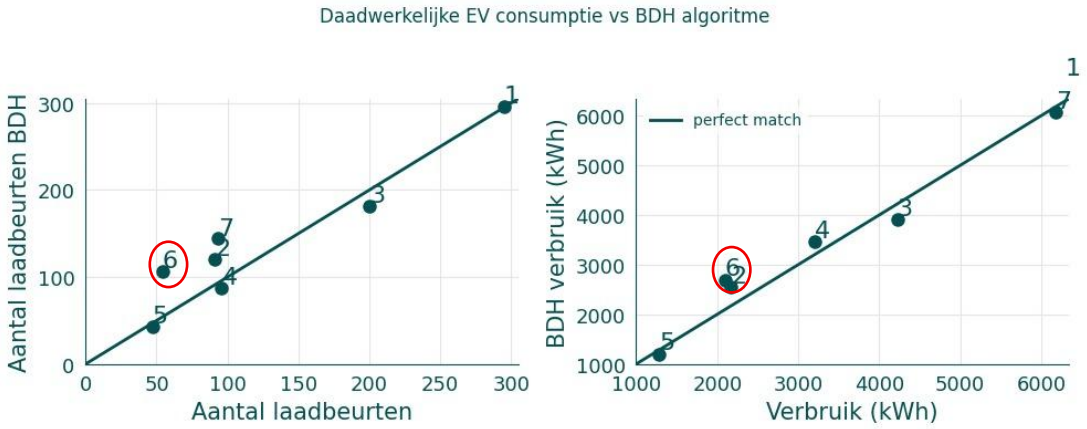
Ten slotte wordt aangenomen dat een laadbeurt minimaal 1,5 uur duurt en dat daarbij ten minste 10 kWh elektriciteit wordt geladen. Kortere of zeer kleine laadbeurten zijn moeilijk betrouwbaar te identificeren in slimme-meterdata.

4.3.2 Validatie

De prestaties van het algoritme zijn geëvalueerd door de gedetecteerde laadbeurten te vergelijken met geregistreerde laaddata van zeven testwoningen. Deze laaddata geeft een betrouwbare referentie voor het aantal laadbeurten en het totale geladen elektriciteitsverbruik.

Bij de validatie wordt gekeken naar drie aspecten:

- het aantal gedetecteerde laadbeurten
- het tijdstip van de laadbeurten
- het totale elektriciteitsverbruik van het laden



Figuur 4-5: Validatie van het EV-detectie-algoritme door vergelijking met geregistreerde laaddata. Links is het aantal gedetecteerde laadbeurten weergegeven ten opzichte van het aantal laadbeurten dat volgens de laadpaaldata daadwerkelijk heeft plaatsgevonden. Rechts is het totale elektriciteitsverbruik van het laden volgens het model vergeleken met de gemeten energie uit de laadpaaldata.
De meeste woningen liggen dicht bij de diagonaal, wat aangeeft dat het algoritme zowel het aantal laadbeurten als het totale laadverbruik redelijk nauwkeurig benadert. Eén woning vormt een duidelijke uitschieter en is in de figuur gemarkeerd. In deze woning is sprake van aanzienlijke ruis in het elektriciteitsprofiel, onder andere veroorzaakt door een pendelende warmtepomp. Deze ruis bemoeilijkt de detectie van afzonderlijke laadbeurten.

Uit de vergelijking blijkt dat het algoritme het totale elektriciteitsverbruik van het laden redelijk nauwkeurig benadert. Gemiddeld wordt het EV-verbruik met ongeveer 165 kWh overschat.

Eén woning vormt een duidelijke uitschieter in de analyse. In deze woning is veel ruis aanwezig in het elektriciteitsprofiel, mede veroorzaakt door een pendelende warmtepomp. Deze ruis bemoeilijkt de herkenning van afzonderlijke laadbeurten en leidt tot een groter aantal foutief gedetecteerde laadsessies.

Wanneer deze woning buiten beschouwing wordt gelaten, bedraagt de gemiddelde afwijking in het geschatte elektriciteitsverbruik ongeveer 94 kWh.

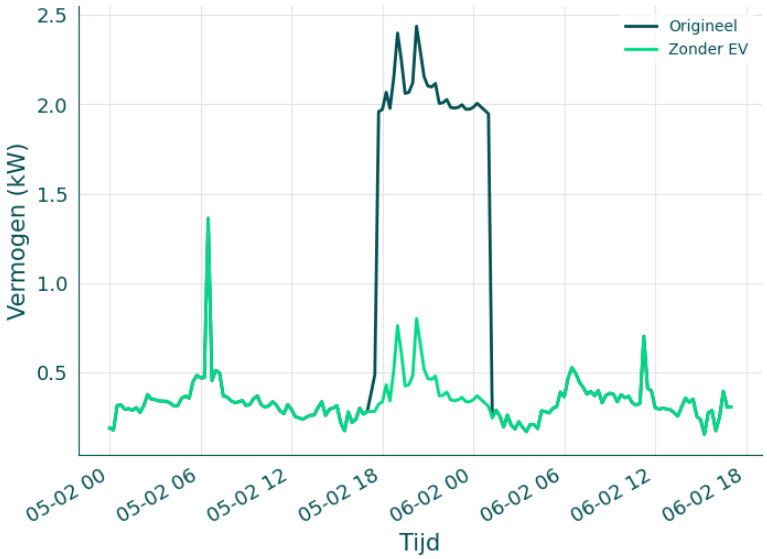
Woning	EV verbruik (kWh)	EV verbruik BDH (kWh)	Afwijking (kWh)	Afwijking (%)
1	6290	6724	-433	-6.9
2	2169	2549	-380	-17.5
3	4221	3910	311	7.3
4	3205	3461	-256	-7.9
5	1280	1203	77	6.0
6	2097	2689	-592	-28.2
7	6179	6066	113	1.8
Gemiddeld	**3634**	**3800**	**165**	**4.5**

Woning	EV verbruik (kWh)	EV verbruik BDH (kWh)	Afwijking (kWh)	Afwijking (%)
Gemiddeld zonder 6	**3890**	**3985**	**95**	**2.4**

Tabel 2: Vergelijking van het jaarlijkse elektriciteitsverbruik voor het laden van elektrische voertuigen volgens laadpaaldata en volgens het EV-detectie-algoritme.

4.3.3 Voorbeeld van een herkende laadbeurt

Om de werking van het algoritme te illustreren toont Figuur 4-6 een voorbeeld van een laadbeurt zoals die wordt herkend in de slimme-meterdata. Het laadproces is zichtbaar als een duidelijke en relatief constante vermogensvraag gedurende meerdere uren.



Figuur 4-6: Voorbeeld van een laadbeurt zoals gedetecteerd in de slimme-meterdata.
Een laadbeurt van een elektrisch voertuig is zichtbaar als een duidelijke en relatief constante vermogensvraag gedurende meerdere uren. Door deze karakteristieke vorm te herkennen kan het algoritme laadbeurten onderscheiden van andere vormen van elektriciteitsverbruik in de woning. De figuur illustreert hoe het model een laadproces identificeert binnen het totale elektriciteitsprofiel van de woning.

Na correctie voor zonnestroomproductie en elektrisch laden blijft een elektriciteitsprofiel over waarin het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp een dominante component vormt. Dit profiel vormt de basis voor de analyse van warmtepomprestaties in de volgende paragraaf.

4.4 Warmtepomp model prestaties

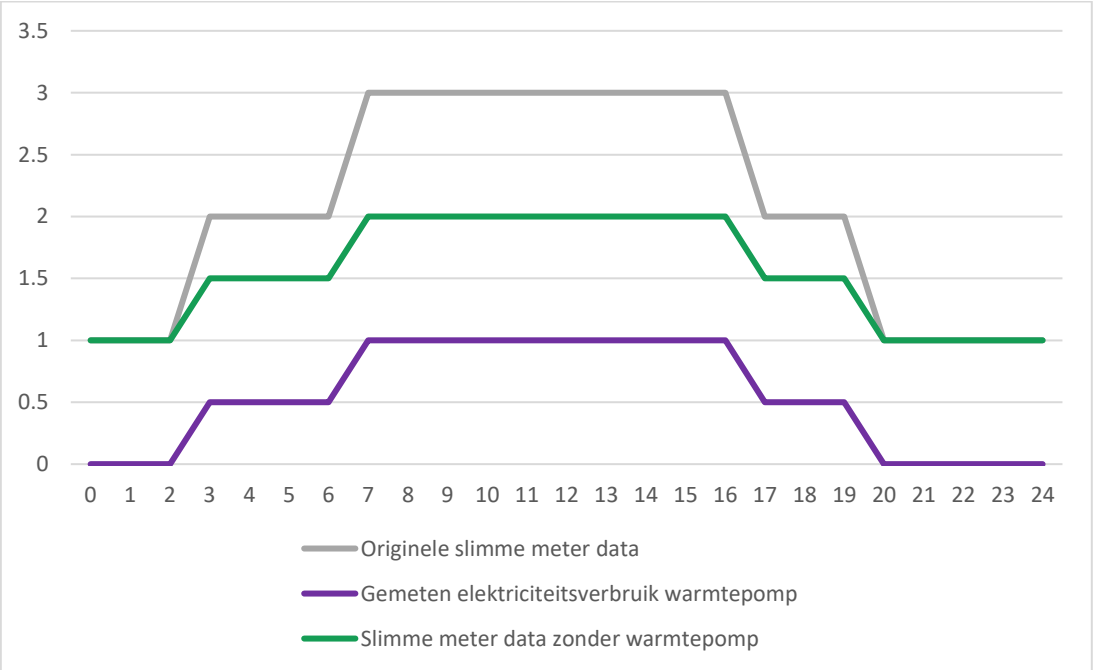
Na correctie voor zonnestroomproductie en elektrisch laden blijft een elektriciteitsprofiel over. Naast huishoudelijk verbruik is het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp een belangrijke component. Op basis van dit profiel bepaalt de Installatiemonitor-analyse het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp en de bijbehorende warmteproductie.

Om deze analysemethode te valideren wordt gebruikgemaakt van data uit het Demonstratieproject Hybride Warmtepompen (DPH). In dit project zijn in woningen directe metingen uitgevoerd aan de warmtepompinstallatie, waaronder het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp en de geleverde warmte aan het verwarmingssysteem. Deze metingen maken het mogelijk om de resultaten van de Installatiemonitor-analyse te vergelijken met gemeten prestaties.

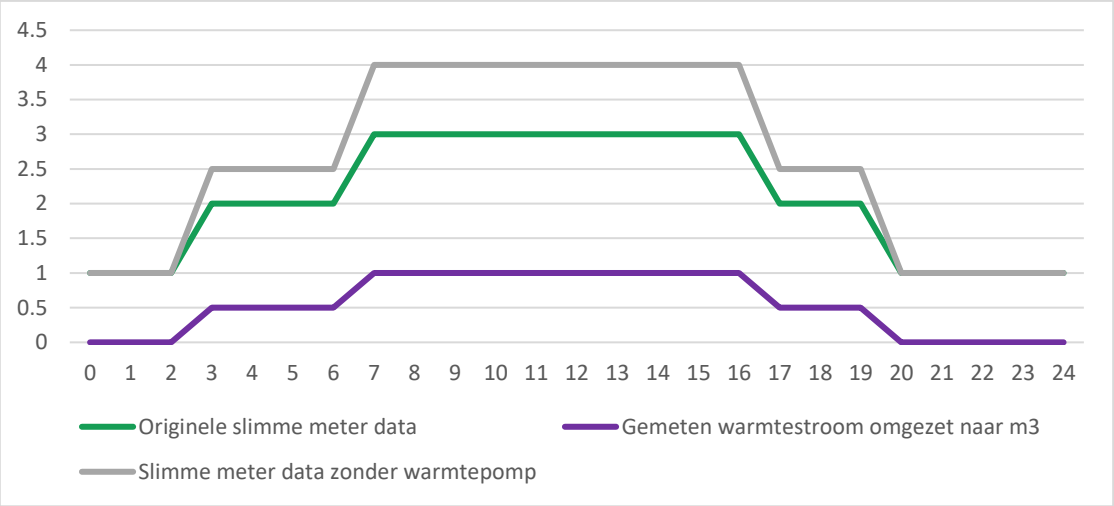
4.4.1 Beschikbare data Demoproject Hybride

Voor de validatie is gebruikgemaakt van een selectie woningen uit het Demoproject Hybride waarvoor zowel slimme-meterdata als directe metingen van de warmtepomp beschikbaar zijn. Deze dataset bevat onder andere gegevens over het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp, de geleverde warmte en het gasverbruik van de woning.

De Installatiemonitor-analyse maakt gebruik van historische referentieprofielen van woningen zonder warmtepomp. Omdat deze data mist in het Demonstratieproject Hybride Warmtepompen is voor de validatie een fictieve referentiesituatie geconstrueerd. In deze referentiesituatie wordt het gemeten warmtepompgebruik uit de slimme-meterdata verwijderd en wordt de geleverde warmte omgerekend naar een equivalent gasverbruik. Hierdoor ontstaat een profiel dat vergelijkbaar is met de situatie vóór installatie van de warmtepomp. De werking van deze correctiestappen wordt geïllustreerd in Figuur 4-7 en Figuur 4-8.



Figuur 4-7 Fictief voorbeeld van de correctie van het elektriciteitsverbruik op basis van de originele slimme-meterdata en het gemeten elektriciteitsverbruik van de warmtepomp. Door het gemeten warmtepompverbruik van het totale elektriciteitsprofiel af te trekken ontstaat een representatief elektriciteitsprofiel van de woning zonder warmtepomp. Dit gecorrigeerde profiel wordt gebruikt om een historische referentiesituatie te reconstrueren voor de Installatiemonitor-analyse.



Figuur 4-8 Fictief voorbeeld van de correctie van het gasverbruik op basis van de originele slimme-meterdata en de gemeten warmtestroom in de woning. De gemeten warmtestroom van de warmtepomp wordt omgerekend naar een equivalent gasverbruik en toegevoegd aan het gemeten gasverbruik. Hiermee wordt een situatie benaderd waarin de woning nog geen warmtepomp had, zodat de referentie voor de analyse kan worden gereconstrueerd.

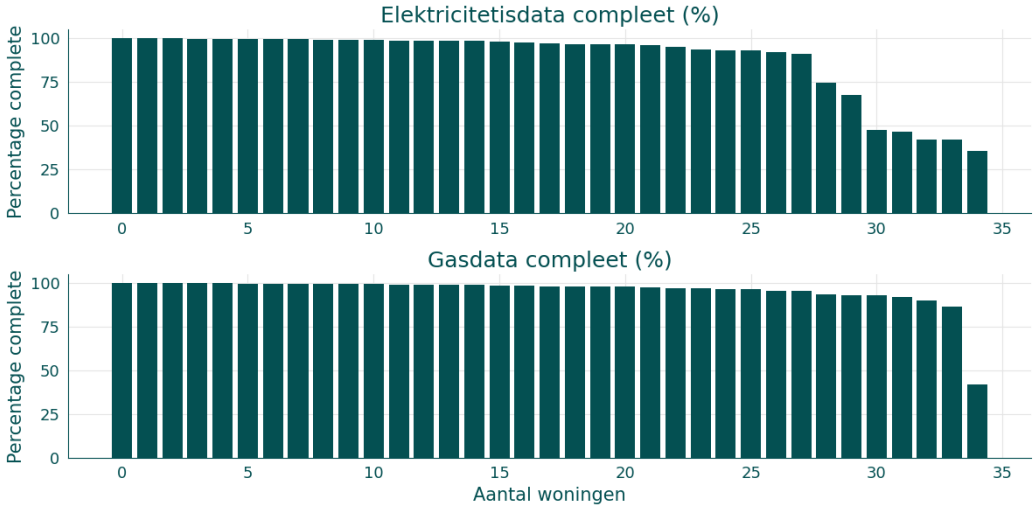
Na toepassing van deze correcties kan de Installatiemonitor-analyse op dezelfde manier worden uitgevoerd op de DPH-data als bij woningen in de reguliere Installatiemonitor dataset.

4.4.2 Dataselectie

Niet alle woningen uit het Demoproject Hybride kunnen worden gebruikt voor validatie. Voor een betrouwbare vergelijking is het noodzakelijk dat voldoende meetdata beschikbaar is voor zowel elektriciteitsverbruik als gasverbruik.

Daarnaast moeten de meetdata van de warmtepompinstallatie voldoende compleet zijn om de geleverde warmte en het elektriciteitsverbruik te bepalen. Woningen waarvoor deze gegevens ontbreken of onvolledig zijn, zijn daarom buiten de analyse gelaten.

Een overzicht van de beschikbare meetdata voor de geselecteerde woningen is weergegeven in Figuur 4-9.



Figuur 4-9 Beschikbaarheid van elektriciteits- en gasdata voor de 34 overgebleven DPH-woningen die na kwaliteitscontrole zijn meegenomen in de validatie. De figuur laat zien dat ook binnen deze selectie de datacompleetheid tussen woningen verschilt. Dit is relevant voor de interpretatie van de validatieresultaten, omdat ontbrekende meetdata de nauwkeurigheid van de vergelijking tussen DPH en Installatiemonitor kan beïnvloeden.

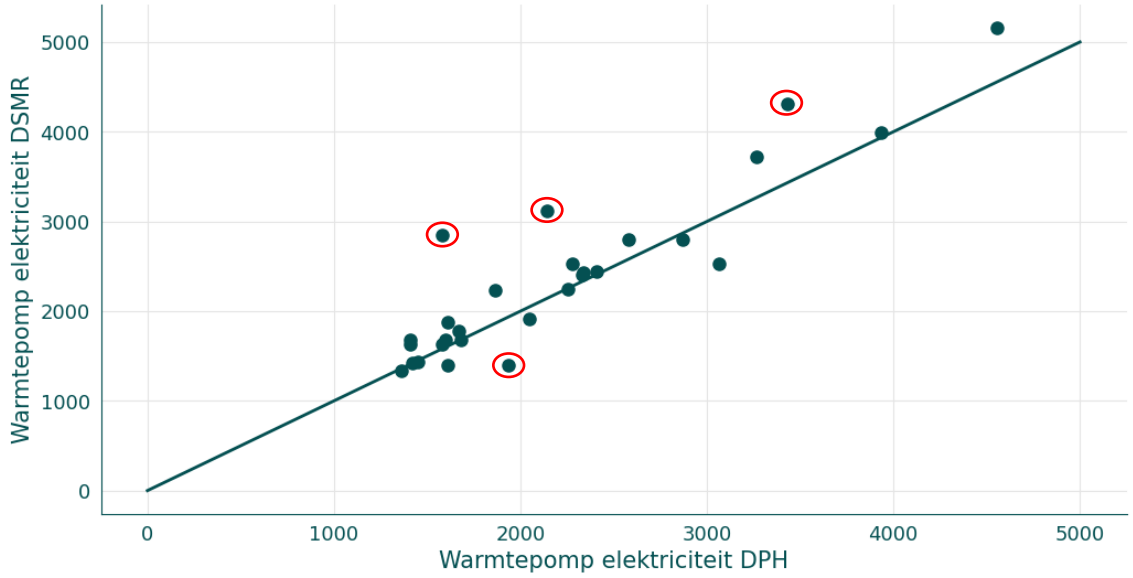
4.4.3 Validatie van warmtepompprestaties

Na selectie van de DPH woningen en reconstructie van de referentiesituatie kan de Installatiemonitor-analyse worden toegepast op de DPH-dataset. De resultaten van deze analyse worden vervolgens vergeleken met de gemeten prestaties van de warmtepompen.

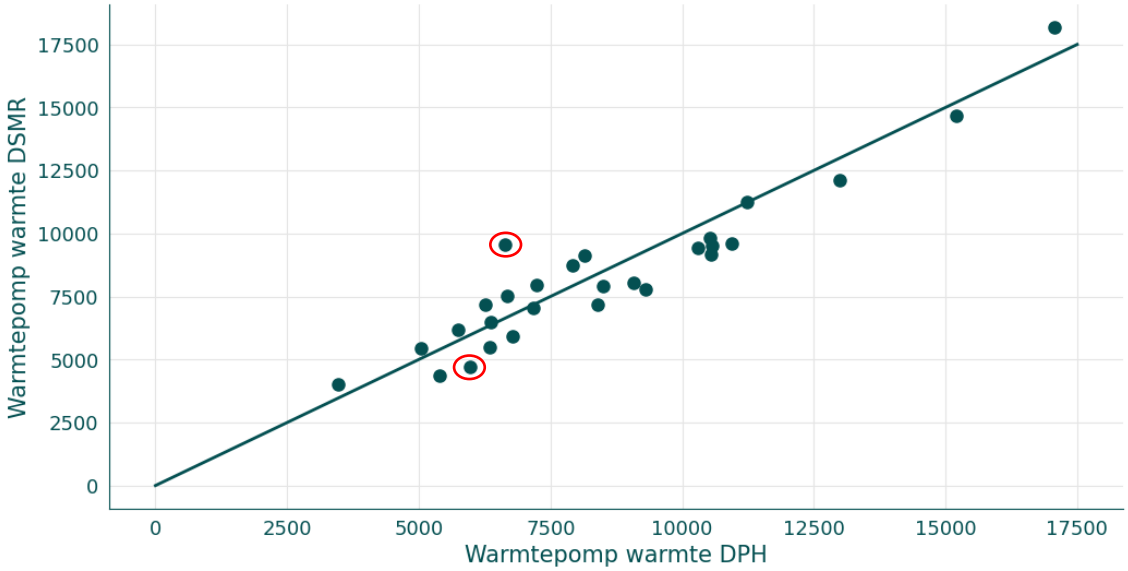
De validatie richt zich op een aantal belangrijke indicatoren:

- het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp
- de warmtevraag van de woning
- de dekkingsgraad van de warmtepomp
- de Seasonal Coefficient of Performance (SCOP)

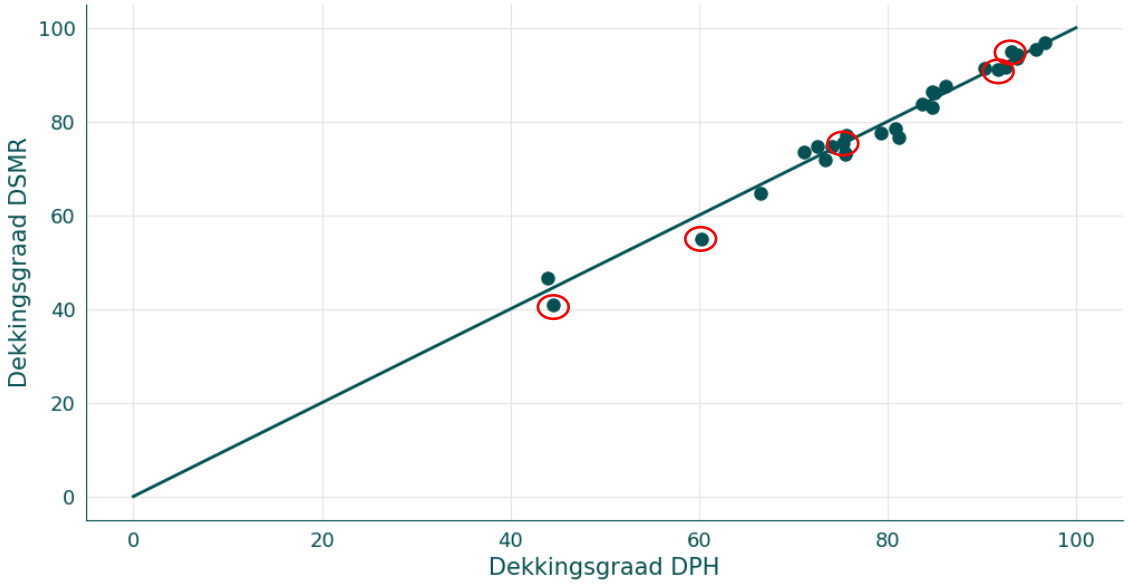
De vergelijking tussen gemeten waarden en berekende waarden voor deze indicatoren is weergegeven in Figuur 4-10 tot en met Figuur 4-13. Deze vergelijking maakt het mogelijk om te beoordelen in hoeverre de Installatiemonitor-methode in staat is om warmtepompprestaties op basis van slimme-meterdata te reconstrueren. Door de combinatie van Slimme Meterdata en directe warmtepompmetingen is het daarnaast mogelijk om extra effecten af te leiden en daarmee ongewone woningen te herkennen. In Bijlage J wordt hier verder op ingegaan.



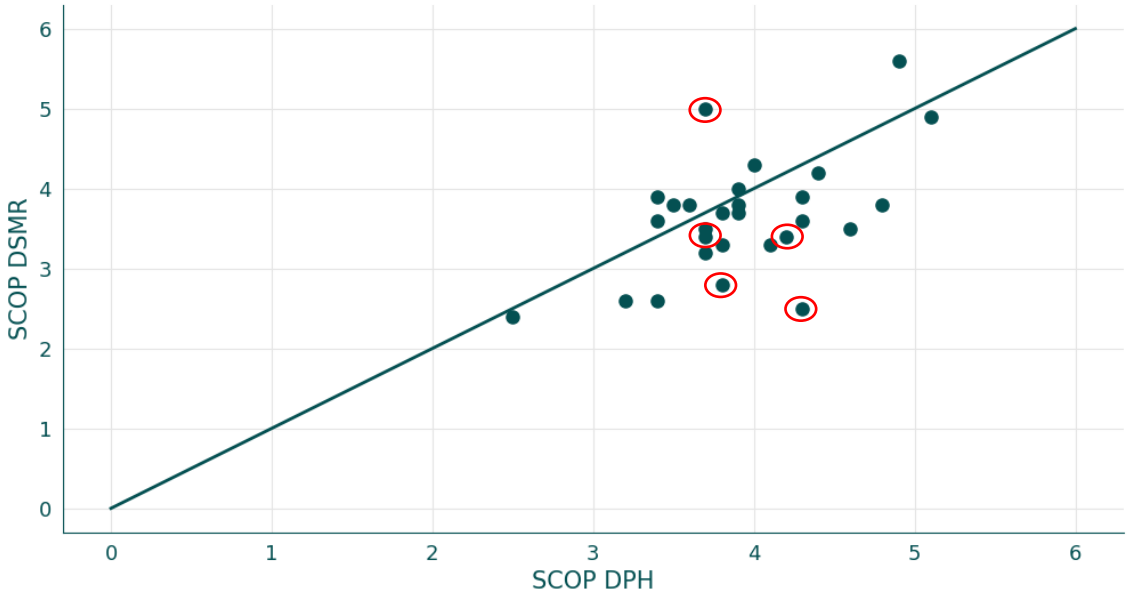
Figuur 4-10 Vergelijking van het jaarlijkse elektriciteitsverbruik van de warmtepomp volgens DPH en volgens Installatiemonitor. De meeste woningen liggen dicht bij de diagonaal, wat aangeeft dat de analysemethode het warmtepompverbruik over het algemeen goed benadert. Vier rood omcirkelde woningen vormen duidelijke uitschieters; daar is sprake van aanvullende elektrische verwarming. Voor deze woningen is het gebruik van elektrische bijverwarming na de fictieve installatiedatum veranderd, wat de vergelijking verstoort. Zie voor verdere analyse hiervan Bijlage J.



Figuur 4-11: Vergelijking van de warmtevraag van woningen volgens DPH en volgens Installatiemonitor. De meeste punten liggen dicht bij de diagonaal, wat wijst op een goede overeenkomst tussen gemeten en berekende warmtevraag. Twee uitschieters zijn gemarkeerd: bij één woning was het stookgedrag sterk wisselend, waardoor structurele correctie moeilijk is, en bij de andere woning was tijdens het stookseizoen te weinig data beschikbaar.



Figuur 4-12 Vergelijking van de dekkingsgraad volgens DPH en volgens Installatiemonitor. Vrijwel alle woningen liggen dicht bij de diagonaal, wat laat zien dat de bepaling van de dekkingsgraad met deze methode zeer nauwkeurig is. Ook in situaties met onregelmatig stookgedrag, extra elektrische verwarming of beperkte databeschikbaarheid blijft de afwijking beperkt. Deze woningen zijn wederom omcirkeld



Figuur 4-13: Vergelijking van de SCOP volgens DPH en volgens Installatiemonitor. Omdat de SCOP wordt afgeleid uit zowel warmtevraag als elektriciteitsverbruik, werken afwijkingen in beide grootheden direct door in deze indicator. De figuur laat zien dat de methode ook voor SCOP bruikbare resultaten oplevert, terwijl uitschieters vooral samenhangen met woningen waar de bepaling van warmtevraag of elektriciteitsverbruik wordt bemoeilijkt door extra bijverwarming, datagebrek of sterk wisselend stookgedrag.

De Installatiemonitor-analyse scoort goed op de eerder genoemde indicatoren. In onderstaande tabel is een overzicht te zien van de verschillen tussen de Installatiemonitor analyse en de directe metingen. Deze verschillen zijn uitgedrukt in de gemiddelde fout en de gemiddelde absolute fout.

De gemiddelde fout voor alle woningen bedraagt 6,7% voor de SCOP, vergeleken met een gemiddelde absolute fout van 13,4%. Dit geeft aan dat individuele afwijkingen grotendeels wegvallen wanneer wordt gekeken naar grotere groepen woningen in plaats van afzonderlijke woningen.

Indicator	Gemiddelde absolute fout (%)	Gemiddelde absolute fout gefilterd* (%)	Gemiddelde fout (%)
Elektriciteitsverbruik warmtepomp	13,1	7,5	5
Warmtelevering warmtepomp	11,5	10,1	1,4
Dekkingsgraad	2,4	2,0	0,2
SCOP	13,4	10,7	6,7

Tabel 3: De tabel geeft een overzicht van de fout tussen de Installatiemonitor-analyse en de DPH-data. De gemiddelde fout komt lager uit omdat negatieve en positieve fouten tegen elkaar weg kunnen vallen terwijl deze bij de gemiddelde absolute fout juist optellen. De gefilterde fout geeft de fout tussen Installatiemonitor-analyse en DPH-data wanneer de punten worden weggelaten waar de bepaling van de warmtevraag of het elektriciteitsverbruik bemoeilijkt wordt door extra bijverwarmen, datagebrek of onregelmatig stookgedrag..

4.5 Validatie conclusies

In dit hoofdstuk zijn de analysemethoden van Installatiemonitor gevalideerd voor drie belangrijke componenten van het elektriciteitsverbruik van woningen: de opwek van zonnepanelen (PV), het laden van elektrische voertuigen (EV) en het elektriciteitsverbruik van warmtepompen. De resultaten laten zien dat het mogelijk is om op basis van slimme meterdata deze componenten met voldoende nauwkeurigheid te reconstrueren en te analyseren.

De validatie van het PV-model laat zien dat zowel de totale jaaropwek als de belangrijkste systeemeigenschappen van zonnepanelen, zoals vermogen en oriëntatie, goed kunnen worden bepaald. De vergelijking met omvormerdata laat zien dat de berekende jaaropwek in veel gevallen dicht bij de gemeten waarden ligt. Afwijkingen ontstaan met name bij complexere installaties, bijvoorbeeld bij systemen met meerdere oriëntaties of panelen die elkaar gedeeltelijk beschaduwen. Desondanks blijkt de methode robuust genoeg om de zonnestroomproductie en zelfconsumptie in woningen betrouwbaar te bepalen.

Voor het EV-model laat de validatie zien dat laadbeurten en het totale elektriciteitsverbruik van elektrische voertuigen in veel gevallen goed herkenbaar zijn in het elektriciteitsprofiel van woningen. De analyse maakt gebruik van karakteristieke vermogenspatronen van laadbeurten. In sommige situaties kan ruis in het elektriciteitsprofiel, bijvoorbeeld veroorzaakt door andere apparaten of sterk variërend elektriciteitsgebruik, leiden tot afwijkingen in het aantal gedetecteerde laadbeurten. Op het niveau van het totale energiegebruik blijkt de methode echter voldoende nauwkeurig om het elektriciteitsverbruik van elektrische voertuigen binnen huishoudens te kunnen analyseren.

De validatie van het warmtepompmodel is uitgevoerd met meetdata uit het Demoproject Hybride (DPH). Hierbij zijn de resultaten van Installatiemonitor vergeleken met direct gemeten waarden van het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp en de geproduceerde warmte. De analyse laat zien dat er enkele afwijkingen bestaan tussen beide datasets. Deze verschillen zijn grotendeels te verklaren door drie factoren: (1) de kortere meetperiode van de DPH-data, (2) het ontbreken van aanvullende informatie over andere vormen van elektrische verwarming, en (3) sterk variërend stookgedrag bij een deel van de huishoudens.

De beperkte meetperiode in de DPH-dataset maakt het lastiger om structurele veranderingen in het energiegebruik, zoals de plaatsing van zonnepanelen of veranderingen in gebruikspatronen, tijdig te detecteren. Binnen Installatiemonitor worden woningen over meerdere jaren gevolgd, waardoor dergelijke veranderingen beter kunnen worden geïdentificeerd en meegenomen in de analyse. Daarnaast ontbreekt in de DPH-data aanvullende contextuele informatie over installaties in de woning, zoals de aanwezigheid van airconditioning of andere vormen van elektrische verwarming. Installatiemonitor verzamelt deze informatie via een intake-enquête, waardoor het energiegebruik beter kan worden geïnterpreteerd en verstorende factoren in de analyse kunnen worden meegenomen.

Ondanks deze beperkingen laat de validatie zien dat de analysemethode op basis van slimme meterdata in veel gevallen tot resultaten leidt die goed overeenkomen met de gemeten waarden. Dit bevestigt dat de methode geschikt is voor het bepalen van warmtepompprestaties, mits voldoende contextinformatie beschikbaar is en de meetperiode toereikend is.

De kracht van Installatiemonitor ligt in de combinatie van langdurige meetreeksen, aanvullende contextdata en woning-specifieke analyse. Hierdoor kunnen niet alleen

algemene prestatie-indicatoren zoals SCOP en dekkingsgraad worden bepaald, maar kunnen ook installatietechnische afwijkingen worden gesignaleerd, zoals nachtverlaging, onjuiste inregeling of suboptimale afgiftesystemen. Door analyses uit te voeren over grote aantallen woningen middelen individuele meetfouten grotendeels uit, waardoor robuuste inzichten ontstaan in de praktijkprestaties van warmtepompen en andere elektrische technologieën in woningen.

5 Warmtepomp prestaties in de praktijk

In dit hoofdstuk worden de prestaties van warmtepompen in de Installatiemonitor dataset geanalyseerd. De analyse is gebaseerd op woningen waarvoor voldoende data beschikbaar is om het energiegebruik van de warmtepomp te bepalen.

De analyses laten zien dat warmtepompen in de praktijk een groot deel van de warmtevraag van woningen kunnen leveren, maar dat de prestaties sterk kunnen variëren tussen woningen en installaties. Deze variatie blijkt slechts beperkt samen te hangen met woningkenmerken zoals bouwperiode of woningtype. Factoren zoals instellingen van de installatie, nachtverlaging, dimensionering van de warmtepomp en het afgiftesysteem blijken in veel gevallen een grotere invloed te hebben op de gerealiseerde prestaties.

Binnen de dataset wordt onderscheid gemaakt tussen twee typen systemen:

- hybride warmtepompen, waarbij een warmtepomp samenwerkt met een cv-ketel op aardgas, waarbij de cv-ketel de productie van warm tapwater verzorgt
- all-electric warmtepompen, waarbij de volledige warmtevraag van de woning en productie van warm tapwater elektrisch wordt geleverd.

Voor een meer gedetailleerde uitsplitsing naar andere typen warmtepompen, zoals; PVT-systemen, ventilatiewarmtepomp en systemen met een bodembron, of uitsplitsingen naar verschillende koudemiddelen is onvoldoende data beschikbaar.

Voor de analyse van hybride warmtepompen zijn 1955 woningen beschikbaar met een complete dataset. Voor all-electric warmtepompen is de dataset kleiner en omvat deze ongeveer 200 woningen. De analyse van hybride warmtepompen vormt daarom het grootste deel van dit hoofdstuk, terwijl de analyse van all-electric warmtepompen beperkter is.

Het doel van dit hoofdstuk is om inzicht te geven in:

- de hoeveelheid warmte die warmtepompen in de praktijk leveren
- de efficiëntie van warmtepompen
- de verschillen in prestaties tussen woningen
- factoren die samenhangen met betere of slechtere prestaties.

De prestaties van warmtepompen worden hierbij voornamelijk beschreven aan de hand van vier indicatoren:

Dekkingsgraad
De dekkingsgraad geeft aan welk deel van de warmtevraag van een woning door de warmtepomp wordt geleverd. Bij hybride systemen wordt het resterende deel geleverd door de cv-ketel.

SCOP (Seasonal Coëfficiënt of Performance)
De SCOP geeft de efficiëntie van de warmtepomp gedurende een jaar weer. Een SCOP van 3 betekent dat voor elke kilowattuur elektriciteit drie kilowattuur warmte wordt geleverd.

Benuttingsgraad
De benuttingsgraad beschrijft in hoeverre het beschikbare vermogen van een warmtepomp daadwerkelijk wordt benut. Dit geeft inzicht in hoe intensief een warmtepomp wordt ingezet bij verschillende buitentemperaturen.

Elektriciteitsverbruik
Het elektriciteitsverbruik van warmtepompen is relevant voor zowel de energiekosten van huishoudens als de belasting van het elektriciteitsnet.

De analyse in dit hoofdstuk richt zich in eerste instantie op hybride warmtepompen, omdat deze het grootste deel van de dataset vormen. Vervolgens worden de prestaties van all-electric warmtepompen besproken.

In de verschillende paragrafen wordt gekeken naar factoren die mogelijk invloed hebben op de prestaties van warmtepompen. Daarbij wordt onder andere gekeken naar:

- nachtverlaging
- bouwperiode van woningen
- woningtype
- warmtevraag
- afgiftesystemen
- dimensionering van warmtepompen.

De resultaten worden in dit hoofdstuk voornamelijk gepresenteerd in grafieken. Onder iedere grafiek wordt een uitgebreide toelichting gegeven waarin de belangrijkste observaties en mogelijke verklaringen worden besproken. De lopende tekst in dit hoofdstuk beperkt zich daarom tot de hoofdlijnen van de analyse.

5.1 Hybride warmtepompen

Hybride warmtepompen combineren een elektrische warmtepomp met een cv-ketel op aardgas. In deze configuratie levert de warmtepomp een groot deel van de warmtevraag bij relatief milde buitentemperaturen, terwijl de cv-ketel wordt ingezet om tapwater te maken of wanneer de warmtevraag hoger is of wanneer de buitentemperatuur lager wordt.

Deze configuratie wordt in Nederland veel toegepast. Eén van de voordelen is dat bestaande verwarmingssystemen in woningen vaak relatief hogere aanvoertemperaturen vereisen. Door de cv-ketel als aanvullende warmtebron te behouden kan de warmtepomp toch een groot deel van de warmtevraag leveren zonder dat het volledige verwarmingssysteem van de woning hoeft te worden aangepast.

Omdat hybride warmtepompen het grootste deel van de dataset vormen, begint de analyse met deze systemen. De hybride analyse vormt daarmee het referentiepunt voor de rest van dit hoofdstuk: de patronen die hier zichtbaar worden, worden later vergeleken met de resultaten voor all-electric warmtepompen.

In de Installatiemonitor dataset zijn 2561 woningen met een hybride warmtepomp beschikbaar waarvoor voldoende data aanwezig is om de prestaties van het systeem te analyseren.

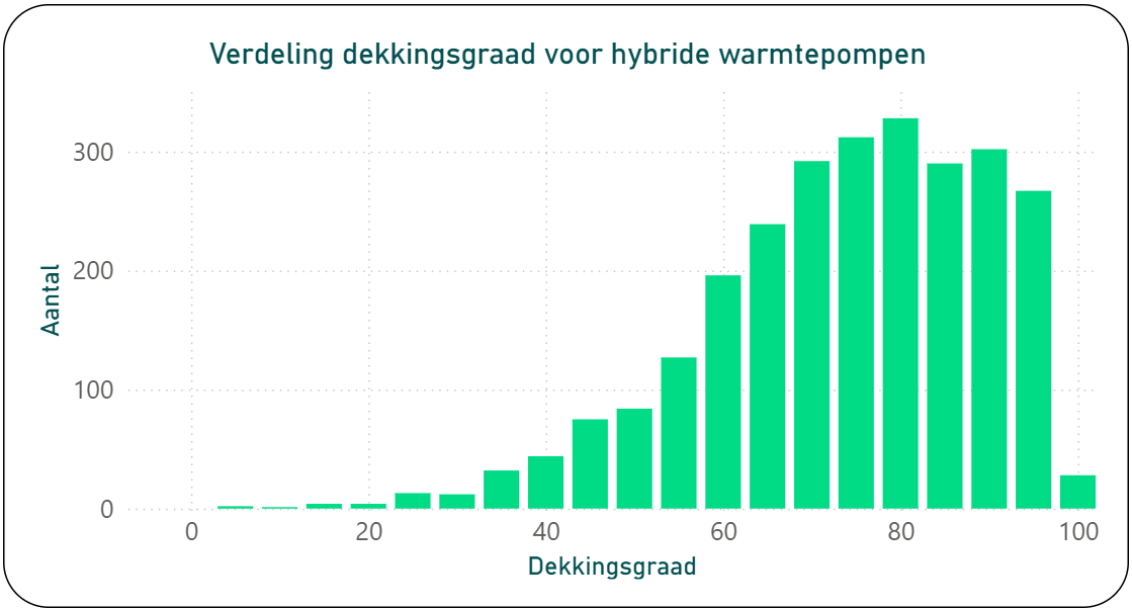
De gemiddelde prestaties van deze systemen worden weergegeven in de onderstaande figuur.

Figuur 5-1: Deze figuur geeft het startpunt voor de hybride analyse: de gemiddelde dekkingsgraad en SCOP over de 1955 hybride warmtepompen met complete dataset. In de rest van dit hoofdstuk worden deze gemiddelden uitgesplitst naar o.a. nachtverlaging, bouwperiode, woningtype, warmtevraag, afgiftesysteem en dimensionering, om te begrijpen welke factoren samenhangen met betere of slechtere prestaties.

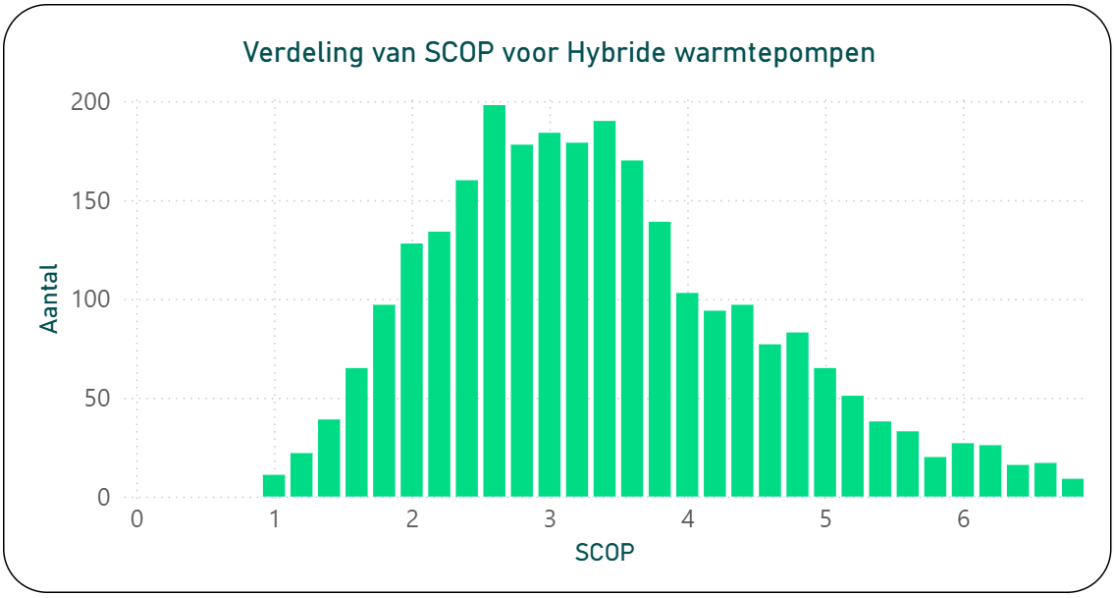
De gemiddelde waarden in deze figuur geven een eerste indruk van de prestaties van hybride warmtepompen in de praktijk. Tegelijkertijd laten de resultaten in de dataset zien dat de prestaties van warmtepompen sterk kunnen variëren tussen woningen.

In de volgende paragrafen wordt daarom gekeken naar de spreiding in prestaties en naar factoren die samenhangen met deze verschillen.

5.1.1 Dekkingsgraad en SCOP



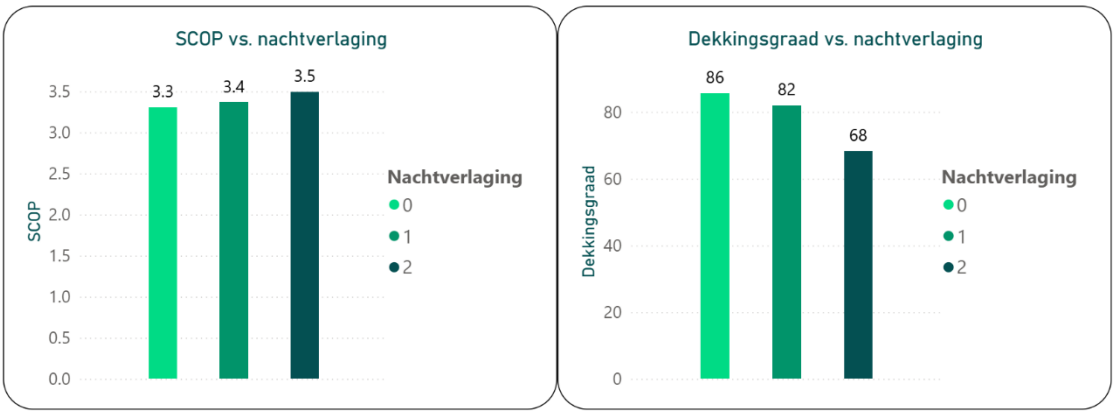
Figuur 5-2: De gemiddelde dekkingsgraad van hybride warmtepompen is 78%: gemiddeld wordt 78% van de warmtevraag voor ruimteverwarming door de warmtepomp geleverd. Aan de bovenkant van de verdeling zitten 22 woningen met 100% dekkingsgraad (ruimteverwarming volledig door de warmtepomp; tapwater nog via de ketel). Daarnaast zijn er bijna 200 woningen met ~95% dekkingsgraad; ook deze groep kan relatief eenvoudig richting all-electric.
Aan de onderkant zien we 305 woningen met ≤50% dekkingsgraad. Dat is niet per definitie "slecht" (kan economisch nog steeds aantrekkelijk zijn), maar een extreem lage dekkingsgraad (zoals ~5%) is niet aannemelijk en wijst erop dat er bij die installatie echt iets mis is gegaan.



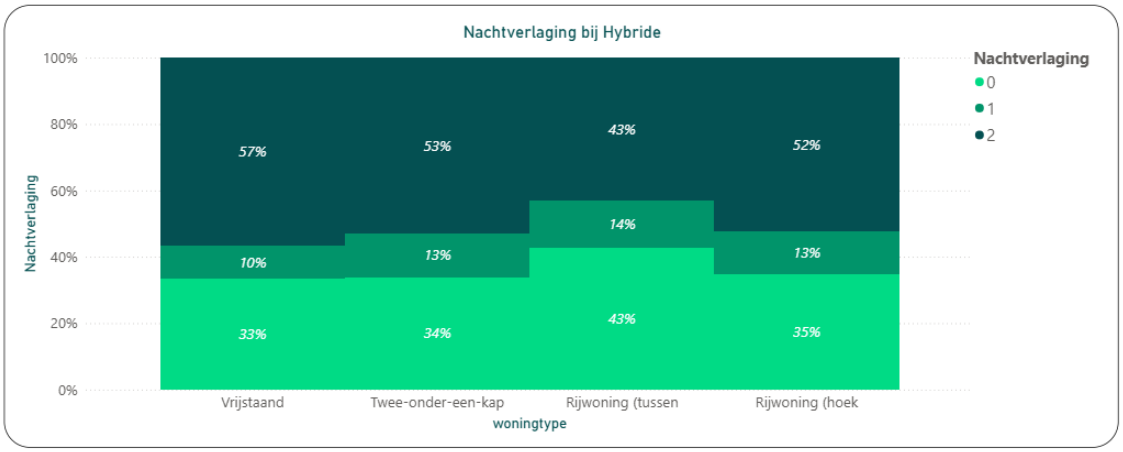
Figuur 5-3: De gemiddelde SCOP van hybride warmtepompen bedraagt 3,4. De bepaling van SCOP op basis van slimme-meterdata is minder nauwkeurig dan de berekening van dekkingsgraad; daardoor zijn er in de verdeling meer "uitlopers" naar zowel lage als hoge waarden dan je in de praktijk zou verwachten. Gemiddeld geeft de figuur wel een realistisch beeld van wat er in het veld te verwachten is.
Mogelijke oorzaken van lage SCOP's zijn o.a. te kleine leidingdiameters, ongeschikt afgiftesysteem, verkeerde dimensionering, inregelproblemen en bewonersgedrag. Veel daarvan is lastig te herleiden uit alleen slimme-meterdata; daarom wordt in aanvullend praktijkonderzoek (zie bijlage) gekeken naar oorzaken achter ondermaatse prestaties.

De verdelingen laten zien dat de prestaties van hybride warmtepompen sterk kunnen variëren tussen woningen. In de volgende paragrafen wordt deze variatie nader geduid.

5.1.2 Nachtverlaging



Figuur 5-4: Dit is het sterkste verband in de hybride analyse: nachtverlaging hangt duidelijk samen met een lagere dekkingsgraad. Nachtverlaging wordt in de analyse automatisch gedetecteerd en ingedeeld in drie categorieën:
0 = geen nachtverlaging; 1 = wel nachtverlaging maar niet problematisch voor de warmtepomprestaties; 2 = nachtverlaging met serieuze effecten op prestaties van de warmtepomp.
Woningen zonder nachtverlaging hebben gemiddeld een dekkingsgraad van 86%. Dit daalt naar 81% bij niet-problematische nachtverlaging en naar 69% bij serieuze nachtverlaging: 17 procentpunt verschil tussen "geen" en "problematisch". In de populatie zijn 761 woningen zonder nachtverlaging en 1067 met problematische nachtverlaging: hier zit dus substantiële verbeterpotentie.
Tegelijkertijd zien we dat de SCOP licht toeneemt met meer nachtverlaging (ongeveer +0,2 SCOP-punt van geen naar problematisch). Verklaring: bij nachtverlaging moet 's ochtends veel warmte geleverd worden; de warmtepomp kan dat vaak niet alleen, waarna de ketel bijspringt. Omdat de ochtend meestal het koudste deel van de dag is (lage COP), kan ketelbijdrage op dat moment de berekende SCOP iets "opdrijven".
Omdat nachtverlaging ongelijk verdeeld is over segmenten, wordt in de rest van het hoofdstuk vooral gekeken naar woningen ***zonder*** *nachtverlaging; de totale populatie blijft wel zichtbaar als lichtgekleurde band om de staven heen.*

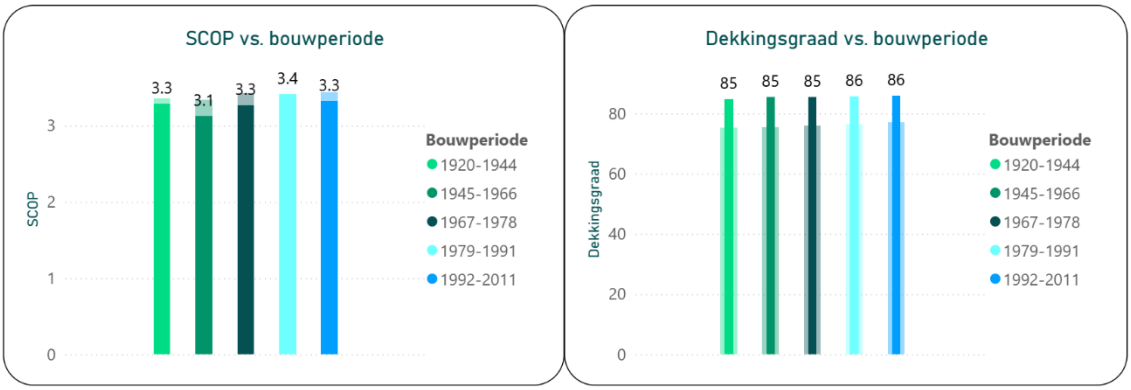


Figuur 5-5: Het percentage woningen dat nachtverlagingen toepast uitgesplitst naar woningtype. De resultaten laten zien dat het toepassen van nachtverlaging sterk varieert tussen woningen en een belangrijke invloed kan hebben op de prestaties van warmtepompen en dekkingsgraad.

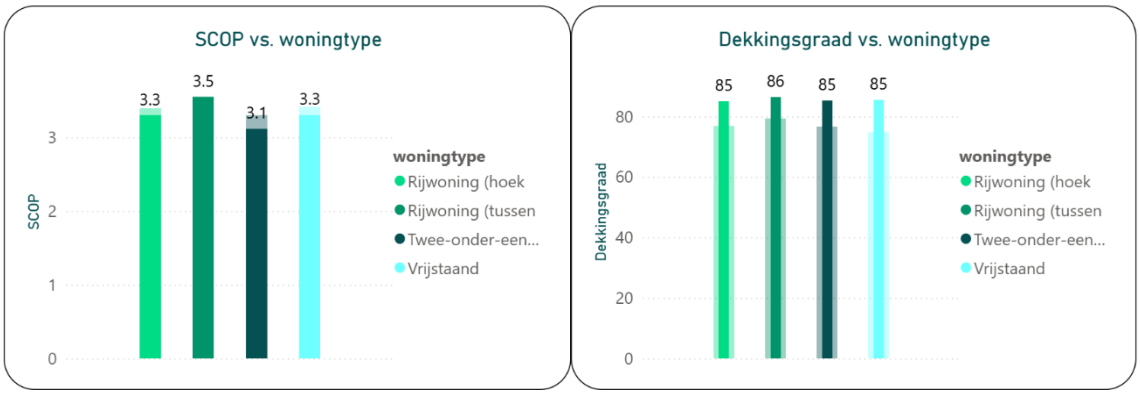
De invloed van nachtverlaging is groot en onevenredig verdeeld over de verschillende woningtypen (Figuur 5-5). De invloed van nachtverlaging is dusdanig groot, dat we voor de analyse van de volgende aspecten in deze paragraaf de woningen zonder nachtverlaging uitlichten. In de volgende grafieken is het resultaat zonder nachtverlaging dikgedrukt en is de waarde voor de rest van de populatie op de achtergrond te zien.

5.1.3 Woningkenmerken

In de volgende figuren wordt gekeken in hoeverre prestaties samenhangen met woningkenmerken. Deze analyses helpen om te duiden of verschillen vooral voortkomen uit de woning (bijvoorbeeld bouwperiode, type) of uit gedrag en instellingen.

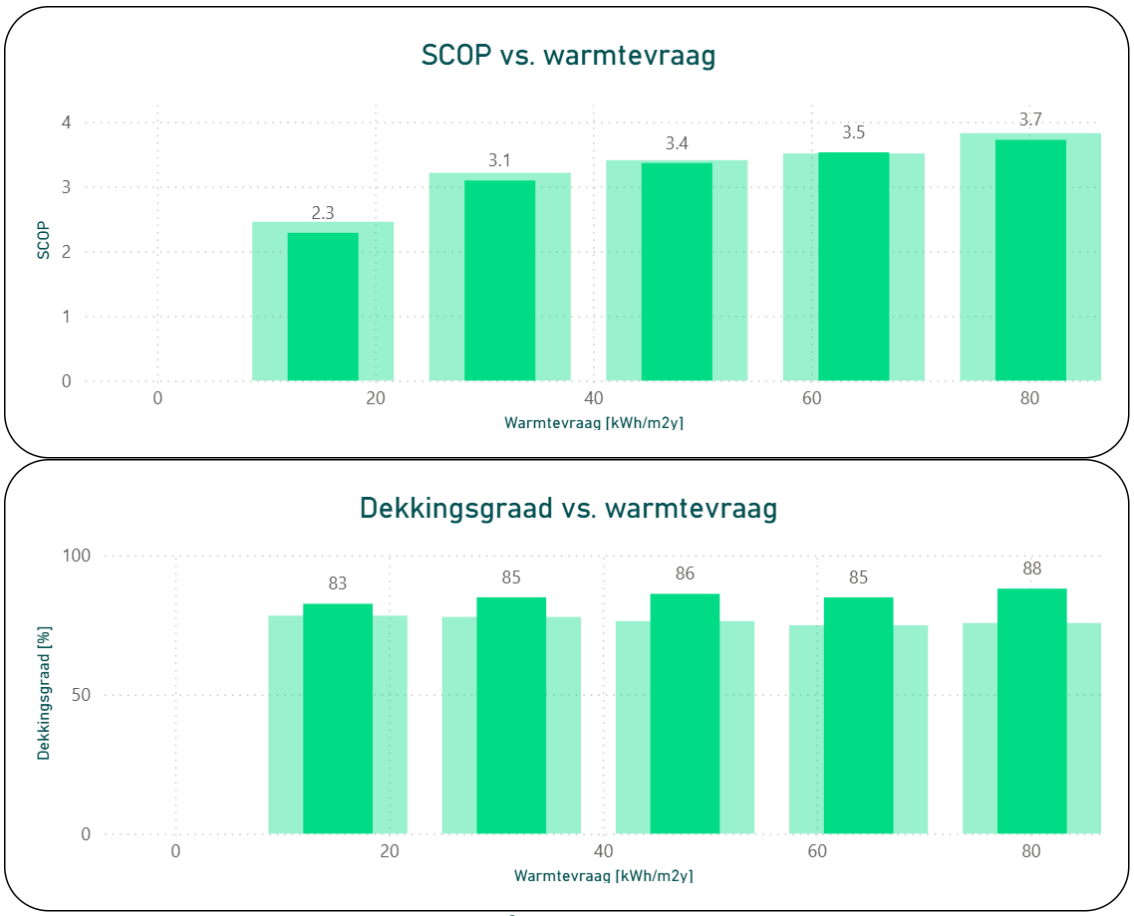


Figuur 5-6: Er is slechts een heel lichte relatie zichtbaar tussen bouwperiode en SCOP. Een verband zou logisch zijn als bouwperiode ook samenhangt met warmtevraag, of als woningtype en warmtevraag sterk gekoppeld zijn. In deze populatie zijn de verschillen beperkt, waardoor ook de prestatieverschillen beperkt blijven. Ook de relatie tussen bouwperiode en Dekkingsgraad is zwak, de meeste woningen in dit project zijn tot een soortgelijk isolatieniveau gerenoveerd.

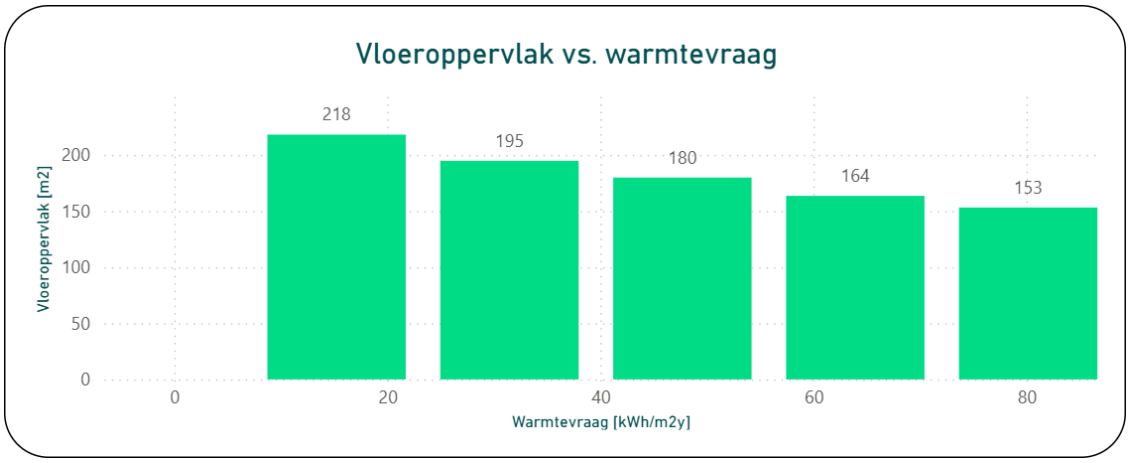


Figuur 5-7: Er lijkt een lichte relatie tussen woningtype, dekkingsgraad en SCOP: woningen met een grotere verhouding schiloppervlak/vloeroppervlak hebben gemiddeld iets lagere prestaties. Dit is gegeven door de lichtgekleurde balken op de achtergrond. Wanneer alleen woningen zonder nachtverlaging worden geselecteerd, verdwijnen de verschillen grotendeels. Dat wijst erop dat het waargenomen verschil vooral komt doordat bepaalde woningtypen vaker nachtverlaging toepassen, niet doordat het woningtype "op zichzelf" de prestaties bepaalt.

5.1.4 Warmtevraag en vloeroppervlak



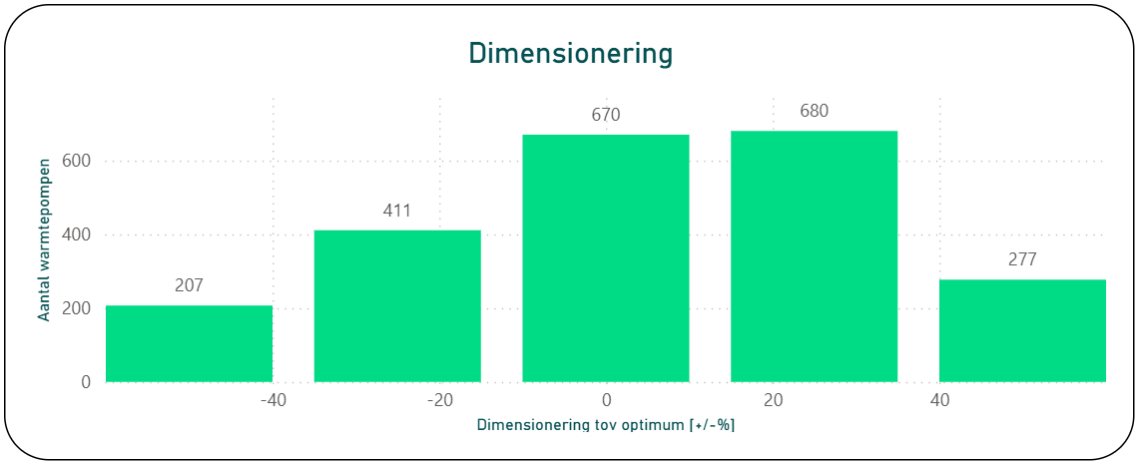
Figuur 5-8: Warmtevraag is hier gedefinieerd als kWh/m²·jaar en is gebaseerd op werkelijk gemeten gasverbruik. Ter illustratie: passiefhuis ~20, NOM <50, schillabel C ~100 kWh/m²·jaar.
De dekkingsgraad als functie van warmtevraag is rond 86% redelijk stabiel voor woningen zonder nachtverlaging en loopt zelfs licht op. Voor woningen die wel nachtverlaging toepassen daalt de dekkingsgraad met een hogere warmtevraag.
*De SCOP varieert wel met warmtevraag: boven ~50 kWh/m²·jaar blijft SCOP rond ~3,3, maar bij zeer lage warmtevraag zakt SCOP richting **~2,6** (warmtevraag ~20 kWh/m²·jaar). Dat is contra-intuïtief ("goed geïsoleerd zou beter moeten zijn") en wordt in de volgende figuur verklaard door een populatie-effect: grote woningen worden vaak deels verwarmd.*



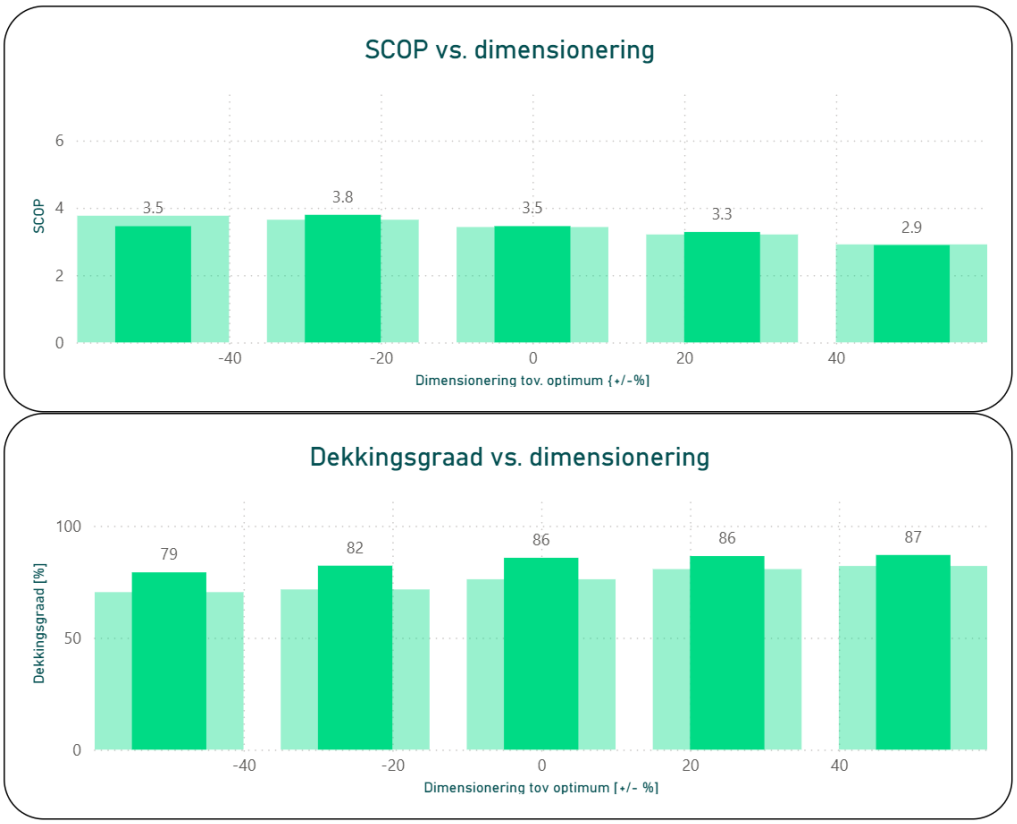
Figuur 5-9: De warmtevraag per m^2 is in deze dataset opvallend laag (o.a. 80 woningen <20 kWh/m^2·jaar en >500 woningen <40 kWh/m^2·jaar). Dat is niet goed te verklaren met statistiek of nachtverlaging.
Deze figuur laat het mechanisme zien: de deelnemerswoningen zijn gemiddeld groot (gem. 178 m^2) en er is een sterk verband tussen groter vloeroppervlak en lagere warmtevraag per m^2. Interpretatie: naarmate woningen groter zijn, worden meer ruimtes structureel niet verwarmd, waardoor de "werkelijke warmtevraag" per m^2 lager uitvalt. Dit werkt door in dimensionering en prestaties (zie volgende figuur).

5.1.5 Dimensionering

Elke woning heeft een andere warmtevraag en vraagt dus een warmtepomp met een ander vermogen. Een optimaal gedimensioneerde hybride warmtepomp heeft bij 0°C exact het juiste vermogen om de woning op temperatuur te houden. Een hybride warmtepomp die perfect gedimensioneerd is wijkt 0% af van het optimum. Als een woning twee keer zo veel verwarmingsvermogen nodig heeft als de warmtepomp kan leveren, bij 0 °C, is de woning ondergedimensioneerd en is de dimensionering -50%. Andersom als de warmtepomp twee keer zoveel warmte kan leveren als gevraagd wordt bij 0 °C is de warmtepomp overgedimensioneerd en is de dimensionering 50%.

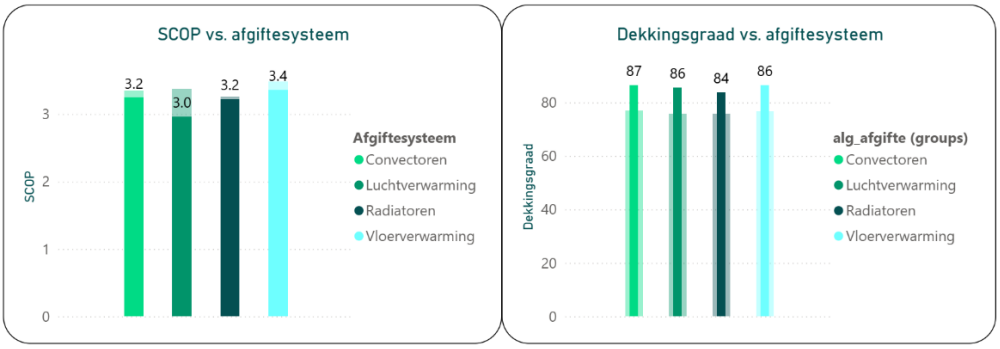


Figuur 5-10: Overzicht van de dimensionering van Hybride warmtepompen als verhouding tussen geïnstalleerd vermogen en "optimaal" vermogen op basis van de warmtevraag bij 0 °C. -50% betekent: warmtepomp is de helft kleiner dan optimaal; +50% betekent: de warmtepomp is twee keer groter dan optimaal. Er zijn meer woning over- dan ondergedimensioneerd.



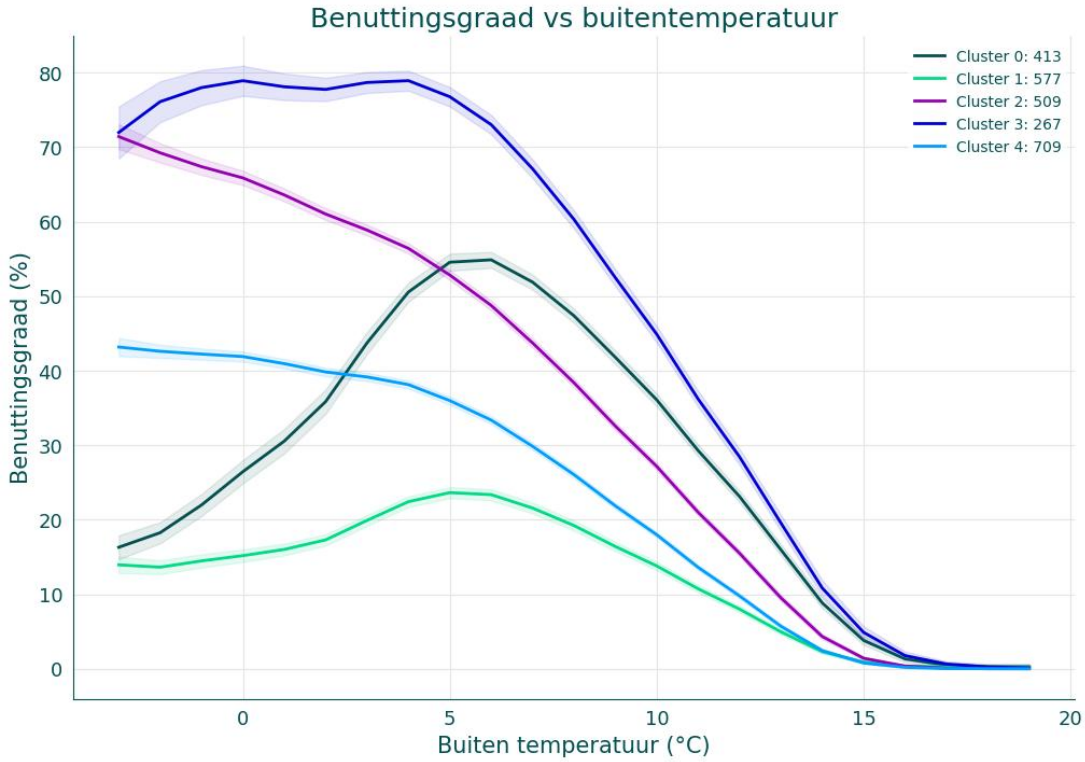
Figuur 5-11: Dimensionering is hier uitgedrukt als verhouding tussen geïnstalleerd vermogen en "optimaal" vermogen bij 0 °C op basis van de warmtevraag. -50% betekent: warmtepomp is 2x zo klein als optimaal; +50% betekent: warmtepomp is 2× zo groot als optimaal.
Voor dekkingsgraad is het beeld logisch: kleinere warmtepompen halen gemiddeld lagere dekkingsgraad; grotere warmtepompen halen hogere dekkingsgraad. Dat geldt ook voor woningen met nachtverlaging; als de warmtepomp maar groot genoeg is, dan wordt nachtverlaging minder een probleem.
Voor SCOP is het patroon anders: gemiddeld is SCOP hoger als de warmtepomp kleiner is t.o.v. de behoefte, met een duidelijke penalty voor sterk overgedimensioneerde systemen. Verklaring: een te kleine warmtepomp draait langer en schakelt minder; naarmate de pomp groter is, moet hij vaker terug moduleren of uitschakelen. Bij grote woningen die deels verwarmd worden leidt dimensioneren op warmteverliesberekening, in plaats van werkelijke warmtebehoefte, tot te grote warmtepompen en daardoor gemiddeld ondermaatse prestaties.

5.1.6 Afgiftesysteem



Figuur 5-12: Deelnemers konden meerdere afgiftesystemen aanvinken; daardoor ontstaan veel kleine subgroepen. Daarom worden alleen subgroepen met >100 woningen getoond.
De prestatieverschillen zijn gemiddeld beperkt (comfortproblemen zijn in deze populatie bevraagd middels enquêtes, zoals in Bijlagen 7 tot C en niet dominant). Toch zijn er trends: luchtverwarming presteert gemiddeld het laagst met SCOP ~3,0; met convectoren blijft dit ~3,2; met vloerverwarming ~3,2; alleen vloerverwarming ~3,4. Er zit dus gemiddeld ~0,2 SCOP-punt tussen radiatoren en vloerverwarming.
Voor dekkingsgraad: Alle verschillende soorten afgiftesystemen scoren tussen de 84-87%.
Conclusie: gemiddelde verschillen zijn klein, de invloed van afgiftesysteem op de prestaties van hybride warmtepompen lijkt beperkt.

5.1.7 Benuttingsgraad als functie van buitentemperatuur



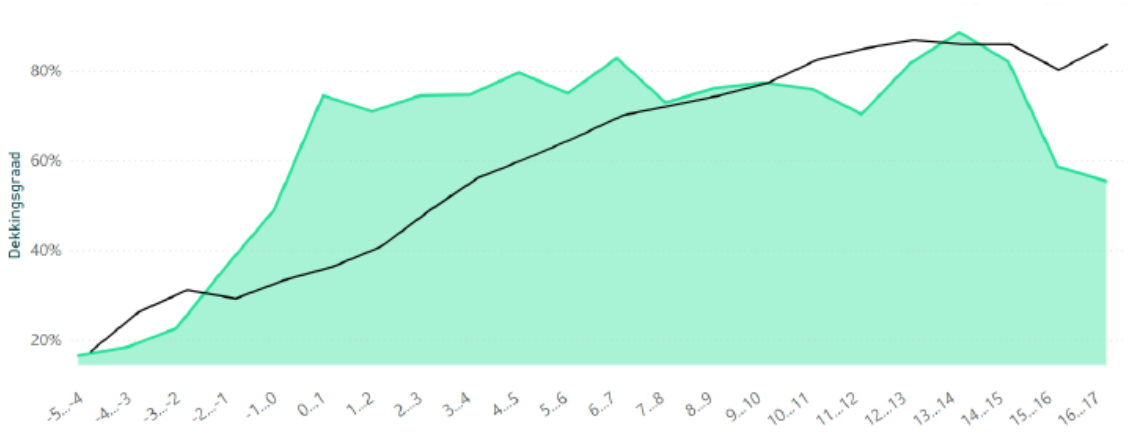
Figuur 5-13: Hybride warmtepompen vertonen uiteenlopend gedrag bij dalende buitentemperatuur: sommige schakelen vroeg uit, andere blijven (samen met ketel of zelfstandig) warmte leveren. Dat verschil is vooral zichtbaar onder ~5 °C.
De benuttingsgraad is het percentage van het daadwerkelijk geleverde thermische vermogen ten opzichte van het nominale thermische vermogen over een dag: lage benuttingsgraad = weinig draaien en/of laag vermogen; 100% = de hele dag nominaal vermogen.

In de figuur zijn vijf clusters te zien:

- ***Cluster 0:** snel aan, maar rond 5 °C alweer uit (lijkt op harde cutoff-instelling).*
- ***Cluster 1:** zeer lage maximale benuttingsgraad (benutten maar klein deel van potentie).*
- ***Cluster 2:** draait door naar lagere T met gestaag oplopende benuttingsgraad (gedrag bij nog lagere T onzeker; kan verder oplopen).*
- ***Cluster 3:** snel richting hoge benuttingsgraad en blijft doorlopen (mogelijk te klein voor de woning).*
- ***Cluster 4:** draait door bij lage T maar met lage benuttingsgraad (waarschijnlijk te groot).*

De betrouwbaarheidsmarges tonen de 95%-marge rond het gemiddelde gedrag per cluster (niet de spreiding van individuele woningen).
Praktische duiding: "goed" gedrag voor terugverdienen is vooral lichtgroen en lichtblauw (70%+ benuttingsgraad en doorlopen bij lage T): 680 van 2421 (28%). Systemen die nooit in de buurt van hun potentie komen (donkergroen + paars) zijn 1333 van 2421 (55%): daar is duidelijk ruimte voor verbetering, met allerlei mogelijke oorzaken.

5.1.8 Vergelijking met Installatiemonitor 1.0



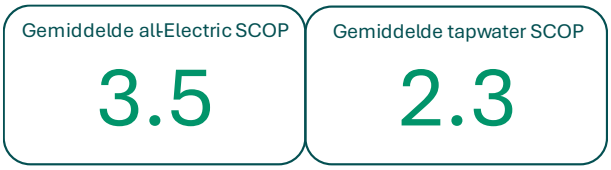
Figuur 5-14: Deze figuur uit Installatiemonitor 1.0 was de voorloper van figuur 5-13. Eenheden verschillen, maar de kernvraag is hetzelfde: hoe gedraagt een hybride warmtepomp als functie van buitentemperatuur. Op de y-as is hier de dagelijkse dekkingsgraad te zien, waar nu de benuttingsgraad (figuur 5-13) wordt gebruikt.
Belangrijkste verschil: dekkingsgraad. In IM 1.0 kwam de gemiddelde dekkingsgraad uit op ~60%, nu op ~78%: +18 procentpunt (ongeveer een derde meer t.o.v. 2022). Duiding: door de Oekraïnecrisis en daardoor hogere gasprijzen zijn hybride warmtepompen gemiddeld meer warmte gaan leveren, door aangepaste instellingen in de warmtepomp.
De hogere dekkingsgraad heeft ook een "prijs": hybrides zijn meer gaan verwarmen bij lagere buitentemperaturen, waar COP lager is. Daarom daalt de gemiddelde SCOP van ~3,8 (IM1.0) naar ~3,35 (IM3.0): -0,45 SCOP-punt. Daarbij hoort de kanttekening dat het om een andere woning-/apparaatmix gaat met data uit een ander jaar en dat de methodiek is verbeterd. De trend blijft overeind: meer warmtelevering door hybrides, met iets lagere gemiddelde efficiëntie.

5.2 All-electric warmtepompen: resultaten en verklaringen

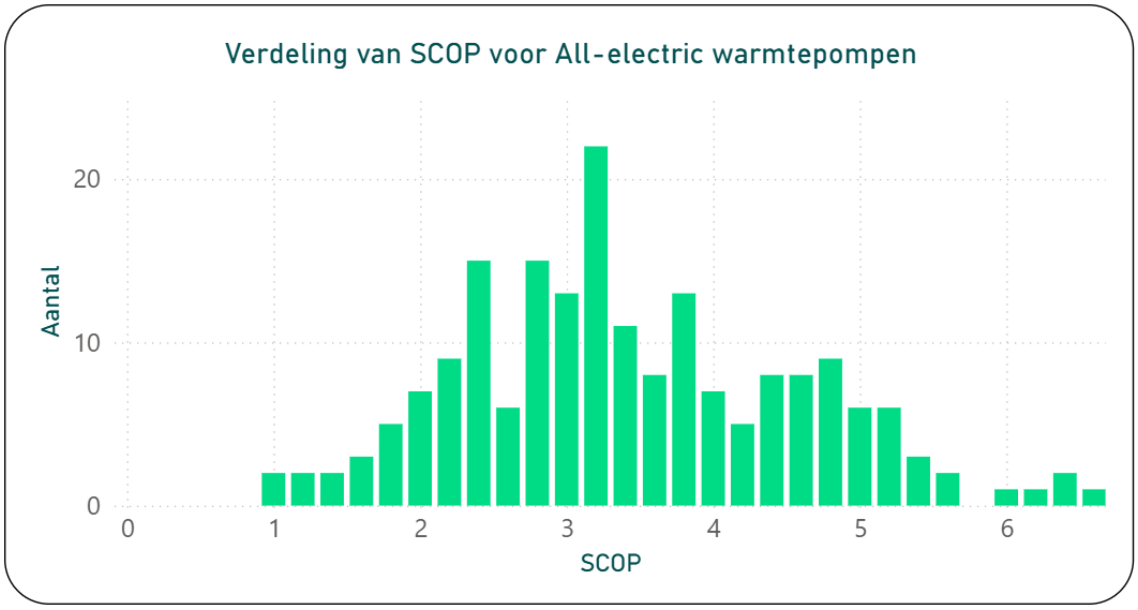
All-electric warmtepompen verschillen op een aantal belangrijke punten van hybride systemen. Er is geen cv-ketel beschikbaar. In plaats daarvan is er vaak een elektrisch element geplaatst dat extra warmte kan leveren als het echt nodig is. Dit gaat met een SCOP van 1 en leidt dus tot hoge elektriciteitsverbruiken. Omdat dit erg inefficiënt is wordt het extra belangrijk dat het volledige verwarmingssysteem van de woning geschikt is om met lagere aanvoertemperaturen de woning te verwarmen. Hierdoor kunnen factoren zoals afgiftesysteem en dimensionering van de warmtepomp een grotere invloed hebben op de prestaties dan bij hybride systemen. In deze paragraaf wordt daarom gekeken in hoeverre de patronen uit de hybride analyse ook zichtbaar zijn bij all-electric systemen.

De dataset voor all-electric is kleiner dan die voor hybride systemen; resultaten worden daarom met voorzichtigheid geïnterpreteerd. Het is bijvoorbeeld door de matige winters van de afgelopen jaren niet mogelijk geweest het effect van elektrische elementen inzichtelijk te maken. In 7J is een uitwerking hiervan terug te vinden. De warmtepompprestatie wordt in dit deel voornamelijk beschreven met de SCOP.

5.2.1 Overzicht en spreiding van SCOP

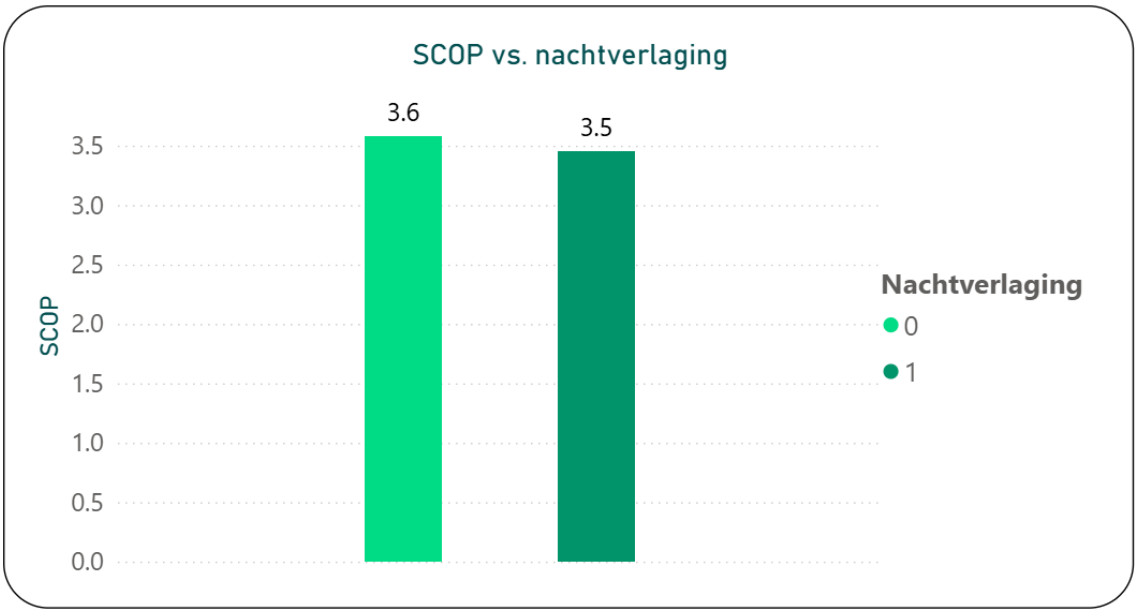


*Figuur 5-15: Deze figuur geeft het gemiddelde prestatieniveau van de all-electric groep: de gemiddelde SCOP voor ruimteverwarming is berekend op **~3,5** (op basis van het eerste volledige jaar aan data per woning; dus niet overal dezelfde kalenderperiode).*
Ook is er een gemiddelde tapwater SCOP berekend. Belangrijkste aanname hierbij is dat de efficiëntie van een cv-ketel bij tapwaterbereiding 85% is. Als de efficiëntie in werkelijkheid lager is, dan daalt ook de SCOP van tapwaterbereiding.
*Belangrijke context: er zijn slechts **~250** woningen met all-electric warmtepomp en complete dataset, waardoor subcategorieën snel klein en minder representatief worden. Er zitten verschillende typen systemen in (o.a. PVT, bodem), maar aantallen zijn te klein om daar robuuste uitspraken over te doen. Daarnaast is geen aparte validatie uitgevoerd met individuele all-electric meetdata; de modellering lijkt op die voor hybrides maar kent verschillen (zoals tapwaterproductie).*

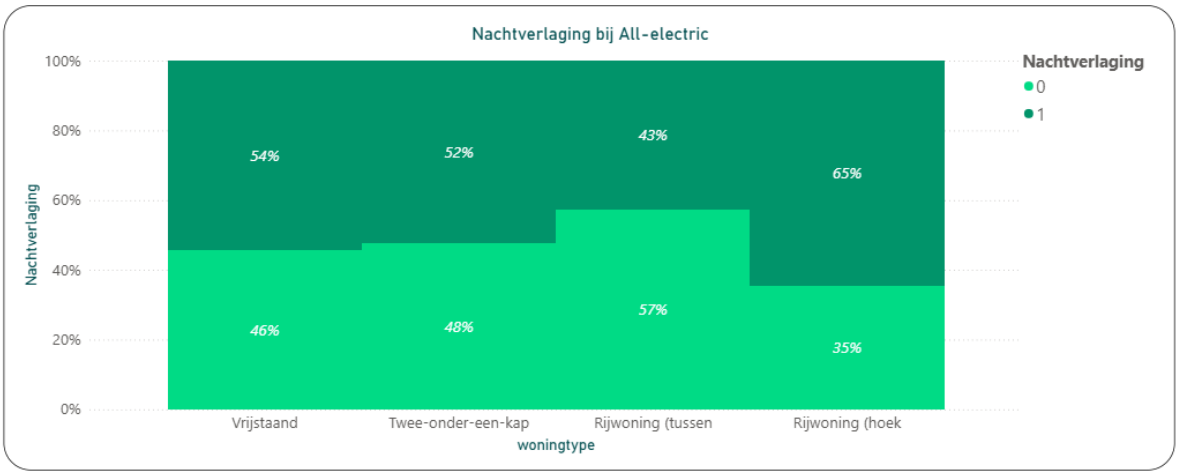


Figuur 5-16: De verdeling van SCOP's voor all-electric laat net als bij hybrides brede uitlopers zien. De bepaling van SCOP via slimme meterdata is minder nauwkeurig dan de bepaling van dekkingsgraad voor hybrides. Omdat all-electric geen dekkingsgraad kent, wordt de prestatieanalyse volledig op SCOP gebaseerd in de volgende paragrafen.

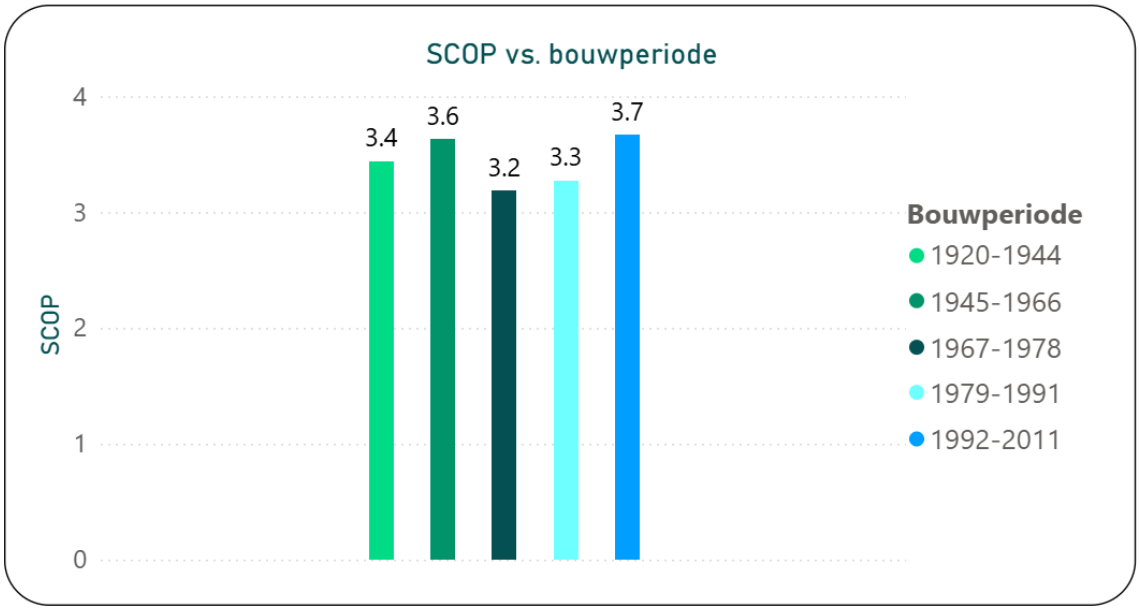
5.2.2 Nachtverlaging en woningkenmerken



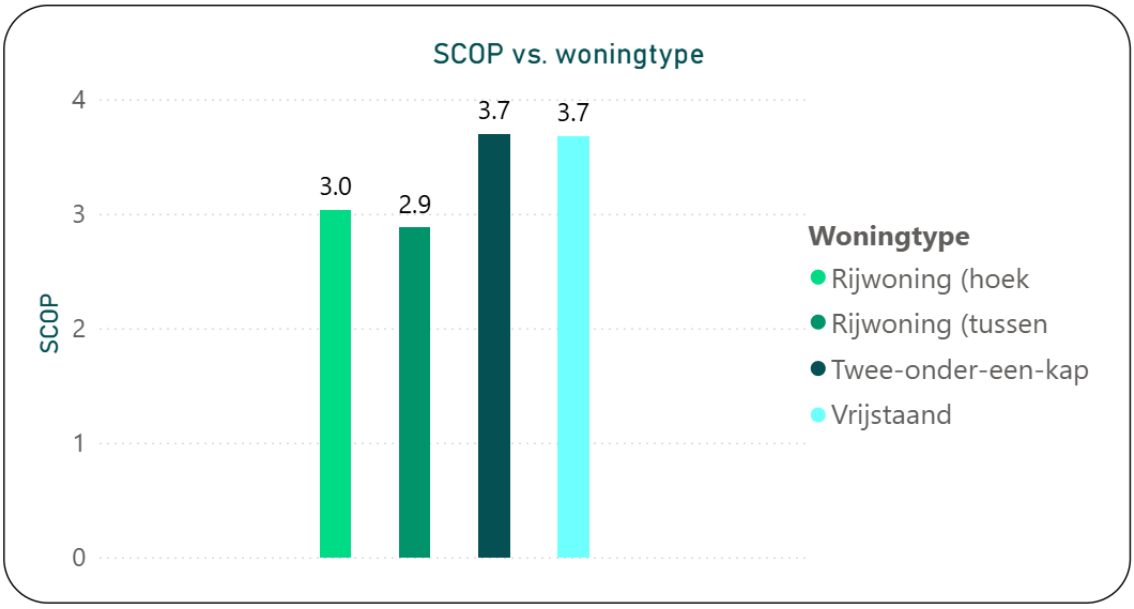
Figuur 5-17: Nachtverlaging is bij all-electric anders bepaald dan bij hybrides. Er is nu geen gasketel die bij kan stoken. Daarom zijn er hier twee categorieën: geen nachtverlaging (0) of wel nachtverlaging (1).
In tegenstelling tot hybrides geldt hier: nachtverlaging geeft een iets lagere SCOP. Verklaring: zonder gasketel moet de warmtepomp 's ochtends de inhaalwarmte zelf leveren, juist wanneer buitentemperaturen gemiddeld het laagst zijn → lagere COP → lagere SCOP. Het verschil is gemiddeld klein en de populatie is beperkt; daarom wordt in de vervolg-analyse geen onderscheid gemaakt (verdeling wel/geen nachtverlaging is ongeveer 50/50).



Figuur 5-18: Het percentage woningen dat nachtverlaging toepast of juist niet uitgesplitst naar woningtype. De resultaten laten zien dat het toepassen van nachtverlaging sterk varieert tussen woningen en een belangrijke invloed kan hebben op de prestaties van warmtepompen.

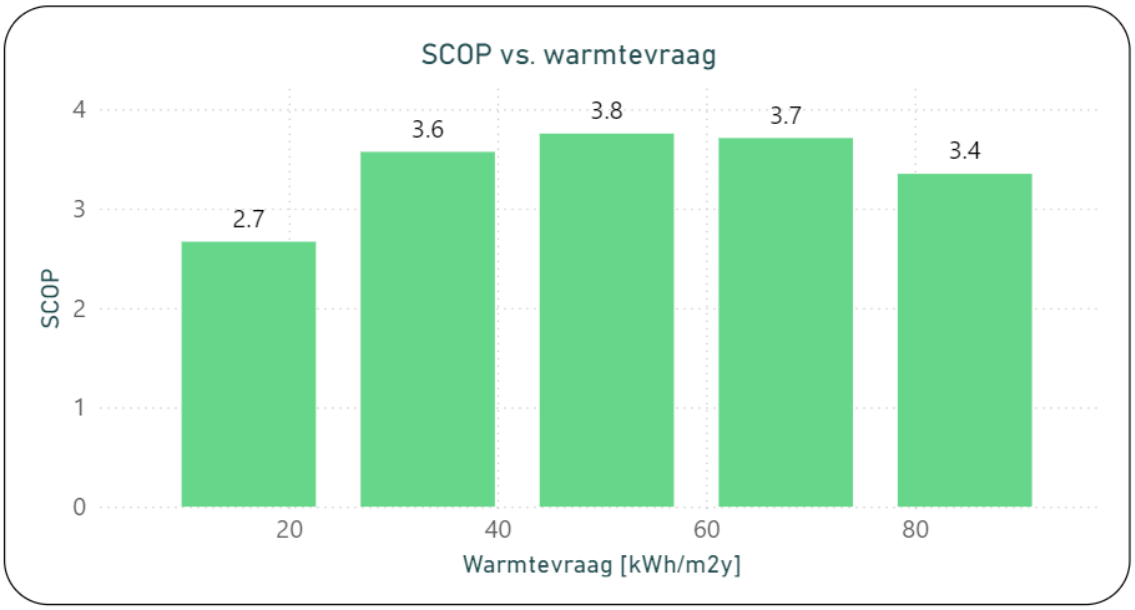


Figuur 5-19: De verschillen tussen bouwperiodes zijn in deze populatie beperkt; de variatie in de SCOP die zichtbaar is, is waarschijnlijk vooral een gevolg van kleine groepsgroottes per categorie. Bijna de helft van de woningen valt in 1992–2011; de rest is relatief gelijkmatig verdeeld (groepsgrootte van boven naar beneden: 17, 17, 31, 34 en 93).Uit de hybride analyse weten we dat de verschillen tussen de bouwperiodes in de populatie heel beperkt zijn.

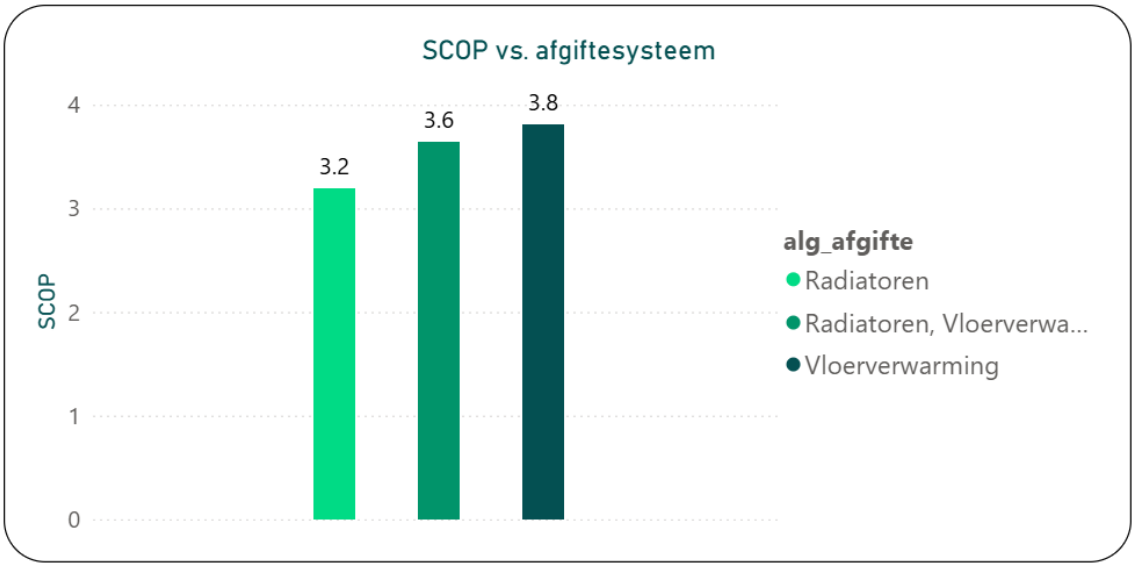


Figuur 5-20: De verschillen tussen woningtypen lijken hier groot, met name tussen rijwoningen en 2-onder-1-kap/vrijstaand. Groepsgroottes (van boven naar beneden) zijn 23, 21, 37 en 112. Een verklaring hiervoor is echter niet op te maken uit de Installatiemonitor data. Dit is een interessant thema voor een vervolgonderzoek.

5.2.3 Warmtevraag en afgiftesysteem



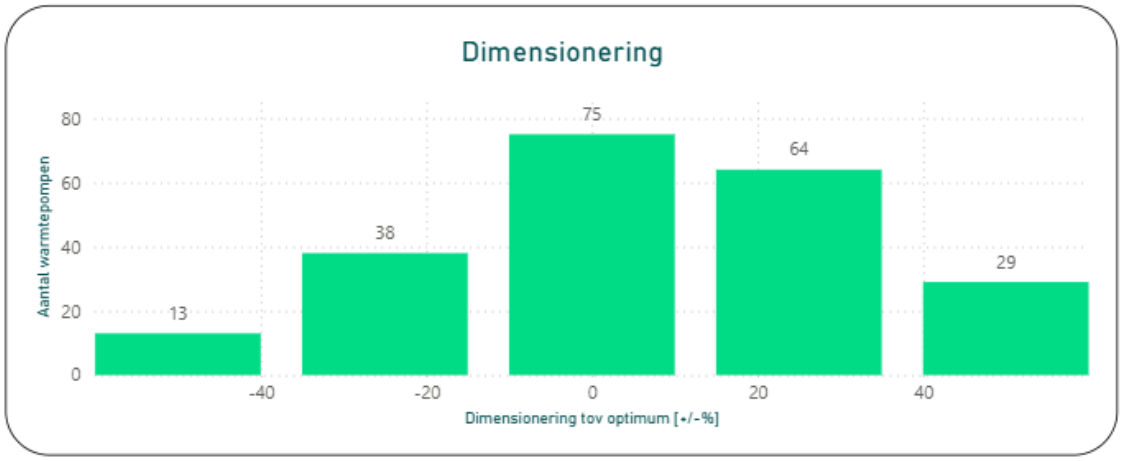
Figuur 5-21: Groepsgroottes (links → rechts): 9, 50, 62, 48, 20. Het hybride patroon is ook hier zichtbaar: grote woningen die deels verwarmd worden hebben lage warmtevraag per m² en lagere SCOP; bij de laagste categorie (n=9) zien we SCOP ~2,7, in lijn met hybride bevindingen (daar daalde SCOP tot ~2,8).
Verschil t.o.v. hybrides: bij hogere warmtevraag per m² lijkt SCOP in te zakken. De hoogste categorie is klein (n=20), maar de trend lijkt al te starten rond 70 kWh/m²·jaar (n=48). Duiding: bij all-electric kan de warmtepomp op koude momenten tegen de grenzen van het afgiftesysteem aanlopen, waardoor hogere aanvoertemperaturen nodig zijn en SCOP daalt; mogelijk zelfs met inzet van een elektrisch element. In 7J wordt verder ingegaan op de zichtbaarheid van het elektrische element in de Installatiemonitor populatie.



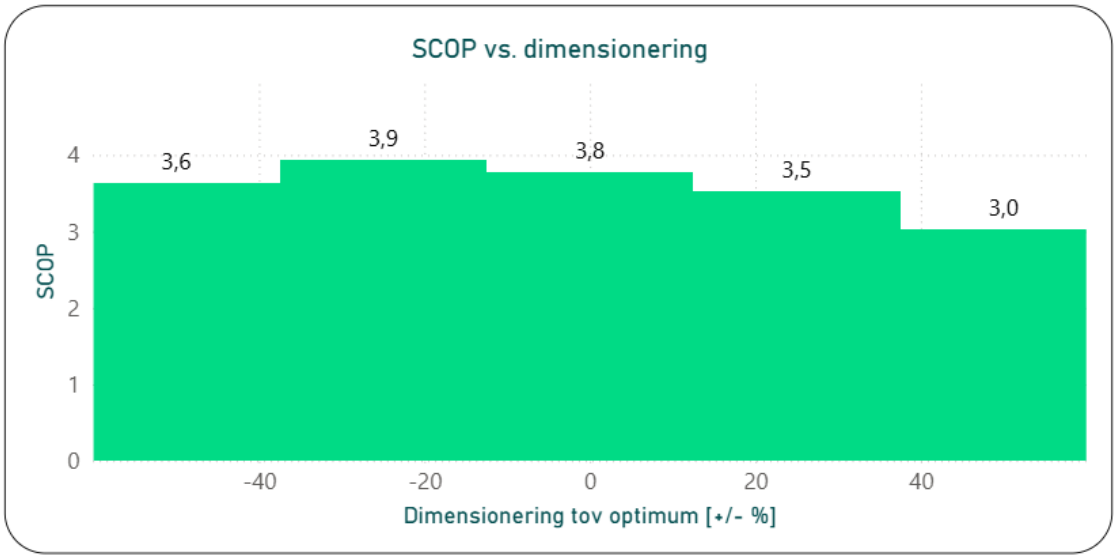
Figuur 5-22: Waar bij hybrides de invloed van afgiftesysteem beperkt leek, is hier een sterker verband zichtbaar. Met name het verschil tussen alleen radiatoren en alleen vloerverwarming is groter; combinaties (vloerverwarming + radiatoren) liggen dichter bij de prestatie van enkel vloerverwarming.
Duiding: all-electric heeft geen gasketel die op koude momenten bij kan springen voor hogere aanvoertemperaturen; daardoor werkt de kwaliteit/geschiktheid van het afgiftesysteem sterker door in de prestatie op koude momenten en daarmee in de jaar-SCOP. Bij woningen met alleen vloerverwarming is waarschijnlijk extra aandacht besteed aan het geschikt maken voor lage temperatuur verwarming. Bij woningen met alleen radiatoren is dit misschien minder uitgebreid gebeurd waardoor de SCOP lager uit komt.

5.2.4 Dimensionering

Voor all-electric warmtepompen geld dat er geen gasketel is die warmte kan leveren aan de woning. Een warmtepomp moet dus niet geoptimaliseerd worden voor prestaties bij 0 °C. In plaats daarvan moet de warmtepomp gedimensioneerd worden om genoeg warmte te leveren om de woning bij -10°C warm te houden.



Figuur 5-23: Overzicht van de dimensionering van All-electric warmtepompen als verhouding tussen geïnstalleerd vermogen en "optimaal" vermogen op basis van de warmtevraag bij -10 °C. -50% betekent: warmtepomp is half zo groot als optimaal; +50% betekent: de warmtepomp is twee keer groter dan optimaal. Er zijn meer woning over- dan ondergedimensioneerd.



Figuur 5-24: Bij All-electric warmtepompen zien we een duidelijker optimum: hoogste SCOP bij warmtepompen die "aan de krappe kant" gedimensioneerd zijn. Zowel te klein als te groot gedimensioneerd geeft duidelijk lagere SCOP.
Duiding: te klein kan leiden tot slechte prestaties bij lage temperaturen of inzet van elektrisch element; te groot geeft – net als bij hybrides – meer kans op pendelen, zeker in woningen die (feitelijk) niet volledig verwarmd worden.

5.3 Vergelijking tussen all-electric en hybride warmtepompen

In de Installatiemonitor-dataset zijn aanzienlijk meer woningen met een hybride warmtepomp aanwezig dan woningen met een all-electric systeem. Dit verschil hangt samen met de huidige marktontwikkeling in Nederland, waarin hybride systemen de afgelopen jaren een groot aandeel hebben gehad in de verkoop van warmtepompen. Hierdoor is de dataset voor hybride systemen groter en statistisch robuuster, terwijl het aantal all-electric systemen beperkter is.

Naast het verschil in aantallen zijn er ook duidelijke verschillen in de kenmerken van de woningen waarin beide typen systemen worden toegepast. Woningen met een all-electric warmtepomp hebben gemiddeld een gunstiger energielabel en beschikken vaker over een groter aandeel lagetemperatuurafgiftesystemen, zoals vloerverwarming. Daarnaast zijn deze woningen gemiddeld iets recenter gebouwd en beter geïsoleerd dan woningen met een hybride systeem. Ook het gemiddelde vloeroppervlak van woningen met een all-electric warmtepomp ligt iets hoger.

Deze verschillen in woningkenmerken hangen samen met de manier waarop warmtepompen in de praktijk worden toegepast. All-electric systemen worden doorgaans geïnstalleerd in woningen waar de relatieve warmtevraag relatief laag is en waar het afgiftesysteem geschikt is voor lage aanvoertemperaturen. Hybride systemen worden daarentegen vaak toegepast in bestaande woningen waar de relatieve warmtevraag hoger is of waar radiatoren aanwezig zijn die hogere aanvoertemperaturen vereisen.

Ook in de toegepaste afgiftesystemen zijn verschillen zichtbaar. Bij all-electric warmtepompen komt vloerverwarming relatief vaak voor, terwijl hybride systemen vaker worden gecombineerd met radiatoren of een combinatie van radiatoren en vloerverwarming. Dit heeft direct invloed op de benodigde aanvoertemperaturen en daarmee op de efficiëntie van het systeem.

Tegelijkertijd blijkt uit de analyse dat de grens tussen beide typen systemen in de praktijk niet altijd scherp is. All-electric warmtepompen worden regelmatig in woningen geplaatst waar ze als hybride draaien, dus in combinatie met een cv-ketel en zonder tapwater te maken. Toch zijn er ook merken die specifiek all-electric warmtepompen maken, mogelijk is dat ook een bron van de verschillende in praktijkprestaties.

Wanneer de prestaties van beide typen systemen worden vergeleken, blijkt dat all-electric warmtepompen gemiddeld een hogere SCOP voor ruimteverwarming behalen dan hybride systemen. Dit verschil kan grotendeels worden verklaard door de verschillen in woningkenmerken en afgiftesystemen. In woningen met een lagere warmtevraag en lage-temperatuurafgifte kan een warmtepomp efficiënter werken, wat leidt tot een hogere seizoenprestaties.

De resultaten laten zien dat het type warmtepompsysteem niet los kan worden gezien van de woning waarin het systeem wordt toegepast. Verschillen in prestaties tussen hybride en all-electric systemen worden in belangrijke mate bepaald door factoren zoals isolatieniveau, warmtevraag en het type afgiftesysteem.

5.4 Ondermaats presterende installaties

De analyses in dit hoofdstuk laten zien dat de prestaties van warmtepompen sterk kunnen variëren tussen woningen. In een deel van de gevallen gaat het hierbij om normale variatie tussen woningen met verschillende warmtevraag, instellingen en gebruikspatronen. In andere gevallen wijzen extreme waarden echter op installaties die duidelijk ondermaats presteren.

Juist deze extreme waarden zijn interessant, omdat zij inzicht geven in situaties waarin warmtepompsystemen niet functioneren zoals bedoeld. Door deze installaties nader te bekijken ontstaat beter inzicht in factoren die de prestaties van warmtepompen in de praktijk negatief kunnen beïnvloeden. In sommige gevallen lijken deze afwijkingen samen te hangen met installatie- of instellingsproblemen.

In de dataset komen bijvoorbeeld installaties voor met zeer lage dekkingsgraden of uitzonderlijk lage SCOP-waarden. Deze waarden zijn vaak moeilijk te verklaren op basis van woningkenmerken alleen.

Aanvullend praktijkonderzoek naar een selectie van deze installaties laat zien dat ondermaatse prestaties vaak samenhangen met factoren zoals:

- ongunstige instellingen van de installatie
- te hoge aanvoertemperaturen
- onjuiste dimensionering
- aanvullende elektrische verwarming
- of afwijkend gebruik van het systeem.

Deze bevindingen zullen worden gepubliceerd in het praktijkprestatieonderzoek warmtepompen (7E). Ze laten zien dat de gerealiseerde prestaties van warmtepompen niet alleen afhankelijk zijn van het type systeem, maar ook sterk worden beïnvloed door installatiekwaliteit en instellingen.

5.5 Wat betekenen deze prestaties?

De voorgaande paragrafen beschrijven de technische prestaties van warmtepompen in de praktijk. Om deze prestaties te vertalen naar betekenis voor huishoudens en klimaat, wordt in deze paragraaf een vergelijking gemaakt tussen verschillende verwarmingsscenario's. Een standaardwoning met een gebruik van 1200 m^3 aardgas, 1000 m^3 voor ruimteverwarming en 200 m^3 voor tapwater bereiding vormt de basis van deze vergelijking. Er is voor deze woning berekend wat de besparingen zijn voor zowel een hybride als all-electric warmtepomp op basis van de resultaten van de analyse in dit rapport. De volledige berekening is terug te vinden in 7G. Deze kostenberekening is gedaan op basis van kale gas- en stroomprijzen inclusief BTW.

	Gasketel	Hybride warmtepomp	All-electric warmtepomp
Jaarlijks gasgebruik	1200 m^3	420 m^3	0 m^3
Gasgebruik ruimteverwarming	1000 m^3	220 m^3	0 m^3
Elektriciteit ruimteverwarming	0	2017 kWh	2498 kWh
Gasgebruik tapwater	200 m^3	200 m^3	0 m^3
Elektriciteit tapwater	0	0	722 kWh
Energiekosten	1440,-	1028,-	837,-
Besparing	0	412,-	603,-
CO_2-uitstoot	2148 kg	1155 kg	644 kg
CO_2-besparing	0	993 kg	1504 kg

Figuur 5-25: Tabel/figuur met een rekenvoorbeeld voor een "gemiddeld Nederlands huishouden" waarin jaarlijks gas- en elektriciteitsgebruik (ruimteverwarming en tapwater), energiekosten, besparing en CO_2-uitstoot/besparing worden vergeleken tussen gasketel, hybride warmtepomp en all-electric warmtepomp (koken uitgesloten).

5.6 Samenvatting

Dit hoofdstuk laat zien hoe warmtepompen in de praktijk presteren en welke factoren daadwerkelijk bepalend zijn voor de resultaten. Warmtepompen leveren in de Installatiemonitor-dataset een substantieel deel van de warmtevraag, maar de spreiding is groot. Prestaties hangen minder samen met woningkenmerken zoals bouwperiode of woningtype dan met gedrag, instellingen en systeemkeuzes. De belangrijkste inzichten zijn:

- Hybride warmtepompen bereiken gemiddeld een dekkingsgraad van 79 % met een SCOP van 3,3. Nachtverlaging is de sterkste negatieve factor: woningen zonder nachtverlaging scoren 86 %, met problematische nachtverlaging is dit 69 %.
- Woningkenmerken (bouwperiode, type) verklaren slechts een beperkt deel van de variatie; veel verschillen worden verklaard door bewonersgedrag en installatiekeuzes.
- In deze specifieke populatie (gemiddeld grote woningen) is warmtevraag per m^2 duidelijk gecorreleerd met vloeroppervlak: grotere woningen hebben een lagere warmtevraag per m^2 omdat niet alle ruimtes structureel worden verwarmd. Dit beïnvloedt zowel de interpretatie van prestaties als de dimensionering.
- Dimensionering en benuttingsgraad laten zien dat meer dan de helft van de installaties structureel onderbenut blijft. Overdimensionering leidt tot een duidelijk lagere SCOP; Onderdimensionering heeft een kleinere, maar merkbare impact.
- Bij all-electric warmtepompen (kleinere dataset van circa 200 woningen) is de gemiddelde SCOP 3,5 (ruimteverwarming) en 2,3 (tapwater). Hier valt de invloed van afgiftesysteem en dimensionering sterker uit dan bij hybride systemen, omdat er geen cv-ketel als back-up aanwezig is.

Kortom: warmtepompen functioneren goed, maar de gerealiseerde prestaties worden in belangrijke mate bepaald door de integrale toepassing in de woning – van dimensionering en afgiftesysteem tot gebruikersgedrag. Deze bevindingen vormen de basis voor de conclusies en aanbevelingen in het vervolg van het rapport, met concrete implicaties voor huishoudens, installateurs en netbeheerders.

6 Conclusies

6.1 Hoofdconclusies

De analyses in dit rapport laten zien dat warmtepompen in de praktijk over het algemeen goed functioneren en een belangrijk aandeel leveren in de warmtevraag van woningen. Zowel hybride als all-electric systemen dragen in veel woningen substantieel bij aan de vermindering van aardgasgebruik.

Tegelijkertijd blijkt dat de prestaties van warmtepompen sterk kunnen variëren tussen woningen. Deze variatie hangt samen met verschillen in woningkenmerken, afgiftesystemen, dimensionering van de installatie en het gedrag van bewoners. De spreiding in prestaties laat zien dat naast de techniek zelf ook ontwerp, installatie en gebruik een belangrijke rol spelen.

Een belangrijke conclusie uit dit onderzoek is dat de dimensionering en het ontwerp van warmtepompinstallaties cruciaal zijn voor goede prestaties. Met name bij all-electric warmtepompen blijkt dat een correcte dimensionering en een goed afgestemd afgiftesysteem bepalend zijn voor een efficiënte werking. Installaties die zijn ontworpen op basis van de werkelijke warmtevraag van een woning functioneren over het algemeen beter dan installaties die zijn gebaseerd op theoretische warmteverliesberekeningen van de volledige woning.

De analyses laten daarnaast zien dat all-electric warmtepompen gemiddeld een hogere SCOP behalen dan hybride. Dit verschil hangt samen met factoren zoals woningkenmerken, lagere aanvoertemperaturen van het afgiftesysteem en het feit dat all-electric systemen doorgaans in woningen worden toegepast die beter geschikt zijn voor lagetemperatuurverwarming.

Een belangrijk resultaat van het onderzoek is dat het mogelijk blijkt om met behulp van slimme meterdata op grote schaal inzicht te verkrijgen in het energiegebruik en de prestaties van warmtepompen. Door het totale energieverbruik van woningen te analyseren en op te splitsen in verschillende componenten kan het elektriciteitsverbruik van warmtepompen en de warmtevraag van woningen betrouwbaar worden bepaald.

Tot slot laat het onderzoek zien dat warmtepompen vaak onderdeel zijn van een bredere elektrificatie van huishoudens. Veel woningen in de dataset beschikken naast een warmtepomp ook over zonnepanelen en in toenemende mate over elektrische voertuigen. Hierdoor ontstaan nieuwe interacties tussen elektriciteitsopwekking, elektriciteitsverbruik en belasting van het elektriciteitsnet.

6.1.1 Prestaties van warmtepompen in de praktijk

De analyses van warmtepomppresta ties laten zien dat warmtepompen in veel woningen goed presteren en een groot deel van de warmtevraag kunnen leveren. Zowel hybride als all-electric systemen dragen bij aan een aanzienlijke reductie van het aardgasverbruik en CO_2-uitstoot.

Voor hybride warmtepompen bedraagt de gemiddelde dekkingsgraad voor ruimteverwarming 78%. De gemiddelde SCOP voor ruimteverwarming bedraagt 3,4 voor hybride warmtepompen en circa 3,5 voor all-electric systemen. De gemiddelde SCOP voor tapwaterbereiding door all-electric warmtepompen bedraagt 2,3.

Tegelijkertijd is er een duidelijke spreiding in prestaties zichtbaar tussen woningen. Deze spreiding wordt onder meer beïnvloed door woningkenmerken, het type afgiftesysteem, de instellingen van de installatie en het gebruiksgedrag van bewoners. Instellingen zoals nachtverlaging kunnen bijvoorbeeld invloed hebben op het energiegebruik en de efficiëntie van de warmtepomp.

De variatie in prestaties laat zien dat de technische mogelijkheden van warmtepompen sterk afhankelijk zijn van de context waarin ze worden toegepast. Dit onderstreept het belang van een goed ontwerp van de installatie en een goede afstemming tussen warmtepomp, afgiftesysteem en woning.

6.1.2 Belang van dimensionering en installatieontwerp

Uit de analyses blijkt dat de dimensionering van warmtepompinstallaties een belangrijke factor is voor de uiteindelijke prestaties. Met name bij all-electric warmtepompen kan een onjuiste dimensionering leiden tot een minder efficiënte werking en een verhoogd elektriciteitsverbruik.

Voor perfect gedimensioneerde warmtepompen is de SCOP 3,3 voor hybride warmtepompen of 3,8 voor all-electric warmtepompen. Voor te groot gedimensioneerde warmtepompen is de SCOP 2,7 voor hybride warmtepompen of 3,0 voor all-electric warmtepomp.

Onderdimensionering komt minder vaak voor en heeft een minder grote impact op de warmtepomppprestaties. Voor hybride warmtepompen wordt de gemiddelde dekkingsgraad iets lager (6% t.o.v. optimaal gedimensioneerd) en is er geen impact op de gemiddelde SCOP. Bij all-electric warmtepompen lijkt er een optimum SCOP te zijn voor warmtepompen die 25% kleiner zijn gedimensioneerd dan optimaal. Het risico is dat er dan een elektrisch element nodig kan zijn bij echt lage temperaturen. In de meetperiode is het niet koud genoeg geweest om dit te bevestigen.

De resultaten suggereren dat het ontwerp van installaties in veel gevallen beter kan worden afgestemd op de werkelijke warmtevraag van de woning. In de praktijk worden installaties vaak ontworpen op basis van theoretische warmteverliesberekeningen van de volledige woning. De analyses laten zien dat het werkelijke energiegebruik van woningen en de feitelijke warmtevraag in veel gevallen lager liggen dan wat de geïnstalleerde warmtepomp kan leveren.

Een dimensionering op basis van werkelijke warmtevraag kan daarom bijdragen aan efficiëntere installaties en betere prestaties van warmtepompen in de praktijk.

6.1.3 Vergelijking tussen hybride en all-electric warmtepompen

De resultaten laten zien dat all-electric warmtepompen gemiddeld een hogere SCOP behalen dan hybride systemen. Dit verschil kan deels worden verklaard door verschillen in de woningen waarin deze systemen worden toegepast. All-electric systemen worden vaker geïnstalleerd in woningen met een beter isolatieniveau en een afgiftesysteem dat geschikt is voor lage aanvoertemperaturen.

De vergelijking tussen hybride en all-electric systemen laat zien dat beide technologieën een rol kunnen spelen in de verduurzaming van de gebouwde omgeving, maar dat de optimale toepassing afhankelijk is van de kenmerken van de woning en het verwarmingssysteem.

6.1.4 Betrouwbaarheid van de analysemethode

Een belangrijk onderdeel van dit onderzoek is de validatie van de analysemethoden die worden gebruikt om slimme meterdata te analyseren. Omdat slimme meters alleen het totale energieverbruik van een woning registreren, is het noodzakelijk om analysemethoden toe te passen om het verbruik van verschillende apparaten te onderscheiden.

De validatie laat zien dat het mogelijk is om met behulp van deze methoden het elektriciteitsverbruik van warmtepompen, de opwek van zonnepanelen en het laadgedrag van elektrische voertuigen op woningniveau te reconstrueren. Vergelijkingen met praktijkmetingen uit het Demonstratieproject Hybride Warmtepompen laten zien dat belangrijke indicatoren zoals warmtepompverbruik, warmtevraag en SCOP met voldoende nauwkeurigheid kunnen worden bepaald.

Hiermee laat het onderzoek zien dat slimme meterdata een waardevolle bron vormt voor grootschalige monitoring van warmtepompen in de praktijk.

6.1.5 Elektrificatie van huishoudens

De dataset laat zien dat warmtepompen vaak worden toegepast in woningen die ook beschikken over andere elektrische technologieën. Ruim 95% van de woningen heeft zonnepanelen en 39% van de enquête respondenten beschikt over een elektrische auto, waarvan 25% die auto achter de eigen meter laden. Daarnaast blijkt uit de enquête dat al 11% van de deelnemers een thuisbatterij heeft.

Deze combinatie van technologieën leidt tot een toenemende elektrificatie van huishoudens. Hierdoor ontstaan nieuwe interacties tussen elektriciteitsopwekking, elektriciteitsverbruik en energieopslag binnen woningen.

Het energiegebruik van huishoudens wordt daarmee complexer en dynamischer, wat gevolgen heeft voor zowel energiebeleid als voor de planning en het beheer van elektriciteitsnetten.

6.1.6 Implicaties voor het elektriciteitsnet

De verdere elektrificatie van huishoudens heeft ook gevolgen voor het elektriciteitssysteem. Warmtepompen, zonnepanelen en elektrische voertuigen beïnvloeden gezamenlijk het elektriciteitsverbruik van woningen en daarmee ook de belasting van het elektriciteitsnet.

In dit rapport is een samenvatting opgenomen van het onderzoek Netimpact woningen met warmtepomp. Dit onderzoek laat zien dat de impact op het elektriciteitsnet niet alleen wordt bepaald door afzonderlijke technologieën, maar vooral door de combinatie van verschillende elektrische toepassingen in huishoudens. Het gelijktijdig gebruik van meerdere elektrische apparaten kan leiden tot hogere piekbelastingen op lokaal niveau.

Dit onderstreept het belang van integrale analyses van huishoudelijk energiegebruik bij het beoordelen van de impact van elektrificatie op het elektriciteitsnet.

6.1.7 Lessen voor verschillende doelgroepen

De resultaten van Installatiemonitor bieden verschillende inzichten voor beleidsmakers, netbeheerders en de installatiesector.

Voor beleidsmakers laten de resultaten zien dat praktijkdata een belangrijke aanvulling vormt op modelstudies en aannames over energiegebruik. Grootschalige monitoring op basis van bestaande databronnen kan bijdragen aan realistischer beleid en betere inschattingen van de impact van elektrificatie.

Voor netbeheerders laten de resultaten zien dat elektrificatie van huishoudens vaak gelijktijdig plaatsvindt op meerdere fronten. De combinatie van warmtepompen, zonnepanelen en elektrische voertuigen leidt tot een complexer elektriciteitsprofiel op woningniveau. Voor een goed begrip van netbelasting is het daarom belangrijk om deze technologieën in samenhang te analyseren.

Voor de installatiesector benadrukken de resultaten het belang van een goede dimensionering en een zorgvuldig ontwerp van warmtepompinstallaties. Installaties die goed zijn afgestemd op de warmtevraag van de woning en het afgiftesysteem functioneren efficiënter en leveren betere prestaties in de praktijk.

De resultaten van Installatiemonitor laten zien dat grootschalige monitoring van warmtepompen mogelijk is met bestaande databronnen. Praktijkdata zoals in dit onderzoek vormt een belangrijke basis voor het verbeteren van installaties, het ontwikkelen van effectief beleid en het voorbereiden van het elektriciteitssysteem op verdere elektrificatie van de gebouwde omgeving.

6.2 Discussie

De resultaten in dit rapport bieden inzicht in de praktijkprestaties van warmtepompen in Nederlandse woningen. Bij de interpretatie van de resultaten is het echter belangrijk om rekening te houden met enkele kenmerken en beperkingen van de dataset en de analysemethode.

Ten eerste is de populatie van Installatiemonitor niet volledig representatief voor de Nederlandse woningvoorraad. De dataset bevat relatief veel grotere eengezinswoningen en huishoudens die vooroplopen in de energietransitie. In deze woningen komen warmtepompen, zonnepanelen en elektrische voertuigen relatief vaak voor. De resultaten geven daarmee vooral inzicht in woningen waarin warmtepompen daadwerkelijk worden toegepast en minder in de volledige woningvoorraad.

Daarnaast is de analyse gebaseerd op slimme meterdata. Deze databron biedt veel mogelijkheden voor grootschalige monitoring van energiegebruik, maar heeft ook beperkingen. De slimme meter registreert alleen het totale elektriciteits- en gasverbruik van een woning. Apparaten die niet direct zichtbaar zijn in deze data kunnen de analyse beïnvloeden. Voorbeelden hiervan zijn houtkachels of pellet kachels, die een deel van de warmtevraag kunnen leveren zonder dat dit zichtbaar is in het energieverbruik. Ook andere vormen van elektrische verwarming, zoals elektrische radiatoren of infraroodpanelen, kunnen het elektriciteitsprofiel van een woning beïnvloeden en daarmee de analyse van warmtepompgebruik verstoren.

Daarnaast kunnen veranderingen in woningen gedurende de meetperiode invloed hebben op de resultaten. Gedragsveranderingen van bewoners, aanpassingen aan de installatie of maatregelen aan de gebouwschil, zoals isolatie, kunnen leiden tot veranderingen in energiegebruik die niet altijd direct uit de data af te leiden zijn. Dit kan bijvoorbeeld invloed hebben op de geschatte warmtevraag van de woning.

Ondanks deze beperkingen laten de validatiestudies en de omvang van de dataset zien dat slimme meterdata een waardevolle bron vormt voor het analyseren van warmtepompprestaties op grote schaal. De combinatie van grootschalige data-analyse en

validatie met praktijkmetingen maakt het mogelijk om betrouwbare inzichten te verkrijgen in het functioneren van warmtepompen in de praktijk.

6.3 Vervolgonderzoek

De resultaten van Installatiemonitor laten zien dat slimme meterdata veel mogelijkheden biedt voor het monitoren van energiegebruik en warmtepomppresta ties in woningen. Tegelijkertijd zijn er verschillende richtingen waarin dit onderzoek in de toekomst verder kan worden ontwikkeld.

Een belangrijke ontwikkeling is de verdere elektrificatie van huishoudens. In toenemende mate worden woningen uitgerust met technologieën zoals thuisbatterijen en Home Energy Management Systems (HEMS). Deze systemen kunnen het energiegebruik van woningen actief sturen en beïnvloeden daarmee het elektriciteitsprofiel van huishoudens, en de hoogte van de netbelasting vanuit de huisaansluiting. Toekomstig onderzoek kan zich richten op de interactie tussen laadpalen, warmtepompen, zonnepanelen, batterijen en slimme sturing binnen woningen.

Daarnaast kan het waardevol zijn om de dataset verder uit te breiden met meer gemiddelde woningen, en woningen met all-electric warmtepompen. Naarmate het aantal all-electric systemen groeit, ontstaat de mogelijkheid om verschillende subtypen en toepassingssituaties beter te analyseren en te vergelijken.

Een ander belangrijk onderzoeksgebied betreft de kwaliteit van warmtepompinstallaties. De analyses in dit rapport laten zien dat dimensionering en ontwerp een belangrijke rol spelen in de uiteindelijke prestaties van warmtepompen. Verdere verdieping van dit onderwerp vindt plaats in het praktijkprestatieonderzoek warmtepompen (zie ook bijlage 7E), waarin installaties in detail worden onderzocht.

Door deze ontwikkelingen te combineren kan Installatiemonitor zich verder ontwikkelen tot een belangrijke bron van kennis over het functioneren van warmtepompen en andere elektrische technologieën in Nederlandse woningen. Inzicht in het werkelijke energiegebruik van huishoudens blijft essentieel voor beleidsontwikkeling, netbeheer en verdere innovatie in de energietransitie.

7 Bijlagen

A Enquête 1 – Beleving installatieproces (eind 2023)

Deze enquête onder 1.800 deelnemers van Installatiemonitor (1.274 hybride, 522 all-electric) geeft inzicht in hoe woningeigenaren het installatieproces van hun warmtepomp hebben ervaren. De uitkomsten zijn opvallend positief: 95% van de respondenten is tevreden en zou een warmtepomp aanraden aan anderen. Dat is aanzienlijk hoger dan eerdere onderzoeken uit 2021, waar de tevredenheid rond de 70% lag.

Ruim de helft van de respondenten (54%) gaf aan vooraf al veel kennis te hebben vergaard, met name via internet (zoals verbeterjehuis.nl en milieucentraal.nl). Een derde liet zich informeren door de installateur; voor 12% was dit zelfs de enige informatiebron. Tegelijkertijd laat dit zien dat er ruimte is om consumenten nog beter en breder te informeren, bijvoorbeeld via integraal woningadvies.

Wat betreft minpunten noemt 35% géén nadelen. Bij all-electric warmtepompen wordt vooral de benodigde ruimte genoemd (30%), met name door het buffervat. Bij hybride systemen is het feit dat men niet volledig van het gas af is het belangrijkste nadeel. Opvallend is dat geluid vaker door hybride dan door all-electric gebruikers als aandachtspunt wordt benoemd. Ook ervaren sommige hybride gebruikers comfortproblemen, ondanks de mogelijkheid om bij te stoken met de cv-ketel.

De belangrijkste motivatie voor aanschaf blijkt onafhankelijkheid van (Russisch) aardgas (72%), sterker dan kostenbesparing. Dit wijst op het effect van de energiecrisis als aanjager van adoptie. Tegelijkertijd blijkt dat de aanschaf vaak een “single issue”-beslissing is: consumenten hebben vooraf al besloten dat ze een warmtepomp willen, en maken minder vaak een integrale afweging met isolatie of andere maatregelen.

Het vinden van een installateur lukte bij 66% relatief eenvoudig, ondanks marktkrapte. De installatie duurde bij hybride systemen meestal minder dan één dag; bij all-electric systemen doorgaans twee dagen of meer.

Na installatie functioneerde 62% direct naar verwachting. Bij 19% was de installatie niet goed ingeregeld; 7% had een storing en 4% een aansluitprobleem. Hoewel 62% tevreden was over de oplossing, bleef bij 10% het probleem bestaan of duurde het te lang. Hier ligt duidelijk een verbeterpunt in nazorg en inregelkwaliteit.

De gemiddelde investering bedraagt €6.000 voor hybride en €15.000 voor all-electric (excl. ISDE). Bij all-electric werd in 29% van de gevallen een lening afgesloten. Installateurs spelen een belangrijke rol in subsidie-informatie: 92% is door de installateur gewezen op de ISDE.

Conclusie: De tevredenheid is zeer hoog, maar er zijn duidelijke verbeterpunten rond inregeling, nazorg, informatievoorziening en integrale woningbenadering.

Klik hier om de eerste enquete te downloaden.
https://kennisdelen.rvo.nl/kite/installatiemonitor

B Enquête 2 – Ervaringen in gebruik (mei 2024)

Deze enquête onder 1.649 warmtepompeigenaren (1.175 hybride, 449 all-electric) richt zich op praktijkervaringen tijdens het gebruik. De resultaten bevestigen het overwegend positieve beeld, maar laten ook enkele aandachtspunten zien.

Geluidsoverlast blijkt in de praktijk beperkt. 95% ervaart geen hinder van het buitendeel. Slechts 2% van de buren ervaart overlast. Wel is er verschil tussen hybride en all-electric: bij hybride warmtepompen ervaart 6,3% hinder van het buitendeel tegenover 2,6% bij all-electric. Voor binnendelen liggen deze percentages op respectievelijk 8,3% en 3,0%. In veel gevallen blijken aanvullende maatregelen – zoals trillingsdempers of een omkasting – effectief.

Gebruiksgemak wordt door 71% als eenvoudiger ervaren dan bij een cv-ketel. Toch vindt 9% het systeem (zeer) ingewikkeld, bijvoorbeeld door beperkte regelmogelijkheden of onduidelijke apps. Een derde van de gebruikers wil meer instelmogelijkheden; 13% begrijpt niet goed hoe instellingen aangepast kunnen worden. Ook hier is inregeling en gebruikersuitleg cruciaal.

Het comfort wordt overwegend positief beoordeeld: 82% van de all-electric gebruikers en 72% van de hybride gebruikers is tevreden. Wel geven sommige gebruikers aan dat het systeem anders aanvoelt dan een cv-ketel; verwarmen duurt langer en vraagt om ander gedrag. Tegelijkertijd rapporteren gebruikers aanzienlijke gasbesparing.

38% koos een warmtepomp primair vanwege energiebesparing. Goede isolatie en correcte inregeling blijken bepalend voor prestaties; verschillen in energieverbruik tussen vergelijkbare woningen zijn soms groot.

90% van de deelnemers raadt een warmtepomp aan (lichte daling ten opzichte van 2023). Negatieve ervaringen hangen vooral samen met geluid, storingen en tegenvallende prestaties.

Conclusie: Warmtepompen functioneren in het gebruik grotendeels naar tevredenheid. Geluid blijkt minder problematisch dan vaak gedacht. Grootste winst ligt in betere inregeling, gebruikersbegeleiding en verwachtingsmanagement.

Klik hier om de tweede enquete te downloaden.
https://kennisdelen.rvo.nl/kite/installatiemonitor

C Enquête 3: Slimme sturing, onderhoud en koeling (oktober 2025)

Deze enquête onder 1.818 warmtepompeigenaren (1.186 hybride, 605 all-electric) onderzoekt onderhoud, koeling en de relatie tussen warmtepompen en dynamische energiecontracten.

26,1% van de deelnemers heeft een dynamisch energiecontract; 13,9% overweegt dit. Onder deze groep wordt vaker slimme sturing toegepast. 18% van de huishoudens met een dynamisch contract gebruikt een energiemanagementsysteem of prijsafhankelijke aansturing, tegenover 6% bij huishoudens zonder dynamisch contract. Slechts 2,6% van alle deelnemers laat de warmtepomp zelf optimaliseren op basis van prijs- of zonne-gegevens. Kostenbesparing is de belangrijkste motivatie voor slimme sturing.

Koeling wordt steeds belangrijker: 31% maakt gebruik van actieve koeling, vooral in woonkamer en slaapkamer. 87% ervaart dit als positief. Meestal gebeurt dit via vloerverwarming (35%) of speciale radiatoren (9%). Wie niet koelt, geeft meestal aan dat de warmtepomp daar niet geschikt voor is.

Onderhoud wordt serieus genomen: 48,5% heeft al onderhoud laten uitvoeren, 25,5% is dit van plan. Ongeveer de helft heeft een onderhoudscontract. 71% is tevreden over de onderhoudskosten; 17% vindt deze te hoog. 5,5% kon nog geen geschikte installateur vinden.

De aanbevelingsscore blijft hoog: 87,5% raadt een warmtepomp aan. Wel is dit een lichte daling ten opzichte van 2023. Opvallend is de sociale verspreiding: bij 29% heeft de aanschaf anderen beïnvloed om ook een warmtepomp te kopen.

Conclusie: De warmtepomp ontwikkelt zich van enkel verwarmingssysteem naar onderdeel van een breder energiesysteem, met groeiende aandacht voor koeling en slimme sturing. De koppeling met dynamische contracten biedt potentieel voor netoptimalisatie en kostenreductie, maar de toepassing staat nog in de beginfase.

Klik hier om de derde enquete te downloaden.
https://kennisdelen.rvo.nl/kite/installatiemonitor

D Netcongestie samenvatting

In 2025 is een uitgebreid onderzoek gepubliceerd naar de netimpact van warmtepompen. Hieronder is een samenvatting van dat rapport te vinden. Het volledige rapport is hier te downloaden: **Klik hier om de netcongestie rapportage te downloaden.**
https://kennisdelen.rvo.nl/kite/installatiemonitor

D.1 Doel en context van het onderzoek

Het rapport presenteert de eerste grootschalige analyse van de invloed van warmtepompen op de belasting van het Nederlandse elektriciteitsnet, gebaseerd op slimme meterdata uit meer dan 6.000 woningen die deelnemen aan de *Installatiemonitor*. Deze woningen omvatten zowel hybride als volledig elektrische (all-electric) warmtepompsystemen, vaak in combinatie met zonnepanelen en elektrische voertuigen. Het doel van het onderzoek is om inzicht te krijgen in de netimpact van warmtepompen, de variatie in piekbelasting en de rol van woning- en systeemkenmerken. De resultaten zijn relevant voor netbeheerders, beleidsmakers en andere stakeholders die de energietransitie voorbereiden en het elektriciteitsnet toekomstbestendig willen maken.

Methodologie

De analyse maakt gebruik van gedetailleerde slimme meterdata over een representatieve periode van september 2023 tot september 2024. De dataset bevat elektrische verbruiksdata waarop piekvermogens, dag- en jaarprofielen en temperatuur gerelateerde variaties zijn gebaseerd. Huishoudens zijn geclusterd op basis van woningtype, bouwperiode en verliesoppervlak (oppervlak waarlangs warmte verloren gaat), zodat verschillen in netimpact kunnen worden gekwantificeerd.

D.2 Belangrijkste bevindingen

Piekbelasting en woningkenmerken

- Verliesoppervlak is de sterkste voorspeller van netbelasting: Woningen met een groter verliesoppervlak laten zowel hogere gemiddeld opgenomen piekvermogens als hogere gelijktijdige piekvermogens zien. Dit geldt voor zowel hybride als all-electric warmtepompen.
- Bouwperiode heeft weinig invloed: Renovaties in oudere woningen resulteren in vergelijkbare piekprofielen als moderner gebouwde woningen, waardoor bouwjaar geen significante rol blijkt te spelen.
- Woningtype speelt een rol: Vrijstaande woningen tonen hogere piekvermogens dan rijwoningen, vanwege een hoger verliesoppervlak en warmtevraag.

Verschillen tussen hybride en all-electric warmtepompen

- All-electric warmtepompen veroorzaken hogere gelijktijdige piekbelastingen op het elektriciteitsnet dan hybride systemen. Voor de voorbeeldwoning (verliesoppervlak ca. 250 m^2) ligt het gelijktijdige piekvermogen bij een all-electric warmtepomp rond 2,8 kW, tegenover 1,7 kW voor een hybride warmtepomp.
- Hybride systemen vertonen een begrensd effect bij lage temperaturen: Bij kouder weer nemen piekvermogens niet significant toe, omdat de cv-ketel de

warmtevraag deels overneemt. Daarentegen blijft bij all-electric systemen de warmtepomp het volledige verwarmingsvermogen leveren, wat leidt tot hogere elektriciteitsvraag bij lage buitentemperaturen.

Netimpact in combinatie met andere vraagfactoren

- Zonnepanelen en elektrische voertuigen dragen sterk bij aan de totale netbelasting: De terugleverpieken van zonnepanelen liggen vaak hoger dan de gelijktijdige opnamepieken van warmtepompen, omdat zonne-energie vrijwel gelijktijdig wordt teruggeleverd. Elektrische voertuigen laden meestal met 6–11 kW, wat een grotere impact heeft op het piekvermogen van een woning dan de warmtepomp zelf.
- Seizoens- en dagprofiel-verschillen: Dagelijkse en jaarlijkse netbelasting varieert sterk met temperatuur en gedragspatronen, belangrijk voor netbeheerders bij capaciteitsplanning en congestieanalyse.

D.3 Implicaties voor beleid en netbeheer

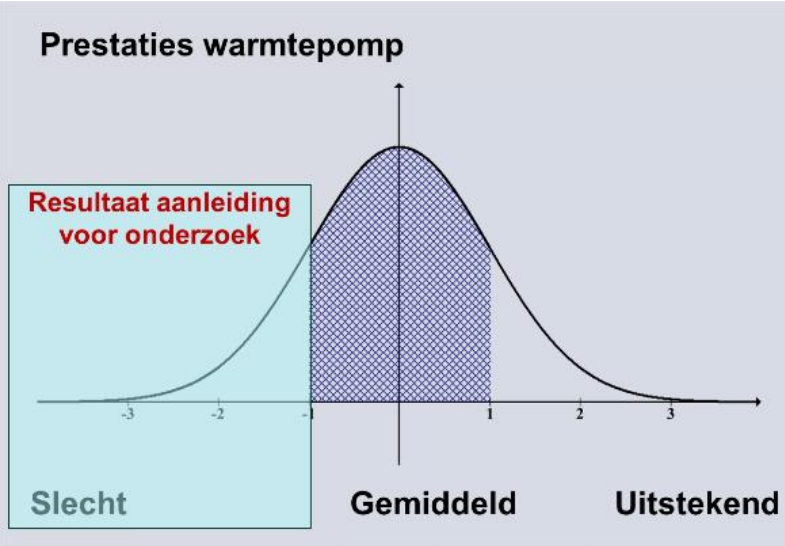
- Toename netbelasting door warmtepompen is beheersbaar, maar verschilt per systeemtype: De hogere piekimpact van all-electric systemen vraagt om gerichte netplanning, vooral bij concentraties van dergelijke woningen.
- Netcongestie kan lokaal ontstaan: De analyse ondersteunt het beeld dat in bepaalde wijken, vooral met hogere concentraties warmtepompen, netuitbreiding of flexibiliteitsmaatregelen nodig kunnen zijn. Daarmee zijn goede voorspellingen van piekbelasting per woningtype en verliesoppervlak essentieel voor toekomstige netinrichting.
- Kennis over woningkenmerken biedt handvatten: Omdat verliesoppervlak zo'n sterke predictor is, kunnen beleidsmakers en adviseurs dit gebruiken om warmtepompuitrol beter af te stemmen op netcapaciteit en gebouwkenmerken.

D.4 Conclusies

Het rapport laat zien dat warmtepompen duidelijk invloed hebben op de netbelasting, maar dat die impact goed te kwantificeren is met praktijksignalen uit slimme meterdata. All-electric systemen brengen hogere netpieken met zich mee dan hybride systemen, maar het totaalplaatje van warmtepompgebruik in combinatie met zonnepanelen en elektrische voertuigen vraagt om een geïntegreerde benadering bij netplanning. De inzichten uit deze rapportage vormen een belangrijke basis voor het toekomstig beleid rondom netcapaciteit, warmtepompuitrol en integratie van flexibele vraagsturing binnen de energietransitie.

E Praktijkonderzoek samenvatting

Dit praktijkonderzoek richt zich op de groep warmtepompinstallaties (hybride en all-electric) die binnen Installatiemonitor 3.0 ondermaats presteren. Het doel is om de oorzaken van deze verminderde prestaties systematisch in kaart te brengen, de betrouwbaarheid van analyses op basis van slimme meterdata te valideren en concrete handvatten te bieden voor verbetering van installatiekwaliteit en netvriendelijk functioneren.



Figuur 7-1: Prestaties van warmtepompen ondermaats

Uit de analyses van slimme meterdata in Installatiemonitor 3.0 blijkt dat de meeste warmtepompen gemiddeld tot uitstekend presteren, maar dat een substantiële groep installaties een lage SCOP en/of lage dekkingsgraad laat zien. Dit leidt tot een hoger dan nodig gasverbruik, een beperktere CO_2-reductie en een onnodig hoge belasting op het elektriciteitsnet. Door juist deze onderpresteerders ('linker blauwe kader'-groep) gericht te onderzoeken, kunnen veelvoorkomende problemen beter worden begrepen.

Typische oorzaken die naar voren komen zijn gebruikersgedrag (zoals nachtverlaging of 'burst heating'), onjuiste regelinstellingen van de thermostaat of de warmtepomp zelf, ontoereikend of verkeerd gedimensioneerd afgiftesysteem, en problemen met de dimensionering van leidingwerk of andere installatie-aspecten.

De aanpak bestaat uit een gestructureerd proces. Eerst worden circa 100 adressen geselecteerd uit het totale areaal, gefilterd op basis van berekende SCOP en dekkingsgraad, met een representatieve spreiding over warmtepomptype, woningtype en schiloppervlak. Vervolgens worden op afstand hypotheses gevormd over de waarschijnlijke oorzaken, met behulp van geavanceerde algoritmes die langdurige slimme meterreeksen analyseren (volledig stookseizoen plus zomerperiode). Na toestemming van de bewoners (AVG-compliant en alleen bij eerdere instemming) volgen locatiebezoeken door WarmtepompMeesters: in eerste instantie bij 15 adressen, na een tussenevaluatie bij nog eens 85 adressen. Tijdens deze bezoeken vindt een schouw en technische check plaats, zonder dat installatiehandelingen worden uitgevoerd vanwege productaansprakelijkheid. Per woning wordt een rapport opgesteld, dat teruggekoppeld wordt aan BDH Advies. Tot slot volgt een correlatieanalyse waarin de hypotheses worden getoetst aan de daadwerkelijke bevindingen op locatie, gevolgd door validatie van de algoritmen en prestatie-indicatoren.

De eerste resultaten tonen aan dat slimme meterdata in nagenoeg alle gevallen een slecht presterende warmtepomp detecteert. Bij 80 procent van de onderzochte installaties kan de waarschijnlijke oorzaak nauwkeurig worden aangewezen. Opvallend is dat de analyses bij hybride systemen doorgaans nauwkeuriger zijn dan bij all-electric systemen. Deze uitkomsten onderstrepen de waarde van slimme meterdata als schaalbaar, kosteneffectief en privacy-vriendelijk instrument voor remote kwaliteitsborging. Het maakt vroegtijdige foutdetectie mogelijk – vaak voordat de bewoner klachten meldt –, stelt installateurs in staat gerichter en efficiënter te werken, en biedt aanknopingspunten om de netbelasting te verlagen door gerichte aanpassingen in inregeling, afgiftesysteem of gebruikersgedrag.

Het onderzoek levert concrete patronen op voor de oorzaken van ondermaatse prestaties, met categorisering over gedrag, woningkenmerken, inregeling en techniek (onder meer weergegeven in een Sankey-diagram). Het valideert slimme meteranalyses als betrouwbare tool voor kwaliteitschecks en netvriendelijk installeren. De aanbevelingen richten zich op verbetering van installatie- en inregelpraktijken, maximalisatie van energiebesparing en CO_2-reductie, en beperking van piekbelasting op het net. Daarmee draagt dit praktijkonderzoek bij aan een efficiëntere uitrol en onderhoud van warmtepompen in de Nederlandse energietransitie.

F Installatiemonitor data op KITE platform

Als onderdeel van de open data-aanpak van Installatiemonitor 3.0 worden de geanonimiseerde verbruiksgegevens en antwoorden op de korte enquête van alle deelnemende woningen gepubliceerd op het Data- en Kennisplatform Individuele Technieken (KITE) van RVO. Deze dataset biedt derden – zoals onderzoekers, beleidsmakers en installateurs – toegang tot gedetailleerde praktijkgegevens over warmtepompinstallaties in het Nederlandse woningbestand. De publicatie bevordert transparantie, herbruikbaarheid en verdere analyses in het kader van de energietransitie.

De dataset bestaat uit twee hoofdcategorieën: tijdreeksen van verbruiks- en weergegevens, en statische woning- en installatiekenmerken uit de enquête. Alle gegevens zijn geanonimiseerd via een unieke Customer ID per woning. De dataset omvat circa 6.000 woningen en wordt aangeboden als één CSV-bestand per woning. Elk bestand bevat een header met de statische kenmerken, gevolgd door de tijdreeksen in rijen, gesorteerd op tijdstip.

De verbruiksgegevens betreffen de slimme meterregistraties na installatie van de warmtepomp, aangevuld met historische gasverbruiksgegevens. De tijdreeksen zijn beschikbaar op verschillende intervallen (15 minuten, uur, dag, maand) en worden gekoppeld aan lokale weergegevens (gemiddelde temperatuur, windsnelheid en zoninstraling, afkomstig van het dichtstbijzijnde weerstation).

Hieronder volgt een overzicht van alle variabelen die in de dataset zijn opgenomen:

Categorie	Variabele	Omschrijving	Eenheid / Waarden	Interval / Opmerkingen
Verbruiksdata	Customer ID	Geanonimiseerde unieke woning-ID	String / numeriek	–
	Elektra	Totaal opgenomen elektriciteitsverbruik (levering + dal + hoog gecombineerd)	kWh	15 min / dag / maand
	Gas	Gasverbruik	m^3	uur / dag / maand
	Gem. temperatuur	Gemiddelde buitentemperatuur	°C	Gekoppeld aan tijdreeks
	Gem. windsnelheid	Gemiddelde windsnelheid	m/s	Gekoppeld aan tijdreeks
	Zoninstraling	Gesommeerde zoninstraling	kWh/m^2	Gekoppeld aan tijdreeks

Categorie	Variabele	Omschrijving	Eenheid / Waarden	Interval / Opmerkingen
Woninggegevens	Bouwjaar	Bouwjaar van de woning, afgerond op tientallen	Jaartal (bijv. 1970, 1980)	–
	Installatiedatum warmtepomp	Maand en jaar van installatie warmtepomp	MM-YYYY	–
	Has_thermostat	Aanwezigheid programmeerbare thermostaat	1 = ja, 0 = nee	–
	Day_temperature	Daginstelling thermostaat	°C	–
	Night_temperature	Nachtinstelling thermostaat	°C	–
	Cook_on_gas	Koken op gas	1 = ja, 0 = nee	–
	Zip_first_4	Eerste vier cijfers van de postcode	4-cijferige code	–
	Weather_station	Dichtstbijzijnde weerstation voor weergegevens	Naam / code	–
	Vloer_oppervlak	Vloeroppervlak woning, afgerond op tientallen	m^2	–
	Energie_label	Energielabel woning (indien bekend)	A++++ t/m G, of leeg	–
	Car_charge	Aanwezigheid laadpaal voor elektrische auto	1 = ja, 0 = nee	–
	Vermogen ISDE	Bivalent vermogen warmtepomp uit ISDE-register	kW	–
	Energy_system	Hoofdsysteem verwarming	Bijv. Hybride warmtepomp, All-electric warmtepomp, HR-ketel, Houtkachel/pelletkachel	–

Categorie	Variabele	Omschrijving	Eenheid / Waarden	Interval / Opmerkingen
	Heat_transfer_system	Afgiftesysteem	Bijv. Radiatoren, Vloerverwarming, Infraroodpanelen	–
	Weekdays	Verwarmingsgedrag doordeweeks	24 uur per dag / Ochtend + avond / Ochtend tot avond	–
	Weekenddays	Verwarmingsgedrag in het weekend	24 uur per dag / Ochtend + avond / Ochtend tot avond	–
	House_type	Type woning	Vrijstaand, 2-onder-1-kap, Hoek, Tussenwoning, Meergezinswoning	–
	Household_size	Aantal bewoners	Aantal personen	–
	Glass_type	Type beglazing	Triple, HR++, Dubbel, Enkel, Weet ik niet	–
	Insulation_type	Type muurisolatie	Spouwmuur met isolatie, Spouwmuur zonder isolatie, Extra geïsoleerd binnen/buiten, Weet ik niet	–
	Floor_insulation_type	Kwaliteit vloerisolatie (op basis van aanbrengjaar)	Goed, Matig, Slecht, Weet ik niet	–
	Roof_type	Kwaliteit dakisolatie (op basis van aanbrengjaar)	Goed, Matig, Slecht, Weet ik niet	–

Hoe toegang krijgen?
De bestanden zijn te downloaden via het KITE-platform op de RVO-website (zoek op “KITE” of “Data- en Kennisplatform Individuele Technieken”). Na gratis registratie en login kun je zoeken op “Installatiemonitor” of “warmtepompen”. De CSV-bestanden kunnen individueel of in bulk worden gedownload en zijn direct inzetbaar in analyse-tools zoals Excel, Python (pandas), R of PowerBI.

Deze open dataset vormt een unieke bron voor praktijkonderzoek naar energieverbruik, gebruikersgedrag, woningkenmerken en prestaties van warmtepompen in Nederland.

G Berekening besparing en CO_2 besparing

Hybride warmtepompen

We bereken dit aan de hand van een rekenvoorbeeld voor een gemiddelde Nederlandse woning, op basis van kale gas- en stroomprijzen inclusief BTW. De woning is als volgt is gedefinieerd:

Cv-Ketel:

- Totaal gasgebruik: 1200 m^3 per jaar
- Gasgebruik voor ruimteverwarming: 1000 m^3 per jaar
- Kosten ruimteverwarming: 1000 * 1.20 = €1200 per jaar
- CO_2 uitstoot ruimteverwarming: 1000 * 1.79 = 1790 kg CO_2

Hybride warmtepomp:

- Gasgebruik voor ruimteverwarming: 1000 * 0.22 = 220 m^3
- Kosten gasgebruik voor ruimteverwarming: 220 * 1.20 = € 264
- Elektriciteitsgebruik voor ruimteverwarming: 1000 * 0.78 * 0.90 * 9.77 / 3.4 = 2017 kWh
- Kosten elektriciteitsgebruik voor ruimteverwarming: 2017 * 0.26 = €524 per jaar
- Totale kosten: 264+ 524 = €788 per jaar
- Besparing: 1200 – 788 = €412 per jaar
- CO_2 uitstoot ruimteverwarming: 220 * 1.79 + 2017 * 0.20 = 797 kg CO_2
- CO_2 besparing: 1790 – 797 = 993 kg, of 55% van de CO_2 voor ruimteverwarming

Vuistregels

Bij de huidige gas- en elektriciteitsprijs[3] is de break-even SCOP, de SCOP waarbij gebruik van de gasketel even duur is als gebruik van de warmtepomp, 1.9. Dus als de SCOP van de warmtepomp onder 1.9 komt, dan is het economisch voordeliger om gas te stoken

Wanneer een hybride warmtepomp wordt geplaatst wordt gemiddeld 80% van de warmtevraag voorzien door de warmtepomp. Dat betekent dat voor elke m^3 gas die bespaard wordt, 2.6 kWh elektriciteit wordt gebruikt door de warmtepomp.

[3] Gasprijs 2026 € 1,20 Elektriciteitsprijs € 0,26.

All-electric warmtepompen

De prestaties van een all-electric warmtepomp: Een gemiddelde SCOP voor ruimteverwarming van 3.52 en een tapwater SCOP van 2.3. Wat betekent dit voor de business case en CO_2 uitstoot? Er wordt in dit voorbeeld gerekend met een elektriciteitsprijs van € 0,26 per kWh en een gasprijs van € 1,20 per m^3.

Cv-Ketel:

- Totaal gasgebruik: 1.200 m^3 per jaar
- Gasgebruik voor ruimteverwarming: 1000m^3 per jaar
- Gasgebruik voor tapwaterbereiding: 200m^3 per jaar
- Kosten ruimteverwarming: 1000 * 1,20 = €1200 per jaar
- CO_2 uitstoot ruimteverwarming: 1000 * 1.79 = 1790 kg CO_2

All-electric warmtepomp: Ruimteverwarming:

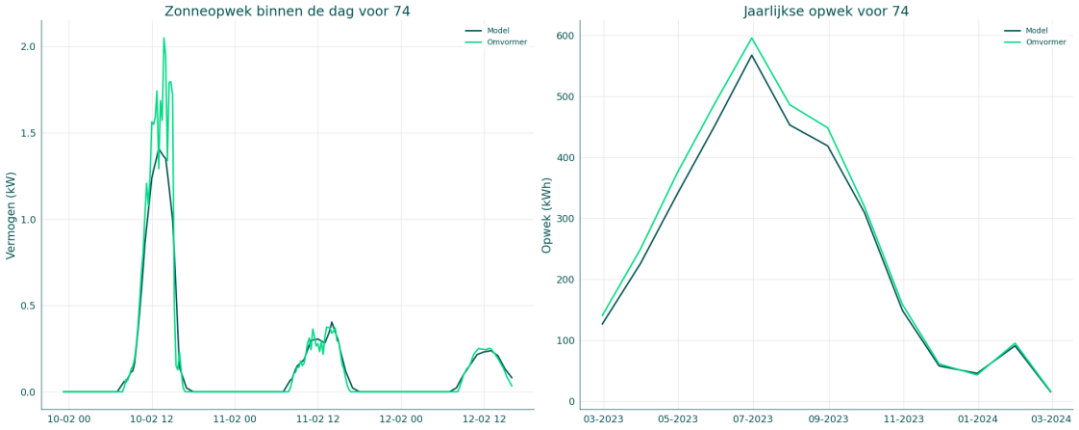
- Elektriciteitsgebruik: 1000 * 0.90 * 9.77 / 3.52 = 2.498 kWh
- Kosten elektriciteitsgebruik: 2498 * 0.26 = €649 per jaar
- Besparing: 1200 – 649 = €551 per jaar
- CO_2 uitstoot: 2498 * 0.20 = 500 kg CO_2
- CO_2 besparing: 1790 – 500 = 1290 kg, of 72% van de CO_2 voor ruimteverwarming

All-electric warmtepomp: Tapwater bereiding

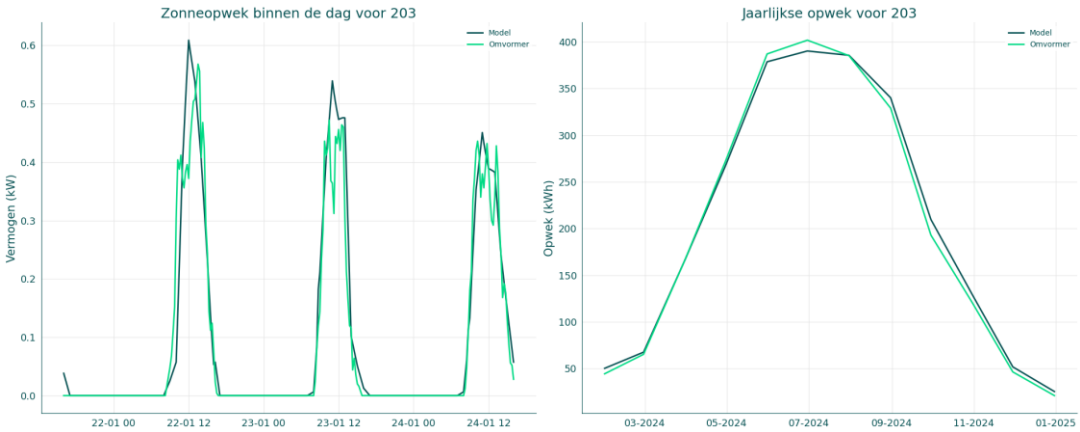
- Elektriciteitsgebruik: 200 * 0.85 * 9.77 / 2.3 = 722 kWh
- Kosten elektriciteitsgebruik: 722 * 0.26 = €187,72
- Besparing: 200 * 1.20 – 187.72 = €52,28
- CO_2 uitstoot: 722 * 0.20 = 144,4 kg
- CO_2 besparing: 200 * 1.79 – 144.4 = 214 kg CO_2

G.1 PV opwek profielen

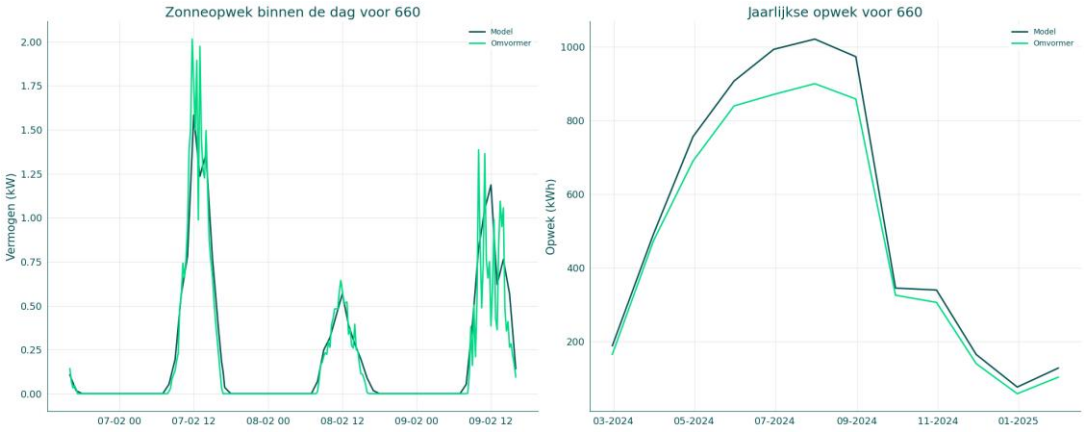
Hieronder een aantal PV opwek profielen van de woningen uit de validatiepoule.



Figuur 7-2: PV opwek profiel a) per uur, b) per maand. Zie ***Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.*** *voor de afwijking en absolute fout per uur.*



Figuur 7-3: PV opwek profiel a) per uur, b) per maand. Zie ***Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.*** *voor de afwijking en absolute fout per uur.*



Figuur 7-4: PV opwek profiel a) per uur, b) per maand. Zie ***Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.*** *voor de afwijking en absolute fout per uur.*

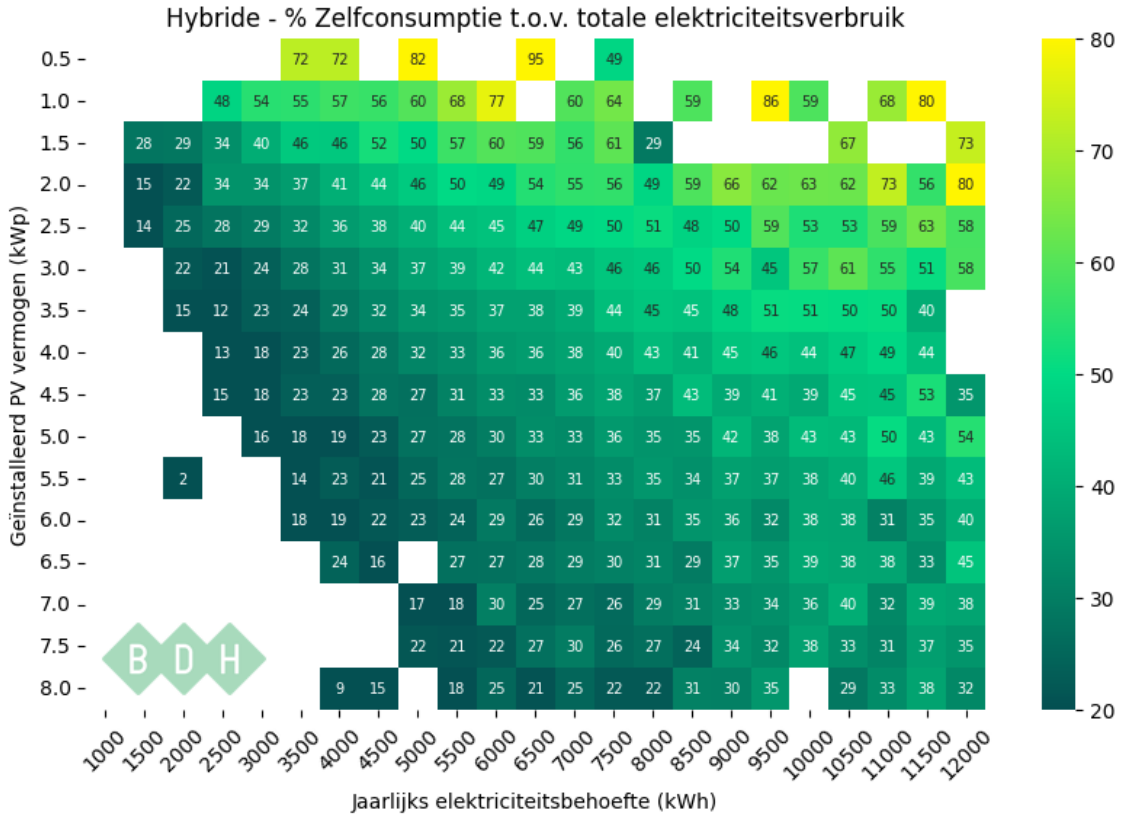
H Zelfconsumptie zonnestroom

Met de gereconstrueerde PV-opwek kan de zelfconsumptie van zonnestroom worden bepaald. Zelfconsumptie wordt hierbij gedefinieerd als het deel van de opgewekte elektriciteit dat direct in de woning wordt verbruikt en dus niet aan het net wordt teruggeleverd.

Het huishoudelijk elektriciteitsverbruik wordt afgeleid uit de netto meterstand en de geschatte PV-opwek. De elektriciteitsbehoefte van de woning omvat zowel elektriciteit uit het net als direct verbruikte zonnestroom. De mate van zelfconsumptie hangt onder andere af van de grootte van het PV-systeem en de elektriciteitsbehoefte van de woning. De zelfconsumptie wordt bepaald volgens:

$$Eigenconsumptie\ (\%) = \frac{direct\ geconsumeerde\ zonnestroom}{totale\ zonneopwek} * 100\%$$

Deze afhankelijk is duidelijk zichtbaar in onderstaande figuren. De analyse is uitgevoerd op 3353 hybride woningen en 772 all-electric woningen

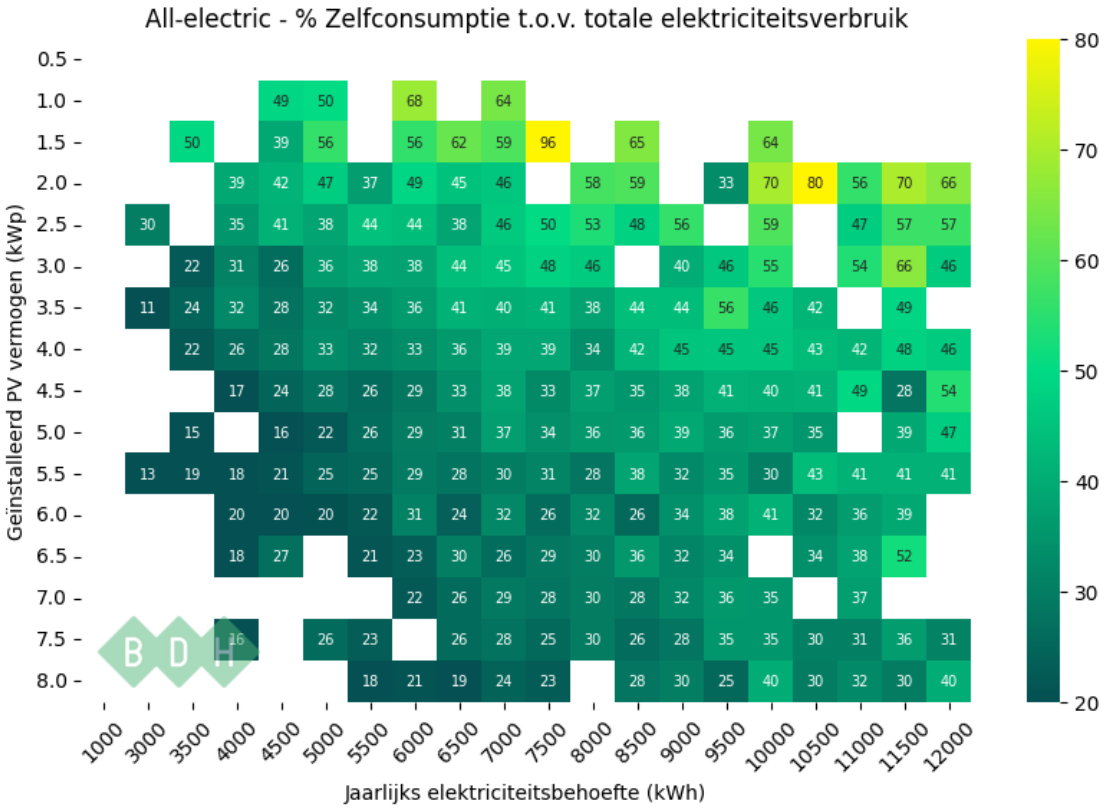


Figuur 7-5:% zelfconsumptie bij woningen met een hybride warmtepomp ten opzichte van het geïnstalleerde PV vermogen en de jaarlijkse elektriciteitsbehoefte. De zelfconsumptie neemt toe als het PV systeem kleiner is en de elektriciteitsbehoefte hoger. Andersom neemt de zelfconsumptie af als het geïnstalleerde vermogen hoog is en de energiebehoefte laag. Voor de meeste bewoners ligt de zelfconsumptie rond de 35~40%. Voor informatie over de aantallen woningen in deze figuur zie 0.

De zelfconsumptie is bij de woningen met een hybride woningen gemiddeld iets hoger, 39% ten opzichte van 36% bij all-electric woningen. Mogelijk valt dit te wijten aan dat de

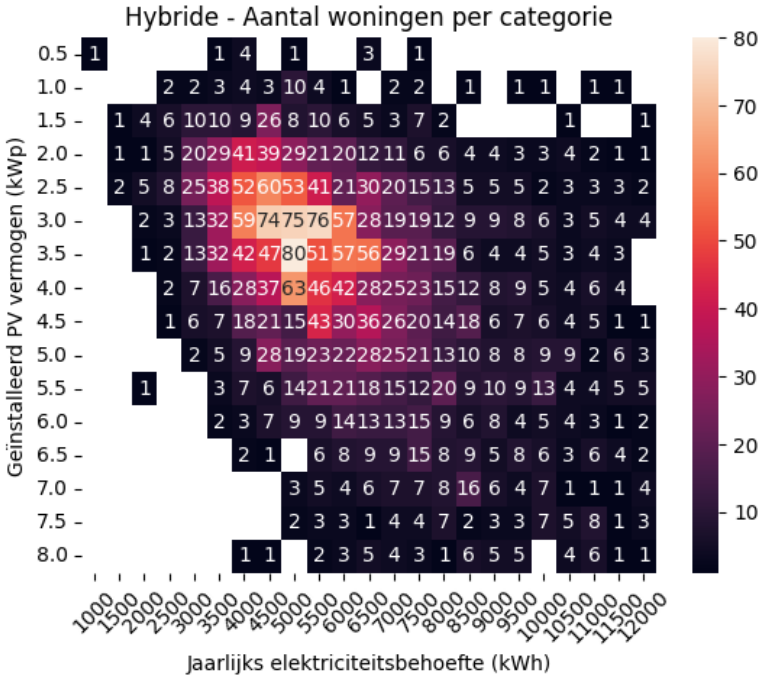
PV-systemen bij all-electric woningen gemiddeld groter zijn (5,3 kWp tegenover 4 kWp bij woningen met een hybride systeem).

	Woning met hybride warmtepomp	Woning met all-electric warmtepomp
Gemiddeld zelfconsumptie	39.6%	36.4%
Gemiddeld zelfconsumptie	1550 kWh	1900 kWh
Gemiddeld nominaal PV vermogen	4.1 kWp	5.3 kWp

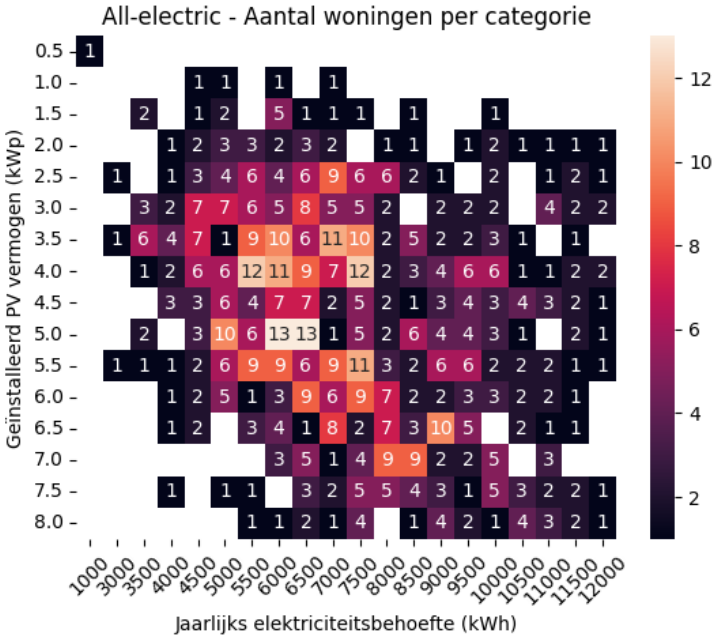


Figuur 7-6:% zelfconsumptie bij woningen met een all-electric warmtepomp ten opzichte van het geïnstalleerde PV vermogen en de jaarlijkse elektriciteitsbehoefte. De zelfconsumptie neemt toe als het PV systeem kleiner is en de elektriciteitsbehoefte hoger. Andersom neemt de zelfconsumptie af als het geïnstalleerde vermogen hoog is en de energiebehoefte laag. Voor de meeste bewoners ligt de zelfconsumptie rond de 35~40%. Een belangrijke kanttekening is dat er minder woningen met all-electric warmtepomp in deze dataset zitten. Voor informatie over de aantallen woningen in deze figuur zie 0.

Een belangrijke kanttekening bij Figuur 7-5 en , dat de zelfconsumptie ten opzichte van het geïnstalleerde vermogen en de jaarlijkse elektriciteitsbehoefte geeft, is het aantal woningen dat er per vakje is. In Figuur 7-7 is het aantal woningen per categorie weergeven. Hier valt te zien dat de meeste woningen een elektriciteitsbehoefte hebben tussen de 3500 en 6500 kWh, met een PV-systeem tussen de 2 en 5 kW.



Figuur 7-7: Zelfconsumptie aantallen per categorie voor woningen met hybride warmtepomp.

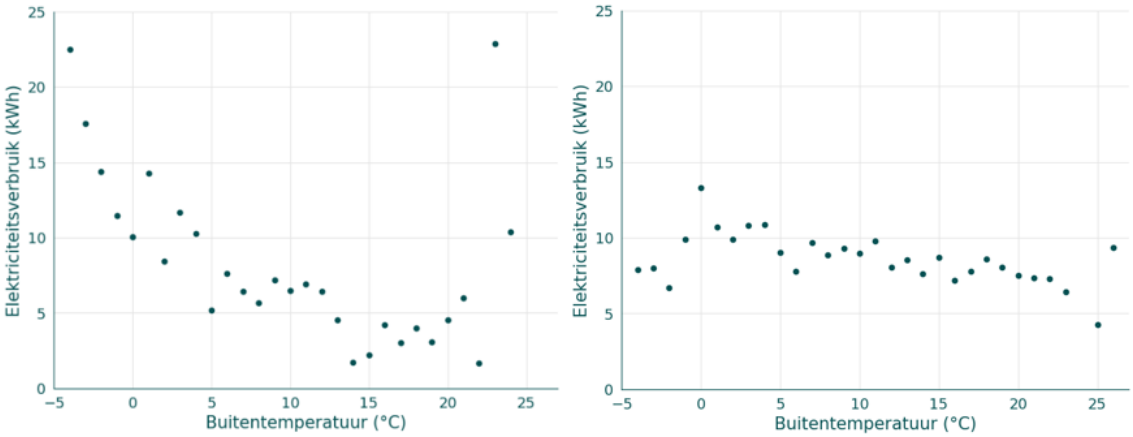


Figuur 7-8: Zelfconsumptie aantallen per categorie voor woningen met all-electric warmtepomp.

I Warmtepomp Validatie uitschieters.

Zoals in Figuur 4-10 aangegeven zijn er enkele uitschieters wat betreft warmtepomp elektriciteitsverbruik. Bij de vier woningen waar dit geldt lijkt er op basis van de data sprake te zijn van andere elektrische verwarming, bijvoorbeeld een airco of elektrische kachel.

Door in de DPH data het gemeten warmtepompverbruik van de slimme meter data af te halen kan het huishoudelijk verbruik bekeken worden. Bij alle vier deze woningen is er een sterk verband tussen de buitentemperatuur en het elektriciteitsverbruik zonder warmtepomp. Bij andere woningen is dit verband veel minder sterk. In de afbeeldingen hieronder is een voorbeeld te zien van een van de vier woningen met een sterk verband (links) en een woning met een beperkt verband (rechts).



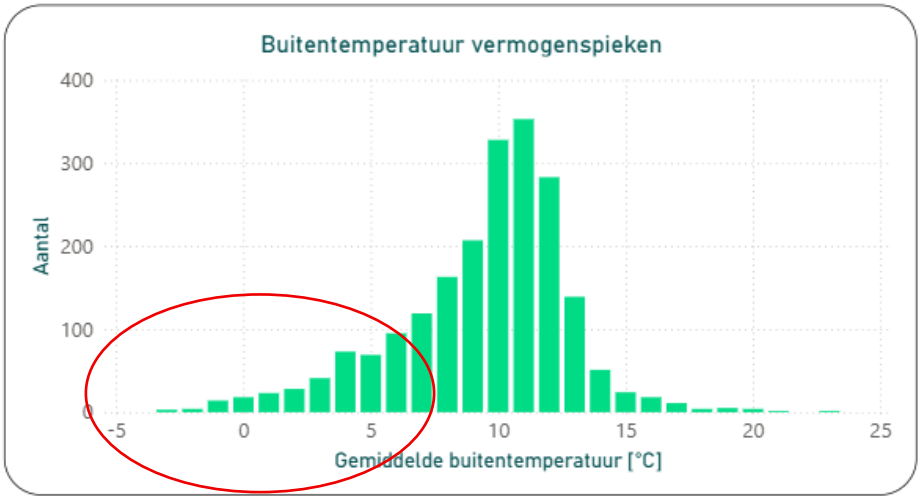
Figuur 7-9a) Huishoudelijk verbruik, zonder warmtepomp en zonnepanelen, van woningen waar elektrisch wordt bij verwarmd. b) Huishoudelijk verbruik per dag, zonder warmtepomp en zonnepanelen, van woningen waar niet elektrisch wordt bij verwarmd.

In Figuur 4-10 liggen drie punten boven de lijn. Voor deze punten geldt dat de alternatieve elektrische verwarming meer wordt gebruikt dan in de historische data. Hierdoor wordt het verbruik van de warmtepomp overschat. Voor de omcirkelde woning die onder de lijn in Figuur 4-10 ligt is de elektrische verwarming juist minder gebruikt dan historisch waardoor het warmtepompverbruik wordt onderschat.

J Elektrisch element

Een zorg van de grootschalige uitrol van warmtepompen is de aanwezigheid van elektrische elementen bij all-electric warmtepompen. Deze elementen worden ingezet om extra warmte te leveren op momenten dat een warmtepomp zelf niet aan de warmtevraag kan voldoen. In tegenstelling tot een warmtepomp is zo`n elektrisch element een stuk minder efficiënt. Elke kWh aan elektriciteit levert op zijn meest één kWh aan warmte in de woning op (COP = 1). De gevraagde vermogens aan het elektriciteitsnet van deze manier van verwarmen kunnen dan ook erg oplopen.

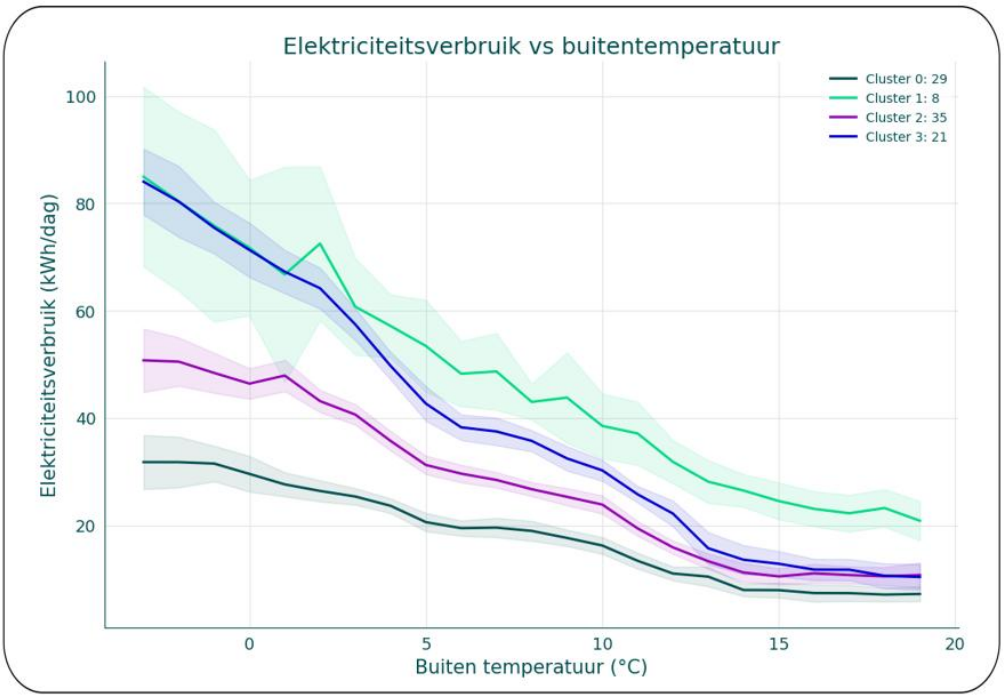
Om het effect van elektrische elementen in kaart te brengen is in de slimme meterdata gezocht naar momenten dat deze mogelijk aan staan. Hiervoor is gezocht naar woningen met pieken in het elektriciteitsprofiel die mogelijk veroorzaakt worden door een element. Een overzicht van de gemiddelde buitentemperatuur van deze vermogenspieken is te zien in Figuur 7-10.



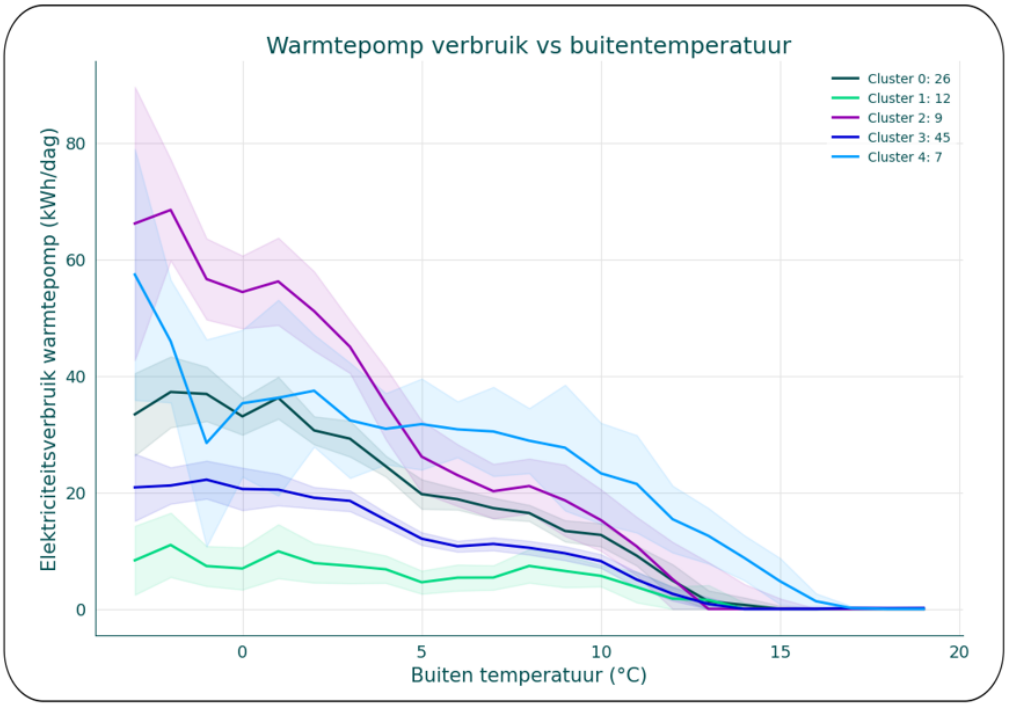
Figuur 7-10: Gemiddelde buitentemperatuur van vermogenspieken tegenover het aantal woningen. Het omcirkelde deel bevat de woningen waar de kans op het vinden van een elektrisch element groot is. De vermogenspieken komen vaker voor bij koude dagen dan bij warme dagen. Dit is ook hoe een elektrisch element gebruikt wordt.

Vooral de woningen die pieken vertonen bij gemiddeld lagere buitentemperaturen zijn interessant. Dit zijn de woningen waar deze verbruikspieken het meest overeenkomen met die van een elektrisch element. Bij deze woningen zijn de effecten van het elektrische element op het warmtepompverbruik en totale elektriciteitsverbruik het meest duidelijk waarneembaar. In Figuur 7-11 is het woningverbruik weergegeven en in Figuur 7-12 is het warmtepompverbruik weergegeven.

Er zijn zeven woningen van de ruim 2.000 waarbij het elektrisch element mogelijk zichtbaar is naast het reguliere warmtepompprofiel. De grootste beperking voor het detecteren van elektrische elementen is de buitentemperatuur. Gedurende de meetperiode is de gemiddelde dagtemperatuur, zelfs bij de woningen waar het lokale weer het koudst was, niet onder de -6°C gekomen. De impact van het elektrisch element is dus beperkt tot niet aanwezig in de populatie van het Installatiemonitor onderzoek.



Figuur 7-11: Het gemiddelde elektriciteitsverbruik van woningen na aftrek van de PV-opwek tegenover de gemiddelde buitentemperatuur per dag. Het verbruik bevat naast huishoudelijk verbruik ook een warmtepomp component en mogelijk een EV of elektrisch element. De lijnen geven de gemiddelden weer van een groep woningen met vergelijkbaar gedrag. De gearceerde gebieden geven het 95% betrouwbaarheidsinterval van dit gemiddelde. Bij de aanwezigheid van een elektrisch element is te verwachten dat er een steile vermogenspiek ontstaat zodra het echt koud wordt. Deze is in de data niet terug te zien.



Figuur 7-12: 7-13 Het gemiddelde elektriciteitsverbruik van warmtepompen tegenover de gemiddelde buitentemperatuur per dag. Het verbruik bevat naast de warmtepomp component mogelijk een elektrisch element. De lijnen geven de gemiddelden weer van een groep woningen met vergelijkbaar gedrag. De gearceerde gebieden geven het 95% betrouwbaarheidsinterval van dit gemiddelde.
Bij de aanwezigheid van een elektrisch element is te verwachten dat er een steile vermogenspiek ontstaat zodra het echt koud wordt. In cluster 4 is deze steile piek terug te zien. De kanttekening die gemaakt moet worden is dat de betrouwbaarheid hier aanzienlijk lager ligt omdat het aantal woningen dat precies dit gedrag vertoont laag is. Het betreft hier 7 van de ruim 2.000 geanalyseerde woningen waar het elektrisch element zichtbaar terugkomt in het verbruiksprofiel van de woningen.

K Verliesoppervlak

Voor het bepalen van het verliesoppervlak van een woning is de onderstaande tabel met vormfactoren gebruikt. Het verliesoppervlak is gegeven door vormfactor x vloeroppervlak. De tabel met vormfactoren is gebaseerd op de waarden uit Brochure Voorbeeldwoningen Bestaande Bouw 2022 van (RVO). Een verliesoppervlak van 250m² komt overeen met een tussenwoning van 178 m² of een vrijstaande woning van 114m².

Woningtype	Vormfactor
Vrijstaand	2,2
Twee-onder-een-kap	1,9
Rijwoning (hoek)	1,9
Rijwoning (tussen)	1,4