



Netimpact woningen met warmtepomp

Op basis van slimme meterdata

Datum: 30-01-2025

Versie: Definitief

Opdrachtgever: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Netbeheer Nederland, Techniek Nederland

Auteurs: BDH - Angelique Biemans, Maarten Hommelberg, Guido Janssen, Thijs Poiesz

1 Samenvatting	3
2 Begrippenlijst	5
3 Inleiding	7
3.1 Achtergrond	7
3.2 Analysemethode	7
3.3 Representativiteit	9
3.3.1 Aantal deelnemers	10
3.3.2 Samenstelling van woningbestand	11
3.3.3 Weer tijdens meetperiode	12
4 Slimme meter data op de gehele woning	13
4.1 Piekvermogen correlaties	13
4.1.1 Bouwperiode	13
4.1.2 Woningtype	14
4.1.3 Verliesoppervlak	15
4.1.4 Conclusie correlaties woningenkenmerken	16
4.2 Woningen met hybride warmtepomp	17
4.2.1 Gelijktijdige piekbelasting binnen het gehele jaar	17
4.2.2 Seizoenseffecten op maximaal vermogen	18
4.2.3 Dagprofielen	19
4.2.4 Maximaal vermogen per woning	20
4.3 Woningen met all-electric warmtepomp	22
4.3.1 Gelijktijdige piekbelasting binnen het gehele jaar	22
4.3.2 Seizoenseffecten op maximaal vermogen	23
4.3.3 Dagprofielen	24
4.3.4 Maximaal vermogen per woning	25
4.4 Conclusies op woningniveau	26
5 Verdiepende analyse op apparaat-niveau	27
5.1 Warmtepomp	27
5.1.1 Hybride - Benuttingsgraad	27
5.1.2 Hybride - dagverbruik per graad buitentemperatuur	29
5.1.3 All-electric - dagverbruik per graad buitentemperatuur	30
5.2 Zonnepanelen	31
5.3 Elektrische auto's	32
5.4 Conclusie	33
6 Verwachte piekvraag bij extreme winter	34
6.1 Hybride	34
6.2 All-electric	36
7 Conclusies	38
7.1 Belangrijkste voorspeller van netbelasting van de warmtepomp	38
7.2 Netbelasting van gehele woning	38
7.3 Warmtepomp vermogen extrapolatie naar -10°C	39
A Clustering van woningen	40
A.1 Nederlandse woningvoorraad in vergelijking met Installatiemonitor 3.0 populatie	40
A.2 Naar woningtype en bouwjaar	41
A.3 Naar woningtype en verliesoppervlak	42
B Woningen met hybride warmtepompen	43
B.1 Belastingduurkromme gehele jaar	43
B.2 Belastingduurkromme per referentieweek	45
B.3 Dagprofielen	47
B.4 Dagelijks warmtepompverbruik per graad temp per dag	49
C Woningen met all-electric warmtepompen	52
C.1 Belastingduurkromme gehele jaar	52
C.2 Belastingduurkromme per referentieweek	54
C.3 Dagprofielen binnen referentieweken	55
C.4 Dagelijks warmtepompverbruik per graad	58

1 Samenvatting

Dit rapport presenteert de resultaten van een grootschalig onderzoek naar de impact van warmtepompen op de belasting van het elektriciteitsnet in Nederland. De analyse is gebaseerd op slimme meterdata van meer dan 6.000 woningen die deelnemen aan het Installatiemonitor-project. Het onderzoek gaat over de netimpact van hybride en volledig elektrische (all-electric) warmtepompen. Daarnaast omvat het onderzoek zowel de totale netbelasting van een woning als de bijdrage van afzonderlijke apparaten zoals zonnepanelen en elektrische voertuigen. Het doel van dit onderzoek is inzicht bieden in hoe warmtepompen het elektriciteitsnet belasten, inclusief de variatie in piekvraag door seizoenen en woningkenmerken.

Om de resultaten te interpreteren, is een vergelijking tussen de Installatiemonitor 3.0 (IM 3.0) populatie en de Nederlandse woningvoorraad essentieel. De IM 3.0 deelnemers zijn hoofdzakelijk woningeigenaren met grotere, vaak vrijstaande woningen. Appartementen ontbreken in het onderzoek, omdat er erg weinig appartementen met een warmtepomp zijn. Gemiddeld genomen zijn de woningen in dit onderzoek groter dan het gemiddelde van de Nederlandse woningvoorraad. Met name de echt kleine woningen hebben een onderrepresentatie, waardoor het lastig is daar gedegen uitspraken over te doen. Deelnemers aan IM 3.0 lopen voorop in duurzaamheid: alle deelnemers hebben een warmtepomp (versus 7% in Nederland), 95% heeft zonnepanelen (tegenover 45%), en 20% rijdt elektrisch (vergeleken met minder dan 6% van de Nederlanders). Dit maakt de IM 3.0 populatie minder representatief voor het huidige Nederlandse gemiddelde maar wel zeer waardevol als voorspeller voor de toekomst van Nederland.

De belangrijkste bevindingen worden besproken aan de hand van een voorbeeldwoning met een verliesoppervlak¹ van 250 m². Dit komt overeen met een tussenwoning met een vloeroppervlakte van 178 m², of een vrijstaande woning met een vloeroppervlak van 114 m². Hieronder de belangrijkste bevindingen van dit rapport.

- Het verliesoppervlak van een woning is de sterkste voorspeller van het piekvermogen. Dit geldt zowel voor hybride als all-electric warmtepompen: een groter verliesoppervlak leidt tot een hogere warmtevraag in de woning en daarmee tot een hogere piekbelasting van de warmtepomp.
- De bouwperiode van een woning heeft geen significante invloed op het piekvermogen. Dit is mogelijk te verklaren door renovaties die de energieprestaties van oudere woningen verbeteren. Het woningtype toont wel een lichte correlatie: vrijstaande woningen vertonen hogere pieken vanwege hun grotere oppervlak en hogere warmtevraag.
- De gelijktijdige piekvermogens² van alle woningen nemen toe naarmate het kouder wordt. Bij woningen met een hybride warmtepomp is er echter een bovengrens, omdat de cv-ketel de warmtevraag deels overneemt. Hierdoor is er weinig verschil in het vermogen van hybride warmtepompen bij temperaturen tussen 3 °C en -1 °C.
- Woningen met een all-electric warmtepomp veroorzaken hogere gelijktijdige pieken op het elektriciteitsnet. Voor de voorbeeldwoning ligt het gelijktijdige vermogen bij hybride warmtepompen rond de 1,7 kW, terwijl dit bij all-electric warmtepompen 2,8 kW is.
- Voor alle woningen zijn de gelijktijdige terugleverpieken doorgaans hoger dan de gelijktijdige opgenomen pieken. Dit is te verwachten, aangezien zonnepanelen bij de meeste woningen op vrijwel hetzelfde moment energie terugleveren, doordat de zon overal rond dezelfde tijd schijnt.
- Het gemiddelde piekvermogen³ per woning, dus de volledige woning inclusief fotovoltaïsche panelen (PV), elektrische voertuigen (EV) en warmtepomp, ligt aanzienlijk hoger dan het gelijktijdige vermogen van alle woningen samen. Voor de voorbeeldwoning met een hybride warmtepomp is het maximaal opgenomen vermogen gemiddeld 6,3 kW. Voor een woning met all-electric warmtepomp met hetzelfde verliesoppervlak is dit gemiddelde 9,2 kW.

¹ Het verliesoppervlak is het totale oppervlak van alle scheidingsconstructies (beganegrondvloer-/gevel-/dakoppervlak etc.) die het beschermde volume van een gebouw omhullen of omsluiten van de buitenlucht.

² Gelijktijdig piekvermogen: Het hoogst gemeten vermogen van alle woningen samen. Dit betreft dus één moment waarop de woningen **tegelijkertijd** vermogen afnemen.

³ Gemiddelde piekvermogen: Het gemiddelde van de hoogst gemeten vermogens. Nadat van elke woning het hoogste vermogen is gemeten wordt dit gemiddeld om tot een gemiddelde piek te komen. De pieken zijn ergens in het jaar aan verzamelde data geregistreerd en vinden dus **niet** tegelijkertijd plaats.

- Er is een sterke correlatie tussen het verliesoppervlak van een woning en het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp. Bij -4 °C is het gemiddelde dagverbruik van een hybride warmtepomp in de kleinste categorie woningen 19 kWh, voor de categorie grootste woningen is dit twee keer zo hoog, namelijk 38 kWh. Voor all-electric woningen is de toename groter en neemt het dagverbruik toe van 30 kWh per dag voor de kleinste woningen naar 70 kWh voor de grootste woningen.
- De elektrische voertuigen van deelnemers aan Installatiemonitor worden meestal geladen met een vermogen tussen 6 en 11 kW. De impact van elektrische vervoer op het benodigd piekvermogen van een woning is normaal groter dan het piekvermogen benodigd voor de warmtepomp.
- Bij een buitentemperatuur van -10 °C schakelen in het ondergrensscenario alle hybride warmtepompen over op de cv-ketel, waardoor het vermogen van de warmtepomp op 0 kW uitkomt. In het bovengrensscenario blijven sommige hybride systemen draaien, terwijl andere deels of volledig uitschakelen. Hierdoor ligt het gemiddelde vermogen van de hybride warmtepomp tussen 0,8 kW voor woningen met een klein verliesoppervlak en 1,5 kW voor woningen met een groot verliesoppervlak.
- Bij all-electric warmtepompen leveren de systemen in het ondergrensscenario bij -10 °C de volledige warmtevraag zonder gebruik van een extra elektrisch element. Het gemiddelde vermogen varieert van 1,7 kW voor een all-electric warmtepomp in een kleine woning tot 3,3 kW voor een all-electric warmtepomp in woningen met een groot verliesoppervlak. In het bovengrensscenario wordt het elektrisch element wel ingeschakeld, waardoor het gemiddelde vermogen oploopt van 2,2 kW voor woningen met de kleinste verliesoppervlakken tot 4,2 kW voor woningen met de grootste verliesoppervlakken.

	Woning met hybride warmtepomp	Woning met all-electric warmtepomp
Gemiddeld <i>opgenomen</i> piekvermogen	6,3 kW	9,2 kW
Gelijktijdig <i>opgenomen</i> piekvermogen	1,7 kW	2,8 kW
Gemiddeld <i>geleverd</i> piekvermogen	3,5 kW	4,7 kW
Gelijktijdig <i>geleverd</i> piekvermogen	2,3 kW	3,3 kW
Warmtepompvermogen ondergrensscenario -10 °C	0 kW	2,3 kW
Warmtepompvermogen bovengrensscenario -10 °C	0,9 kW	3,2 kW

Tabel 1: Overzicht van de resultaten voor een voorbeeldwoning met een verliesoppervlak van 250 m². Dit komt overeen met een tussenwoning met een vloeroppervlakte van 178 m², of een vrijstaande woning met een vloeroppervlak van 114 m². De piekvermogens in deze tabel gaan over de volledige woning (inclusief warmtepomp, elektrische voertuigen en zonnepanelen) de -10°C scenario waarden gaan alleen over de warmtepomp.

2 Begrippenlijst

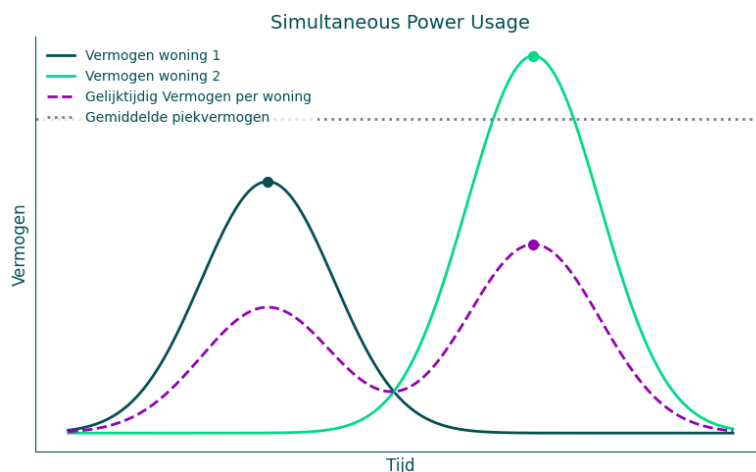
In dit rapport komen verschillende begrippen aan bod. Hieronder volgen de belangrijkste begrippen met een korte definitie en uitleg. Zodra er wordt gesproken over verbruiken of vermogens worden elektrische verbruiken of vermogens bedoeld, tenzij anders vermeld in de tekst.

Piekvermogen: Het hoogst gemeten vermogen. Dit gaat over de maximale afname of teruglevering op woningniveau. Elke woning heeft een eigen piekvermogen.

Gemiddeld piekvermogen: Het gemiddelde van de hoogst gemeten vermogens. Nadat van elke woning het hoogste vermogen is gemeten wordt dit gemiddeld om tot een gemiddelde piek te komen. De pieken zijn ergens in het jaar aan verzamelde data geregistreerd en vinden dus **niet** tegelijkertijd plaats.

Gelijktijdig piekvermogen: Het hoogst gemeten vermogen van alle woningen samen. Dit betreft dus één moment waarop de woningen **tegelijkertijd** vermogen afnemen.

Om de resultaten goed te interpreteren is het belangrijk de verschillende pieken van elkaar te onderscheiden. In figuur 2.1 is van twee woningen een fictief opgenomen vermogen over de tijd te zien. Woning 1 en woning 2 vragen beide op een ander moment (in de dag/het jaar) hun piekvermogen (de donker en licht groene stippen). Hieruit volgt een gemiddeld piekvermogen voor de twee woningen (de grijze stippellijn). Dit gemiddelde piekvermogen geeft inzicht in de te verwachten piek per woning. Als het elektriciteitsnet als geheel wordt bekeken, is het gelijktijdige vermogen van de woningen relevanter. Op ieder moment hebben zij samen een gelijktijdig gemiddeld vermogen (hierna gelijktijdig vermogen gegeven door paarse stippellijn). De piek hiervan (paarse stip) is het gelijktijdige piekvermogen en geeft inzicht in de maximale belasting op het gehele net per woning. De gelijktijdige piek is dus een benadering voor de op het net gemeten piek.



Figuur 2.1: Voorbeeld van verschillende pieken

De grafieken waarin (gelijktijdige) piekvermogens voor verschillende clusters van woningen te zien zijn geven een overzicht van de verhoudingen tussen de clusters. Hierin is het gelijktijdige piekvermogen per cluster (paarse stip) en de 95% betrouwbaarheid eromheen te zien. Niet elk woningcluster heeft op hetzelfde moment zijn gelijktijdige piek.

Dagprofielen: Het netto vermogen dat een woning vraagt varieert binnen de dag. Er wordt eerst per woning een gemiddeld dagprofiel bepaald. Vervolgens worden deze profielen gecombineerd om een gelijktijdig dagprofiel te maken. Dit profiel laat het gemiddelde verbruik over de dag zien van meerdere woningen samen. Dit verbruik geeft alles dat langs de slimme meter is gegaan weer. Dat betekent dat er zowel zonnepanelen als eventuele elektrische voertuigen in dit gemiddelde zitten.

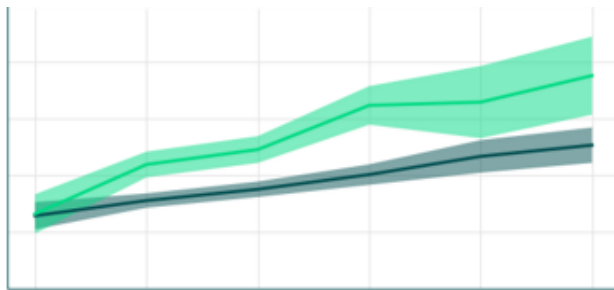
Belastingduurkromme: Het vermogen van een woning gesorteerd van hoog naar laag. In dit rapport komen belastingduurkrommes van een volledig jaar en van losse referentieweken terug. Ze vormen de basis van het herkennen van gelijktijdige pieken.

Benuttingsgraad: Het geleverde thermische vermogen per dag als percentage van het thermische vermogen⁴ per dag. Dit percentage geeft inzicht in hoe 'hard' de warmtepomp moet werken. Op 50% levert de warmtepomp de helft van het thermisch vermogen dat hij in theorie kan leveren. Het kan dan zijn dat de warmtepomp de hele dag maar zijn halve thermisch vermogen hoeft te leveren of dat hij de helft van de dag uit staat omdat er geen warmtevraag is.

Dagverbruiken warmtepomp: Het totale verbruik van de warmtepomp over een gehele dag. In dit rapport uitgezet tegen de gemiddelde temperatuur van de dag.

COP: De Coëfficiënt of Performance van de warmtepomp geeft de verhouding van geleverde warmte en de verbruikte elektriciteit. Het drukt uit hoe efficiënt een elektriciteit omgezet wordt in warmte.

95% betrouwbaarheidsinterval: Het betrouwbaarheidsinterval geeft het interval aan waarvan, als een vergelijkbare dataset wordt verzameld, het gemiddelde met 95% zekerheid binnen dit bereik valt. Dit laat dus niet de grootste spreiding zien, maar de zekerheid van het gemiddelde. Op het niveau van individuele woningen kunnen er altijd uitschieters zijn. Woningen met duidelijke meetfouten zijn niet meegenomen in de dataset, en worden evenzo niet meegenomen bij de berekening van de betrouwbaarheidsintervallen



Figuur 2.2: Voorbeeld van betrouwbaarheidsintervallen

In figuur 2.2 is een voorbeeld geïllustreerd van een betrouwbaarheidsinterval. In dit figuur varieert de breedte van het betrouwbaarheidsinterval. De zekerheid is voornamelijk afhankelijk van de hoeveelheid datapunten. Een grotere breedte aan de uiteinden wijst dus op een grotere onzekerheid in het gemiddelde daar, terwijl een smaller interval in het midden suggereert dat het gemiddelde hier met grotere precisie kan worden bepaald.

Verliesoppervlak: Het verliesoppervlak is het totale oppervlak van alle scheidingsconstructies (beganegrondvloer-/gevel-/dakoppervlak etc.) die het beschermde volume van een gebouw omhullen of omsluiten van de buitenlucht. In dit rapport berekend uit het vloeroppervlak en een vormfactor afhankelijk van het woningtype⁵.

⁴ De hier gebruikte thermische vermogens zijn bepaald op basis van de bivalente temperatuur van de warmtepomp, zoals beschikbaar vanuit de ISDE subsidie tabel voor warmtepompen.

⁵ Zie

Tabel 3 voor de gebruikte vormfactoren.

3 Inleiding

In dit rapport wordt de gemeten impact van woningen met een warmtepomp op de belasting van het elektriciteitsnet gepresenteerd, gebaseerd op data afkomstig uit slimme meters in een steekproef van meer dan 6000 woningen van het project Installatiemonitor. Deze woningen omvatten zowel hybride als volledig all-electric warmtepompsystemen en in veel gevallen zonnepanelen. In hoofdstuk 4 wordt gekeken naar de totale elektrische piekvraag van de woningen. In hoofdstuk 5 wordt ingezoomd op verschillende net-intensieve apparaten, namelijk de warmtepomp, zonnepanelen en de elektrische auto. In hoofdstuk 6 wordt een eerste inschatting gemaakt van de mogelijke piekvermogens bij extreem koude temperaturen. In hoofdstuk 7 volgen de conclusies van de voorgaande hoofdstukken. In de bijlagen zijn alle verschillende resultaten tot in detail te bekijken. In de eerdere hoofdstukken worden alleen de trends en belangrijkste resultaten getoond.

3.1 Achtergrond

De energietransitie in Nederland brengt grote uitdagingen met zich mee. De toenemende elektrificatie van onder andere verwarming zorgt voor een steeds grotere belasting op het elektriciteitsnet, dat op sommige plekken al tegen de grenzen van zijn capaciteit aanloopt. Netcongestie, waarbij het net de vraag of het aanbod niet kan verwerken, zal steeds vaker voorkomen. Voor een succesvolle energietransitie is betrouwbare data over de werkelijke impact van warmtepompen op het elektriciteitsnet essentieel. Dit helpt netbeheerders en beleidsmakers om nauwkeurig te anticiperen op veranderingen in vraag en aanbod, en om de noodzakelijke investeringen en aanpassingen aan het elektriciteitsnet goed te kunnen plannen en uitvoeren.

Het Installatiemonitor project, een initiatief van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), Netbeheer Nederland en Techniek Nederland, verzamelt en analyseert warmtepompdata via slimme meters. Waar het eerste, in 2022 afgeronde onderzoek, gebaseerd was op 450 bruikbare aanmeldingen, zijn inmiddels meer dan 6.000 woningeigenaren aangesloten bij het project. Het project, dat wordt gecoördineerd en uitgevoerd door adviesbureau BDH, loopt tot 30 juni 2026.

De data die verzameld wordt in het Installatiemonitor project is van essentieel belang om ervoor te zorgen dat er nauwkeurige en actuele informatie beschikbaar is over de netimpact van warmtepompen. Deze gegevens geven inzicht in de werkelijke prestaties en het energieverbruik van warmtepompen, waardoor netbeheerders, beleidsmakers en andere stakeholders een betrouwbaar beeld krijgen van hoe warmtepompen het net beïnvloeden. De inzichten staan aan de basis van strategische beslissingen over het toekomstbestendig maken van het elektriciteitsnet.

3.2 Analysemethode

De resultaten in deze rapportage zijn opgedeeld in twee delen om een helder beeld te geven van zowel de totale elektriciteitsstromen in de woning als de specifieke impact van warmtepompen, zonnepanelen en elektrische auto's. Wanneer van verbruik en vermogen gesproken wordt gaat het, tenzij anders vermeld, altijd over elektrisch verbruik en elektrisch vermogen. Het eerste deel, in hoofdstuk 4, biedt inzicht in het totale elektriciteitsverbruik van de woning, inclusief de warmtepomp. Hier is gebruik gemaakt van de slimme meterdata welke alleen gefilterd is op datakwaliteit. Het tweede deel, uitgewerkt in hoofdstuk 5 en 6, omvat specifieke analyses uitgevoerd door BDH om dieper in te zoomen op het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp, de opbrengst van zonnepanelen en het laadgedrag van elektrische voertuigen. Deze gedetailleerde analyses maken het mogelijk om de invloed van elk afzonderlijk apparaat nauwkeurig in kaart te brengen, wat essentieel is voor een goed begrip van hun gecombineerde impact op het elektriciteitsnet. In hoofdstuk 6 worden verschillende scenario's uitgewerkt van de piekbelasting op het net bij -10 °C buitentemperatuur.

Voor de analyse is gekozen om de periode van september 2023 tot september 2024 te gebruiken. Deze periode bevat de meest volledige dataset van de deelnemers, waardoor een nauwkeuriger en completer beeld van het energieverbruik en de netimpact wordt geschetst. Om de seizoensgebonden variaties in energieverbruik en opwekking inzichtelijk te maken, zijn daarnaast referentieweken geselecteerd. Deze referentieweken, die in de onderstaande tabel worden weergegeven, representeren typische patronen per seizoen en maken het mogelijk om verschillen in warmtevraag en zonne-opwekking over het jaar te vergelijken. Deze aanpak biedt waardevolle inzichten voor zowel het winterse piekgebruik als de zomeropbrengsten van de zonnepanelen.

Tabel 2: Overzicht gekozen referentieweken en bijbehorende (extreme) temperaturen

Naam	Periode	Gemiddelde dagtemperatuur (de Bilt)	Extremen (de Bilt)
Winter	2024-01-06 t/m 2024-01-12	-1 °C	-7,5 °C
Matig koud	2023-12-04 t/m 2023-12-10	3 °C	-3,5 °C
Voorjaar	2024-03-06 t/m 2024-03-12	7 °C	13 °C
Zonnig	2024-05-06 t/m 2024-05-12	14,5 °C	23 °C
Gehele jaar	2023-09-01 t/m 2024-09-01	12 °C	-7,5 ~ 30 °C

Om het energieverbruik en de netbelasting van een woning met een warmtepomp inzichtelijk te maken is gekozen de data op te splitsen. De eerste splitsing die gemaakt wordt is op basis van het type warmtepomp. Bij het aanmelden van een woning voor het onderzoek wordt opgegeven of er een hybride of all-electric warmtepomp is geplaatst. Deze classificatie wordt gecontroleerd door te kijken naar het gasverbruik van de woning. Om de verschillende eigenschappen van woningen en hun invloed op energieverbruik en netbelasting inzichtelijk te maken, zijn de woningen verder onderverdeeld in verschillende clusters.

Deze clusters zijn gebaseerd op woningtype, bouwperiode en verliesoppervlak. Het woningtype is ingedeeld in vijf categorieën:

- appartement
- rijwoning (tussen)
- rijwoning (hoek)
- twee-onder-een-kap
- vrijstaande woning

Daarnaast is de bouwperiode van de woningen in zeven categorieën ingedeeld:

- vóór 1920
- 1920-1945
- 1946-1965
- 1966-1979
- 1980-1992
- 1993-2012
- na 2012

In deze rapportage zijn woningen uit de bouwjaren vóór 1920 en na 2012 buiten beschouwing gelaten. Dit besluit komt voort uit de keuze om in het project Installatiemonitor woningen van vóór 1920 en na 2012 niet actief uit te nodigen voor deelname. Woningen van vóór 1920 zijn niet representatief voor de Nederlandse woningvoorraad. Woningen van na 2012 zijn al dermate goed geïsoleerd dat ze nagenoeg op nieuwbouw niveau presteren. De focus van Installatiemonitor ligt op de bestaande bouw. Hoewel appartementen wel zijn uitgenodigd voor Installatiemonitor is het aantal aanmeldingen in deze groep zeer gering en is er besloten om ze voor deze analyse buiten beschouwing te laten.

Het verliesoppervlak is bepaald aan de hand van de vormfactoren zoals beschreven in de Brochure Voorbeeldwoningen Bestaande Bouw 2022 van (RVO). Per woningtype is hierbij een gemiddelde factor toegepast, die in de onderstaande tabel wordt gepresenteerd.

Tabel 3: Gemiddelde vormfactoren per woningtype gebaseerd op de Voorbeeldwoningen Bestaande Bouw 2022

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

De verliesoppervlakken van de woningen worden geclusterd in de onderstaande groepen:

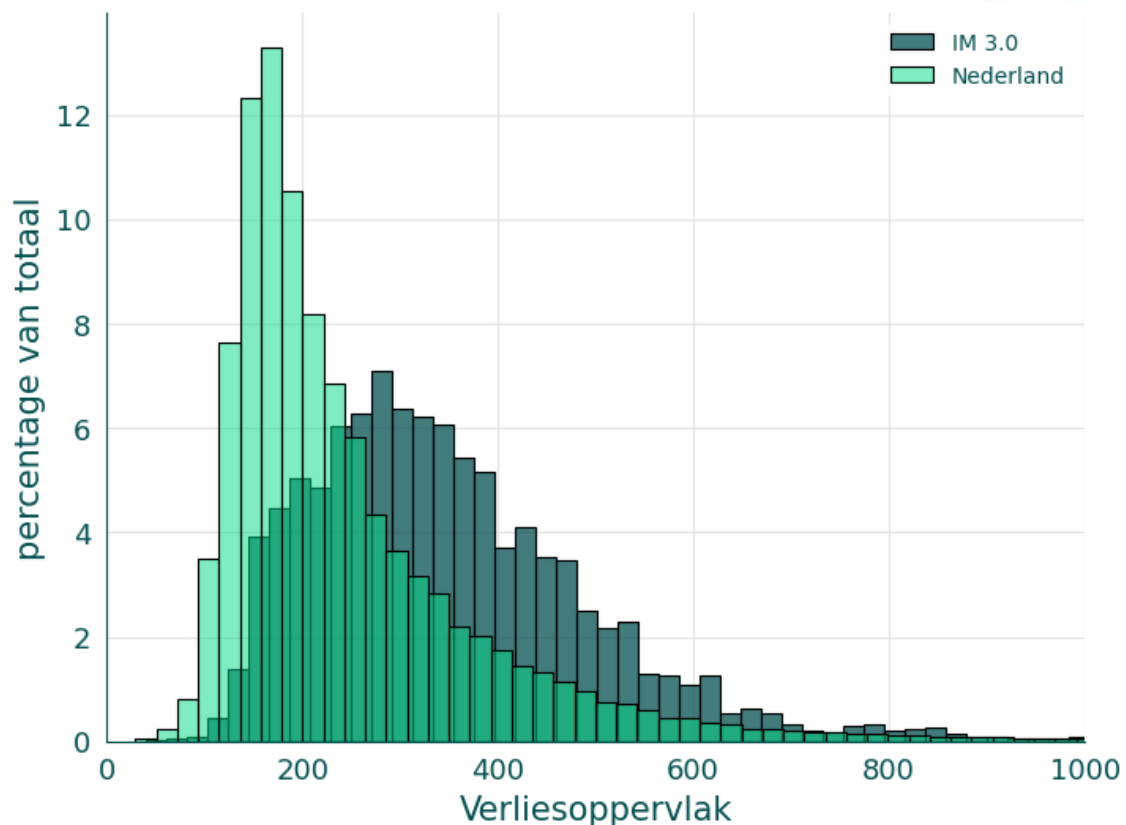
Tabel 4: Overzicht van de verhouding tussen vloeroppervlak en verliesoppervlak van verschillende woningtypen.

Verliesoppervlak	200 m ²	300 m ²	400 m ²	500 m ²	600 m ²
Vrijstaand	91 m ²	136 m ²	183 m ²	227 m ²	273 m ²
Twee-onder-een-kap	105 m ²	158 m ²	211 m ²	263 m ²	316 m ²
Rijwoning (hoek)	105 m ²	158 m ²	211 m ²	263 m ²	316 m ²
Rijwoning (tussen)	143 m ²	214 m ²	286 m ²	357 m ²	429 m ²

De woningen met een verliesoppervlak kleiner dan 200 m² en groter dan 600 m² zijn samengevoegd. Dit is gedaan om de aantallen per cluster groot genoeg te houden om uitspraken over te doen. Ter referentie, een tussenwoning van 120 m² vloeroppervlak heeft een verliesoppervlak van ongeveer 170 m². Een vrijstaande woning van 200 m² vloeroppervlak heeft een verliesoppervlak van 440 m². In hoofdstuk 4.1 worden de verschillende manieren van clusteren vergeleken. In de rest van het rapport zal vooral de clustering op verliesoppervlak gebruikt worden omdat deze het sterkst correleert met verwarmingsvraag.

3.3 Representativiteit

Voor Installatiemonitor is ingezet op een zo divers mogelijke groep deelnemers om een breed beeld te krijgen van de prestaties van warmtepompen onder verschillende omstandigheden. De dataset biedt een weergave van de prestaties van warmtepompen in uiteenlopende woningtypen en situaties. De woningen variëren in grootte en bouwperiode en beschikken over verschillende soorten installaties, zoals zonnepanelen en elektrische voertuigen, wat inzicht geeft in de wisselwerking tussen deze technologieën en de elektriciteitsvraag. Wel zijn er duidelijke verschillen tussen de populatie in dit onderzoek en de gehele Nederlandse woningvoorraad: De populatie in dit onderzoek heeft bovengemiddeld veel vrijstaande en twee-onder-een-kap woningen. Daarnaast zijn de gemiddelde vloeroppervlakken binnen de woningtypes ook bovengemiddeld. In Figuur 3 is een overzicht te zien van de Nederlandse woningvoorraad en de IM 3.0 populatie uitgesplitst op verliesoppervlak. Een belangrijke kanttekening is dat er geen appartementen zijn meegenomen in dit onderzoek omdat hiervoor te weinig data beschikbaar was. Voor de v



Figuur 3: Verliesoppervlak van de Nederlandse woningvoorraad (zonder appartementen) in vergelijking met de IM 3.0 populatie. Voor een afbeelding met appartementen zie figuur 1 in de bijlage.

3.3.1 Aantal deelnemers

Voor woningen met een hybride warmtepomp zijn er binnen alle woningclusters voldoende deelnemers om representatieve analyses te kunnen uitvoeren. Dit biedt een solide basis om gefundeerde uitspraken te doen over de impact van hybride warmtepompen binnen diverse woningtypen en bouwperiodes. Voor woningen met een all-electric warmtepomp ligt dit iets anders. Het aantal aanmeldingen voor all-electric systemen is lager, waardoor sommige clusters minder goed vertegenwoordigd zijn. Daarnaast speelt er bij de groep all-electric woningen mee dat veel van deze woningen gedurende de meetperiode van het gas af gaan. Als dit het geval is, moet de bewoner de aanmelding bij Installatiemonitor opnieuw bevestigen. Niet alle deelnemers waarbij dit gebeurt doen dit, waardoor er gedurende de meetperiode van minder all-electric woningen data beschikbaar komt. Dit verschil in deelname is een belangrijk aandachtspunt bij het interpreteren van met name de all-electric resultaten. In de onderstaande tabellen staat het aantal woningen per verliesoppervlakte en bouwperiode voor hybride en all-electric warmtepompen. De verdeling van de woningen op basis van de andere clustering is te vinden in appendix A.

Tabel 5: Overzicht aangemelde woningen met hybride warmtepomp per bouwperiode en verliesoppervlak

Woningen met hybride warmtepomp	1920 - 1945	1946 - 1965	1966 - 1979	1980 - 1992	1993 - 2012	Totaal
< 200 m ²	96	83	170	146	107	602
200 - 300 m ²	160	150	314	302	322	1248
300 - 400 m ²	139	123	252	222	429	1165
400 - 500 m ²	65	46	128	124	287	650
500 - 600 m ²	45	25	54	53	142	319
> 600 m ²	36	28	39	26	84	213
Totaal	541	455	957	873	1371	4197

Tabel 6: Overzicht aangemelde woningen met all-electric warmtepomp per bouwperiode en verliesoppervlak

Woningen met all-electric warmtepomp	1920 - 1945	1946 - 1965	1966 - 1979	1980 - 1992	1993 - 2012	Totaal
< 200 m ²	27	23	33	36	57	176
200 - 300 m ²	45	46	93	68	110	362
300 - 400 m ²	34	35	78	63	193	403
400 - 500 m ²	19	26	44	60	139	288
500 - 600 m ²	8	10	22	8	86	134
> 600 m ²	14	11	19	18	61	123
Totaal	147	151	289	253	646	1486

3.3.2 Samenstelling van woningbestand

Hoewel er per woningcluster voldoende deelnemers zijn voor de analyses, is het belangrijk te benadrukken dat deze deelnemers niet volledig representatief zijn voor alle Nederlandse woningen binnen diezelfde clusters. Deelnemers aan het Installatiemonitor project zijn vaak voorlopers op het gebied van duurzaamheid, met een voorkeur voor warmtepompen, zonnepanelen en een elektrische auto. Zo zijn er bij 95% van de installatiemonitor woningen zonnepanelen geplaatst ten opzichte van 45% bij alle koopwoningen in Nederland⁶. Ook het gebruik van elektrische auto's ligt aanzienlijk hoger. Zo'n 20% van de installatiemonitor deelnemers geeft aan een elektrische auto te gebruiken terwijl maar 5,7% van de auto's in Nederland¹ een elektrische auto is. Deze vroege adoptie kan leiden tot een andere prestatie en gebruikspatronen dan bij de gemiddelde woning in Nederland, waar dergelijke technologieën nog niet zo wijdverspreid zijn. Dit betekent dat de deelnemers mogelijk niet de volledige diversiteit en variatie van vergelijkbare woningen in Nederland weerspiegelen. Dit hoeft echter niet per se een probleem te zijn, aangezien de analyse juist gericht is op het onderzoeken van de netimpact wanneer woningen wel beschikken over een warmtepomp, en eventueel zonnepanelen en een elektrische auto.

⁶ Uit CBS longread: klimaatverandering en energietransitie. **Opvattingen en gedrag van Nederlanders in 2023**

3.3.3 Weer tijdens meetperiode

Tijdens de meetperiode zijn er geen extreem koude dagen geweest, wat betekent dat er nog geen impact kan worden bepaald bij extreme winterse omstandigheden. Er is in de data één dag voorgekomen waarop het -4°C was in de Bilt. Ook is het gebruik van elektrische elementen in de warmtepompen, door gebrek aan koude dagen, nog niet inzichtelijk. Dit maakt het lastig om de volledige impact van warmtepompen en eventuele andere elektrische verwarming te beoordelen als de temperaturen ver dalen. Met een gemiddelde weektemperatuur tot -1°C , in de Bilt, is er echter wel inzicht te geven in de impact van warmtepompen op het elektriciteitsnet tijdens een matige winter. In hoofdstuk 4 worden referentieweken gepresenteerd, waarin de koudste week tot nu toe wordt belicht; deze weken bieden eerste inzichten in hoe de systemen presteren bij lagere temperaturen. Hoofdstuk 6 zal, op basis van de beschikbare data en diverse analyses, verder ingaan op de verwachte elektrische piekvraag die kan ontstaan bij extreme kou. Hierbij wordt niet alleen gebruikgemaakt van extrapolaties, maar wordt ook geprobeerd een perspectief te schetsen op het elektriciteitsverbruik bij -10°C door de bekende gegevens nauwkeurig te analyseren. Dit resulteert in een eerste inzicht in de mogelijke piekvraag onder dergelijke condities.

4 Slimme meter data op de gehele woning

In dit hoofdstuk ligt de focus op de analyse van de slimme meterdata, waarbij een overzicht wordt gepresenteerd van de totale elektriciteitsvraag van de deelnemende woningen. Dit omvat de gehele woning, met naast huishoudelijk- en warmtepompverbruik ook teruglevering uit eventuele zonnepanelen en het laden van elektrische voertuigen. De analyse wordt opgesplitst in woningen met een hybride- en woningen met een all-electric warmtepomp. Allereerst wordt aangetoond dat verliesoppervlak de beste voorspeller is voor de warmtevraag van een woning. Vervolgens wordt aan de hand van de piekvermogens voor woningen met beide typen warmtepompen de volgende vier resultaten getoond:

- Gelijktijdige piekvermogen
- Seizoenseffecten op gelijktijdig piekvermogen
- Dagprofielen
- Gemiddeld piekvermogen en maximale piek per woning

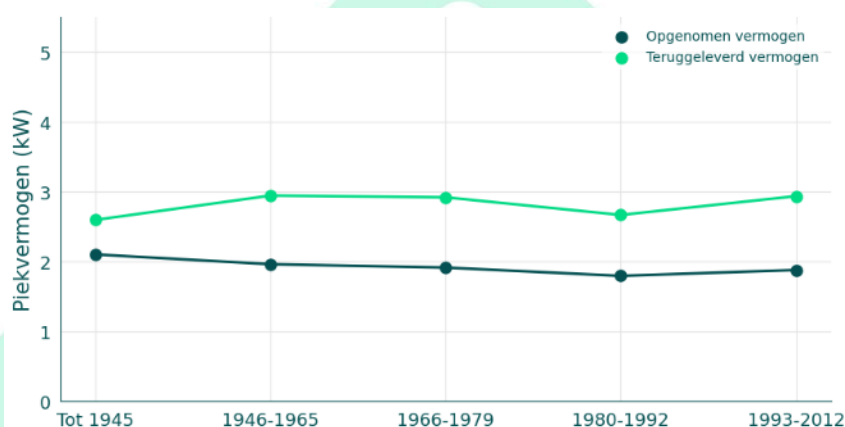
Het hoofdstuk laat de belangrijkste resultaten en trends zien. In de appendix B zijn de volledige figuren van alle clusters te vinden.

4.1 Piekvermogen correlaties

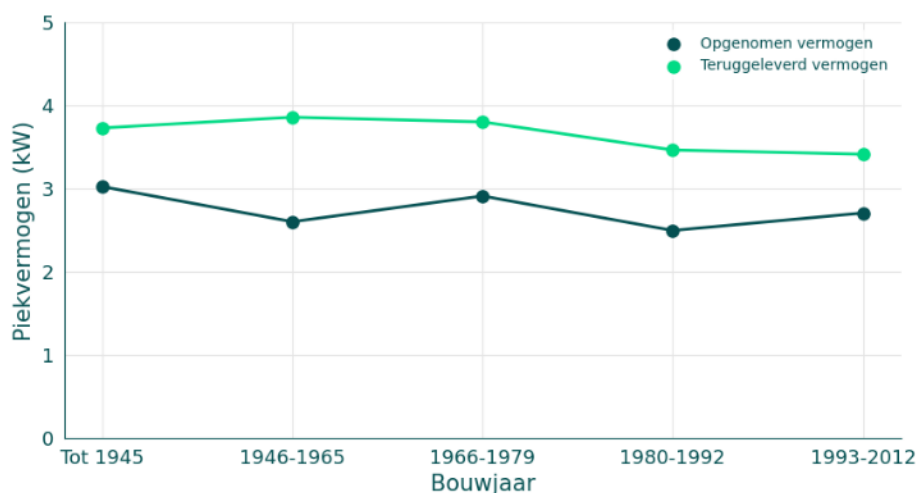
Een woning wordt veelal beschreven door zijn woningtype (vrijstaand, twee-onder-een-kap, etc.), verliesoppervlak en de bouwperiode. In de volgende paragrafen worden de verschillende woningkenmerken geanalyseerd om te bepalen welk kenmerk de beste voorspeller is van het piekvermogen van een woning. De gelijktijdige piekvermogens beschreven in dit hoofdstuk zijn afgeleid van de belastingduurkrommes. Ze geven het gemiddelde vermogen op het moment dat dit voor alle woningen samen maximaal is.

4.1.1 Bouwperiode

De bouwperiode correleert niet sterk met het piekvermogen van de woningen, zoals te zien in figuren 4.1 en 4.2. Hierin blijkt dat het gelijktijdige piekvermogen van de woning vrij constant is over de verschillende bouwperiodes. Oudere woningen zijn doorgaans minder geschikt voor het gebruik van warmtepompen vanwege beperkte isolatie en dus hogere warmteverliezen. Dat dit in onderstaande figuur niet zichtbaar is komt mogelijk doordat de woningeigenaren hebben geïnvesteerd in andere verduurzamingsmaatregelen die de warmtevraag van de woning verminderen zoals isolatie of doordat mensen hun gedrag aanpassen zodra de energierekening te hoog wordt.



Figuur 4.1 Gelijktijdig piekvermogen van 3648 woningen met hybride warmtepompen geclusterd op bouwperiode

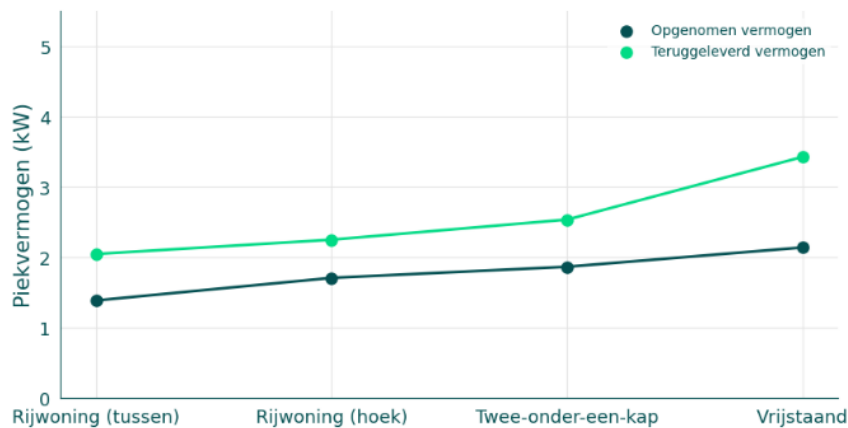


Figuur 4.2: Gelijktijdig piekvermogen van 1298 woningen met all-electric warmtepompen geclusterd op bouwperiode

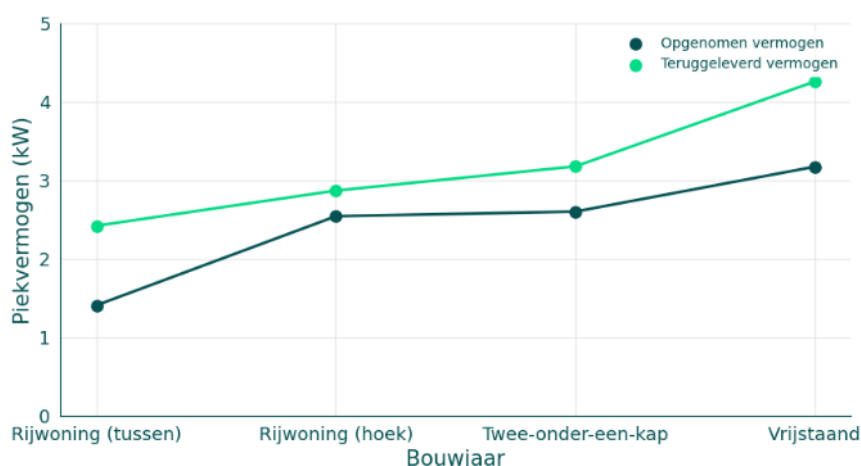
4.1.2 Woningtype

Het woningtype vertoont een lichte correlatie met de piekvraag van de woning. Uit figuren 4.3 en 4.4 blijkt dat tussenwoningen over het algemeen de laagste pieken in elektriciteitsverbruik laten zien (1.4kW), terwijl vrijstaande woningen vaak de hoogste pieken vertonen (2.1kW voor hybride en 3.1kW voor all-electric), zowel in verbruik als in teruglevering.

Dit verschil wordt grotendeels verklaard door het grotere oppervlakte en de hogere verwarmingsbehoefte van vrijstaande woningen, waardoor een grotere warmtevraag ontstaat die leidt tot een hogere belasting op het elektriciteitsnet. Hetzelfde geldt voor de terugleverpiek, des te groter de woning, des te meer ruimte er is voor zonnepanelen. Toch zijn er ook variaties binnen de woningtypen waardoor een sterke correlatie uitblijft, er zijn namelijk grote en kleine woningen binnen een categorie.



Figuur 4.3: Gelijktijdig piekvermogen 3648 van woningen met hybride warmtepompen geclusterd op woningtype

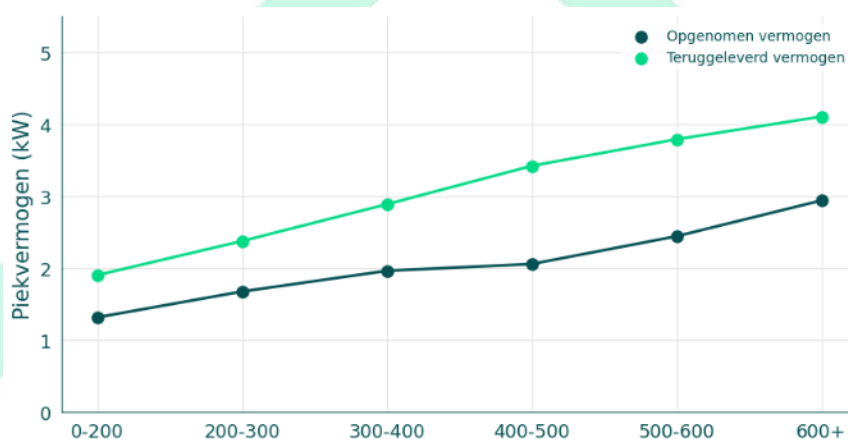


Figuur 4.4: Gelijktijdig piekvermogen van 1298 woningen met all-electric warmtepompen geclusterd op woningtype

4.1.3 Verliesoppervlak

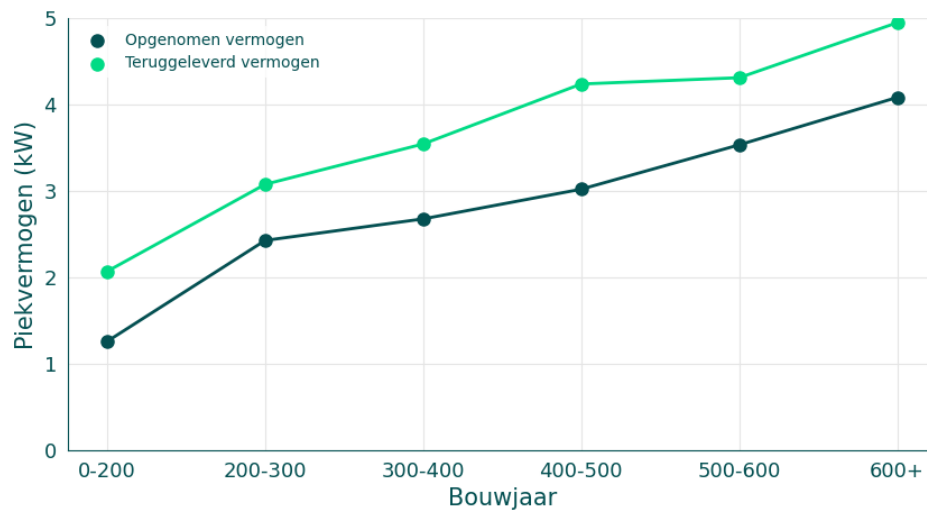
Het verliesoppervlak is het totale oppervlak van alle scheidingsconstructies (beganegrandvloer-/gevel-/dakoppervlak etc.) die het beschermde volume van een gebouw omhullen of omsluiten van de buitenlucht. De factoren om vloeroppervlak naar verliesoppervlak om te zetten staan in tabel 2. Het verliesoppervlak van een woning vertoont een sterke en logische correlatie met het piekvermogen, veel sterker dan wat zichtbaar is bij enkel het woningtype of de bouwperiode. Deze conclusie is ook getrokken in Installatiemonitor 1.0⁷. In de onderstaande figuur met het verliesoppervlak wordt deze relatie duidelijk weergegeven dat des te groter het verliesoppervlak is, des te groter de piekvraag van de woning. Zo stijgt bij woningen met een hybride warmtepomp het opgenomen vermogen van ongeveer 1,3 naar 3 kW (stijging van 230%). Bij all-electric woningen neemt het opgenomen en terug geleverde vermogen ook fors toe, van zo'n 1,3 naar 4,1 kW (stijging van 310%).

Het verliesoppervlak hangt nauw samen met de warmtebehoefte van de woning aangezien een groter verliesoppervlak, bij gelijke schilkwaliteit, leidt tot een evenredig grotere warmtevraag. Er is immer meer oppervlak waar warmte wordt verloren. Dit grotere warmteverlies betekent dat er meer energie nodig is om de woning te verwarmen, wat leidt tot een hogere piekvraag. Daarnaast betekent een groter dakoppervlak meer ruimte voor zonnepanelen, wat duidelijk te zien is in de onderstaande figuren 4.5 en 4.6; des te groter het verliesoppervlak, des te hoger de terugleverpiek van de woning.



Figuur 4.5: Gelijktijdig piekvermogen van 3648 woningen met hybride warmtepompen geclusterd op verliesoppervlak

⁷ Zie voor meer informatie: <https://www.installatiemonitor.nl/eindrapportage-installatiemonitor>



Figuur 4.6: Gelijktijdig piekvermogen van 1298 woningen met all-electric warmtepompen geclusterd op verliesoppervlak

4.1.4 Conclusie correlaties woningkenmerken

Het verliesoppervlak correleert van alle opsplitsingen die bekeken zijn het sterkst met het gelijktijdige vermogen. Daarom worden de volgende resultaten worden uitsluitend gepresenteerd op basis van het verliesoppervlak. Voor volledigheid zijn de bevindingen op basis van bouwperiode en woningtype uitgewerkt in de bijlage. Daar wordt elke keer specifiek naar verwezen zodat deze inzichten beschikbaar blijven als referentie.

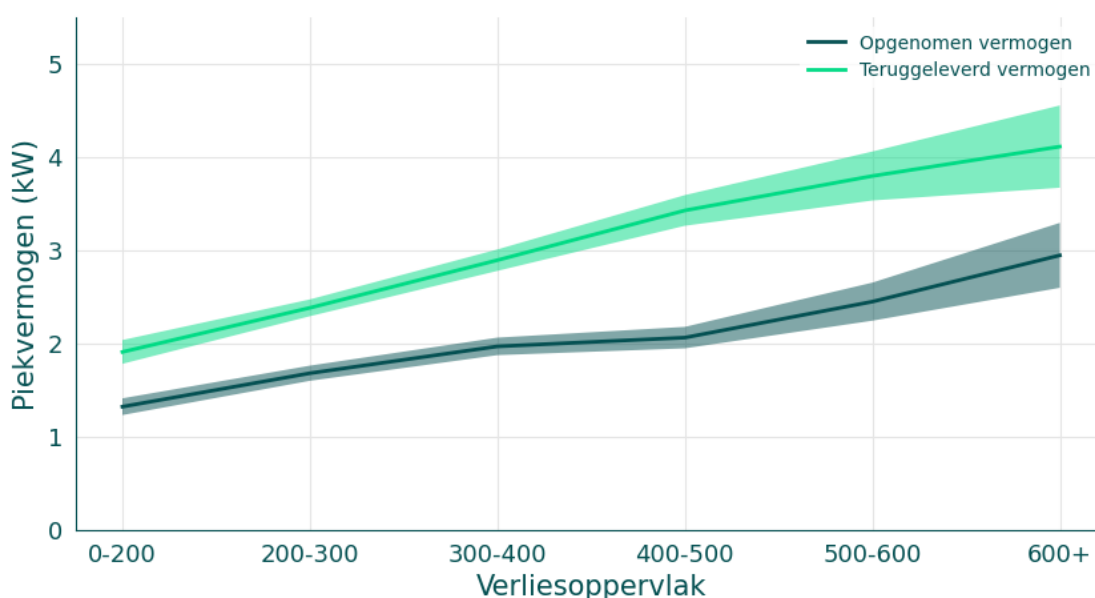
Zowel bij een splitsing in bouwperiode, woningtype en verliesoppervlak is te zien dat het gelijktijdig teruggeleverde vermogen hoger is dan het gelijktijdig opgenomen vermogen. Woningen met zonnepanelen leveren veelal op hetzelfde moment terug omdat de zon bij alle huishoudens op hetzelfde moment schijnt. Het elektriciteitsgebruik van een woning kent een lagere gelijktijdigheid omdat er grote spreiding is in het gebruik van huishoudelijke apparaten.

4.2 Woningen met hybride warmtepomp

Uit de meetdata van woningen met een hybride warmtepomp zijn verschillende conclusies te trekken. Eerst wordt een overzicht van alle woning op jaarbasis gepresenteerd om de volledige pieken te tonen. Vervolgens worden specifieke referentieweken geanalyseerd om seizoensgebonden variaties te belichten. Tot slot bieden dagprofielen inzicht in het dagelijkse elektriciteitsverbruikspatroon, zodat het gedrag van de woning gedurende de dag zichtbaar wordt. Deze profielen zijn allen weergegeven met daarbij een 95% betrouwbaarheidsinterval.

4.2.1 Gelijktijdige piekbelasting binnen het gehele jaar

Figuur 4.7 toont de gelijktijdige vermogenspiek per woning, van alle woningen met een hybride warmtepomp, voor zowel opname als teruglevering van stroom. Hiervoor is gemeten over een volledig jaar en zijn de woningen geclusterd naar verliesoppervlak. In deze grafiek is duidelijk zichtbaar dat des te groter het verliesoppervlak wordt, des te hoger de pieken liggen. Onderstaande grafiek toont ook het 95%-betrouwbaarheidsinterval. De betrouwbaarheid bij de woningen met een groot verliesoppervlak neemt af, omdat daar data van minder woningen beschikbaar is. Er is een groot verschil in piekvermogen: zowel bij de afname als bij de teruglevering verschilt het piekvermogen tussen woningen met een klein en een zeer groot verliesoppervlak met een factor twee.

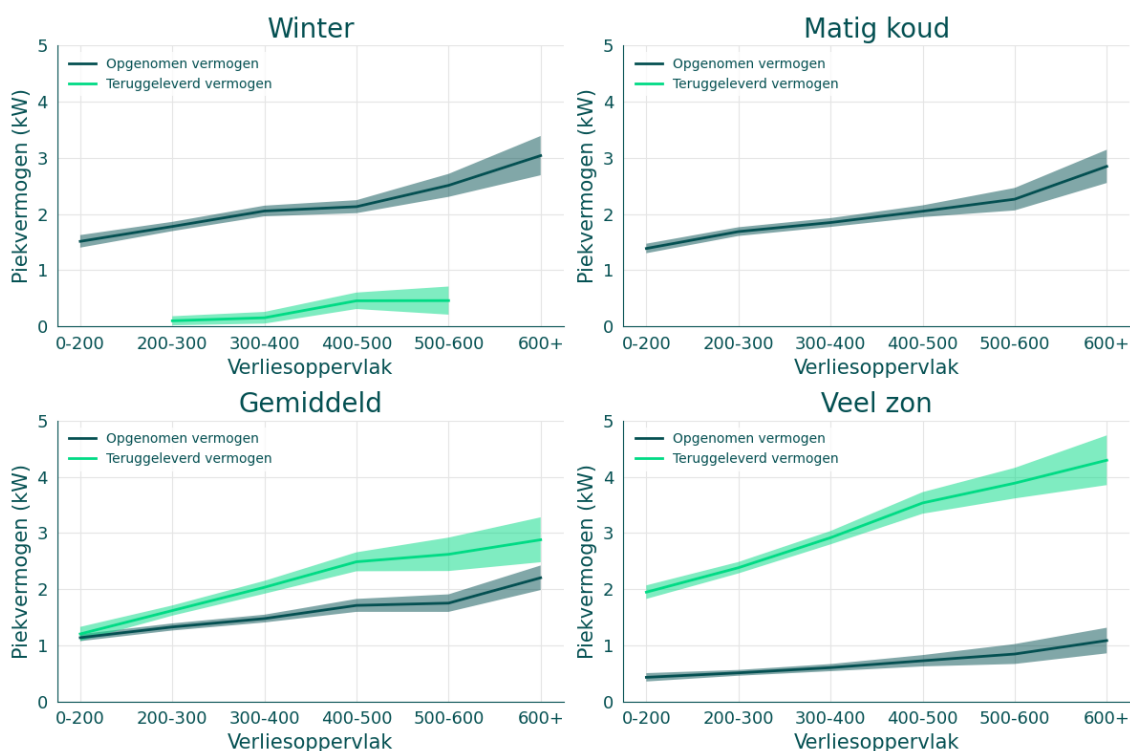


Figuur 4.7: Gelijktijdig piekvermogen van 3648 woningen met hybride warmtepompen geclusterd op verliesoppervlak inclusief het 95% betrouwbaarheidsinterval

Figuur 4.7 geeft een overzicht van alle maxima in de belastingduurkrommes van woningen geclusterd op verliesoppervlak. De belastingduurkrommes zijn ook bepaald voor clusters, op basis van woningtype, bouwperiode en verliesoppervlak. De volledige weergave inclusief verdere uitsplitsing is te vinden in appendix B.

4.2.2 Seizoenseffecten op maximaal vermogen

In de figuur 4.8 zijn de gelijktijdige opname- en terugleverpiek van woningen met een hybride warmtepomp zichtbaar voor de vier gekozen referentieweken. Ook hier is weer zichtbaar dat naarmate het verliesoppervlak toeneemt, zowel de opname als afnamepieken toenemen. Naarmate het kouder wordt, stijgt het piekvermogen over alle verliesoppervlakken. Opvallend is dat de piekvermogens voor de matige koude week en de winterweek op elkaar lijken. Dit wijst erop dat bij kouder weer, in dit geval rond het vriespunt, de hybride warmtepomp stopt met meer vermogen vragen. In plaats daarvan zal de ketel een deel van de warmtevraag invullen en gaat de warmtepomp, in sommige gevallen, zelfs uit gaan. De lichtgroene lijn representeert het gemiddeld terug geleverde vermogen. Bij de koude periodes, “winter” en “matig koud”, is er niet altijd een terug geleverd vermogen. Dit betekent dat in die week voor alle woningen gemiddeld genomen er geen teruglevering heeft plaatsgevonden. De zonnepanelen hebben energie opgewekt, maar er was te weinig zonne-energie om een elektriciteitsoverschot aan het elektriciteitsnet terug te leveren. In “winter” is bij enkele verliesoppervlak-categorieën nog wel teruglevering. Dit komt omdat die week zonniger was dan de “matig koud” week.

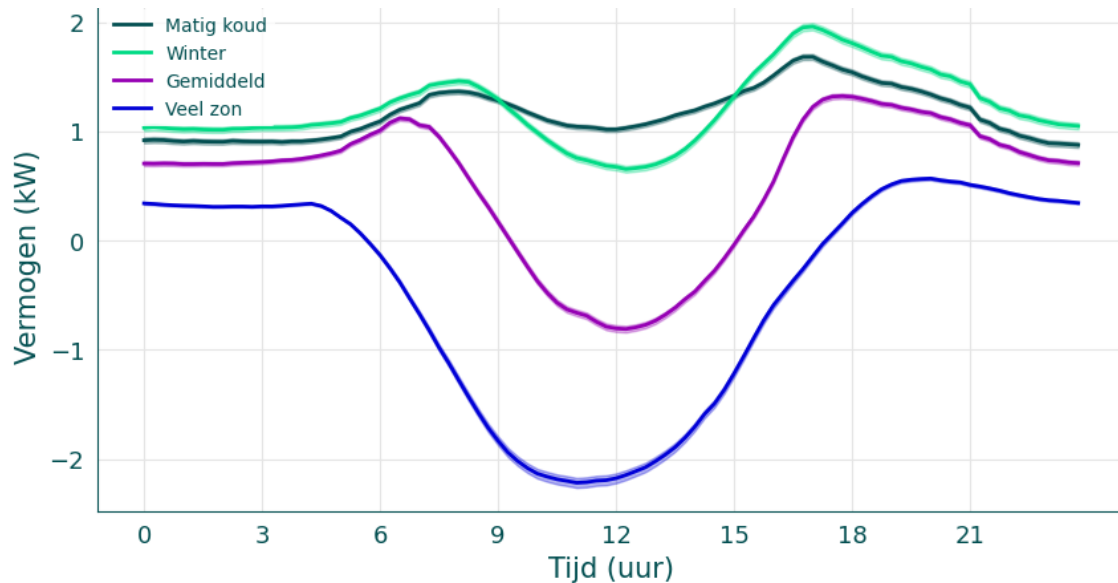


Figuur 4.8: Gelijktijdig piekvermogen van 3606 woningen met hybride warmtepompen in de vier referentieweken geclusterd op verliesoppervlak inclusief de 95% betrouwbaarheidsinterval. Het lichtgroene vlak ontbreekt, wanneer er geen netto teruglevering is.

De belastingduurkrommes van de vier referentieweken zijn nader uitgesplitst per woningtype/bouwperiode en verliesoppervlak/bouwperiode. Deze figuren zijn te vinden in appendix B.

4.2.3 Dagprofielen

Figuur 4.9 toont het gemiddelde dagprofiel voor de referentieweken van woningen met een hybride warmtepomp. Omdat data van de slimme meter is gebruikt komt hier zowel het geleverde (negatieve kW) als opgenomen (positieve kW) vermogen van een woning in terug. In de zonnige week is de opwek duidelijk groter dan de afname. Er zijn hier nauwelijks positieve waarden. In de winterweek is er minder opwek. Daarentegen is er een sterke toename in vermogen rond acht uur 's ochtends en vijf uur 's middags. Opvallend is dat de opname overdag in de winterweek lager ligt dan in de matige koude week. Dit komt doordat dat de winterweek relatief zonnig was en dat de zelfconsumptie van opgewekte zonne-energie de vraag overdag aanzienlijk heeft verlaagd. Voor de rest van de dag lijken de dagprofielen van de winterweek en de matige koude week echter op elkaar. Dit is een indicatie dat bij lagere temperaturen de hybride warmtepomp geholpen wordt door de cv-ketel.

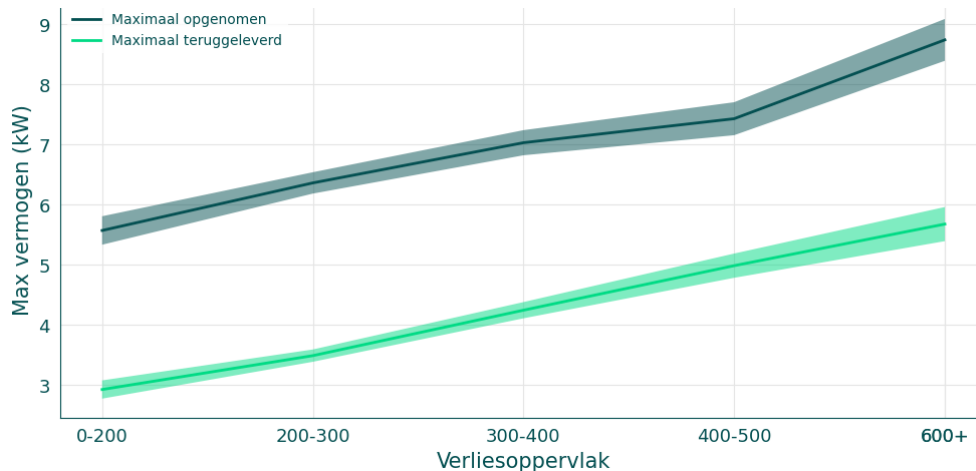


Figuur 4.9: Gemiddeld dagprofiel over 4 referentieweken voor 3606 woningen met hybride warmtepompen

4.2.4 Maximaal vermogen per woning

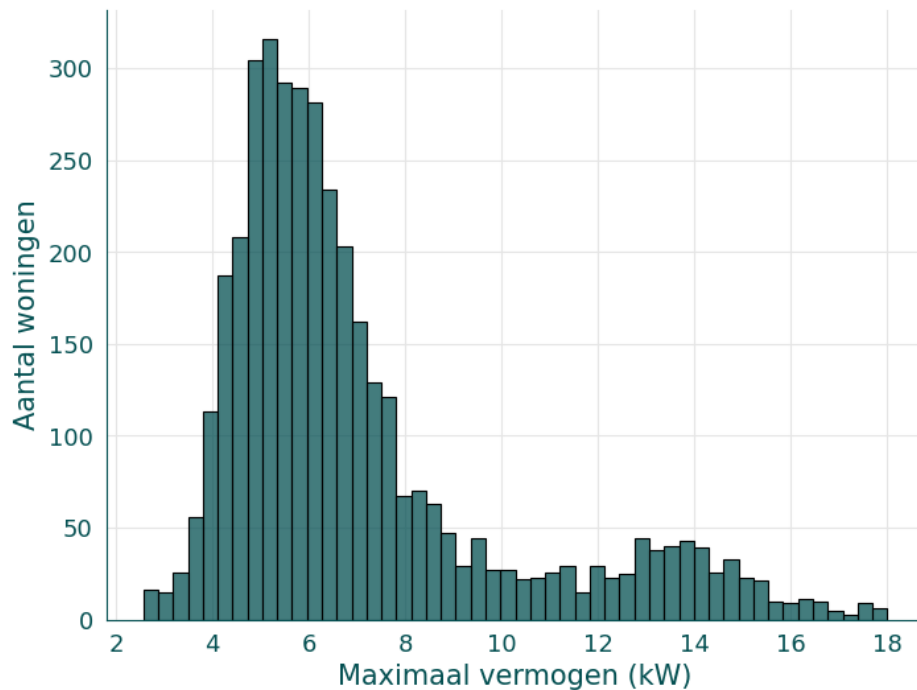
Figuur 4.10 toont het maximale opgenomen en teruggeleverde vermogen van de gehele woning. Hier is voor elke woning los genoteerd wat het maximale vermogen is dat binnen het gehele jaar is gemeten. Deze waarden zijn vervolgens gegroepeerd in een histogram in figuur 4.11. Het is belangrijk op te merken dat deze gegevens betrekking hebben op het maximale opgenomen vermogen per woning. De woningen verbruiken dit vermogen **niet** tegelijkertijd. Het maximale gelijktijdige vermogen is weergegeven in figuur 4.7 en ligt aanzienlijk lager.

De figuur laat een vergelijkbare vorm zien als figuur 4.7, waar wel is gekeken naar het gelijktijdige piekvermogen. Maar de pieken zijn significant hoger in figuur 4.10. Waar het gelijktijdige piekvermogen voor woningen met een verliesoppervlak van 200-300 m² ongeveer 1.7 kW, is dat hier ruim 6 kW. Dit benadrukt het grote verschil tussen het maximale vermogen en het gelijktijdige piekvermogen.



Figuur 4.10: Maximaal opgenomen vermogen woningen met een hybride warmtepomp geclusterd op verliesoppervlak voor 3648 woningen met hybride warmtepompen

Uit figuur 4.11 blijkt dat de meeste woningen zich bevinden in de range van 5 tot 7 kW maximaal opgenomen piekvermogen. Echter, het is opvallend dat een significant aantal woningen een hoger maximaal vermogen vertoont, met uitschieters die oplopen tot maar liefst 17,5 kW. Dit wijst op de aanwezigheid van elektrische voertuigen bij de deelnemende woningen, welke zorgen voor de hogere piekvermogens. Ook op het aanmeldformulier van installatiemonitor is dit terug te vinden. Van de huishoudens met een hybride warmtepomp heeft 19% aangegeven ook een oplaadpunt voor een elektrische auto te hebben. In hoofdstuk 5.3 wordt verder ingezoomd op de impact van elektrische auto's



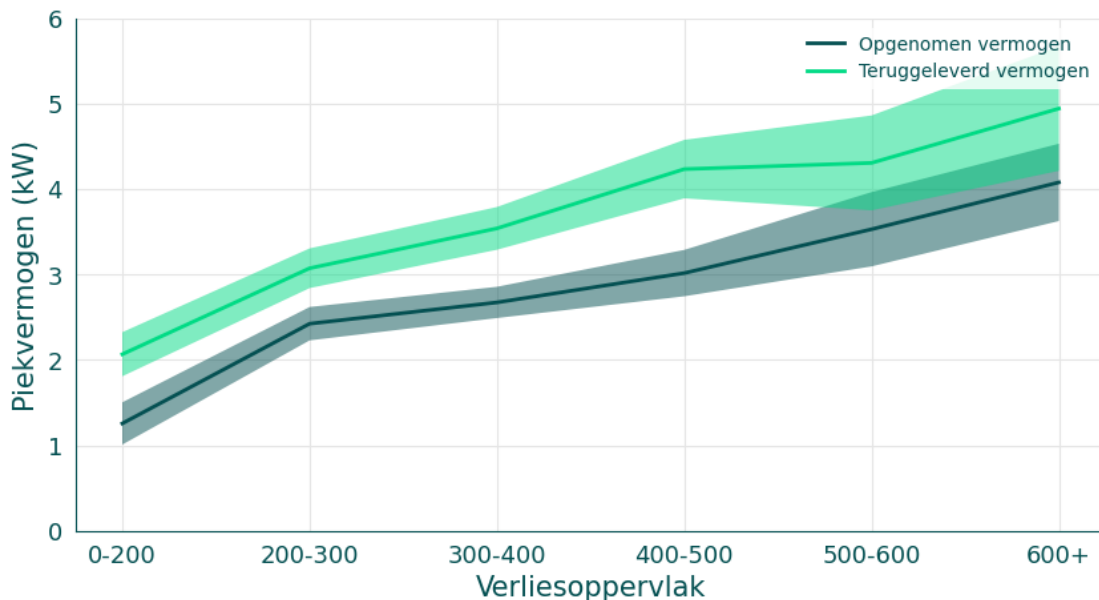
Figuur 4.11: Maximaal opgenomen vermogen van 3606 woningen met een hybride warmtepomp

4.3 Woningen met all-electric warmtepomp

Uit de meetdata van woningen met een all-electric warmtepomp zijn verschillende conclusies af te leiden. Eerst wordt een overzicht van alle woning op jaarbasis gepresenteerd om de volledige pieken te tonen. Vervolgens worden specifieke referentieweken geanalyseerd om seizoensgebonden variaties te belichten. Tot slot bieden dagprofielen inzicht in het dagelijkse elektriciteitsverbruikspatroon, zodat het gedrag van de woning gedurende de dag zichtbaar wordt. Deze profielen zijn allen weergegeven met een 95% betrouwbaarheidsinterval.

4.3.1 Gelijktijdige piekbelasting binnen het gehele jaar

Figuur 4.12 toont de gelijktijdige opname- en terugleverpiek van woningen met een all-electric warmtepomp. Hiervoor is gemeten over een volledig jaar en zijn de woningen geclusterd naar verliesoppervlak. In deze grafiek is duidelijk zichtbaar dat des te groter het verliesoppervlak wordt, des te hoger de pieken liggen. In de grafiek is te zien dat de terugleverpiek hoger is dan de opgenomen piekvermogens voor alle verliesoppervlak clusters. Ook is te zien dat de piek van het opgenomen vermogen meer dan verdubbelt tussen de woningen met het kleinste verliesoppervlak en het grootste verliesoppervlak. Ook bij het teruggeleverde vermogen is er sprake van meer dan een verdubbeling.

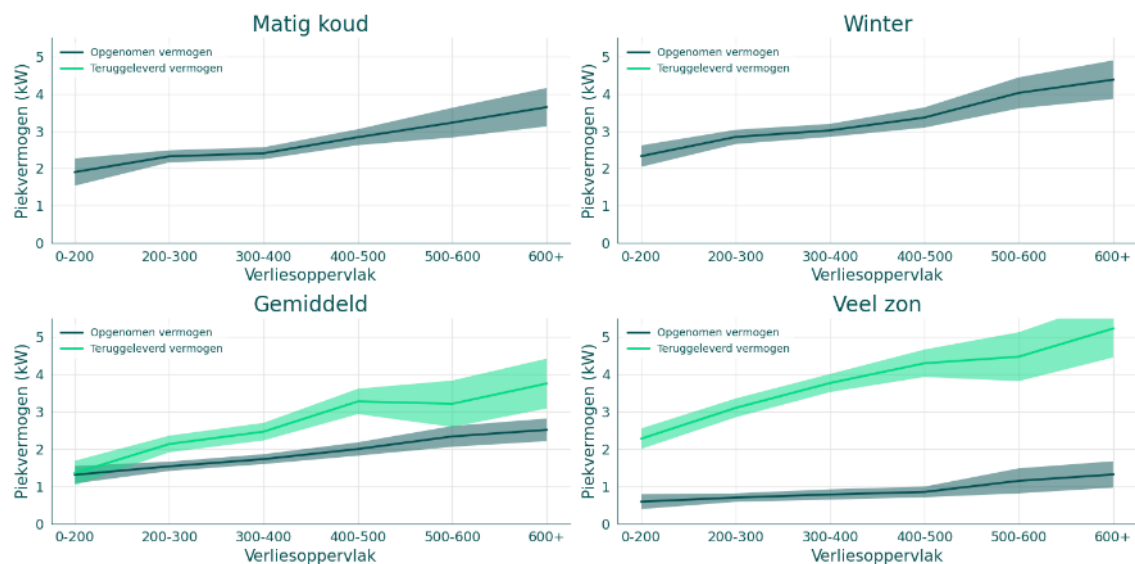


Figuur 4.12: Gelijktijdig piekvermogen van 1298 woningen met all-electric warmtepompen geclusterd op verliesoppervlak inclusief de 95% betrouwbaarheidsinterval

De belastingduurkrommes zijn ook bepaald voor clusters, op basis van woningtype, bouwperiode en verliesoppervlak. De volledige weergave is te vinden in appendix B.

4.3.2 Seizoenseffecten op maximaal vermogen

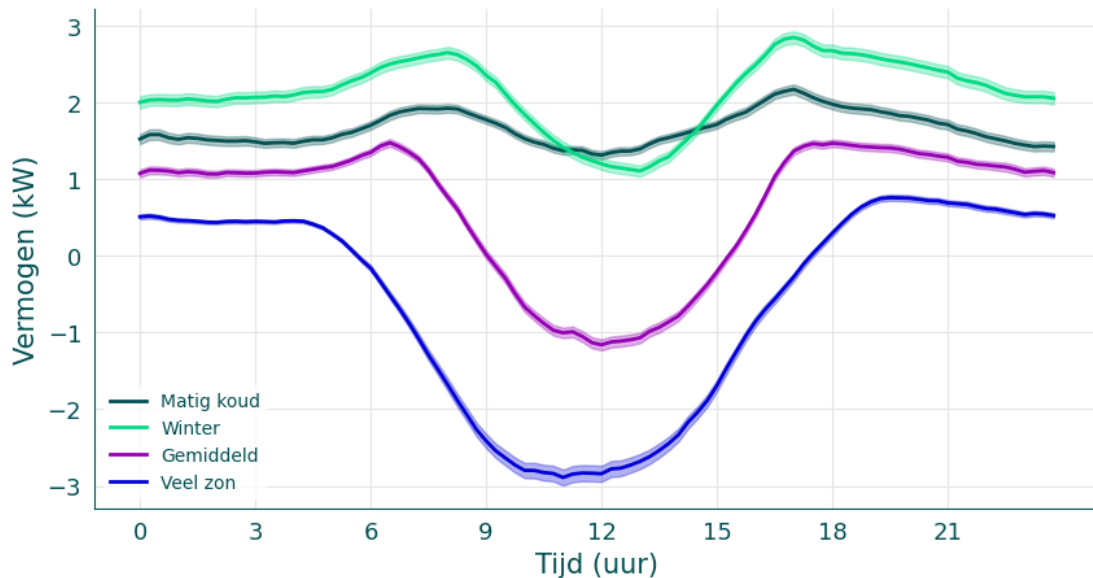
In tegenstelling tot een deel van de hybride warmtepompen schakelen all-electric warmtepompen niet af wanneer het kouder wordt. Bij lagere temperaturen draait de warmtepomp intensiever om aan de verhoogde warmtevraag te voldoen. Dit is ook te zien in figuur 4.13. Bij de “winter” week, de koudste periode, is het piekvermogen zichtbaar hoger dan bij de matig koude en de gemiddelde week. Bij scenario “veel zon” is het opgenomen piekvermogen laag. De warmtepomp staat enkel aan voor tapwater en er is veel zonnestroom-opwek. Wat verder opvalt is dat er nauwelijks gelijktijdige teruglevering is geweest tijdens de koude weken. Dit komt voor een groot gedeelte door zelfconsumptie en de beperkte opwek in de winter.



Figuur 4.13: Gelijktijdig piekvermogen van 1168 woningen met all-electric warmtepomp in de vier referentieweken geclusterd op verliesoppervlak inclusief het 95% betrouwbaarheidsinterval. Het lichtgroene vlak ontbreekt, wanneer er geen netto teruglevering is.

4.3.3 Dagprofielen

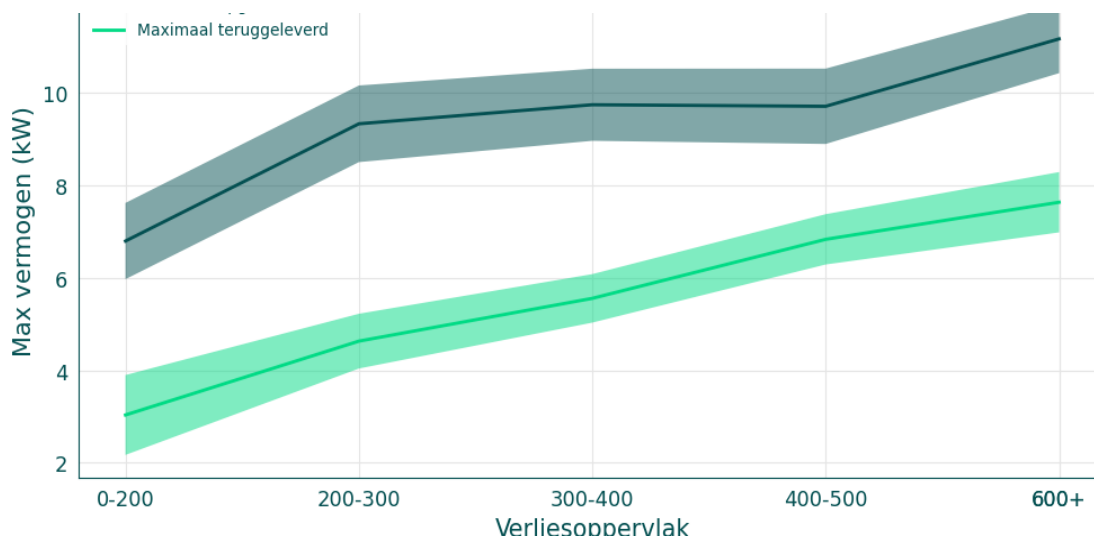
De dagprofielen van elektriciteitsverbruik en -teruglevering geven inzicht in de variatie van netbelasting binnen de dag. Deze zijn weergegeven in figuur 4.14. De grafiek is uitgesplitst over vier referentieweken met andere weersomstandigheden. Hieruit komen enkele opvallende patronen naar voren. De heldere dagen in de koude winterweek zorgen voor een hogere opwekking door zonnepanelen in vergelijking met perioden van gematigde kou. Ondanks deze verhoogde PV-opwek blijft de gelijktijdige piekbelasting boven nul. Dit benadrukt dat, zelfs bij hogere zonne-opwekking in de winter, de vraag naar elektriciteit door bijvoorbeeld verwarming nog altijd substantieel is. Een duidelijk stijgende energievraag is waarneembaar tijdens de nachtelijke uren, met name in de winter. Tijdens een gemiddelde week begin maart blijft de warmtepomp vaak ook 's nachts operationeel, wat wijst op een continue vraag naar warmte.



Figuur 4.13: De gemiddelde elektrische dagprofielen van 1168 woningen met een all-electric warmtepomp.

4.3.4 Maximaal vermogen per woning

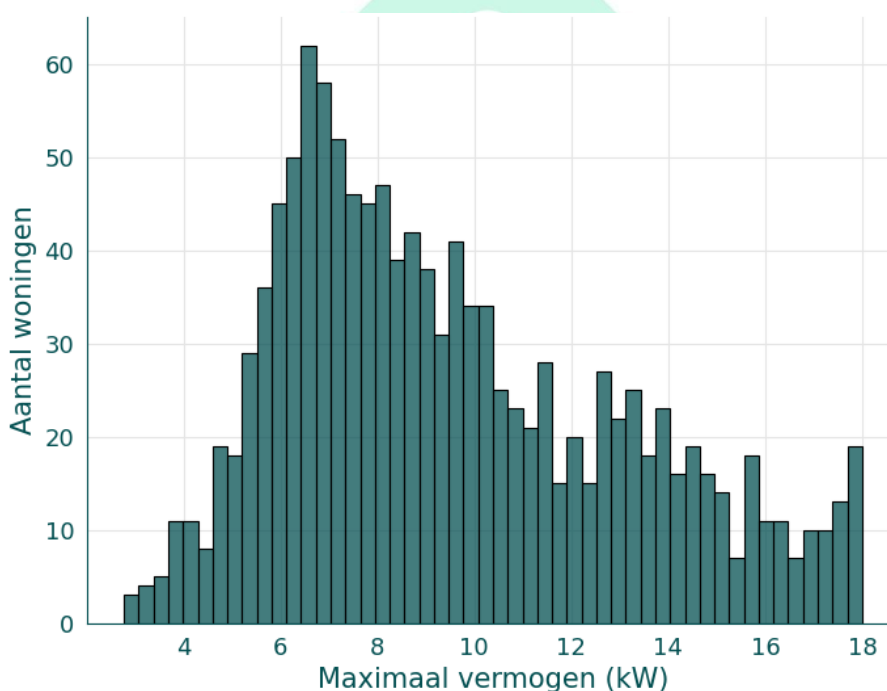
Figuur 4.15 toont het maximale opgenomen vermogen van de gehele woning. Hier is voor elke woning los genoteerd wat het maximale vermogen is dat binnen het gehele jaar is waargenomen. Deze waarden zijn vervolgens gegroepeerd in een histogram in figuur 4.16. Het is belangrijk op te merken dat deze gegevens betrekking hebben op het maximale opgenomen vermogen per woning. De woningen verbruiken dit vermogen **niet** tegelijkertijd. Het maximale gelijktijdige vermogen is weergegeven in figuur 4.12 en ligt aanzienlijk lager. Dit benadrukt het grote verschil tussen piekvermogen en gelijktijdig piekvermogen.



Figuur 4.14: Maximaal opgenomen vermogen van 1298 woningen met een all-electric warmtepomp. De woningen zijn geclusterd op verliesoppervlak en de waarden in de grafiek zijn gemiddelden per verliesoppervlak-cluster.

De meeste all-electric woningen hebben een piekbelasting tussen de 6 en 10 kW, wat hoger is dan bij hybride warmtepompen. Opvallend is dat een aanzienlijk aantal woningen een piekbelasting vertoont die hier ver boven ligt, met uitschieters tot wel 17,5 kW. Dit suggereert dat een groot aantal deelnemende bewoners in bezit is van elektrische voertuigen, wat leidt tot deze hogere piekvermogens.

Dit is ook terug te zien in de aanmeldformulieren van Installatiemonitor. Hierin heeft 29% van de deelnemers met een all-electric warmtepomp aangegeven een oplaadpunt voor een elektrische auto te hebben.



Figuur 4.15: Maximaal opgenomen vermogen 1298 woningen met een all-electric warmtepomp

4.4 Conclusies op woningniveau

- Het verliesoppervlak van een woning blijkt de sterkste voorspeller van het piekvermogen te zijn. Dit geldt zowel voor hybride als all-electric warmtepompen, waarbij een groter verliesoppervlak leidt tot een hogere warmtevraag en piekbelasting.
- De bouwperiode heeft geen significante invloed op de piekvermogens, mogelijk door renovaties die de energieprestaties van oudere woningen verbeteren. Woningtype toont een lichte correlatie, met vrijstaande woningen die hogere pieken vertonen vanwege hun grotere oppervlakte en warmtevraag.
- De gelijktijdige piekvermogens van alle woningen nemen toe als het kouder wordt. Bij woningen met een hybride warmtepomp zit hier echter een maximum aan omdat de ketel (deels) de warmtevraag overneemt. Zodoende is er weinig verschil in de vermogens van woningen met hybride warmtepompen bij 3 °C of bij -1 °C.
- Woningen met een all-electric warmtepomp veroorzaken een hogere gelijktijdige piek op het net dan woningen met een hybride warmtepomp. Voor woningen met een verliesoppervlak van 250 m² met een hybride warmtepomp geldt dat het gelijktijdige vermogen rond de 1.7kW ligt. Voor woningen met hetzelfde verliesoppervlak met een all-electric warmtepomp ligt het gelijktijdige vermogen rond de 2.3kW.
- Voor alle woningen zijn de gelijktijdige terugleverpieken over het algemeen hoger dan de gelijktijdige opgenomen pieken. Woningen met zonnepanelen leveren veelal op hetzelfde moment terug omdat de zon bij alle huishoudens op hetzelfde moment schijnt. Het elektriciteitsgebruik van een woning kent een lagere gelijktijdigheid omdat er grote spreiding is in het gebruik van huishoudelijke apparaten.
- Woningen met een all-electric warmtepomp veroorzaken gemiddeld een hogere gelijktijdige terugleverpiek op het net. Voor woningen met een verliesoppervlak van 250 m² met een hybride warmtepomp geldt dat het gelijktijdige vermogen rond de 2.3 kW ligt. Voor woningen met hetzelfde verliesoppervlak met een all-electric warmtepomp ligt het maximale vermogen rond de 3.1 kW.
- Het gemiddelde piekvermogen (per woning) ligt aanzienlijk hoger dan het gelijktijdige vermogen van alle woningen samen. Voor een woning met een verliesoppervlak van 250 m² met een hybride warmtepomp is het gemiddelde piekvermogen 6.3 kW. Voor een woning met een all-electric warmtepomp en hetzelfde verliesoppervlak geldt dat het gemiddelde van piekvermogen 9.2 kW is.
- Voor sommige woningen geldt dat het maximaal gemeten vermogen aanzienlijk hoger ligt dan de hiervoor genoemde gemiddelden. De pieken per woning lopen tot wel 17,5 kW op. Dit wijst op extra belasting door andere apparaten zoals elektrische voertuigen. Ongeveer 20% van de deelnemers van installatiemonitor heeft aangegeven een elektrische auto te bezitten.

5 Verdiepende analyse op apparaat-niveau

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de verdiepende analyses gepresenteerd. De slimme meter gegevens, zoals beschreven in hoofdstuk 4, bevatten het totale elektriciteitsverbruik van de volledige woning. Om specifieke gegevens over het verbruik van de warmtepomp, het zonnepaneelsysteem en elektrische voertuigen uit deze algemene data te halen, heeft BDH analyse methodes ontwikkeld. Deze methodes bieden gedetailleerd inzicht in het gedrag en de belasting van de warmtepomp. In de volgende secties wordt verder ingezoomd op het individuele gedrag van de warmtepomp, de opbrengst van zonnepanelen (PV) en het gebruik van elektrische voertuigen (EV).

5.1 Warmtepomp

Er zijn twee verdiepende analyses verricht met betrekking tot de warmtepompen. Ten eerste wordt gekeken naar de benuttingsgraad van de hybrides. Deze is temperatuursafhankelijk en verschilt sterk per woning. Vervolgens wordt gekeken naar het gemiddeld dagverbruik van de warmtepomp (in kWh per dag) bij een bepaalde buitentemperatuur. Deze resultaten zijn opgesplitst in hybride en all-electric warmtepompen vanwege het verschil in gedrag van de warmtepompen bij kouder weer.

5.1.1 Hybride - Benuttingsgraad

Hybride warmtepompen vertonen een verschillend gedrag als functie van de buitentemperatuur. Dit gedrag is afhankelijk van verschillende factoren, zoals; installatiekwaliteit, afgiftesysteem en instellingen van de warmtepomp. Sommige warmtepompen schakelen volledig uit bij lagere buiten temperaturen, terwijl andere systemen juist in samenwerking met de cv-ketel warmte blijven leveren. Dit gedrag leidt tot een aanzienlijke variatie in warmtepompgebruik tijdens de winterperiode, met name bij temperaturen onder de 5 °C.

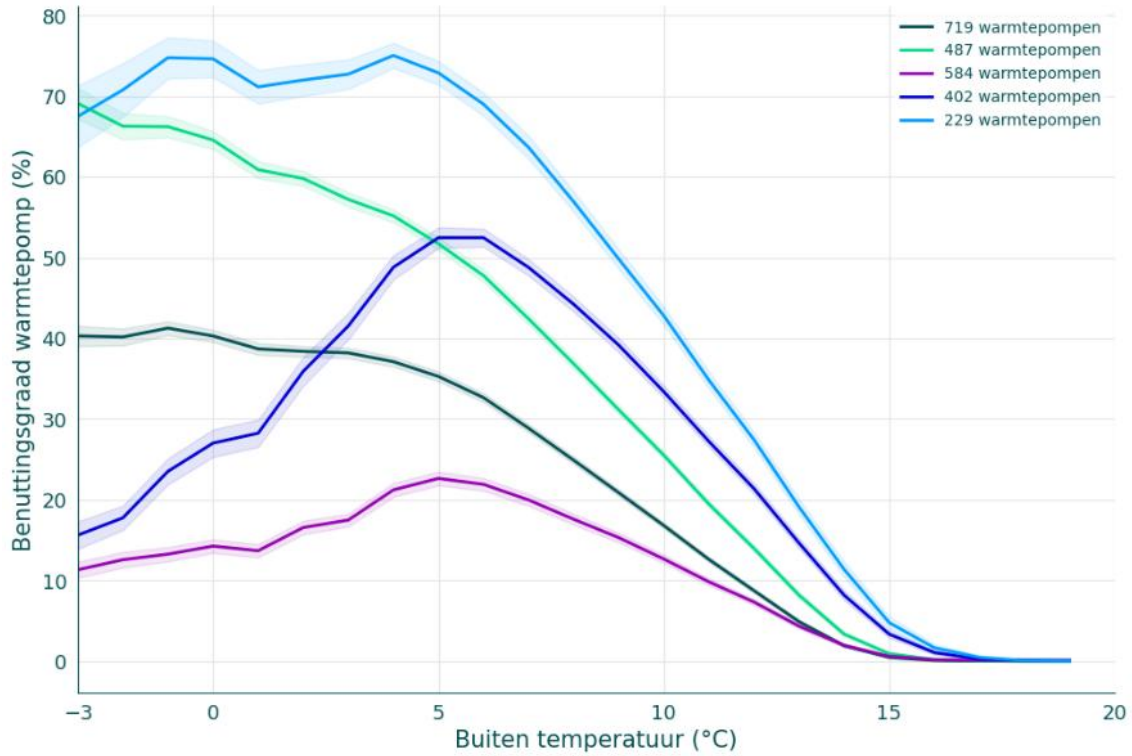
Dit verschil in gebruik wordt uitgedrukt in de benuttingsgraad: De geleverde thermische energie per dag als percentage van het nominale thermische vermogen⁸. Een lagere benuttingsgraad duidt op een lager geleverd thermisch vermogen van de warmtepomp, wat betekent dat het apparaat minder vaak ingeschakeld is of op een lager vermogen draait. Bij 100% levert de warmtepomp de gehele dag het nominaal thermisch vermogen.

In figuur 5.1 zijn de hybride warmtepompen geclusterd naar benuttingsgraad. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen 5 verschillende groepen warmtepompen.

- Paars: Deze warmtepompen behalen een erg lage maximale benuttingsgraad en gebruiken dus maar een klein deel van hun maximale thermische vermogen.
- Donkerblauw: De warmtepompen in dit cluster gaan snel aan, maar gaan ook rond de 5°C buitentemperatuur alweer uit en lijken een harde cutoff temperatuurinstelling te hebben.
- Donkergroen: Deze warmtepompen blijven doordraaien bij lagere temperaturen maar hebben een lage benuttingsgraad. Deze warmtepompen zijn waarschijnlijk te groot voor de woning.
- Groen: Dit cluster van warmtepompen draait door tot aan lagere temperaturen waarbij de benuttingsgraad gestaag oploopt. Van deze groep is onduidelijk wat het gedrag is bij lagere temperaturen. In potentie neemt het verbruik van deze groep bij lagere temperaturen toe.
- Blauw: Warmtepompen die snel richting de maximale benuttingsgraad gaan en daar blijven draaien tot aan lage temperaturen. De warmtepompen zijn klein ten opzichte van de warmtevraag van de woning, maar vervangen toch een significant deel van het gasverbruik van de woning.

⁸ De hier gebruikte nominale thermische vermogens zijn bepaald op de bivalente temperatuur, zoals ook gedaan voor de ISDE subsidie.

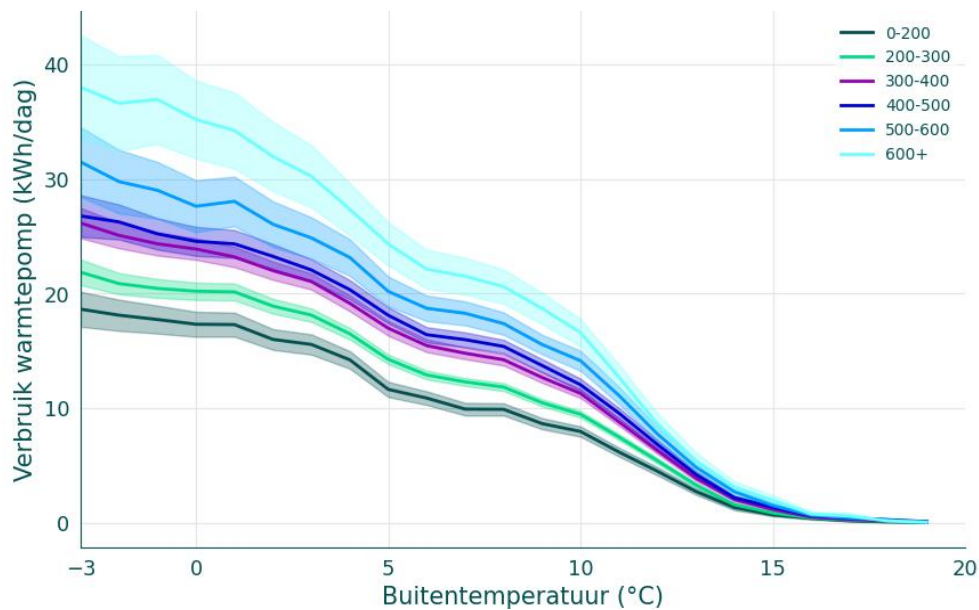
De betrouwbaarheidsmarges in de figuur tonen de 95% kans dat de benuttingsgraad van een groep warmtepompen binnen deze marge valt. Dit betekent dat de marges niet de volledige spreiding van individuele warmtepompen weergeven, maar alleen het gemiddelde gedrag per benuttingsgraad cluster.



Figuur 5.1: Verschillende clusters gemiddelde benuttingsgraden van hybride warmtepompen

5.1.2 Hybride - dagverbruik per graad buitentemperatuur

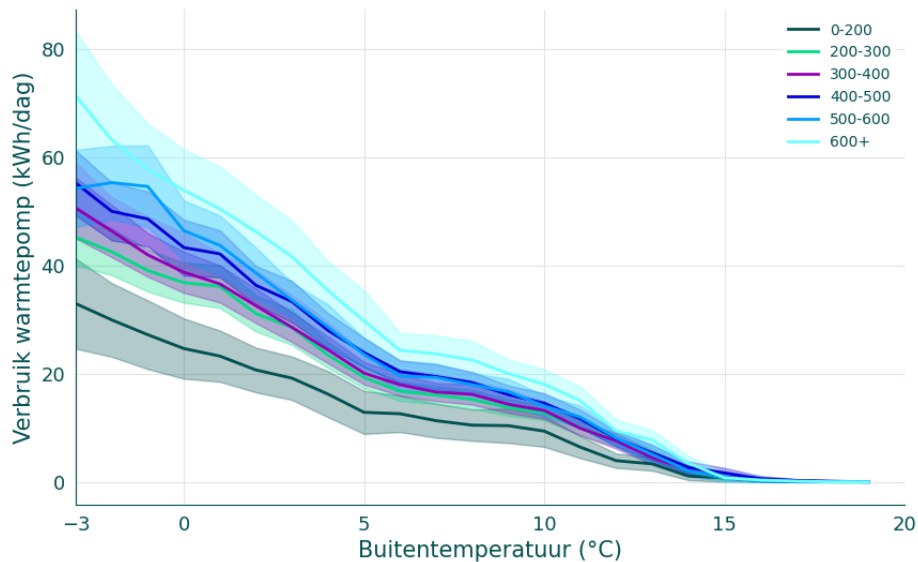
In figuur 5.2 hieronder staat het gemiddelde dagverbruik van 3098 hybride warmtepompen verdeeld over de verschillende verliesoppervlak clusters. Uit deze grafiek blijkt dat des te hoger het verliesoppervlak van de woning, des te hoger het gemiddelde dagverbruik van de woningen. Het verschil tussen de grootste en kleinste clusters woningen met hybride warmtepompen bedraagt ongeveer een factor 2 bij de laagste temperaturen. De verschillen tussen de benuttingsgraden-clusters zijn niet zichtbaar in deze grafiek omdat deze clusters verdeeld zijn over alle woningen. Wanneer er dus naar het gemiddelde verbruik binnen een groep woningen wordt gekeken middelen de verschillen in benuttingsgraad, te zien in figuur 5.1, uit.



Figuur 5.2: Gemiddeld verbruik (kWh/dag) van 3098 hybride warmtepompen bij verschillende buitentemperaturen per dag.

5.1.3 All-electric – dagverbruik per graad buitentemperatuur

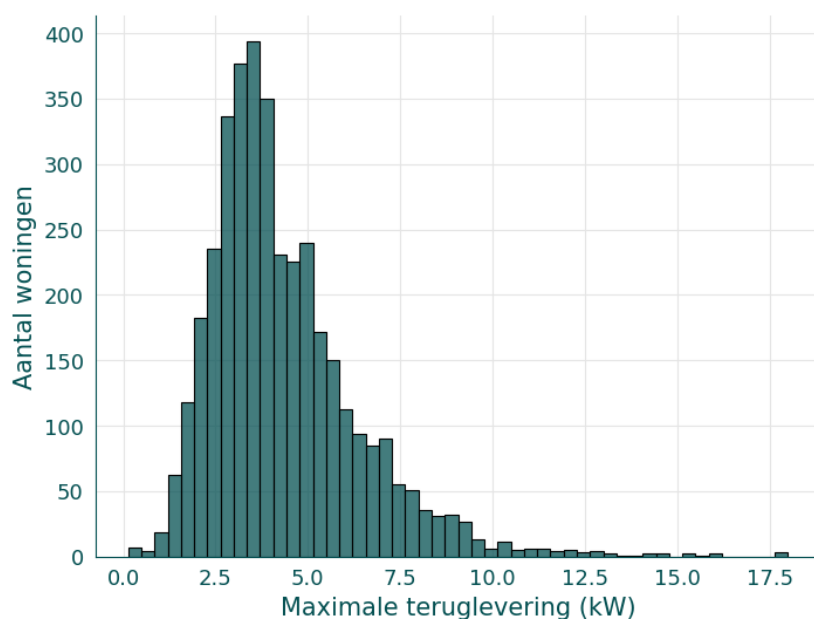
In figuur 5.3 is het gemiddelde dagverbruik van 240 all-electric warmtepompen zichtbaar bij verschillende buitentemperaturen. Net als bij de hybride warmtepompen neemt het verbruik van de warmtepomp toe naarmate het verliesoppervlak van de woning groter wordt. Daarnaast liggen de verbruiken ook aanzienlijk hoger dan voor hybride warmtepompen. Dit verschil is met name duidelijk bij de lagere temperaturen waar een deel van de hybride warmtepompen al minder verbruikt of uitgaat en de all-electric warmtepompen door moeten draaien om de woning van warmte te voorzien.



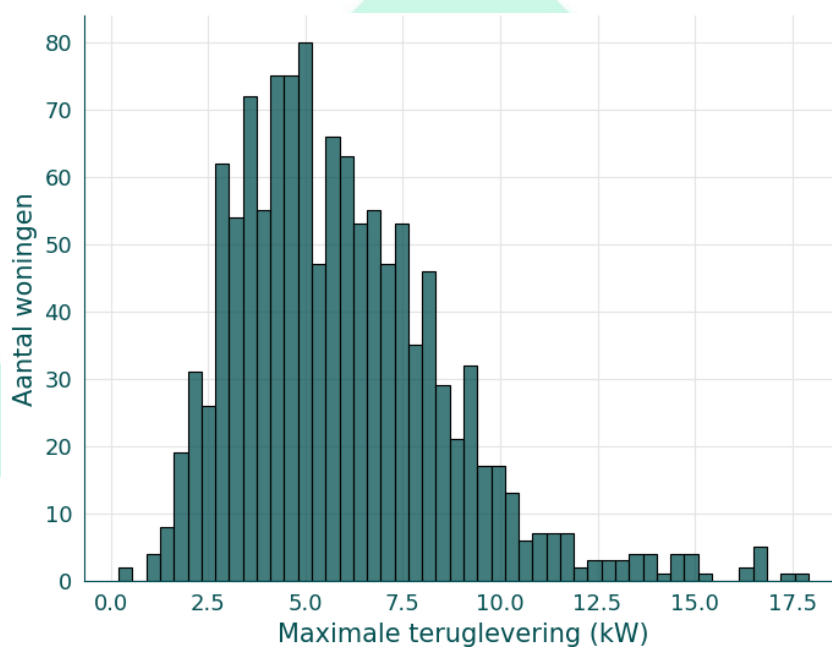
Figuur 5.3: Gemiddeld dagverbruik (kWh/dag) van 240 all-electric warmtepompen bij verschillende buitentemperaturen per dag

5.2 Zonnepanelen

In figuur 5.4 is de maximale terugleverpiek te zien van woningen met een hybride warmtepomp, terwijl figuur 5.5 dit toont voor woningen met een all-electric warmtepomp. Er is duidelijk een verschil zichtbaar tussen beide groepen: bij all-electric woningen liggen doorgaans meer zonnepanelen, wat resulteert in hogere terugleverpieken. Zo ligt de mediaan van de teruglevering bij hybride woningen tussen de 3-4 kW, terwijl dit bij all-electric woningen verschuift naar een hogere piek tussen de 4-6 kW. Een kanttekening over de Installatiemonitor deelnemers is dat dat ruim 95% van de deelnemers PV heeft geplaatst. Daarnaast is zichtbaar dat er onder de all-electric woningen relatief veel systemen zijn met een extreem hoog aantal zonnepanelen, wat leidt tot enkele zeer grote terugleverpieken. Bij beide type woningen komt het minder dan 5% voor dat er heel weinig zonnepanelen zijn geplaatst.



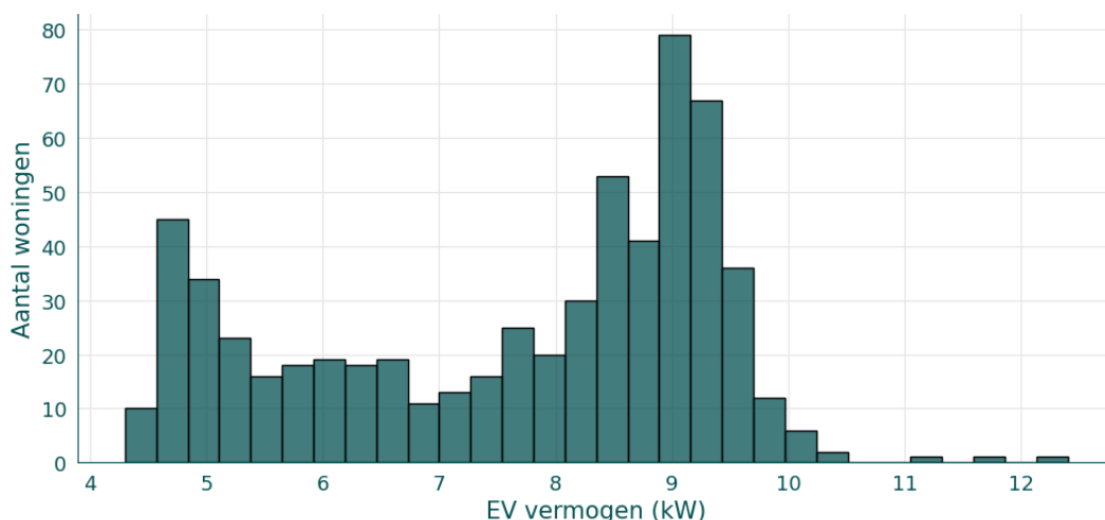
Figuur 5.4: Maximale teruglevering van woningen met hybride warmtepompen



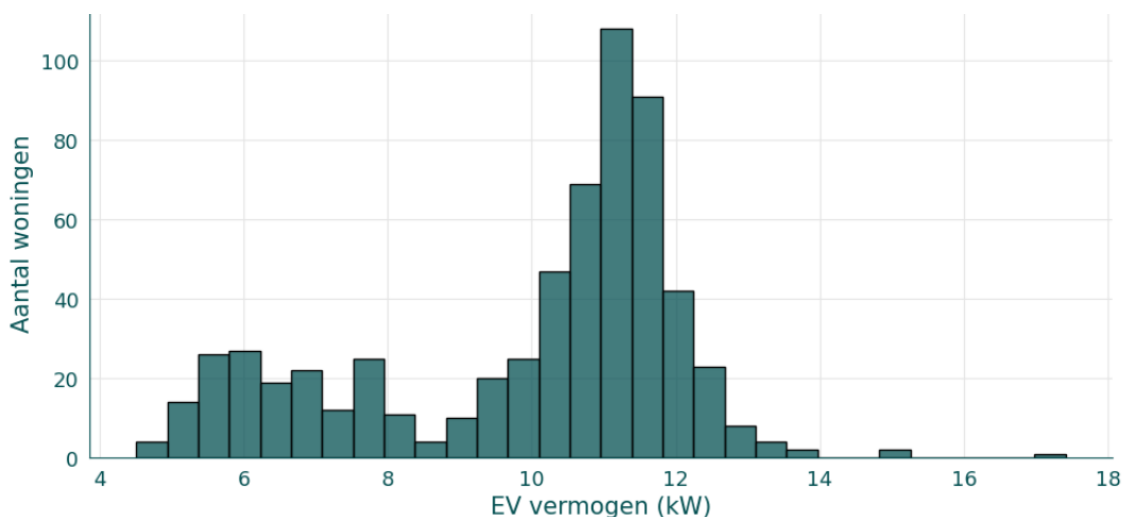
Figuur 5.5: Maximale teruglevering van woningen met een all-electric warmtepomp

5.3 Elektrische auto's

In figuur 5.6 is het gemiddelde laadvermogen van elektrische auto's weergegeven, waarbij zowel hybride als all-electric woningen zijn meegenomen in de analyse. Ongeveer 20% van de deelnemers van Installatiemonitor hebben aangegeven te beschikken over een oplaadpunt voor een elektrische auto. Het figuur laat twee duidelijke pieken zien rond de laadvermogens van 5 en 9 kW. In figuur 5.7 is het maximaal gemeten laadvermogen weergegeven. De meest voorkomende maximale vermogens liggen rond de 6 en 11 kW. Dit is niet onverwacht, aangezien deze vermogens de meest voorkomende waarden zijn voor thuisladers. De piek rond 6 kW weerspiegelt de populaire enkelfase laders, terwijl de piek rond 11 kW overeenkomt met driefase laders, die een hoger vermogen kunnen leveren en daarom vaker in woningen met zwaardere elektrische installaties worden toegepast.



Figuur 5.6: Gemiddeld laadvermogen van elektrische voertuigen in alle woningen



Figuur 5.7: Maximaal gemeten laadvermogen van elektrische voertuigen in alle woningen

5.4 Conclusie

- Het elektriciteitsverbruik van zowel hybride als all-electric warmtepompen neemt logischerwijs toe als het kouder wordt. Zodra het 'echt' koud wordt (onder 0 °C) vlakkt de toename in verbruik af bij hybride warmtepompen. Dit komt doordat de gasketel bijspringt en een deel van de warmtevraag over neemt.
- Er is een sterke correlatie tussen verliesoppervlak en elektriciteitsverbruik. Zeker op koude dagen (-4 °C) is dit verschil goed te zien. Bij hybride warmtepompen is het dagverbruik van de warmtepomp 19 kWh per dag voor de kleinste woningen en wel 38 kWh per dag voor de grootste woningen. Voor all-electric woningen is de toename nog groter en neemt het dagverbruik toe van 30 kWh per dag voor de kleinste woningen naar 70 kWh voor de grootste woningen.
- De benuttingsgraad van hybride warmtepompen laat zien dat elke warmtepomp in de praktijk anders presteert.
 - 17% van de warmtepompen draait nooit op maximaal vermogen en schakelt af zodra het onder de 5 °C is.
 - 25% van de warmtepompen halen een redelijk vermogen maar schakelen af onder de 5 °C.
 - 58% van de warmtepompen blijven draaien tot de koudst gemeten temperatuur (-4 °C). Een deel hiervan (20% van het totaal) gaat naar verwachting zelfs meer vermogen vragen als het verder afkoelt.
- Woningen met een all-electric warmtepomp leveren meer elektriciteit terug dan woningen met een hybride warmtepomp. De mediaan ligt op 5.5kW en 4kW respectievelijk. Mensen met een all-electric warmtepomp verwachten meer elektriciteit te gebruiken, dan mensen met een hybride warmtepomp en kopen navenant meer zonnepanelen.
- De elektrische auto's worden typisch met maximaal 6 tot 11kW geladen.

6 Verwachte piekvraag bij extreme winter

In dit hoofdstuk wordt de verwachte piekvraag van warmtepompen bij een buitentemperatuur van -10°C onderzocht. Deze temperatuur is gedurende het onderzoek nog niet bereikt, waardoor de analyse gebaseerd is op een extrapolatie van de beschikbare gegevens en aannames over het gedrag van warmtepompen bij extreem koude omstandigheden. De laagste gemiddelde dagtemperatuur die in de dataset tot nu toe in De Bilt is gemeten, bedraagt -2°C , terwijl de prestaties en warmtevraag van verwarmingssystemen aanzienlijk kunnen verschillen bij lagere temperaturen.

Om meer inzicht te krijgen in de piekvraag van warmtepompen bij een dagtemperatuur van -10°C , zijn er scenario's opgesteld voor zowel hybride als all-electric warmtepompen. Voor elk van deze typen zijn een bovengrens- en ondergrensscenario ontwikkeld, wat inzicht geeft in een mogelijke bandbreedte voor de netbelasting onder deze omstandigheden. Deze scenario's worden gedetailleerd besproken in de volgende paragrafen.

6.1 Hybride

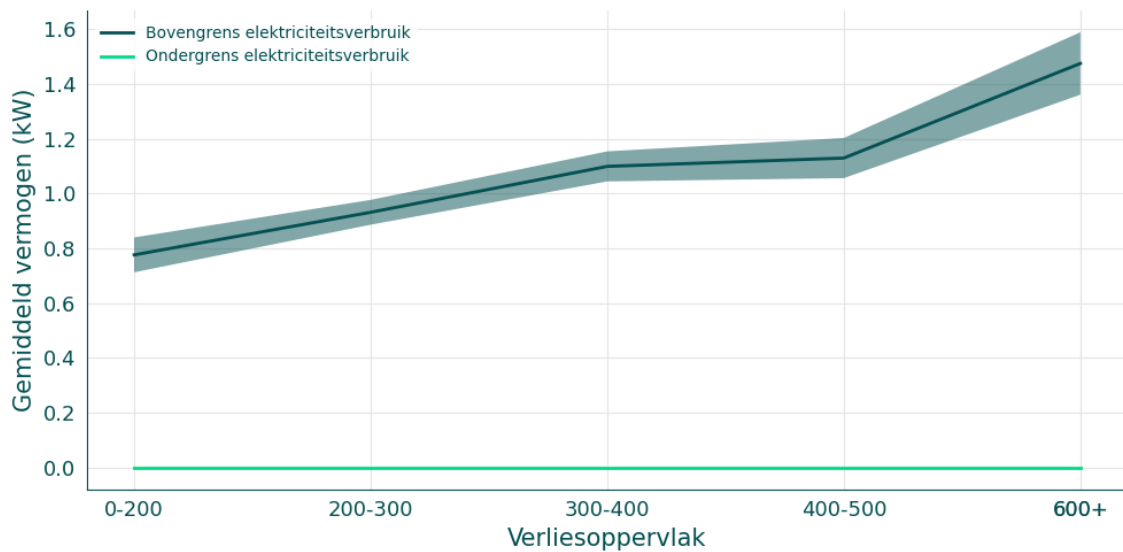
In deze paragraaf wordt de verwachte elektriciteitsvraag van hybride warmtepompen bij een buitentemperatuur van -10°C geanalyseerd. Om een zo realistisch mogelijke inschatting te maken, zijn twee scenario's ontwikkeld die de bandbreedte van het elektrische verbruik onder deze omstandigheden aangeven.

- **Ondergrensscenario:** In dit scenario wordt aangenomen dat alle hybride warmtepompen zijn uitgeschakeld bij een buitentemperatuur van -10°C en dat de cv-ketel volledig de warmtelevering overneemt. Dit leidt er toe dat er geen belasting van het elektriciteitsnet is door hybride warmtepompen.
- **Bovengrensscenario:** In dit scenario wordt verondersteld dat de hybride warmtepompen hetzelfde verbruik handhaven als op het koudste moment in de geregistreerde data. Dit betekent dat sommige warmtepompen al (bijna) zijn uitgeschakeld, terwijl andere nog steeds de volledige warmtevraag invullen, afhankelijk van hun instellingen en systeemcapaciteit. Een aanzienlijk aantal warmtepompen levert in dit scenario warmte.

Zoals in paragraaf 5.1.1 besproken, hebben hybride warmtepompen verschillende benuttingsgraden. Aangezien deze systemen altijd kunnen overschakelen naar de cv-ketel, ontstaat er een aanzienlijke variatie in het verbruikspatroon tussen verschillende woningen met hybride systemen. Bij een buitentemperatuur van -10°C wordt verwacht dat een groot deel van de hybride warmtepompen zal zijn uitgeschakeld, met de cv-ketel als primaire warmtebron. Tegelijkertijd blijft een kleinere groep hybride warmtepompen nog steeds (gedeeltelijk) warmte blijven leveren, afhankelijk van hun instellingen, waardoor ze elektriciteitsvraag genereren.

In figuur 6.1 ligt de ondergrens op 0 kW vermogen omdat er wordt uitgegaan dat de warmtepompen allemaal zijn uitgegaan. De bovengrens ligt voor de laagste verliesoppervlakken rond de 0,8 kW en loopt op tot zo'n 1,5 kW voor de woningen met het hoogste verliesoppervlak. Omdat het hier gaat om het gemiddelde vermogen van de warmtepomp over een dag zal het voor het gevraagde vermogen voor een deel van de warmtepompen hoger liggen omdat er ook al door een deel van de warmtepompen geen vermogen meer wordt gevraagd.

In werkelijkheid ligt de elektriciteitsvraag van hybride warmtepompen bij -10°C tussen deze boven- en ondergrens. Dit weerspiegelt de variabiliteit in systeemgebruik en individuele keuzes, zoals de instellingen van de warmtepomp en de temperatuur waarbij deze overschakelt op de cv-ketel.



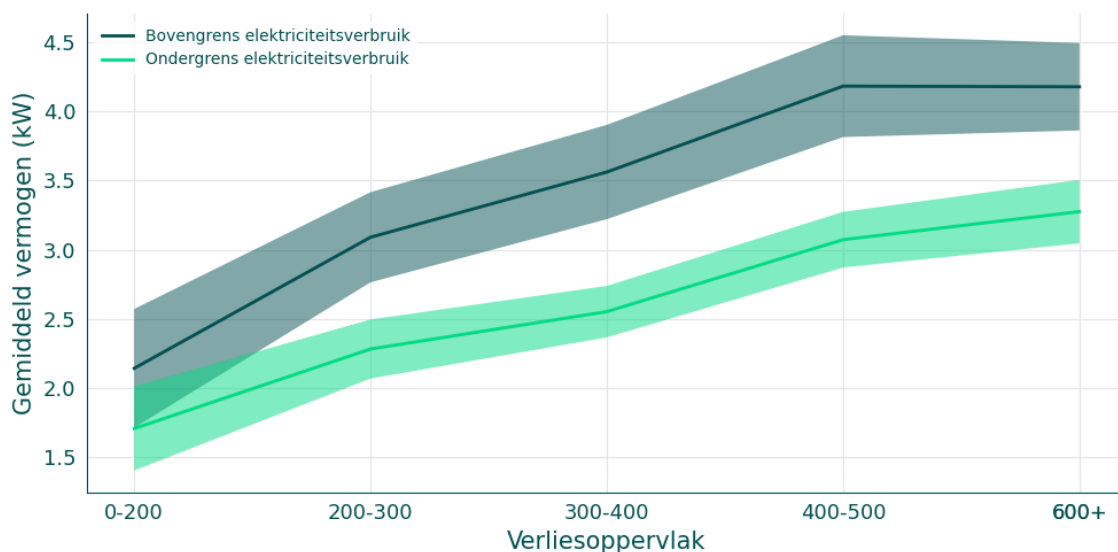
Figuur 6.1: Gemiddeld vermogen gedurende de dag van hybride warmtepompen bij -10°C buitentemperatuur geclusterd op verliesoppervlak

6.2 All-electric

In deze paragraaf wordt de verwachte elektriciteitsvraag van all-electric warmtepompen bij een buitentemperatuur van -10°C geanalyseerd. Om een duidelijk beeld te scheppen van de mogelijke verbruiken, zijn een onder- en bovengrensscenario opgesteld. Deze scenario's benaderen de invulling van de warmtevraag op verschillende manieren en laten zo de variatie in elektriciteitsverbruik zien die kan optreden bij extreme kou.

- **Ondergrensscenario:** In dit scenario wordt aangenomen dat de warmtepomp de volledige warmtevraag invult met een Coëfficiënt of Performance (COP) van 2,5, zonder inzet van een elektrisch element. Dit betekent dat de warmtepomp efficiënt genoeg is om de vereiste warmte te genereren met relatief laag elektriciteitsverbruik, zelfs bij -10°C . Dit resulteert in een lagere belasting van het elektriciteitsnet.
- **Bovengrensscenario:** In het bovengrensscenario wordt aangenomen dat de warmtepomp zelf een deel van de warmte levert, maar dat voor de resterende warmtevraag het elektrische element wordt ingezet. De warmtepomp vult een gedeelte van de warmtevraag in zoals dit bij eerdere, koudere temperaturen is waargenomen. Dit zal echter niet genoeg zijn. Dit betekent dat de warmtepomp zelf een deel van de warmte levert, maar dat voor de resterende warmtevraag het elektrische element wordt ingezet.

Uit figuur 6.2 blijkt dat het zowel de boven- als ondergrens significant toenemen naarmate het verliesoppervlak groter wordt. Het verschil tussen de laagste en hoogste groep is ongeveer een factor 2. De gemiddelde piekvraag van het ondergrens scenario varieert tussen de 1,7 en 3,3 kW van laag naar hoog verliesoppervlak. De bovengrens ligt duidelijk hoger met een zo'n 2,2 kW voor de laagste verliesoppervlakken en 4,2 kW voor de hoogste verliesoppervlakken.

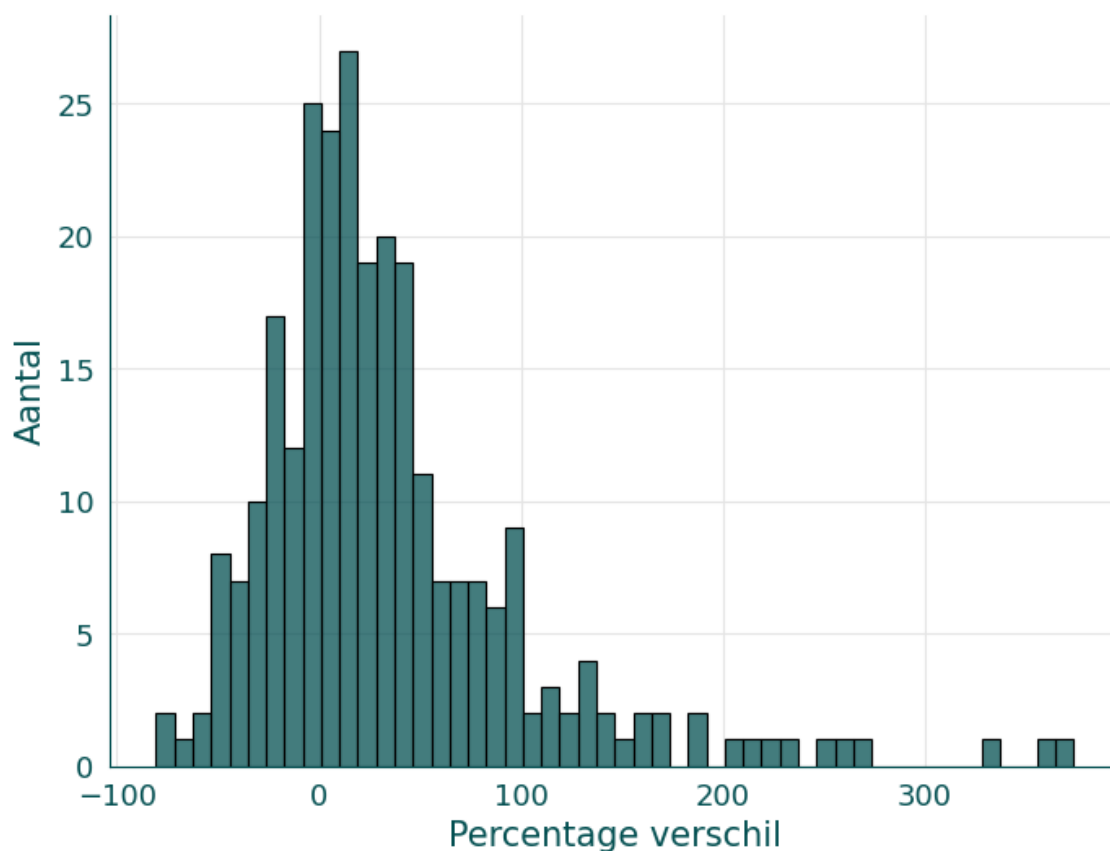


Figuur 6.2: Gemiddeld vermogen gedurende de dag van all-electric warmtepompen bij -10°C buitentemperatuur geclusterd op verliesoppervlak

De werkelijke elektriciteitsvraag bij -10°C zal tussen deze onder- en bovengrensen liggen. Dit weerspiegelt de variatie in warmtepompen, die door verschillen in technische eigenschappen en gebruiksinstellingen uiteenlopende prestaties kunnen vertonen. In sommige gevallen kunnen all-electric warmtepompen blijven werken zonder de hulp van het elektrische element, terwijl in andere gevallen de warmtevraag zodanig is dat het elektrische element wel noodzakelijk wordt ingezet.

Een analyse van de dimensionering van all-electric warmtepompen toont aan dat het elektrische element voor veel woningen niet nodig zal zijn, aangezien een aanzienlijk deel van de warmtepompen overgedimensioneerd is. De analyse die BDH heeft uitgevoerd bepaald de warmtevraag bij -10°C op basis van de werkelijke verbruiken in de woning. Een installateur bepaalt de warmtevraag vaak op basis van de theoretische warmtevraag van de woning, welke normaal hoger is dan de werkelijke warmtevraag. Bijvoorbeeld omdat niet alle ruimtes verwarmd worden. Hierdoor ontstaat een verschil tussen het geïnstalleerde vermogen op basis van de theoretische warmtevraag en het benodigde vermogen op basis van de werkelijke warmtevraag.

Figuur 6.3 toont de spreiding in de dimensionering van all-electric warmtepompen waarbij het geïnstalleerde vermogen⁹ is vergeleken met het benodigde vermogen bij -10 °C. Uit de grafiek blijkt dat veel systemen bij -10°C voldoende vermogen hebben om de volledige warmtevraag in te vullen zonder hulp van het elektrische element. Ongeveer 70% van de all-electric warmtepompen heeft een geïnstalleerd vermogen dat hoger is dan het benodigde vermogen bij -10 °C. Hierdoor is de werkelijke noodzaak om het elektrische element in te schakelen waarschijnlijk lager dan wat in het bovengrensscenario wordt geschetst.



Figuur 6.3: Verschil tussen geïnstalleerd en benodigd vermogen op basis van werkelijke verbruik bij -10 °C voor all-electric warmtepompen

⁹ De hier gebruikte nominale thermische vermogens zijn bepaald op de bivalente temperatuur, zoals ook gedaan voor de ISDE subsidie.

7 Conclusies

In dit onderzoek is slimme meter data van 6000 woningen gebruikt om de netimpact van woningen met een warmtepomp in kaart te brengen. Hierbij is rekening gehouden met het type woning, het type warmtepomp en de aanwezigheid van zonnepanelen of een elektrische auto. Er is voor zowel de hele woning als de losse delen in de woningen gekeken naar de gemiddelde pieken, gelijktijdige pieken en, waar gemeten, ook naar de maximale waarden per woning. Hieronder volgen de conclusies per thema.

7.1 Belangrijkste voorspeller van netbelasting van de warmtepomp

Omdat elke woning anders is zijn de verschillende factoren geanalyseerd die mogelijk invloed hebben op de opname- en terugleverpiek van elektriciteit. De belangrijkste bevindingen zijn:

- De bouwperiode van woningen is geen betrouwbare voorspeller voor de opname- of terugleverpiek van energie.
- Het woningtype heeft weliswaar een correlatie met de pieken in energieverbruik, maar is geen optimale voorspeller.
- Het verliesoppervlak¹⁰ is de beste indicator voor zowel de opname- als terugleverpiek van energie bij woningen met warmtepompen.

7.2 Netbelasting van gehele woning

De netimpact van een woning is sterk gecorreleerd aan temperatuur en zoninstraling. Verder is deze goed inzichtelijk te maken door zowel de maxima van individuele woningen als de gemiddelde en gelijktijdige maxima mee te nemen.

- Buitentemperatuur heeft een sterke correlatie met het maximaal opgenomen vermogen: hoe kouder het wordt, hoe hoger de piekvraag. Voor hybride warmtepompen stopt deze correlatie onder een bepaalde temperatuur, terwijl deze voor all-electric warmtepompen doorloopt bij lagere temperaturen. Bij welke temperatuur deze correlatie stopt voor hybride warmtepompen verschilt per woning vanwege de verschillende modellen/types, instellingen, het afgiftesysteem en de woningkenmerken. Typisch is er een afvlakking van de stijging in het gebruik onder de 0 °C.
- Het maximaal opgenomen vermogen varieert sterk per woning, maar ligt tussen de 2 en 17.5kW. De hoge bovengrens wordt een belangrijk deel veroorzaakt door het opladen van elektrische auto's.
- De gelijktijdige opgenomen piekvermogens een stuk lager liggen dan de gemiddelde opgenomen piekvermogens. Het verschil tussen de twee pieken is minder groot bij de teruglevering omdat de pieken worden veroorzaakt door de zon en deze bijna overal tegelijk schijnt.
- Voor de netimpact van warmtepompen is vooral de gelijktijdige piekvraag van belang. Dit geeft de hoogste belasting van alle woningen samen.

Tabel 7: Overzicht opgenomen vermogens van de gehele woningen opgesplitst naar verwarmingssysteem

Opgenomen vermogen	Woning met Hybride warmtepomp	Woning met all-electric warmtepomp
Gemeten piekvermogens	2 – 17.5 kW	2- 17.5 kW
Gemiddeld piekvermogens	5 – 7 kW	6 – 10 kW
Gelijktijdig piekvermogens	1.4 – 3 kW	1.4 – 4.1 kW

¹⁰ Gegeven door vloeroppervlak maal vormfactor (Tabel 2 voor gebruikte vormfactoren)

Tabel 8: Overzicht teruggeleverde vermogens van de gehele woningen opgesplitst naar verwarmingssysteem

Teruggeleverde vermogen	Woning met Hybride warmtepomp	Woning met all-electric warmtepomp
Gemeten piekvermogens	0 – 17.5 kW	0- 17.5 kW
Gemiddeld piekvermogens	3 – 4 kW	4 – 6 kW
Gelijktijdig piekvermogens	2 – 4 kW	2 – 5 kW

7.3 Warmtepomp vermogen extrapolatie naar -10°C

Omdat ook bij een strenge winter de verwarming moet blijven werken is er onderzocht wat de impact van een warmtepomp is bij -10°C. Deze temperatuur is *niet* voorgekomen in het jaar waarin de data verzameld is. Om toch uitspraken te kunnen doen over strenge winters is er een extrapolatie gedaan op basis van twee scenario's. Deze scenario's omschrijven een boven en ondergrens in gemiddeld vermogen van de warmtepomp. De daadwerkelijke gemiddelde vermogens liggen tussen deze twee grenzen in. De resultaten zijn wederom opgesplitst voor woningen met een hybride en woningen met een all-electric warmtepomp.

Hybride warmtepompen:

- In het ondergrensscenario schakelen alle hybride systemen volledig over op de cv-ketel. In dit scenario is er dan ook geen impact van de hybrides op het elektriciteitsnet. Het verwachte gemiddelde vermogen is 0kW.
- In het bovengrensscenario blijven sommige hybride systemen draaien, terwijl andere systemen deels of volledig uitschakelen. Deze spreiding zorgt ervoor dat het gemiddelde vermogen niet verder toeneemt dan bij -3°C en tussen de 0.8kW (klein verliesoppervlak) en 1.5kW (groot verliesoppervlak) ligt.
- Voor de individuele warmtepompen geldt dat het vermogen hoger kan liggen dan de gemiddelde bovengrens. Afhankelijk het type warmtepomp en de gebruiksinstellingen kan een systeem langer dan gemiddeld draaien en dus ook meer vermogen vragen dan gemiddeld. Bij 20% van de hybride warmtepompen is aangetoond dat de vermogensvraag in ieder geval tot -3°C blijft toenemen.

All-electric warmtepompen:

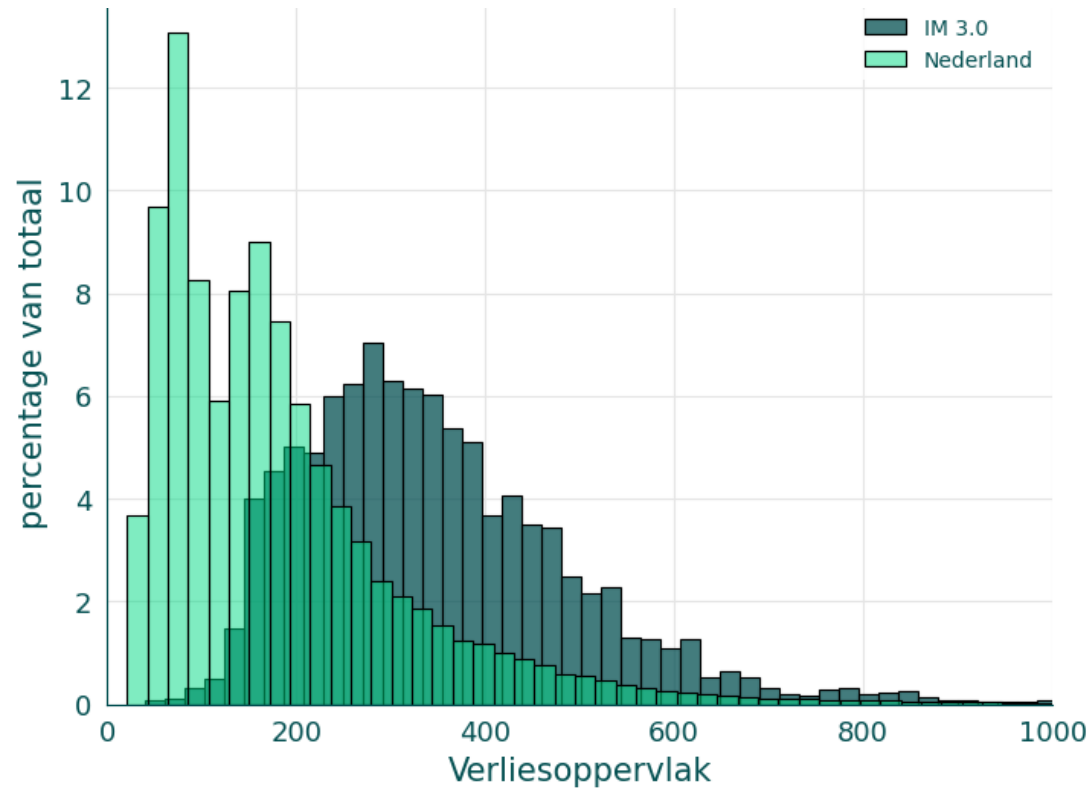
- In het ondergrensscenario levert de warmtepomp de volledige warmtevraag efficiënt zonder elektrische bijverwarming, resulterend in lagere belasting. Het gemiddelde vermogen loopt hierbij op van 1,7 kW naar 3,3 kW van de laagste naar de hoogste verliesoppervlakken.
- In het bovengrensscenario is het elektrische element nodig om de resterende warmte te leveren, wat een hogere netbelasting veroorzaakt. Het gemiddelde vermogen van de woningen loopt hierdoor op van 2,2 kW voor de kleinste verliesoppervlakken naar 4,2 kW voor de hoogste verliesoppervlakken.
- Door de dimensionering van veel all-electric systemen is de inzet van het elektrische element waarschijnlijk beperkt. Dit impliceert dat de werkelijke netbelasting dichter ligt bij het ondergrensscenario dan bij het bovengrensscenario.

Tabel 9: De onder- en bovengrens van het warmtepompvermogen bij -10 °C opgesplitst naar verwarmingssysteem. Per scenario is het warmtepompvermogen voor woningen met het kleinste en het grootste verliesoppervlak gegeven.

Warmtepompvermogens bij -10 °C.	Hybride warmtepomp	All-electric warmtepomp
Ondergrens	0 kW	1.7 – 3.3 kW
Bovengrens	0.8 - 1.5 kW	2.2 – 4.2 kW

A Clustering van woningen

A.1 Nederlandse woningvoorraad in vergelijking met Installatiemonitor 3.0 populatie



Figuur A.1: Nederlandse woningvoorraad, inclusief appartementen, naast de Installatiemonitor 3.0 populatie. De grootste piek bij kleine verliesoppervlakken (onder de 100m²) wordt vooral door appartementen veroorzaakt.

A.2 Naar woningtype en bouwjaar



Woning met hybride warmtepomp	1920 - 1945	1946 - 1965	1966 - 1979	1980 – 1992	1993-2012	Totaal
Rijwoning (tussen)	122	70	229	153	182	756
Rijwoning (hoek)	77	77	138	113	106	511
Twee-onder-een-kap	120	102	247	254	367	1090
Vrijstaand	213	203	342	350	711	1819
Totaal	532	452	956	870	1366	4176

Woningen met all-electric warmtepomp	1920 - 1945	1946 - 1965	1966 - 1979	1980 – 1992	1993-2012	Totaal
Rijwoning (tussen)	32	19	54	34	77	216
Rijwoning (hoek)	8	15	38	27	44	132
Twee-onder-een-kap	32	34	65	75	150	355
Vrijstaand	69	80	132	116	366	763
Totaal	141	148	289	252	637	1467

A.3 Naar woningtype en verliesoppervlak



Woning met hybride warmtepomp	< 200	200 – 300 m ²	300 – 400 m ²	400 – 500 m ²	500 – 600 m ²	> 600 m ²	Totaal
Rijwoning (tussen)	536	257	18	1	3	0	815
Rijwoning (hoek)	56	336	132	24	7	2	557
Twee-onder-een-kap	32	579	483	71	14	3	1182
Vrijstaand	4	174	620	598	314	216	1926
Totaal	628	1346	1253	694	338	221	4480

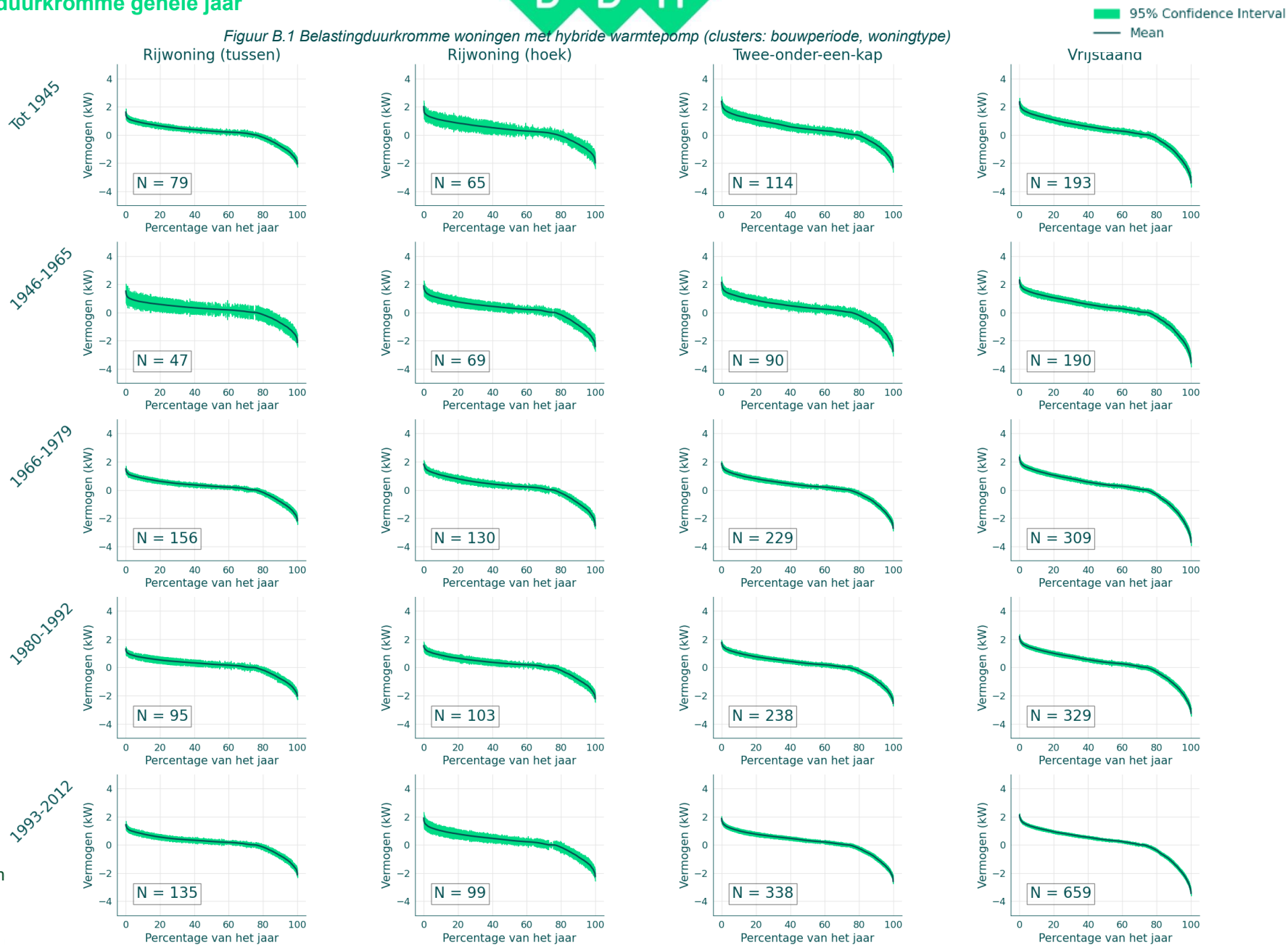
Woningen met all-electric warmtepomp	< 200	200 – 300 m ²	300 – 400 m ²	400 – 500 m ²	500 – 600 m ²	> 600 m ²	Totaal
Rijwoning (tussen)	150	81	7	3	0	1	241
Rijwoning (hoek)	11	103	26	6	2	0	148
Twee-onder-een-kap	11	166	174	25	5	2	380
Vrijstaand	3	43	223	289	138	138	831
Totaal	175	393	429	322	144	141	1607

B Woningen met hybride warmtepompen

B.1 Belastingduurkromme gehele jaar

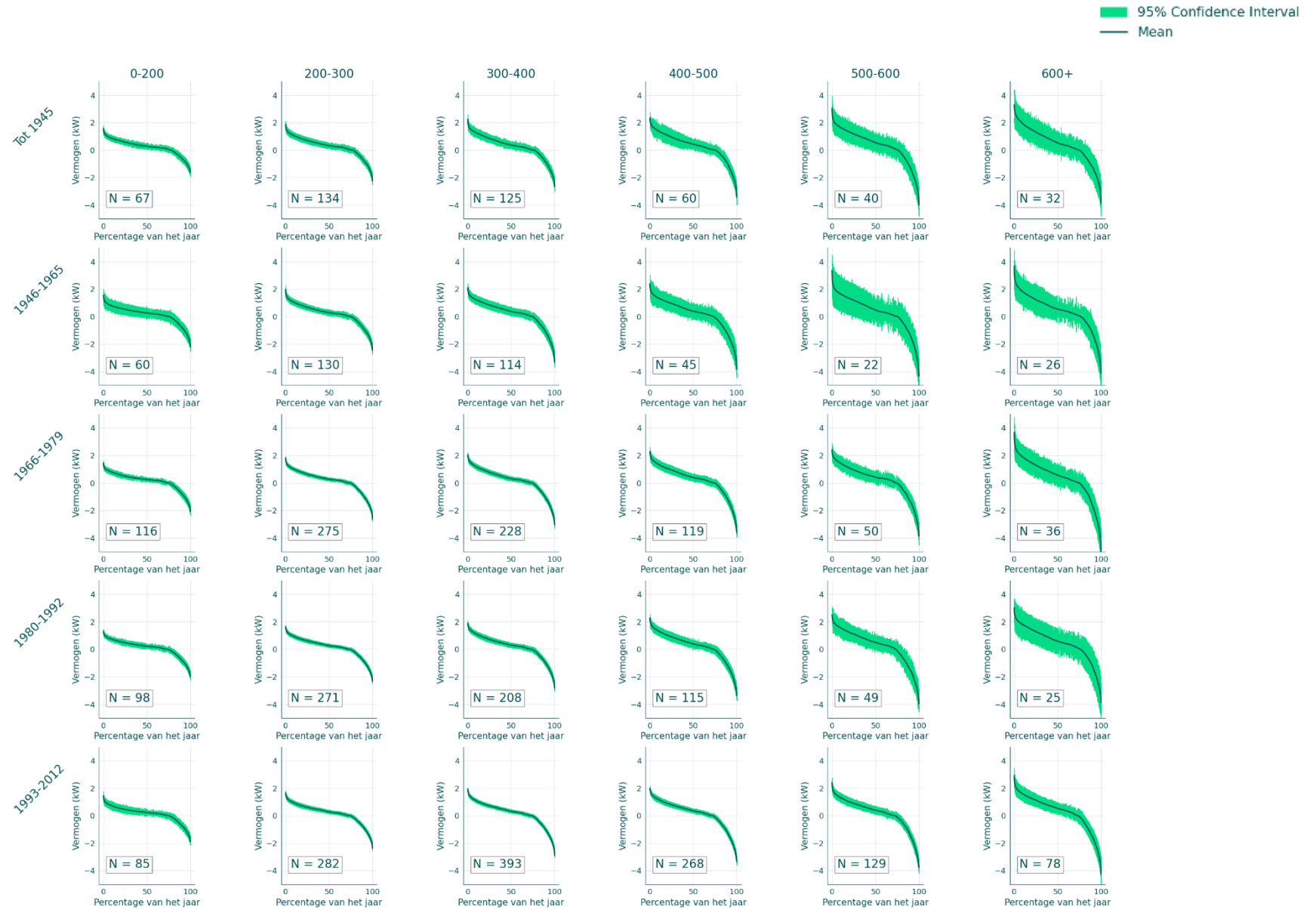


Figuur B.1 Belastingduurkromme woningen met hybride warmtepomp (clusters: bouwperiode, woningtype)



Netimpact woningen m

Figuur B.2 Belastingduurkromme woningen met hybride warmtepomp (clusters: bouwperiode, verliesoppervlak)

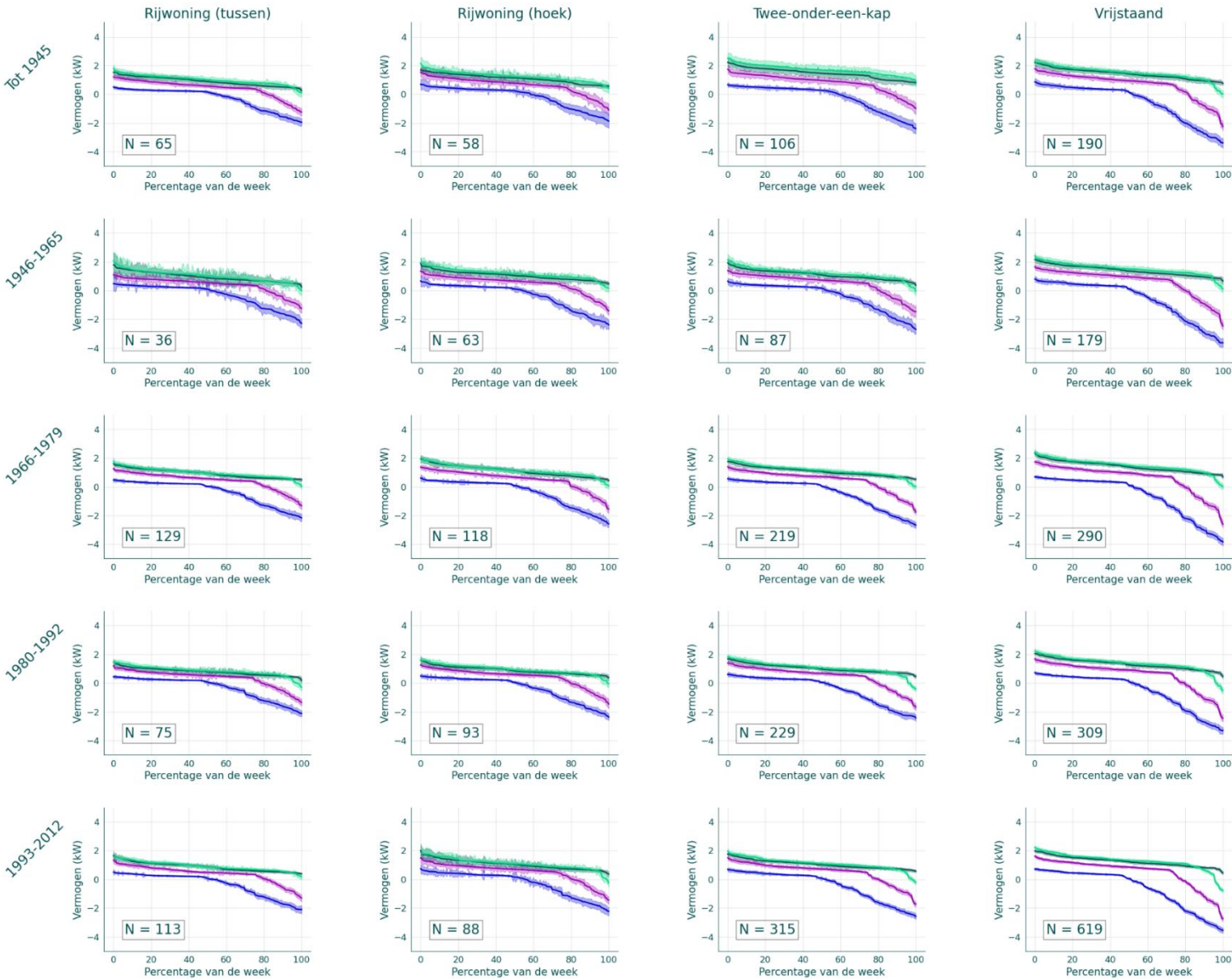


B.2 Belastingduurkromme per referentieweek



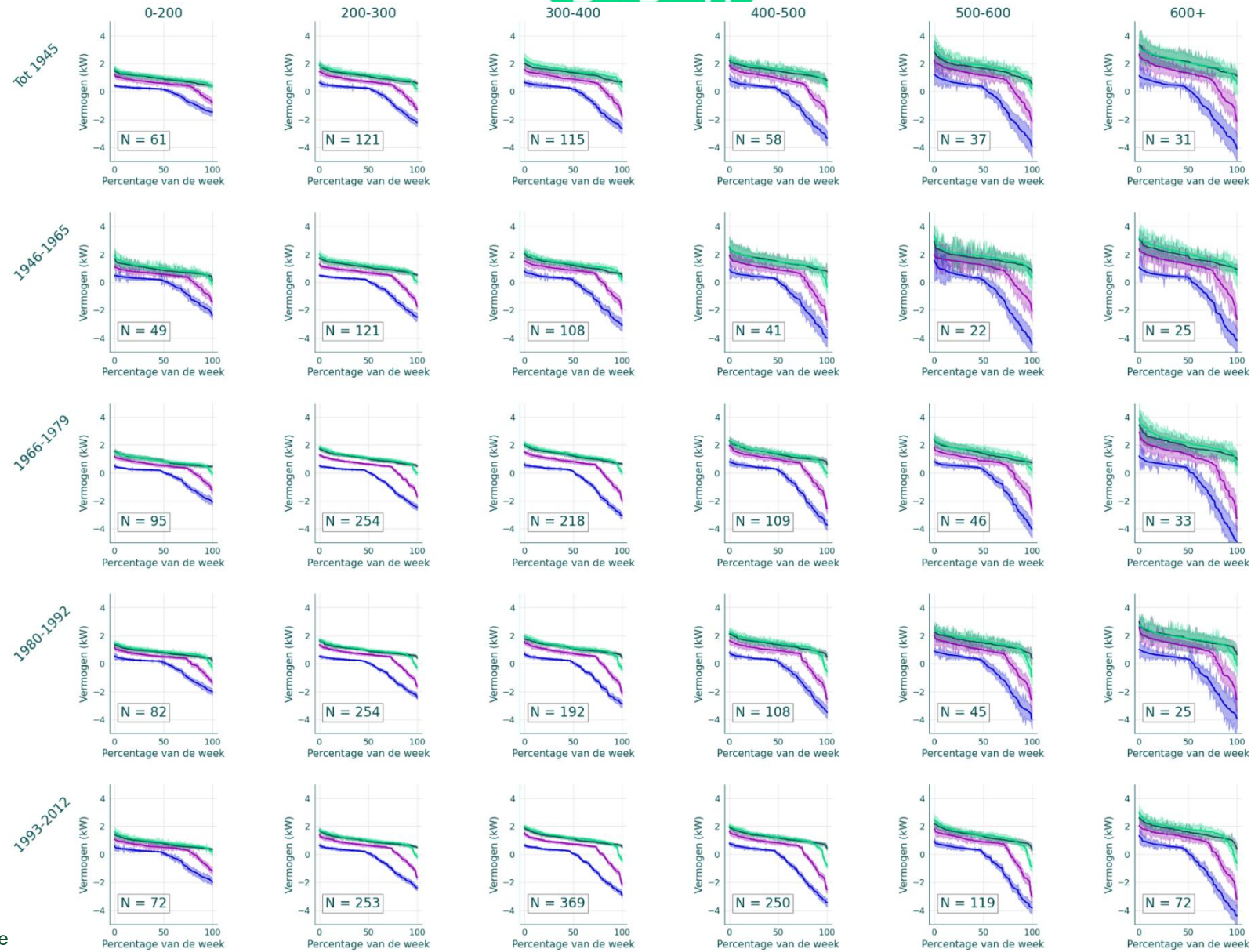
Figuur B.3 Belastingduurkromme referentieweken woningen met hybride warmtepomp (clusters: bouwperiode, woningtype)

- 95% Confidence Interval
- Matig koud
- 95% Confidence Interval
- Winter
- 95% Confidence Interval
- Gemiddeld
- 95% Confidence Interval
- Veel zon



Netimpact woningen met warmte

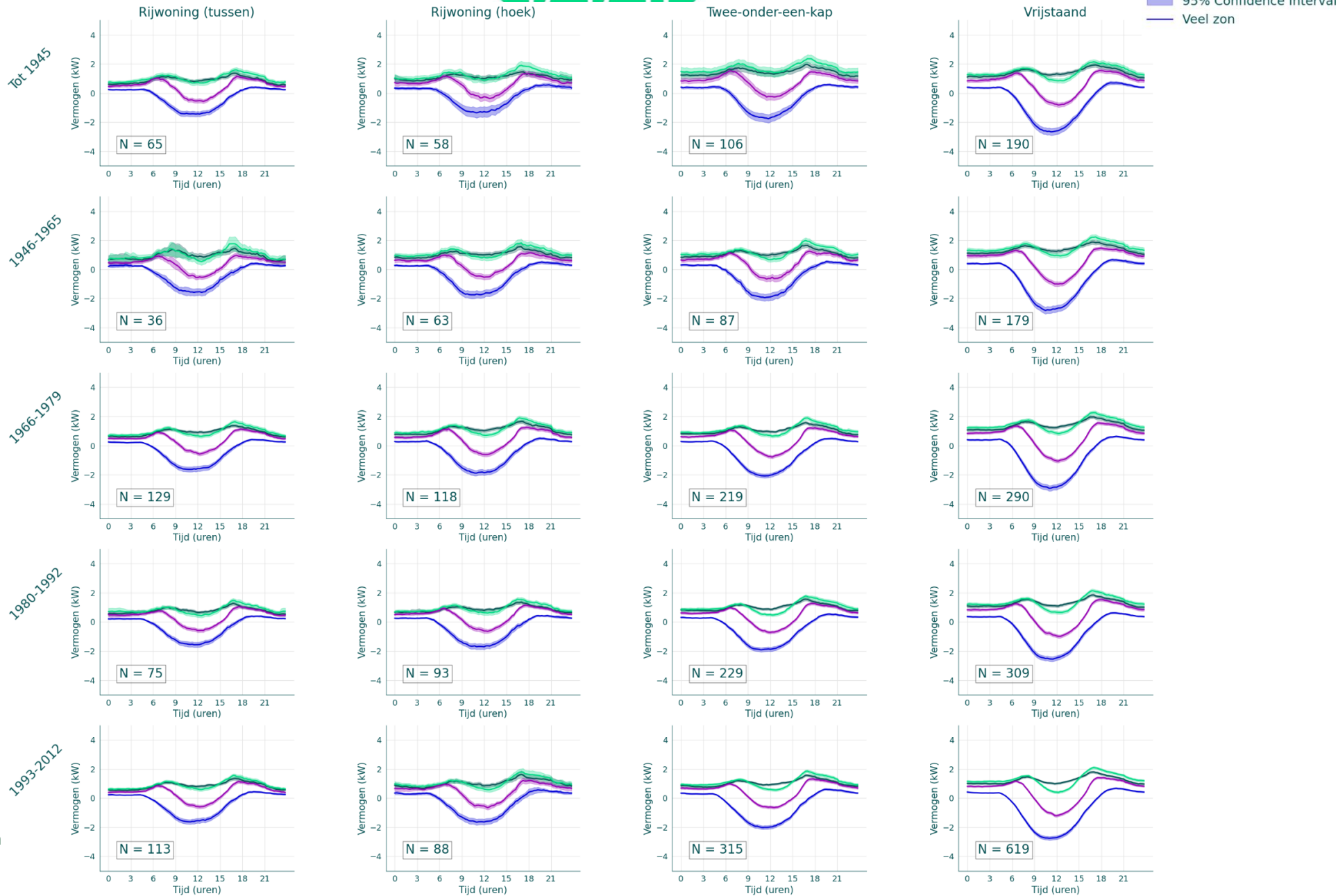
Figuur B.4 Belastingduurkromme referentieweken woningen met hybride warmtepomp (clusters: bouwperiode, verliesoppervlak)



Netimpact woningen me

B.3 Dagprofielen

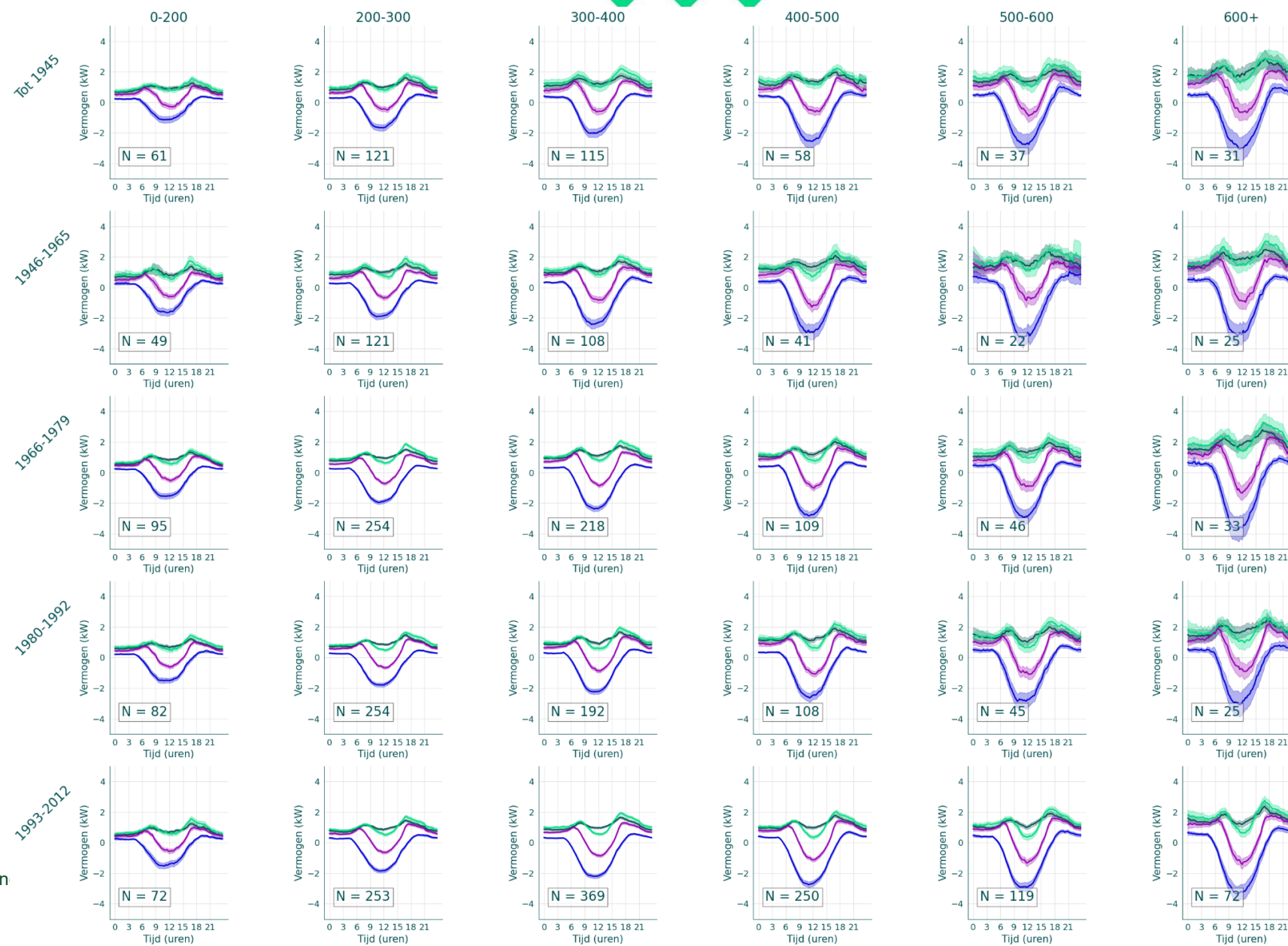
Figuur B.5 Dagprofielen referentieweken woningen met hybride warmtepomp (clusters: bouwperiode, woningtype)



Netimpact woningen

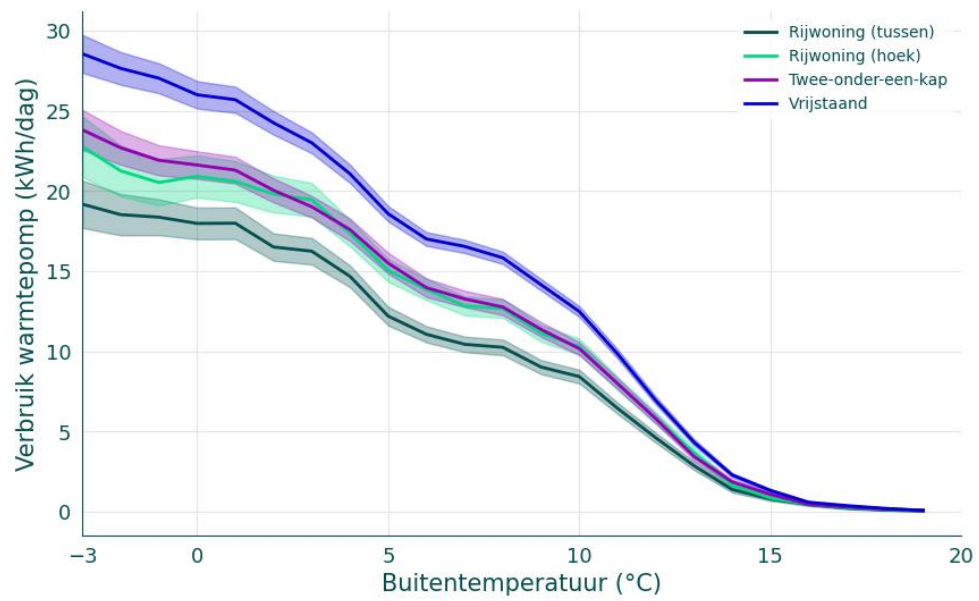
Figuur B.6 Dagprofielen referentieweken woningen met hybride warmtepomp (clusters: bouwperiode, verliesoppervlak)

- 95% Confidence Interval
- Matig koud
- 95% Confidence Interval
- Winter
- 95% Confidence Interval
- Gemiddeld
- 95% Confidence Interval
- Veel zon

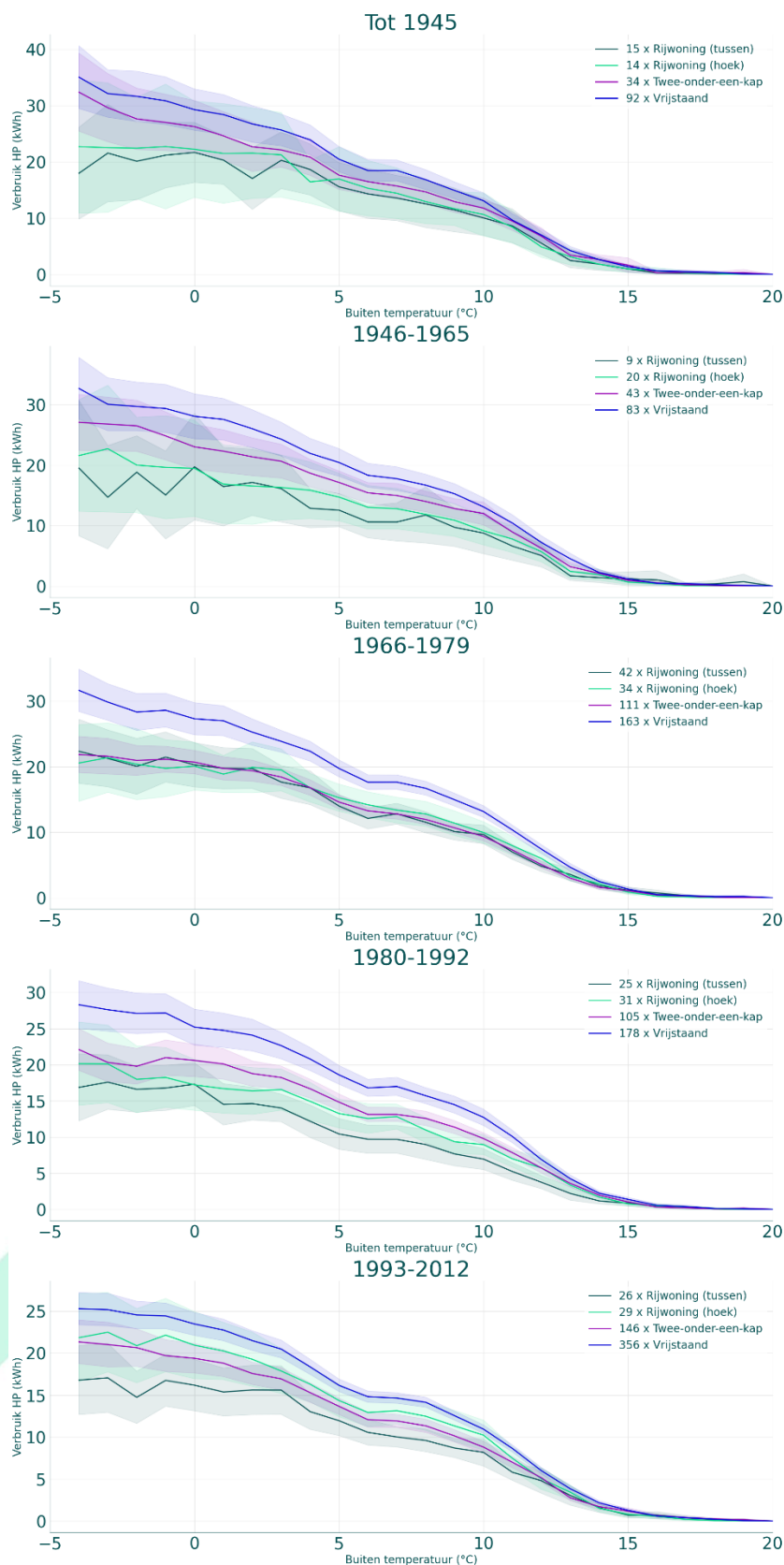


B.4 Dagelijks warmtepompverbruik per graad temp per dag

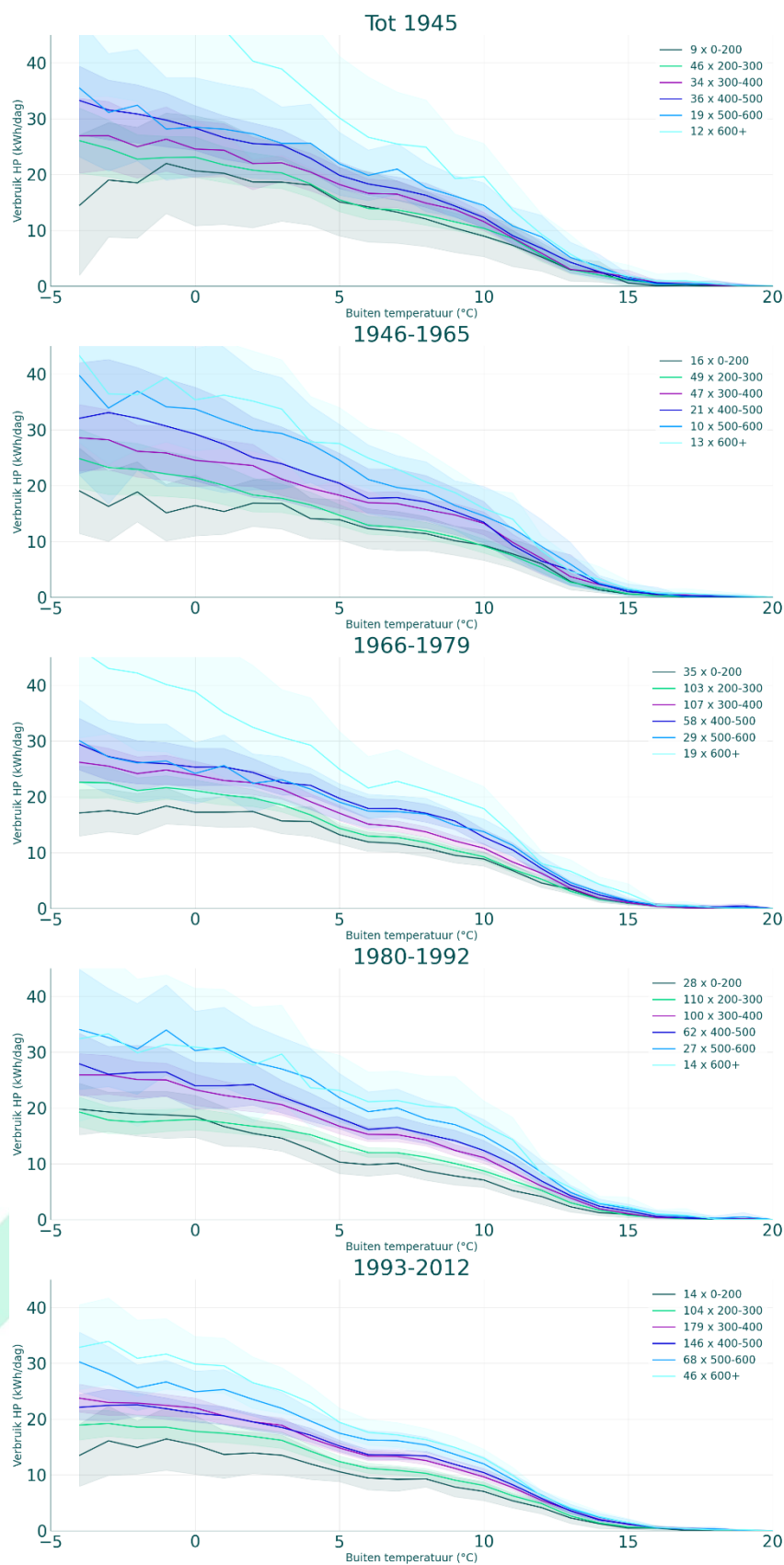
Figuur B.7 Dagverbruik van hybride warmtepompen per dagtemperatuur



Figuur B.8 Dagverbruik van hybride warmtepompen per buitentemperatuur, opgesplitst in woningtype en bouwperiode



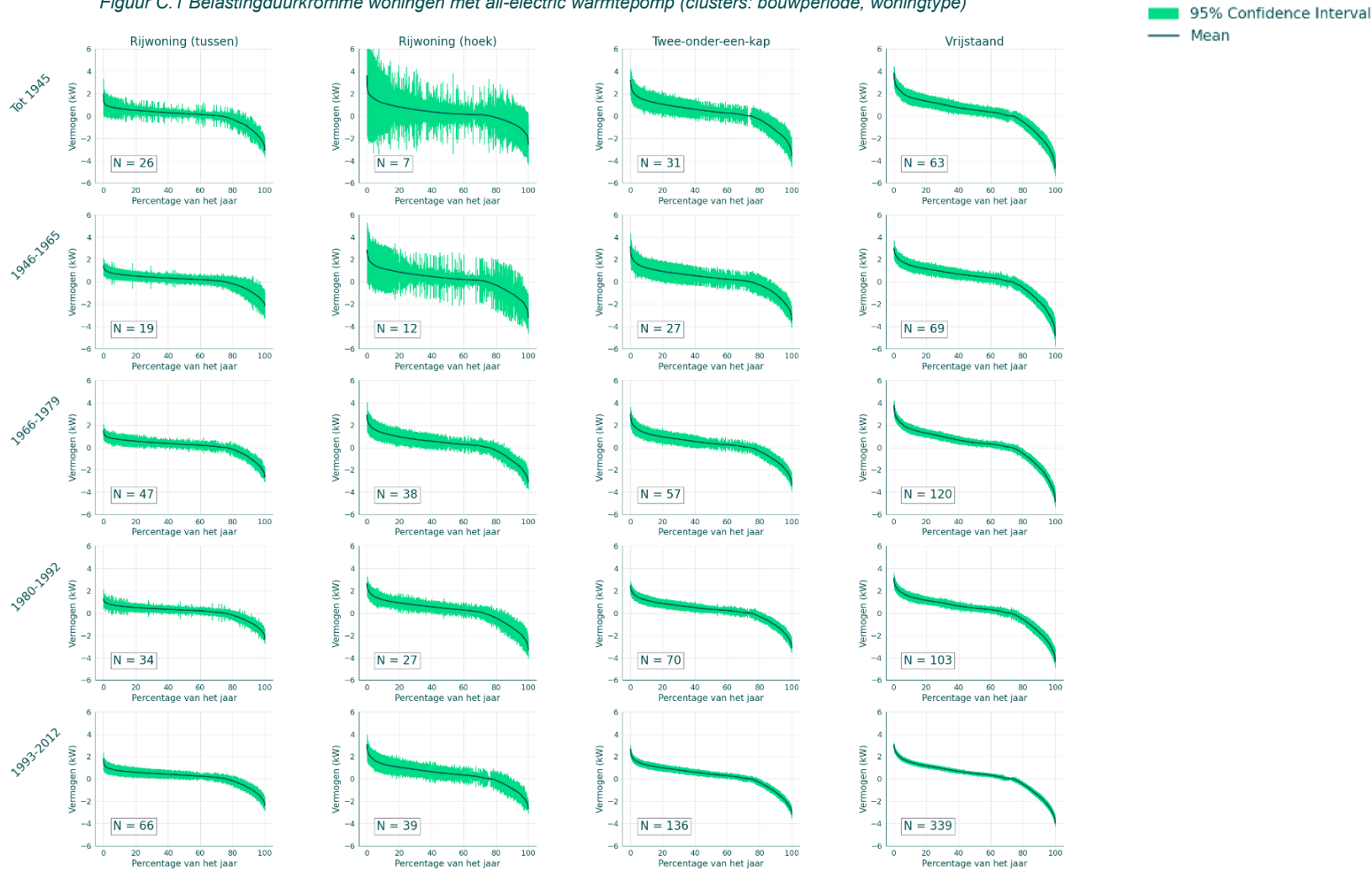
Figuur B.9 Dagverbruik van hybride warmtepompen per buitentemperatuur, opgesplitst in verliesoppervlak en bouwperiode



C Woningen met all-electric warmtepompen

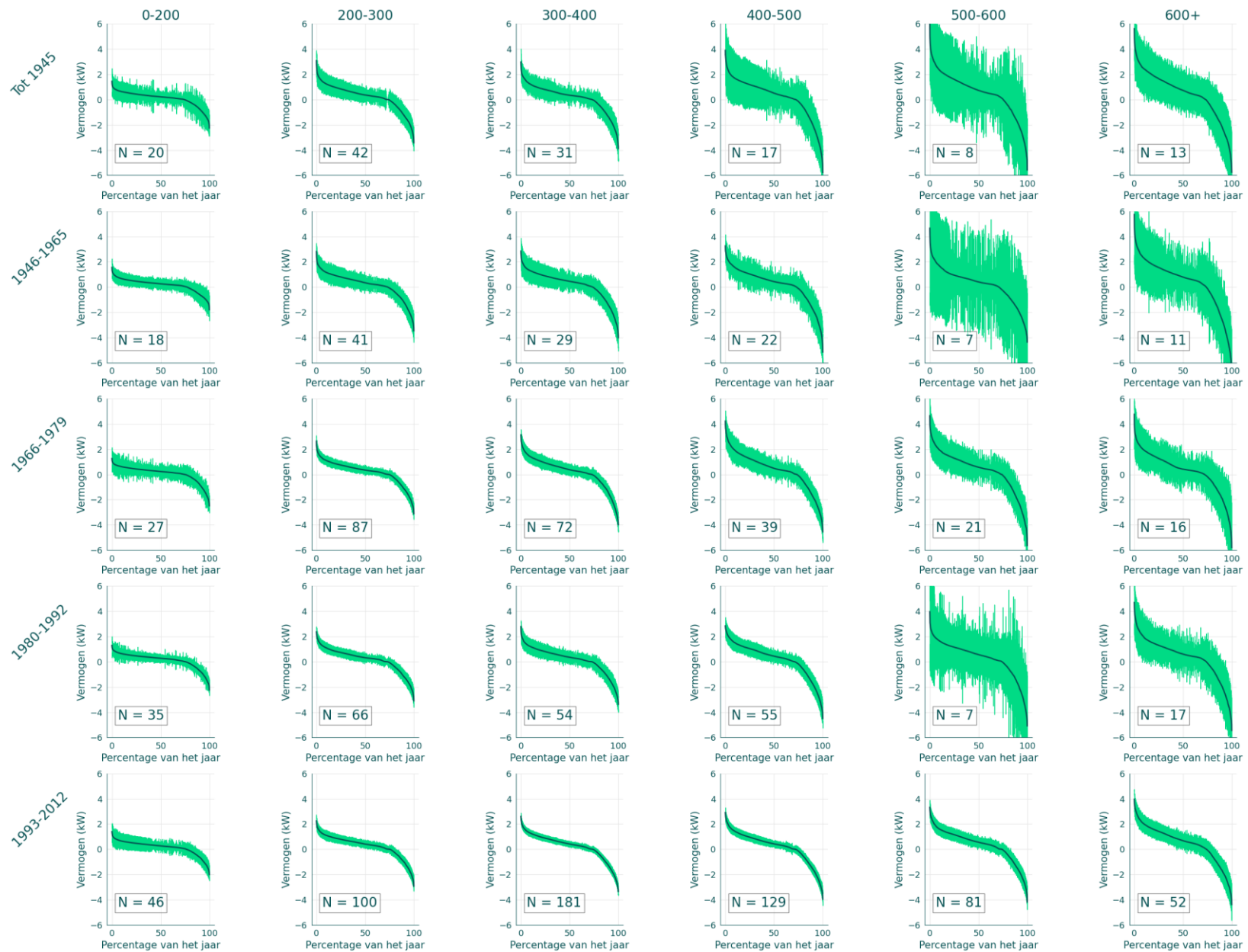
C.1 Belastingduurkomme gehele jaar

Figuur C.1 Belastingduurkromme woningen met all-electric warmtepomp (clusters: bouwperiode, woningtype)



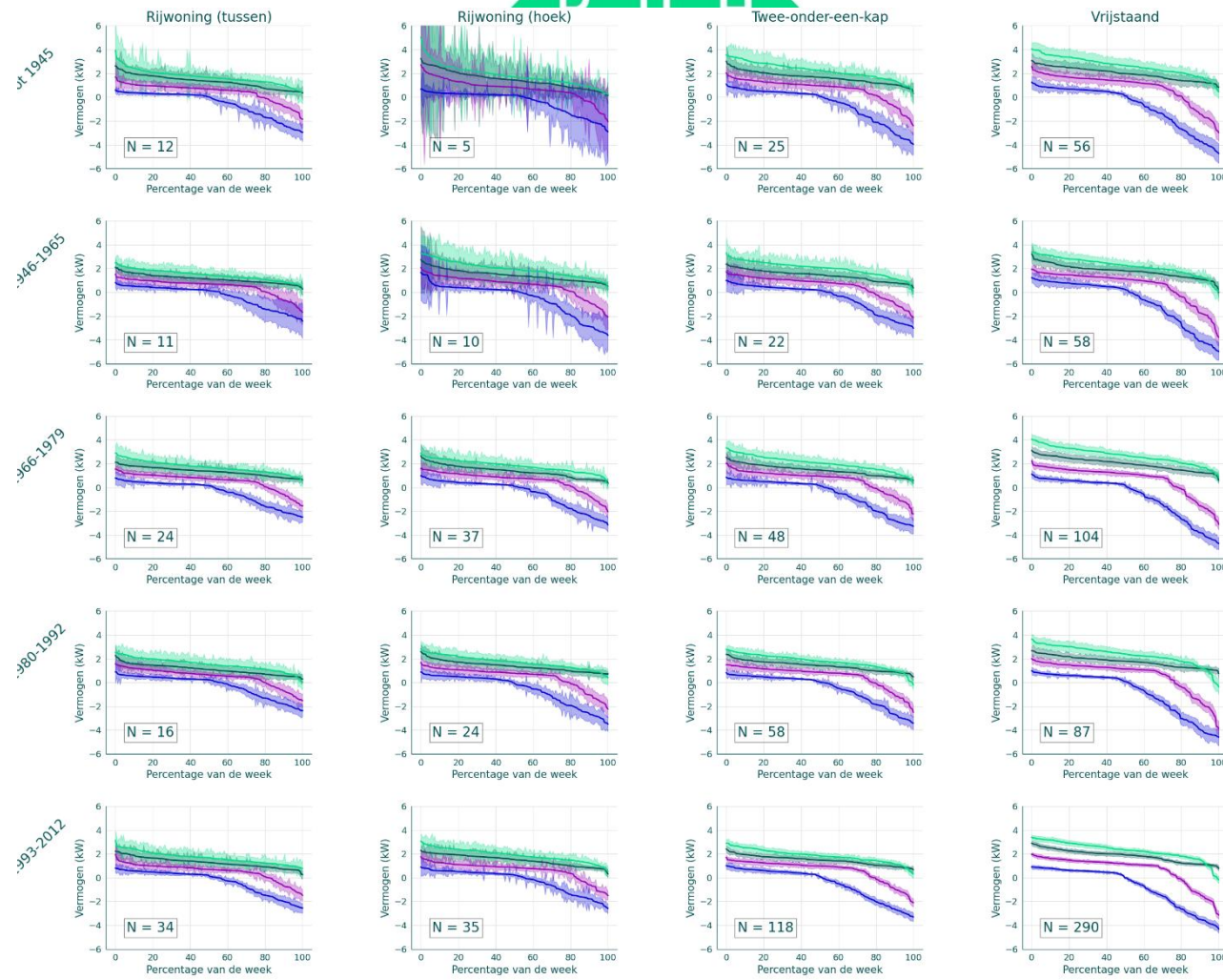
Figuur C.2 Belastingduurkromme (elektrisch) woningen met all-electric warmtepomp (clusters: bouwperiode, verliesoppervlak)

95% Confidence Interval
Mean



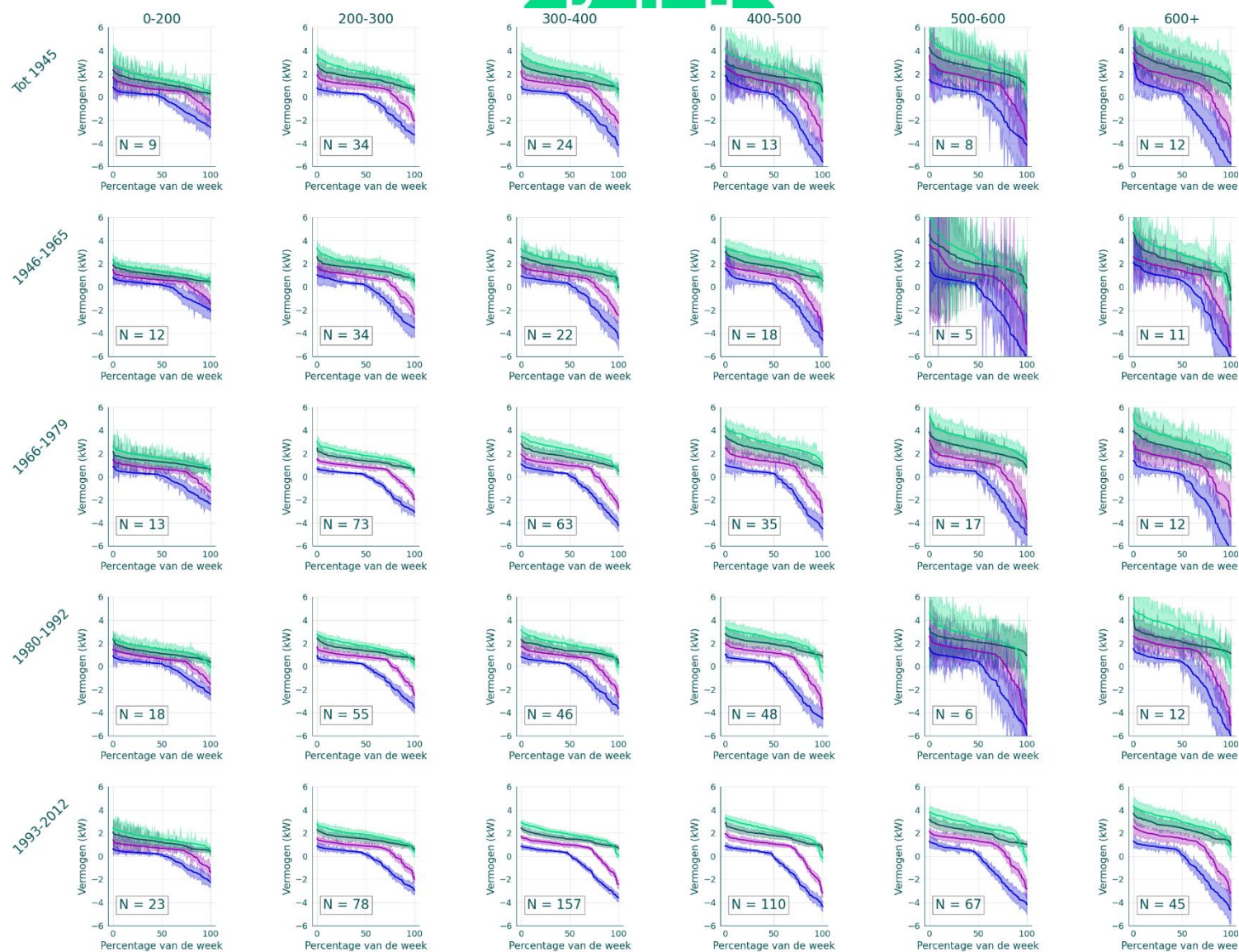
C.2 Belastingduurkromme per referentiweek

Figuur C.3 Belastingduurkromme van all-electric warmtepompen over vier referentiweeken (woningtype, bouwperiode)

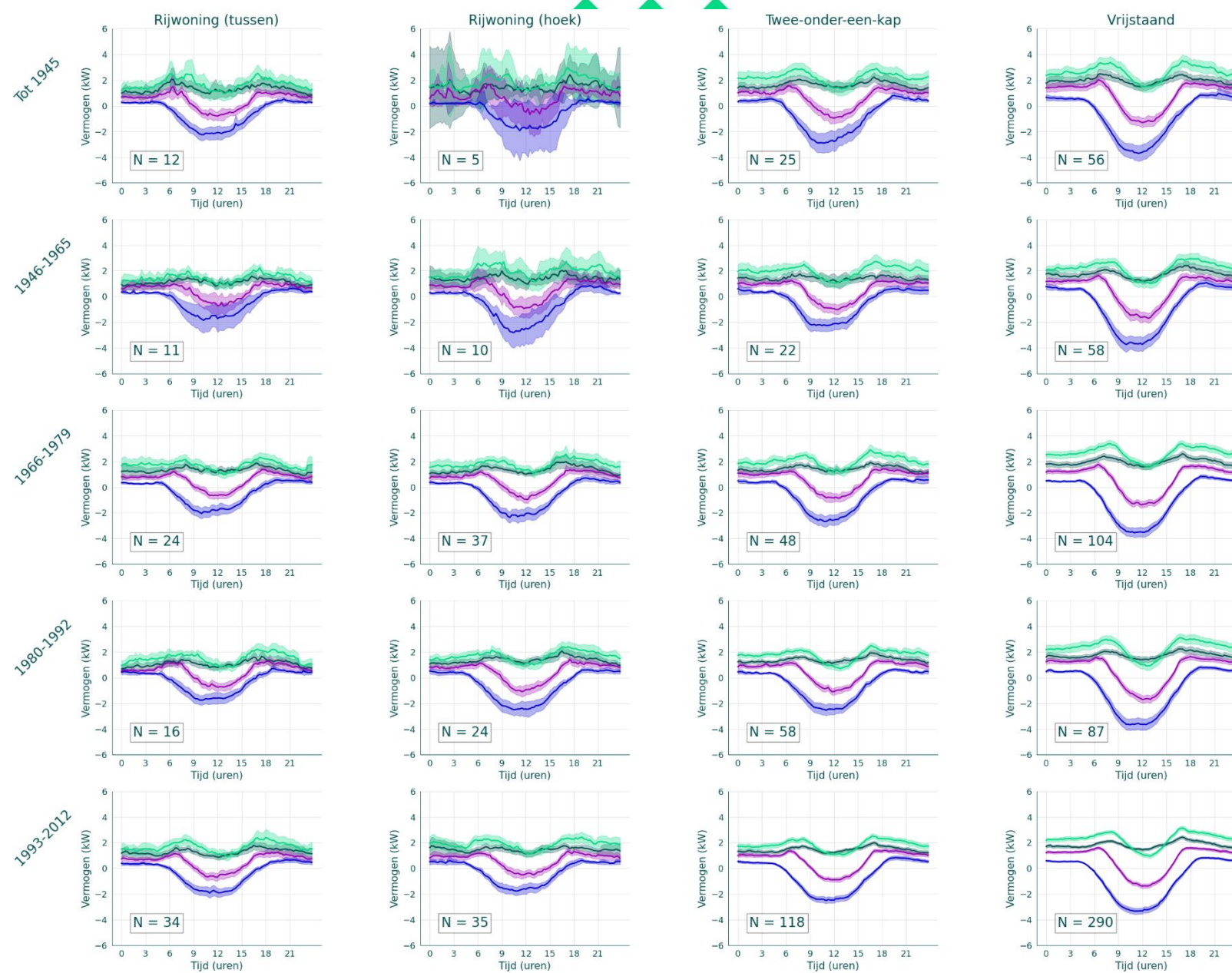


C.3 Dagprofielen binnen referentieweken

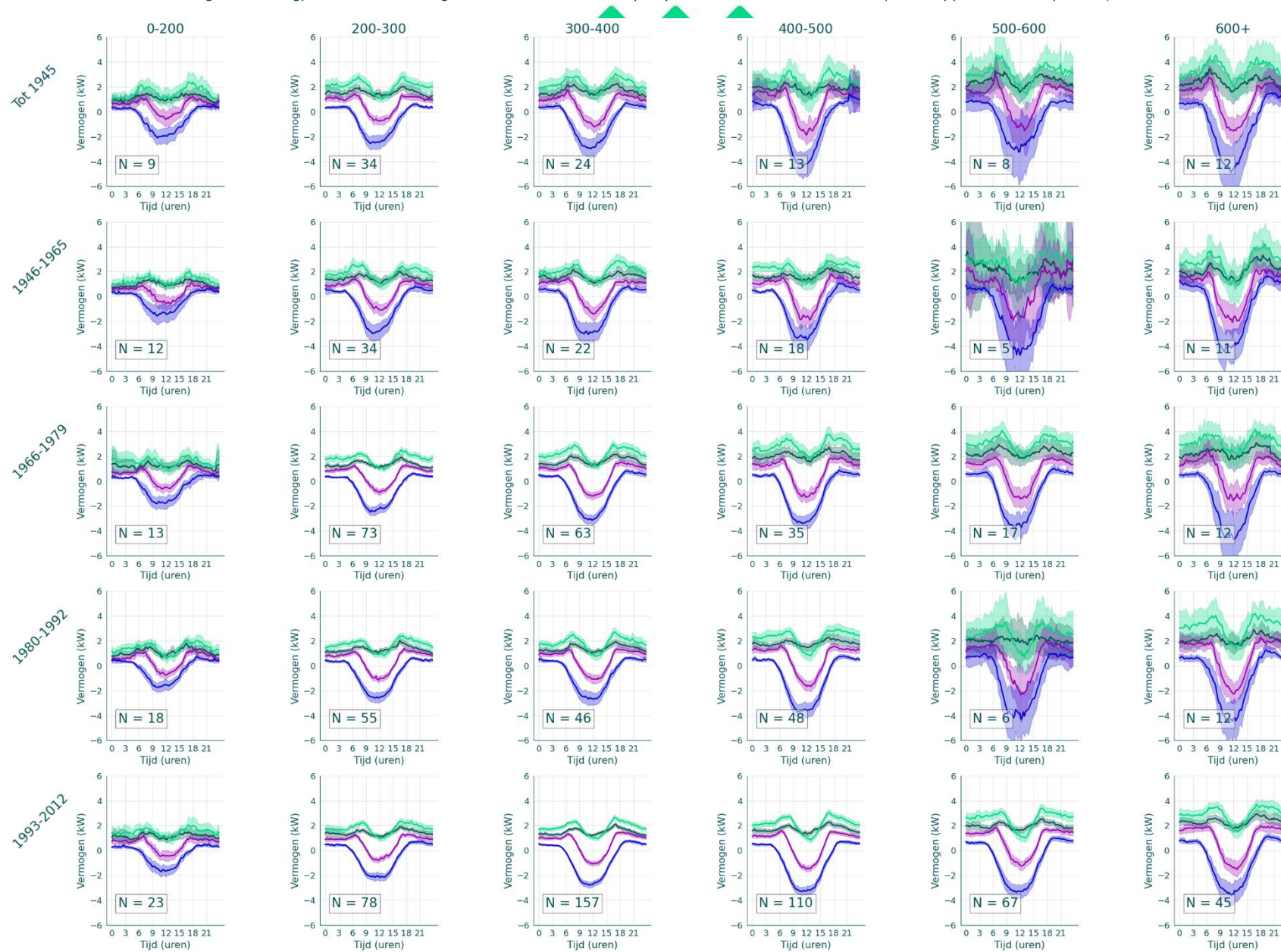
Figuur C.4 Belastingduurkromme van woningen met all-electric warmtepompen over vier referentieweken (verliesoppervlak, bouwperiode)



Figuur C.5 Dagprofiel van woningen met all-electric warmtepompen over vier referentieweken (woningtype, bouwperiode)

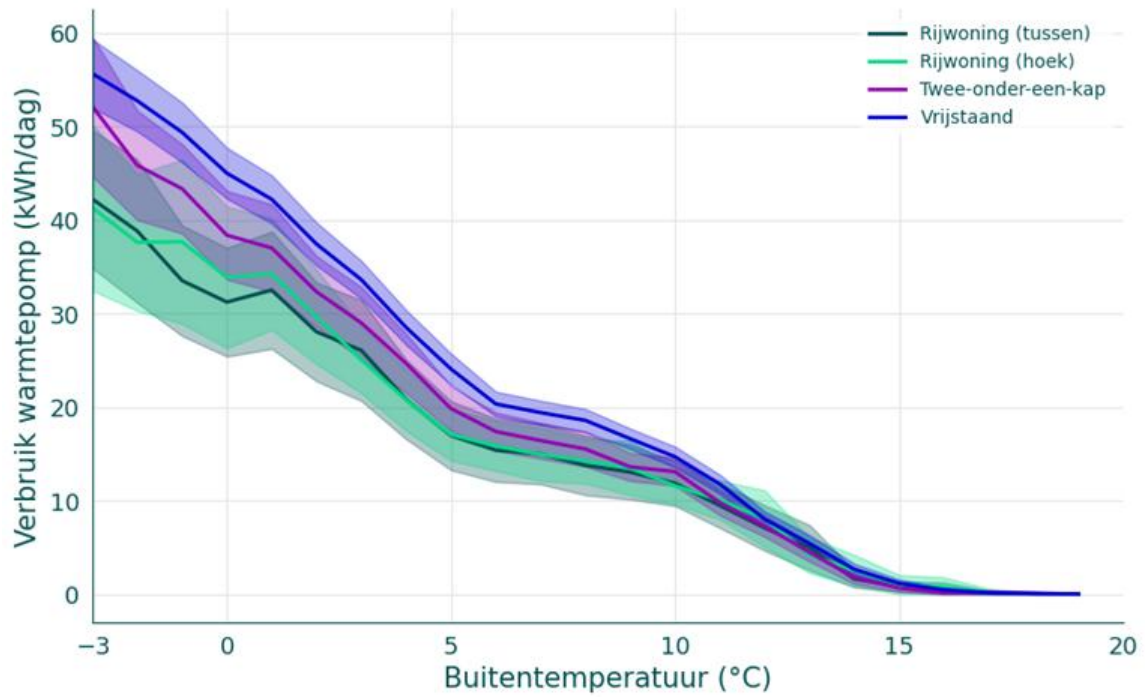


Figuur C.6 Dagprofielen van woningen met all-electric warmtepompen over vier referentieweken (verliesoppervlak, bouwperiode)



C.4 Dagelijks warmtepompverbruik per graad

Figuur C.7 Dagelijks verbruik van 240 all-electric warmtepompen, waar de temperatuur tot -3 is gekomen, per buitentemperatuur (woningtype)



Figuur C.8 Dagelijks verbruik van all-electric warmtepompen per buitentemperatuur (bouwperiode, woningtype)

