

W/E rapport

Infraroodverwarming in woningen

*Onderzoek naar energiegebruik en
comfortbeleving van residentiële verwarming met
infrarood stralingspanelen*

Infraroodverwarming in woningen

Onderzoek naar energieverbruik en comfortbeleving van residentiële verwarming met infrarood stralingspanelen

Opdrachtgever

RVO en TKI Urban Energy

Contactpersoon: Menno Brouwer (RVO) en Robert Jan van Egmond (TKI)

Opdrachtnemer

W/E adviseurs

Jan van Hooffstraat 8^E, 5611 ED Eindhoven

Contactpersoon: ir. P.W.G. (Pieter) Nuiten | M 06 - 2239 6192 | E nuiten@w-e.nl

Partners

- BDH
Paul Friedel, Stationsplein 128, 3844 KR Harderwijk, friedel@bdho.nl
- TU Delft, faculteit Bouwkunde
Dr. Arjen Meijer, Gebouw 8, Julianalaan 134, 2628 BL Delft, a.meijer@tudelft.nl
- Universiteit Utrecht, Copernicus Instituut
Prof. Dr. Wilfried van Sark, Vening Meineszgebouw A, Princetonlaan 8a, Room 8.54,
3584 CB Utrecht, W.G.J.H.M.vanSark@uu.nl
- Technolution
Adriaan Schipper, Burgemeester Jamessingel 1, Postbus 2013, 2800 BD Gouda,
adriaan.schipper@techolution.nl

Projectnummer

W/E 30360



Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1	Aanleiding	6
1.2	Doel en onderzoeksvragen	6
1.3	Afbakening	6
1.4	Data-verzameling	7
1.5	Klankbordgroep	7
1.6	Privacy	7
1.7	Leeswijzer	7
2	Achtergrond en context	8
2.1	Korte schets van de techniek	8
2.2	Wet- en regelgeving	9
2.3	Literatuur	10
3	Voorbereiding	13
3.1	Inventarisatie woningen en bewoners	13
3.2	Dataverzameling	13
3.3	Clusterindeling	15
4	Algemene kenmerken	16
4.1	Woningen	16
4.2	Bewoners, huishoudens	19
4.3	Installaties	21
4.4	Conclusies & aanbevelingen	26
5	Comfort	27
5.1	Meetmethode / data-acquisitie	27
5.2	Kenmerken woningen en bewoners	28
5.3	Comfortbeleving	29
5.4	Conclusies	39
6	Energie	40
6.1	Meetmethode / data-acquisitie	40
6.2	Kenmerken woningen en bewoners	42
6.3	Energiegebruik woning	44
6.4	Energiegebruik IR-panelen	50
6.5	Elektriciteitsverbruik infrarood t.o.v. woning	55
6.6	Conclusies	56
7	Comfort en energie	57
7.1	Meetmethode / data-acquisitie	57
7.2	Comfortbeleving in relatie tot elektriciteitsverbruik	57
7.3	Conclusies & aanbevelingen	58
8	Vermogen	59
8.1	Meetmethode / data-acquisitie	59
8.2	Woning	59
8.3	Infraroodpanelen	62
8.4	Piekbelasting infrarood t.o.v. woning	63
8.5	Conclusies & aanbevelingen	68
9	Conclusies en aanbevelingen	69
9.1	Conclusies	69
9.2	Aanbevelingen vervolgonderzoek	71
Bijlagen 73		



Samenvatting

Infraroodverwarming van woningen wordt gezien als een interessant alternatief voor de traditionele verwarming met een watergedragen systeem, gevoed door gasgestookte cv-ketels. Voordelen zijn lage installatiekosten, het comfort van stralingswarmte en flexibiliteit in gebruik. Zeker in de niche van kleine en/of goed geïsoleerde woningen wordt infraroodverwarming steeds vaker als alternatief overwogen. Het is daarnaast ook een voor de hand liggende oplossing om 'van het gas af' te gaan. Daar staan ook nadelen tegenover, zoals de potentieel hogere energielasten en toenemende druk op elektriciteitsnet door een hogere piekbelasting. Daarbij is er nog niet veel bekend over het daadwerkelijk ervaren comfort.

Op verzoek van TKI Urban Energy en RVO heeft W/E adviseurs onderzoek gedaan naar het energieverbruik en comfortbeleving van residentiële verwarming met infrarood stralingspanelen.

Aanpak

Voor dit onderzoek zijn met enige moeite 60 woningen gevonden die infraroodpanelen als hoofdverwarming hebben en waarvan de bewoners wilden meewerken aan comfort- en energiemetingen. Bij 52 woningen is dat ook daadwerkelijk gelukt. We hebben geen beeld hoe groot de 'vijver' is waarin we gevist hebben en dus ook niet of / in welke mate dit onderzoek representatief is voor alle IR-woningen in Nederland. De woningen in het onderzoek zijn verspreid over heel Nederland en kennen ook grote variatie over type, bouwjaar en isolatieniveau.

Er zijn gegevens over de woningen verkregen door een enquête en telefonisch interview, over comfortbeleving door registraties door de bewoners via een app, en over energiegebruik via slimme meters en monitoring van de IR-panelen zelf.

Onderzoeksvraag

Het project heeft een heldere onderzoeksvraag: *'Onder welke omstandigheden is het zinvol en heeft het toegevoegde waarde om infraroodpanelen toe te passen in woningen?'*

De gegevens die zijn verzameld in dit onderzoek zijn onvoldoende om een goed onderbouwd compleet antwoord op deze vraag te kunnen geven. Wel kunnen we meer inzicht geven in de toepassing van infraroodpanelen, aandachtspunten bij de toepassing, het energiegebruik, ervaren comfort en opgenomen vermogens.

Gedrag is zeer bepalend voor de prestatie van de infraroodpanelen, zijnde het energieverbruik, piekvermogen en ervaren comfort. Dit begint al bij het te installeren vermogen dat sterk varieert tussen de verschillende woningen, maar werkt ook door in de manier waarop men de panelen gebruikt. Zelfs in identieke woningen is het type bewoner en zijn of haar gedrag bepalend voor de energieprestatie van de woning en de verwarmingsinstallatie.

Overall kunnen we als randvoorwaarden voor plaatsing van IR-panelen meegeven:

- Houd rekening met een ander thermisch comfort.
IR-panelen warmen sneller op en koelen sneller af. Dat betekent ook dat een ander (actiever) stookgedrag van bewoners nodig is. Informeer de bewoners hierover.
Betrek hierin ook het type regeling: luchttemperatuur, vermogen, aanwezigheidsdetectie.
Stralingsasymmetrie treedt op. De meeste bewoners vinden dat niet erg, maar het wijkt wel af van meer gangbare systemen met radiatoren en/of vloerverwarming.
- Houd rekening met de maximale vermogensvraag van de woningen.
Op woningniveau moet een oplossing voor warmwater gekozen worden die past binnen de (beoogde) elektrische aansluiting. Grote vermogens hebben een zwaardere aansluiting nodig en dat leidt tot significant hogere vastrechtkosten.



- Houd rekening met de maximale vermogensvraag van de wijk. Als projectmatig IR-panelen worden toegepast moet ook gekeken worden naar de gelijktijdige vermogensvraag in relatie tot de capaciteit van het lokale elektriciteitsnet.
- Zorg indien mogelijk voor het beperken van de maximale vermogensvraag door een verantwoorde keuze voor een tapwatertoestel, een voorrangregeling en/of opslag (accu) op woning- of wijkniveau.

Het onderzoek biedt onvoldoende aanknopingspunten om randvoorwaarden mee te geven over bijvoorbeeld woningtype, woningomvang, isolatieniveau, gezinssamenstelling (aantal bewoners, leeftijd) of bewonersgedrag (als bijvoorbeeld ingestelde binnentemperatuur, aanwezigheid).

Comfort

Hoewel het lastig is om zonder controlemetingen in vergelijkbare woningen met een ander verwarmingssysteem (vooral ander afgiftesysteem zoals hoge temperatuur radiatoren of lage temperatuur vloerverwarming) een kwalitatieve uitspraak te doen over het ervaren comfort blijkt wel dat IR-panelen in de helft van de tijd (52% van de registraties) naar de mening van de bewoners zorgen voor een behaaglijk thermisch binnenklimaat. 15% van de registraties is 'een beetje warm' en 15% 'een beetje koud'. Het is het vaker te warm (30% van de registraties) dan te koud (18%). Als het buiten koud is, vindt men het binnen ook vaker koud.

Er is gezocht naar parameters die invloed hebben op het ervaren thermisch comfort. Geen van de parameters (buitentemperatuur, woningtype, verliesoppervlakte, energielabel, verwarmingsvermogen, kleding, schoeisel, activiteit) lijkt echter doorslaggevend te zijn. Ook in de hele koude week in februari 2021 is er geen heel ander beeld. Dat in deze studie geen significant verband is gevonden, wil niet zeggen dat er geen relatie is tussen deze parameters en het beleefde comfort. Wel lijkt het erop dat men de nadelen van IR (zoals stralingsasymmetrie) voor lief neemt wanneer men zelf heeft gekozen voor dit type verwarming.

Energie

Hoewel er nog steeds een behoorlijke spreiding zit in de verbruiken van de IR-panelen per m² gebruiksoppervlakte, vooral bij de appartementen, zit zo'n 50% van de woningen tussen een verbruik van 20 en 50 kWh/m² en gemiddeld rond de 40 kWh/m². (Dat is het verbruik dat is geregistreerd in februari-maart 2021, teruggerekend tot een standaardklimaatjaar). We hebben onvoldoende kennis over de woningen om dit getal af te zetten tegen een berekende warmtebehoefte. Het is fors minder dan het gemiddelde van woningen met een gasgestookte verwarming (circa 90 kWh/m²). Er moet nog wel rekening gehouden worden met een mogelijk hoger energiegebruik van IR-woningen voor tapwater en eventueel koeling.

Het verbruik per persoon is gemiddeld 1.350 kWh, met 50% van de gevallen tussen 930 en 1.720 kWh/jaar.

Er is een duidelijk verband tussen energiegebruik en gebruiks- en verliesoppervlakte. Woningen met een betere thermische schil (nieuwere woning) hebben een lager verbruik. Er zit minder spreiding in het verbruik per m² verliesoppervlakte dan in het verbruik per m² gebruiksoppervlakte. Verliesoppervlakte is daarmee een betere indicator voor het energiegebruik dan de gebruiksoppervlakte.

Comfort en energie

We zien geen duidelijk verband tussen energieverbruik van de IR-panelen en het ervaren comfort. Bij woningen met een laag verbruik is het comfort vaker 'te warm', bij woningen met een hoog verbruik vaker 'te koud'. Blijkbaar is in die laatste gevallen het vermogen, de regelbaarheid en/of de locatie van de panelen onvoldoende om het warm te krijgen. Mogelijk spelen ook nog andere aspecten een rol zoals de luchtdichtheid van de woningen, of de koudeval bij ramen.



Vermogen

De piekvraag in de woningen lijkt eerder bepaald door het type tapwatertoestel dan door de infraroodpanelen. De maximale vermogens liggen voor de meeste woningen tussen 10 en 15 kW, met uitschieters richting 20 kW. Dat betekent dat er in die woningen zeker een 3x35A aansluiting aanwezig moet zijn om overbelasting te voorkomen, vermoedelijk groter. Als een dergelijke kostbare aansluiting nodig is om een all-electric woning mogelijk te maken (en hoge investeringen in een warmtepomp te voorkomen) zullen de life cycle kosten van een woning met IR-panelen al snel hoger liggen.

Bijkomend nadeel van stralingsverwarming is dat het slechts beperkt mogelijk is om de verwarmingscapaciteit op een ander moment in te zetten, waardoor ook de mogelijkheden beperkt zijn om de pieken af te vlakken.

Op wijkniveau is de gelijktijdigheid van verwarming echter groter dan van tapwater. Op koudemomenten (begin van de avond, buiten ruim onder nul) is het gemiddelde van de woningen (dus inclusief gelijktijdigheidsfactor) kortstondig zo'n 6 kW. Bij grootschalige toepassing in een gebied (wijk/buurt) leidt dit mogelijk tot congestieproblemen en uitval en daarmee tot aanzienlijke maatschappelijke kosten om dat te voorkomen. Toepassing van batterijen of thuisaccu's op woning- of buurniveau kunnen de hoogte van de pieken waarschijnlijk aanzienlijk reduceren.



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Infraroodverwarming van woningen wordt gezien als een interessant alternatief voor de traditionele verwarming met een watergedragen systeem gevoed door gasgestookte cv-ketels. Mogelijke voordelen zijn lage installatiekosten, het comfort van stralingswarmte en flexibiliteit in gebruik. Daar staan ook nadelen tegenover, zoals de potentieel hogere energielasten en toenemende druk op elektriciteitsnet door een hogere piekbelasting. Daarbij is er nog niet veel bekend over het daadwerkelijk energiegebruik noch over het ervaren comfort. Zeker in de niche van kleine en/of goed geïsoleerde woningen wordt infraroodverwarming steeds vaker als alternatief overwogen. Het is daarnaast ook een voor de hand liggend alternatief als men 'van het gas af moet'.

Op verzoek van TKI Urban Energy en RVO heeft W/E adviseurs onderzoek gedaan naar het energieverbruik en comfortbeleving van residentiële verwarming met infrarood stralingspanelen.

1.2 Doel en onderzoeksvragen

Het onderzoek richt zich op het creëren van inzicht in het werkelijke energieverbruik, piekbelasting en de comfortbeleving van infraroodpanelen in een bewoonde situatie met als doel te achterhalen met welke factoren rekening gehouden moet worden bij het toepassen van infraroodverwarming.

Het project heeft daarmee een heldere onderzoeksvraag: *'Onder welke omstandigheden is het zinvol en heeft het toegevoegde waarde om infraroodpanelen toe te passen in woningen?'*

Ondersteunend aan de onderzoeksvraag zijn:

- Wat zijn de voor- en nadelen van infraroodverwarming, wat is de invloed op het ervaren comfort (bijvoorbeeld stralingsasymmetrie)?
- Wat is de relatie tussen het energieverbruik van infraroodverwarming en de comfortbeleving?
- Hoe beïnvloeden gebouw- en bewonerskenmerken het energieverbruik van infraroodverwarming?
- Hoe beïnvloeden infraroodpanelen de piekvraag? En wat is de netimpact van de gelijktijdige vermogensvraag (op wijkniveau)?
- Heeft toepassing van infraroodverwarming effect op de benuttingsfractie van zonnepanelen?

1.3 Afbakening

Deze studie richt zich op zelfstandige woningen waarbij infraroodstralingspanelen toegepast zijn als hoofdverwarming. De inventarisatiefase heeft ons 60 deelnemers opgeleverd, waarvan er 8 tussentijds geheel zijn afgehaakt. Hoewel een monitoringsprogramma van 52 IR-woningen naar ons weten het grootste van Nederland is, is dat aantal niet groot genoeg om voor deelpopulaties van woningen en bewonersgroepen statistisch relevante conclusies te trekken. Daarnaast maakt de kleinere steekproef het moeilijk om in te zoomen op specifieke woningkenmerken, bewonerskenmerken of gedrag. We hebben wel enkele cases op specifieke kenmerken onderling vergeleken.

In het onderzoek is niet gekeken naar de business case van IR-panelen. We hebben niet gekeken naar investerings- en onderhoudskosten, en ook geen vergelijking gemaakt met bijvoorbeeld gasgestookte installaties of warmtepompen.



1.4 Data-verzameling

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden is op vijf verschillende niveaus data verzameld: gebouwenkenmerken, bewonerskenmerken (beide middels interviews), het elektriciteitsverbruik van de IR-panelen en van de woning (via meetapparatuur en slimme meters), en de comfortbeleving van bewoners (met een app).

In de woningen zijn geen fysieke metingen gedaan van lucht- en stralingstemperatuur, luchtsnelheid, of luchtvochtigheid.

1.5 Klankbordgroep

Tijdens de uitvoering van het project is enkele malen overleg geweest de opdrachtgevers RVO en TKI Urban Energy. Ook zijn er 2 bijeenkomsten geweest met een klankbordgroep, één maal aan het begin van het onderzoek (opzet, methodologie) en éénmaal aan het einde (concept eindresultaten). Op- en aanmerkingen en aanbevelingen van de klankbordgroep zijn grotendeels in dit rapport verwerkt.

1.6 Privacy

Omgang met persoonsgegevens is op voorhand vastgelegd in een verwerkers-overeenkomst tussen W/E adviseurs en RVO. Met de bewoners is gecommuniceerd per e-mail en telefoon. Persoonsgegevens zijn niet gedeeld met andere deelnemers en meetresultaten zijn niet herleidbaar.

1.7 Leeswijzer

Dit rapport kent 9 hoofdstukken. Hoofdstuk 2 beschrijft het vertrekpunt van dit onderzoek en geeft daarmee een overzicht van bekende literatuur en onderzoeken. In hoofdstuk 3 worden de opzet en clustering van de analyse beschreven. De resultaten per thema worden gepresenteerd in hoofdstuk 5 tot en met hoofdstuk 8. Hoofdstuk 9 bevat de conclusies en aanbevelingen.

2 Achtergrond en context

Infraroodpanelen als hoofdverwarming is een techniek die pas recent op wat grotere schaal wordt toegepast in woningen. Het wordt steeds vaker als alternatief overwogen om 'van het gas af te gaan'. Er zijn de afgelopen jaren verschillende onderzoeken uitgevoerd naar de toepassing en potentie van infraroodpanelen. Een overzicht van de meest relevante onderzoeken uit zowel Nederland als Duitsland is weergegeven in de bijlagen.

2.1 Korte schets van de techniek

Conventionele radiatoren verwarmen de lucht in de hele ruimte door middel van convectie. Infrarood panelen zetten elektriciteit om in infraroodstraling. Straling warmt niet de lucht op, maar het oppervlak van de objecten en personen die geraakt worden door de straling¹.

Tussen twee objecten vindt altijd uitwisseling van straling plaats. Opgewarmde voorwerpen houden de warmte langer vast dan dat lucht warmte vasthoudt, waardoor de voorwerpen de warmte ook weer afgeven aan andere objecten. Een object dat warmer is geeft deze energie af in de vorm van straling aan het andere object. Het menselijk lichaam kan deze straling via de huid waarnemen als warmte. Hoe goed een object warmte als stralingswarmte afgeeft is gedefinieerd als het stralingsvermogen. Het stralingsvermogen hangt af van de oppervlakte, temperatuur en de emissie van zowel het uitstralende als het bestraalde object.

Een infrarood paneel is voorzien van een verwarmingselement en een warmte emitterend oppervlak, vaak van een epoxy met koolstofkristallen onder een voorzijde van aluminium, glas of PET (plastic). De koolstofkristallen hebben als eigenschap dat deze opwarmen en infraroodstraling gaan uitzenden wanneer er elektriciteit doorheen loopt. De voorzijde zorgt vervolgens voor de warmteoverdracht naar de omgeving.

De temperatuur van het warmte emitterend oppervlak speelt een cruciale rol bij infrarood verwarming. Hoe hoger de oppervlaktetemperatuur, des te hoger het stralingsvermogen. Bij een lagere oppervlaktetemperatuur kan de infraroodverwarming wel hetzelfde stralingsvermogen afgeven indien het warmteafgeevende oppervlak dan verhoudingsgewijs groter is.

Het stralingsvermogen van infraroodverwarming mag niet worden vergeleken met het efficiëntieniveau. Het stralingsefficiëntieniveau is de grootte die de stralingseigenschappen van een infrarood verwarming beschrijft en aangeeft hoeveel procent van het toegevoegde elektrische vermogen in de vorm van straling wordt afgegeven. Vlakke infrarood panelen geven de straling diffuus af in een stralingshoek. Een kleinere stralingshoek zorgt voor meer geconcentreerde verwarming, terwijl een grote stralingshoek een groter oppervlak verwarmd.

Infraroodverwarming heeft een aantal voordelen ten opzichte van convectieverwarming. Doordat infrarood verwarming niet voor luchtcirculatie zorgt, wordt tocht door de aantrek van koude lucht voorkomen en is er minder circulatie van stof en pollen. Het verwarmen van lucht kan deze uitdrogen en zorgen voor condensvorming.

Vanuit de leveranciers van IR-panelen worden de volgende voor- en nadelen aangedragen:

- Voordelen van IR-verwarming
 - Geringe aanschaf kosten
 - Lange levensduur
 - Neemt weinig ruimte in beslag

¹ Zie bijvoorbeeld ook <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-verwarmen-en-koelen/infraroodpanelen-voor-verwarming/> en <https://www.ig-infrarood.nl/verwarmen-met-infrarood/>



- Eenvoudige installatie
- Nagenoeg geen onderhoud
- Snelle responstijd
- Minder systeemverliezen
- Minder warmteverlies door buitenluchttoetreding door lagere luchttemperatuur
- Voorkomt schimmelvorming in vochtige ruimtes of op aangestraalde koudebruggen
- Esthetisch goed in te passen en in vele verschijningsvormen verkrijgbaar
- Nadelen IR-verwarming
 - Tijdens gebruiksuren hoge energiekosten
 - Kan geen koudeval door buitenluchttoetreding opvangen
 - Aparte voorziening voor warmtapwater nodig met mogelijk hoge netbelasting
 - Plaatselijk verminderd comfort door "schaduwwerking" van meubilair
 - Asymmetrie in comfortbeleving

Door de snelle responstijd worden IR-panels vooral geschikt geacht voor ruimten die niet continu gebruikt worden of die slechts af en toe gebruikt worden. 5-10 minuten na het inschakelen van het IR-paneel is dit volledig opgewarmd en is de invloed goed merkbaar. Het thermische comfort is dan duidelijk verbeterd. Het duurt nog minimaal een half uur tot objecten in het vertrek en wanden/vloer voldoende zijn aangestraald en (iets) opgewarmd zijn zodat een thermisch comfortabele situatie bereikt wordt.

In principe kan IR-verwarming altijd toegepast worden, echter wanneer de verwarming veel uren aan staat zijn gedurende die uren de verwarmingskosten hoog vergeleken met bijvoorbeeld een elektrische warmtepomp die een belangrijk deel van de warmte uit de buitenlucht of bodem haalt. De investeringskosten van IR-verwarming zijn veel lager dan die van vloerverwarming met een warmtepomp of een cv-ketel. Om een goede afweging te kunnen maken is het nodig een lifecyclecost (LCC) berekening te maken.

2.2 Wet- en regelgeving

Per 10 maart 2020 is de herziene EPBD III opgenomen in Nederlandse wet- en regelgeving (aanpassing van het Bouwbesluit). Gebouwen en technische installaties in gebouwen moeten aan deze nieuwe eisen voldoen. Dit betekent onder andere dat nauwkeurig gedimensioneerd en ingeregeld moet worden zodat een goede regeling mogelijk is.

EPBD III bevat bepalingen over de energieprestatie van technische bouwsystemen, waaronder verwarmingssystemen. Het verwarmingssysteem wordt gedefinieerd als: *"De combinatie van de bestanddelen die nodig zijn voor een vorm van inpandige luchtbehandeling, waardoor de temperatuur wordt verhoogd. Deze definitie omvat alle systemen voor ruimteverwarming, dus ook systemen die alleen stralingswarmte afgeven. Losse componenten die geen onderdeel uitmaken van een systeem voor ruimteverwarming, zoals infraroodpanelen of een elektrische kachel, vallen niet onder de definitie."*

Een centraal aangestuurd verwarmingssysteem (en dat kunnen dus ook sets van IR-panels zijn) valt daarmee onder deze eisen.

In Nederland is de primaire energiefactor (PEF) voor elektriciteitslevering vastgesteld op 1,45. Dat betekent dat voor 1 kWh geleverde elektriciteit 1,45 kWh primaire energie nodig is. Het rendement van elektriciteitscentrales en het aandeel hernieuwbare energie in de landelijke mix zijn in deze factor verwerkt. Voor elektrische verwarming betekent het dus voor 1 kWh warmte minimaal 1,45 kWh primaire energie nodig is. Volgens de eisen voor technische bouwsystemen zoals die staan in artikel 6.55 van het Bouwbesluit is de waarde voor de energieprestatie voor verwarmen van een woning maximaal 1,31. Een volledig elektrisch verwarmingssysteem met een COP van 1 (zoals IR-panels) is daarmee uitgesloten, zowel voor nieuwbouw als bij vervanging van een significant deel van de verwarmingsinstallatie.



De werkelijke PEF van het net varieert en zal in de komende jaren een stuk lager worden door toevoeging van zonnestroom en windstroom aan het net.

2.3 Literatuur

We geven hieronder een overzicht van de meest relevante onderzoeken uit Nederland en Duitsland.

Onderzoeken naar toepassing, voor- en nadelen infraroodverwarming

DWA / Lente-akkoord: "Aardgasvrije warmteconcepten en infrarood stralingspanelen"

DWA heeft in een notitie voor het Lente-akkoord/NEPROM² de claim van leveranciers onderzocht dat IR verwarming zou leiden tot energiebesparing. Volgens DWA lijkt deze claim vooral gebaseerd op de aanname dat er een lagere luchttemperatuur in de woning zal worden gehandhaafd wanneer er door de IR-panelen een hogere stralingstemperatuur wordt gerealiseerd. DWA stelt hier serieuze vraagtekens bij en concludeert: *'Voor aardgasvrije concepten met infraroodverwarming wordt daarom aanbevolen om voorsnog met dezelfde energievraag te rekenen als voor vloerverwarming. Verder wordt aanbevolen om de comfortaspecten en energievraag nader te onderzoeken en aan de hand van praktijkcases te analyseren.'*

TKI Urban Energy: "Infraroodverwarming versus de warmtepomp; Een analyse van twee all-electric verwarmingsopties"

In een samenvattende notitie³ schetst TKI Urban Energy de stand van kennis rondom infrarood verwarming. Er zijn verschillende andere bronnen die informatie hebben verzameld rondom infraroodverwarming (zie bijvoorbeeld de literatuurlijst in de notitie van TKI Urban Energy). Ook zijn er verschillende ontwikkelingsprojecten die mede met steun van RVO en/of TKI worden uitgevoerd^{4 5}. In de volgende paragrafen volgt een inventarisatie van eerder onderzoek naar IR-panelen.

Thuisbaas: "Empirisch onderzoek naar efficiëntie infraroodverwarming"

Thuisbaas onderzocht in 14 woningen⁶, waaronder 12 appartementen met een woonoppervlak van 50-70 m², de effectiviteit van IR -rood verwarming als vervanging van een cv-ketel + radiatoren, op basis van het energieverbruik en de comfortbeleving vóór en na de installatie van de IR panelen. Na weglating van 5 woningen met zeer lage verbruiken voor de nieuwe situatie (dus gunstig voor IR), werd geconcludeerd dat IR verwarming in de 9 resterende woningen gemiddeld een factor 2,2 beter was dan gas-cv verwarming in termen van het finaal energieverbruik (verbruik aan de meter). De verandering in comfortbeleving werd door bewoners over het algemeen als neutraal gewaardeerd. Beperkingen in dit onderzoek zijn het geringe aantal woningen en het feit dat het vrijwel alleen kleinere appartementen betrof. Thuisbaas beveelt dan ook aan meer verschillende woningen te onderzoeken, het energieverbruik per ruimte en de compartimentering van de woning in het onderzoek te betrekken.

² P. Heijboer, Aardgasvrije warmteconcepten en infrarood stralingspanelen, DWA, 2018

³ Bouwe Meijer, Pieter Loonen, Infraroodverwarming versus de warmtepomp; Een analyse van twee all-electric verwarmingsopties, maart 2020

⁴ Harnessing Effective Radiation Solutions with Comfortable Heated Energy Levels
<https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/harnessing-effective-radiation-solutions-with-comfortable-heated-energy-levels-00033425>

⁵ Infrarood Experience, <https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/infrarood-experience-00031513>

⁶ J. van Dam, V. van Veelen, W. Verschoor, Empirisch onderzoek naar efficiëntie infraroodverwarming, Thuisbaas, 2019



HTWG Konstanz - Forschungsproject 'IR-bau' Potenzial von Infrarot Heizungssysteme für hocheffiziente Wohngebäude

De Duitse universiteit HTWG Konstanz heeft onderzoek gedaan of een infrarood-verwarmingssysteem ecologisch en economisch een alternatief zou kunnen zijn voor de warmtepompen in goed geïsoleerde gebouwen. Gedurende twee verwarmingsperiodes zijn metingen uitgevoerd van het verbruik per appartement voor een appartementencomplex met 15 appartementen tussen de 50 en 120 m² oppervlakte. Daarnaast heeft een bewonersonderzoek plaatsgevonden naar de behaaglijkheid. Waaruit men concludeert dat het concept van de directe infrarood stralingsverwarming in de nieuwbouw heel goed functioneert.

Als tweede onderzoek heeft de universiteit 4 identieke ruimtes van elk 32,8 m² gebruikt als testlocatie voor verschillende verwarmingssystemen: 1) lucht-water-warmtepomp (7,6 kW); 2) elektrische vloerverwarming (2,8 kW); 3) IR verwarming aan het plafond (2x 1,3 kW); 4) IR verwarming aan de wand (2x 1,3 kW). Hieruit wordt afgeleid dat IR-verwarming een voordeel oplevert in verbruik indien deze aan het plafond wordt bevestigd. Daarnaast lag de oppervlaktetemperatuur hoger en de luchttemperatuur lager bij het gebruik van IR-panels.

De beoordeling in hoeverre systemen economisch rendabel zijn toont aan dat de warmtepompvariant hogere investerings-, bedrijfs- en onderhoudskosten met zich meebrengt. Daar tegenover staan wel geringere verbruikskosten. Bij een infraroodsysteem in combinatie met PV liggen de totale kosten significant lager. De omvang van het gebouw en de mate van isolatie bepalen hoe groot het voordeel is.

Een warmtepomp is het meest efficiënte systeem om warmte te genereren en heeft een lager energieverbruik, maar daar staan lagere investeringskosten van een IR-verwarming tegenover. Voor IR-verwarming zou de combinatie met PV de standaard moeten worden.

Onderzoeken naar comfortbeleving

Peutz – Beoordeling van thermisch comfort in woningen

Onderzoek naar de beoordelingsmethode voor thermisch comfort in woningen⁷. Beter geïsoleerde woningen verminderen het energiegebruik, maar zorgen er ook voor dat warmte beter wordt vastgehouden in een woning. Conclusie is dat de 'nieuwe' beoordelingsmethodiek (zoals deze nu van toepassing is) een eenduidige en complete methode geeft met uitgangspunten en beoordelingscriteria om het thermisch comfort in woningen te kunnen beoordelen.

Peutz – Comfortaspecten stralingsverwarming

Onderzoek⁸ in opdracht van RVO naar alternatieven voor aardgasverbruik, met elektrische stralingspanelen als mogelijke deeloplossing. De metingen zijn verricht in een klimaatkamer met geconditioneerde ruimtevlakken. Er is voor verschillende luchttemperaturen een vergelijking gemaakt tussen stralingspanelen, radiatoren en vloerverwarming. Hierbij is gekeken naar de luchttemperatuur, stralingstemperatuur, operationele temperatuur en stralingstemperatuurasymmetrie.

Geconcludeerd wordt dat: gangbare comforteisen met betrekking tot stralingstemperatuur en stralingsasymmetrie toepasbaar zijn bij stralingspanelen; de configuratie van de panelen belangrijk is voor stralingsasymmetrie; er sprake is van een wezenlijke verticale gradiënt met betrekking tot stralingstemperatuur, operationele temperatuur en stralingstemperatuurasymmetrie. Hierdoor worden het toelaatbaar te installeren vermogen (40 W/m² in dit onderzoek) en de luchttemperatuur beperkt.

⁷ In TVVL magazine 2019-5, <https://www.tvvl.nl/l/library/download/17534/tvvl+magazine+5+2019.pdf>

⁸ <https://nvbv.org/l/library/download/urn:uuid:d4f3ebc2-7a99-4b79-9ba0-ad6bf61f4d8b/03-+stralingsverwarming-harrybrugema+%281%29.pdf>



Hogeschool Zuyd / SGS / HSI - Comfortbeleving en energieprestatie van een infrarood vloerverwarmingssysteem

De bovengenoemde samenwerking heeft in 2014 onderzocht⁹ of de door HSI gebouwde IR-vloerverwarming voldoende energiebesparing realiseert om een gelijkwaardigheids verklaring voor de EPC normering te verkrijgen. In het onderzoek is aangetoond dat de IR-vloerverwarming een gelijk comfort creëert bij een ruimtetemperatuur die gemiddeld 2 graden lager ligt dan bij andere conventionele verwarmingssystemen. Door de gemiddeld lagere ruimtetemperatuur ontstaat een lager warmteverlies waardoor het absolute energieverbruik ongeveer 35% lager zou liggen dan bij conventionele systemen. Voor een zo laag mogelijke EPC dient IR-verwarming te worden gecombineerd met een warmtepomp voor warm water en duurzame energieopwek.

TU Eindhoven & DWA – Monitoring van werkelijke comfortbeleving¹⁰

Geregeld wijkt de werkelijke comfortbeleving van gebouwgebruikers af van wat het comfortniveau theoretisch zou moeten zijn. In dit onderzoek is onderzocht wat de mogelijkheden zijn om de werkelijke comfortbeleving te monitoren.

De meetresultaten voor de onderzochte gebouwen laten zien dat, wanneer invloeden zoals zoninstraling niet waargenomen worden door het gebouwssysteem, dit kan leiden tot een afwijkende beoordeling van het (ervaren) binnenklimaat.

Daarnaast zijn er nog verschillende aspecten van het binnenmilieu die niet gemonitord (kunnen) worden, maar wel van invloed zijn op de beleving van het binnenmilieu. Wat dat betreft zijn er nog redelijk wat open eindjes tussen een volledige overeenstemming van de werkelijke beleving van het binnenklimaat en het (theoretisch) ontworpen binnenklimaat. Een combinatie van continue monitoring, aangevuld met enquêtes, kan echter wel inzicht geven in hoe dit gat te dichten is.

Onderzoek naar efficiëntie infraroodpanelen

IEC 60675-3:2020 en - Household electric direct-acting room heaters - Methods for measuring performance - Part 3: Additional provisions for the measurement of the radiation efficiency

Deze norm, gepubliceerd op 1 december 2020, geldt voor elektrische stralingsruimteverwarming en definieert prestatiekenmerken met betrekking tot het stralingseffect. Daarnaast specificeert het methoden voor het meten van het stralingsrendement van direct werkende ('direct-acting') ruimteverwarming.

ISSO-kleintje Infrarood verwarming

Dit ISSO-kleintje (momenteel in ontwikkeling) gaat nader in op het toepassen van infraroodpanelen en is bedoeld om installateurs, projectontwikkelaars, woningcorporaties en ontwerpers bekend te maken met infraroodpanelen. Bij het opstellen van dit ISSO-kleintje wordt gebruik gemaakt van internationale onderzoeken, aangevuld met gebruikerservaringen en metingen uitgevoerd in Nederland.

⁹ <https://hsi-heating.com/wp-content/uploads/2018/03/HSI-Rapportage-SGS-Onderzoek-Comfortbeleving-bij-Infraroodverwarming.pdf>

¹⁰ <https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/3926690/565712293921319.pdf>

3 Vorbereiding

In de voorbereiding is gezocht naar voldoende geschikte woningen en bewoners die willen meewerken aan het onderzoek. Van deze woningen zijn relevante kenmerken verzameld en er is meetapparatuur geïnstalleerd (Cloudia's) dan wel een koppeling gelegd met reeds aanwezige apparatuur (BeNext).

In de hierna volgende hoofdstukken wordt ingegaan op vragen rondom comfort, energie en vermogen. In die hoofdstukken wordt de methode van data-acquisitie zoals toegepast in dit onderzoek nader toegelicht.

3.1 Inventarisatie woningen en bewoners

Parallel aan het formuleren van de onderzoeksvragen en het opzetten van het meetplan is gezocht naar voldoende geschikte woningen met een voldoende spreiding over verschillende typologieën. In het vooronderzoek waren al zo'n 75 corporatiewoningen gevonden en zo'n 60 woningen via Thuisbaas. In het najaar van 2020 is ook gezocht via het eigen netwerk van RVO, TKI en onderzoekspartners TU Delft, Universiteit Utrecht, BDH en W/E adviseurs, corporaties, de klankbordgroep, de branchevereniging IG-infrarood en via social media.

Bij de inventarisatie merkten we grote bereidheid mee te werken aan het onderzoek bij corporaties en leveranciers. Veel partijen zijn zeer geïnteresseerd in de uitkomsten van dit onderzoek en werkten er daarom ook graag aan mee. Desondanks was het lastig om voldoende woningen te vinden. We hebben geen beeld kunnen krijgen van het totale aantal woningen met infraroodpanelen als hoofdverwarming en weten dus ook niet hoe groot de vijver is waarin we hebben gevist.

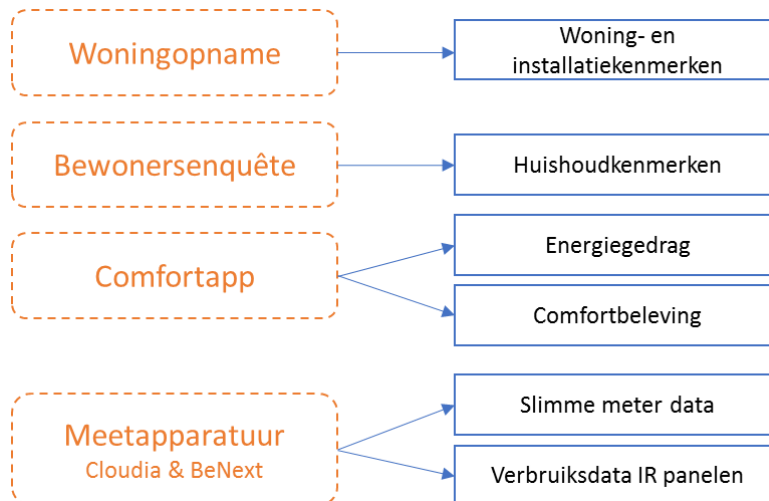
De studie heeft een focus op woningen die volledig met infraroodpanelen verwarmd worden. Het is echter ook denkbaar dat infraroodverwarming juist zinvol is alleen op een bovenverdieping die niet intensief gebruikt wordt.

De inventarisatiefase heeft 60 woningen opgeleverd, waarvan er 9 tussentijds om praktische redenen zijn afgehaakt (4 vanwege communicatie met bewoners via een tussenpersoon, 5 vanwege problemen met installeren van de meetapparatuur door de bewoners). Hoewel een monitoringsprogramma van 52 IR-woningen naar ons weten het grootste van Nederland is, is dat aantal niet groot genoeg om voor deelpopulaties van woningen en bewonersgroepen statistisch relevante conclusies te trekken.

3.2 Dataverzameling

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden is op vijf verschillende niveaus data verzameld: gebouwkenmerken, bewonerskenmerken, het elektriciteitsverbruik van de IR-panelen en van de woning, en de comfortbeleving van bewoners. Enkele deelnemende woningen zijn uitgerust met zonnepanelen, hier is bij de bewoners de productie van de panelen opgevraagd.

Elk van deze type meetgegevens wordt op een andere manier verkregen en verwerkt. Per hoofdstuk wordt de meetopzet besproken. Hier volgen de belangrijkste aandachtspunten.



Figuur 3.1. Schematische weergave gegevensbronnen (oranje) en gegevens (blauw).

Woningen en bewoners

Door beperkingen als gevolg van Corona is het niet mogelijk geweest om fysieke woningopnamen uit te voeren. Als alternatief is gebruik gemaakt van openbare bronnen en van kennis bij de bewoners, uitgevraagd tijdens een telefonisch interview en in enkele gevallen aangevuld met foto's en ander bewijsmateriaal.

Energie

Het installeren van meetapparatuur, hoewel voor de meeste deelnemers geen probleem, blijkt toch voor zo'n 35% van de deelnemers een te hoge drempel. Uiteindelijk is er van 34 woningen energiedata beschikbaar. Van de overige 17 woningen zijn wel gebouwgegevens, enquêteresultaten en comfortmetingen voorhanden. Dit heeft er voor gezorgd dat de woningen voor de analyses zijn verdeeld over verschillende clusters. Per cluster is een bepaalde set meetgegevens opgehaald en geanalyseerd. Woningen kunnen in meerdere clusters voorkomen. Zie daarvoor de volgende paragraaf.

Het elektriciteitsverbruik is op woningniveau gemeten door de P1-poort van de slimme meter uit te lezen. Uitlezen van P1 vereist een fysieke koppeling met een monitoringsapparaat. Hiervoor is gebruik gemaakt van een Cloudia óf de BeNext Gateway, deze systemen worden nader beschreven in paragraaf 6.1.

Op basis van de gedetailleerde meetgegevens in de tijd, ontstaat inzicht in verdeling van gelijktijdigheid van gebruik van IR-panelen en/of met andere elektrische apparaten. Dit levert waardevolle informatie ten aanzien van netbelasting voor eventuele toekomstige scenario's waarin veel IR-panelen figuren.

Ondanks dat de meetperiode liep van 1 januari 2021 tot en met 30 maart 2021 is er niet op alle dagen gemeten. Dat komt door storing en uitval. Met name de maand januari kent veel uitval, deels omdat sommige deelnemers de apparatuur pas later hebben geïnstalleerd (woningen met een Cloudia). Om de data over alle woningen te kunnen vergelijken is in de analyse gekeken naar februari en maart.

Comfort

De comfortapp (zie 5.1.2) is door 58 personen verspreid over 44 woningen ingevuld. Hiervoor is gebruik gemaakt van een bestaande app van de TU Delft, die is aangepast (uitgebreid) voor dit specifieke onderzoek.

Vermogen

Het opgenomen vermogen van de woning en van de IR-panelen is af te leiden uit de gegevens van de energiemetingen (Cloudia en BeNext).

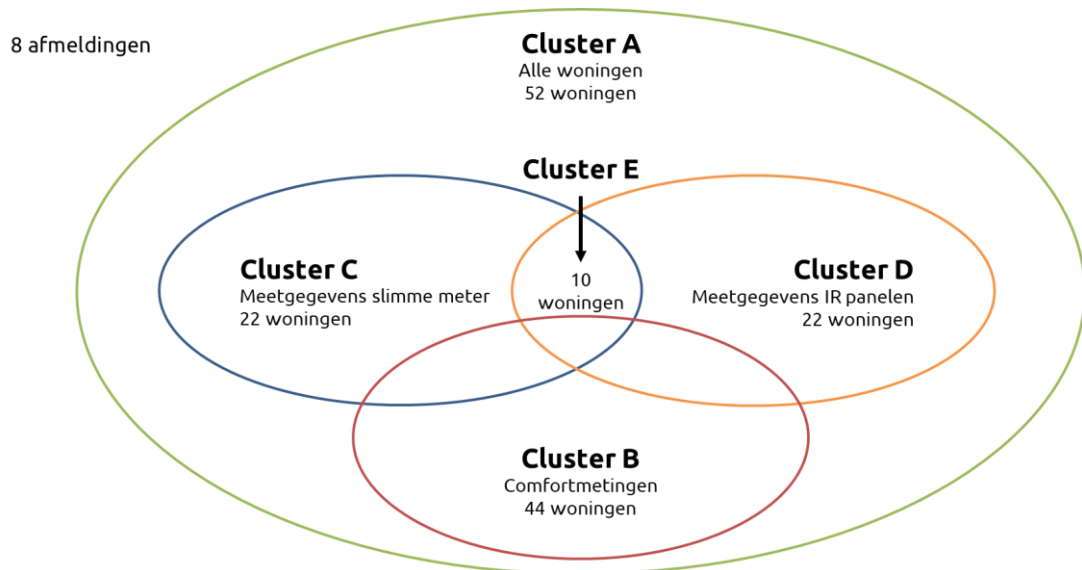
3.3 Clusterindeling

Door de verschillen in meetopstelling en meetapparatuur zijn de 52 woningen opgedeeld in meerdere clusters. Per cluster is een set meetgegevens opgehaald en geanalyseerd. Woningen kunnen in meerdere clusters voorkomen. Deelnemende woningen zijn ingedeeld in clusters A tot en met E. Het cluster geeft daarbij aan welke data van deze woningen voorhanden is.

Tabel 3.1. Clusterindeling deelnemende woningen.

Cluster	Aantal	Omschrijving	Beschikbare informatie
A	52	Alle deelnemende woningen	Woning- en installatiekenmerken, informatie uit bewonersenquête
B	44 (58)	Comfortmetingen	Woningen waarvan comfortmetingen beschikbaar zijn (aantal personen)
C	22	Meetgegevens slimme meter	Woningen met uitlezing van de slimme meter via Cloudia
D	22	Meetgegevens infraroodpanelen	Woningen met monitoring van infraroodpanelen via BeNext
E	10	Meetgegevens slimme meter en infraroodpanelen	Woningen met uitlezing van de slimme meter én monitoring infraroodpanelen

In Figuur 3.2 is de cluster indeling schematisch weergegeven. Belangrijk is de overlap tussen de verschillende clusters.



Figuur 3.2. Schematische weergave cluster indeling deelnemende woningen.

4 Algemene kenmerken

In dit hoofdstuk wordt een algemeen beeld geschetst van de woning-, installatie- en huishoudkenmerken. Een overzicht van alle deelnemende woningen en de belangrijkste kenmerken is opgenomen in de bijlage.

Waar mogelijk is een vergelijking gemaakt met de Nederlandse woningvoorraad of bevolking. Er zijn geen onderzoeken bekend naar de mate van voorkomen van infraroodverwarming als hoofdverwarming in Nederland. Het is daarom ook niet mogelijk om de woningen uit dit onderzoek te vergelijken met 'alle' infraroodwoningen in Nederland. Ook kunnen we daarom niet aangeven in welke mate dit onderzoek representatief is voor 'alle' infraroodwoningen.

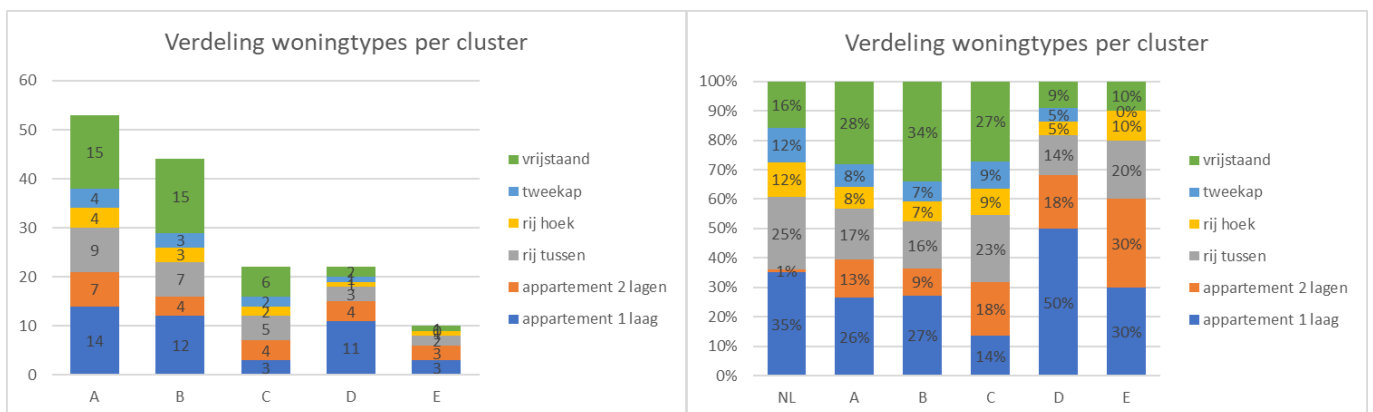
4.1 Woningen

Woningtype

De eerste figuur geeft aan welke woningtypes voorkomen, geordend naar de vijf verschillende clusters die gebruikt zijn voor de verdere analyses.

In Nederland¹¹ bestaat ruim 64% van de woningvoorraad uit eengezinswoningen, bijna 36% uit meergezinswoningen (waaronder appartementen, galerijwoningen, maar ook woningen met bedrijfsruimten). De verdeling eengezins- en meergezinswoningen in cluster A komt redelijk in de buurt van de verdeling voor heel Nederland (verdeling woningtypes overgenomen uit de inschatting van voorlopige vereenvoudigde energielabels door RVO). Opvallend is dat er relatief veel 2-laags appartementen (maisonnettes) voorkomen in dit onderzoek. Ook het aandeel vrijstaande woningen is iets groter, het aandeel rijtussenwoningen juist wat kleiner.

Zeker bij de clusters D en E is de verdeling echt anders dan voor heel Nederland, met een forse oververtegenwoordiging van appartementen, vooral die met meer dan één woonlaag.



Figuur 4.1. Verdeling woningtypes per cluster

Cluster A: Alle woningen. Cluster B: comfortmetingen. Cluster C: Slimme meter. Cluster D: IR-panelen. Cluster E: Slimme meter en IR-panelen.

¹¹ Woningvoorraad naar bouwjaar en woningtype 2020, <https://www.clo.nl/indicatoren/nl2166-woningvoorraad-naar-bouwjaar-en-woningtype>

Bouwjaar

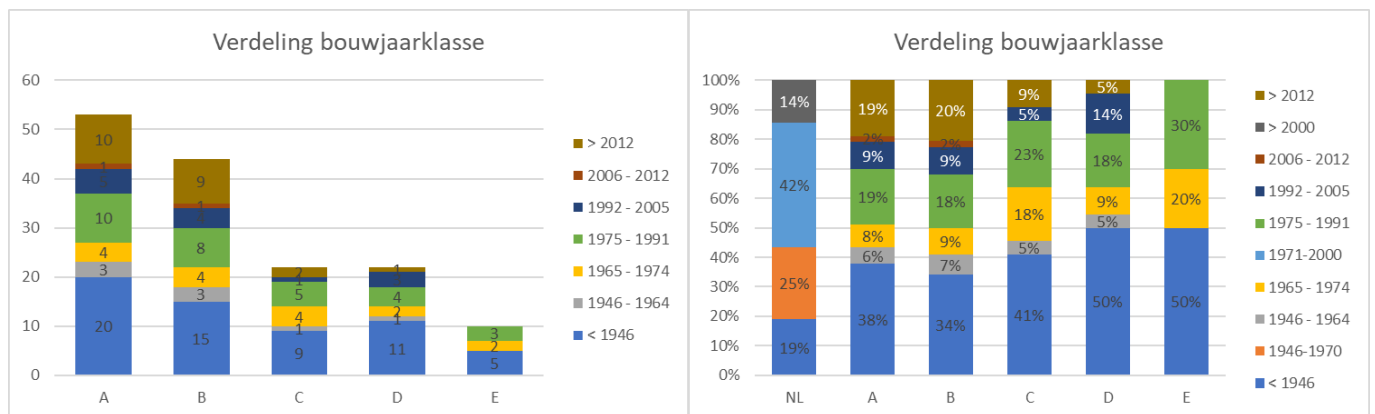
In Figuur 4.2 is verdeling naar bouwjaarklasse weergegeven. Een derde van de woningen in dit onderzoek is van voor 1945. De helft is gebouwd na 1975 en een kwart zelfs na 2014.

In Nederland is 19% van alle woningen gebouwd vóór 1945. Onder eigen woningen is vertegenwoordiging van vooroorlogse woningen met 20,3% groter dan onder huurwoningen (16,5%).

Van de eigen woningen is het grootste deel (29,4%) gebouwd in de periode 1965-1984. Dit geldt in sterkere mate ook voor huurwoningen. Eén derde van dit woningtype dateert uit de periode 1965-1984 (33,3%).

Op 1 januari 2019 had 10,8% van de eigen woningen als bouwjaar 2005 of later. Voor huurwoningen geldt dat 12,4% een bouwjaar van 2005 of later had. Opvallend is dat onder alle meergezinswoningen in het aandeel woningen in deze bouwjaarklasse (15,6%) veel hoger ligt dan bij de eengezinswoningen (9,3%).

Het aandeel oude woningen is ook opvallend: De verwachting is dat IR-panelen vooral worden toegepast in goed geïsoleerde, kleine woningen. Het grote aandeel woningen van voor 1946 komt mogelijk doordat gezocht is onder deelnemers van een actie van Urgenda/Thuisbaas, die zich juist geconcentreerd heeft op bestaande woningen in Amsterdam.



Figuur 4.2. Verdeling bouwjaarklasse per cluster.

Cluster A: Alle woningen. Cluster B: comfortmetingen. Cluster C: Slimme meter. Cluster D: IR-panelen. Cluster E: Slimme meter en IR-panelen.

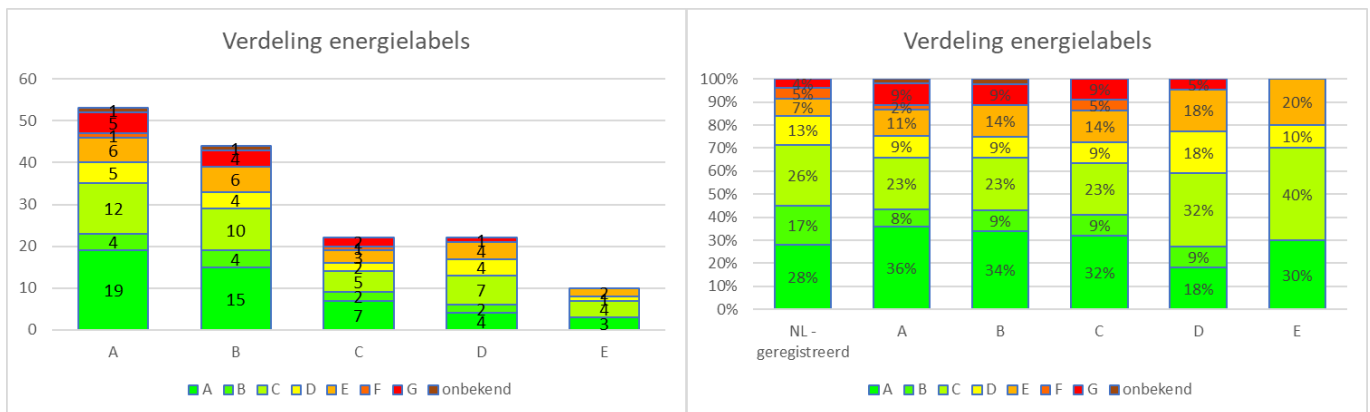
Energie label

Er zijn 12 woningen met een A label (24%). Dit zijn vooral de woningen gebouwd na 2014. Van 26 woningen is geen geregistreerd energielabel bekend en is door W/E een inschatting gemaakt met behulp van de methode van het vereenvoudigd energielabel.

Per 1 januari 2020 waren bijna 3,8 miljoen woningen voorzien van een geldig energielabel¹². Circa 22% van de woningen heeft een A label, 17% een B label. Energielabel C komt het vaakst voor (28%).

Het hoogste percentage woningen met label A en B vindt men in de categorie 'flatwoningen en appartementen' (A en B samen 42%). Ook bij twee onder één kap- en tussenwoningen is dit percentage hoog (beide 40%). Bij vrijstaande woningen treft men relatief veel 'rode' labels aan (E, F en G samen 32%). Hoek- en tussenwoningen zijn relatief gezien vaak middenmoters (C en D samen, 48 respectievelijk 47%).

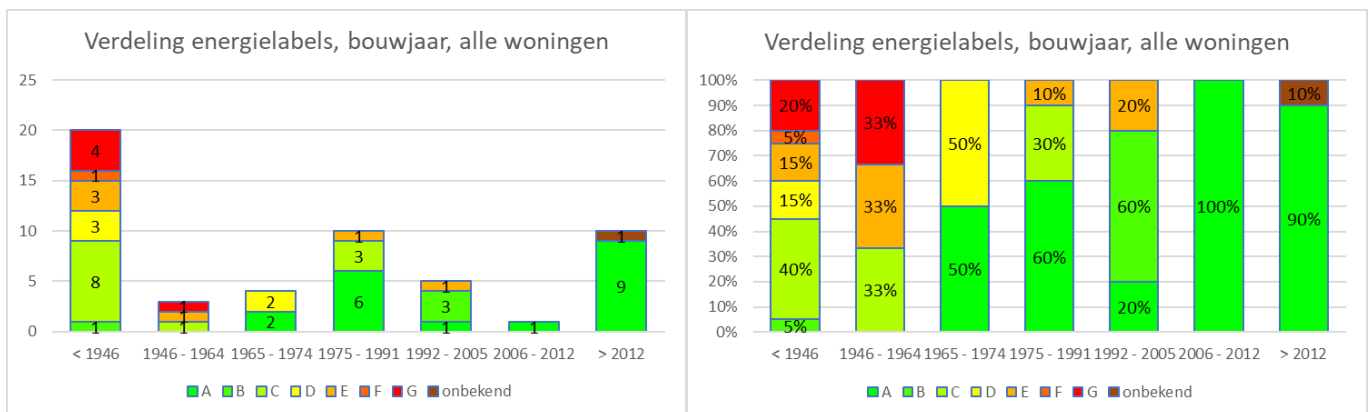
¹² Energie labels van woningen, [https://www.clo.nl/indicatoren/nl0556-energielabels-woningen#:~:text=Per%201%20januari%202020%20waren,het%20vaakst%20voor%20\(28%25\)](https://www.clo.nl/indicatoren/nl0556-energielabels-woningen#:~:text=Per%201%20januari%202020%20waren,het%20vaakst%20voor%20(28%25))



Figuur 4.3. Verdeling energielabels per cluster.
 Cluster A: Alle woningen. Cluster B: comfortmetingen. Cluster C: Slimme meter.
 Cluster D: IR-panelen. Cluster E: Slimme meter en IR-panelen.

Energielabel en bouwjaar

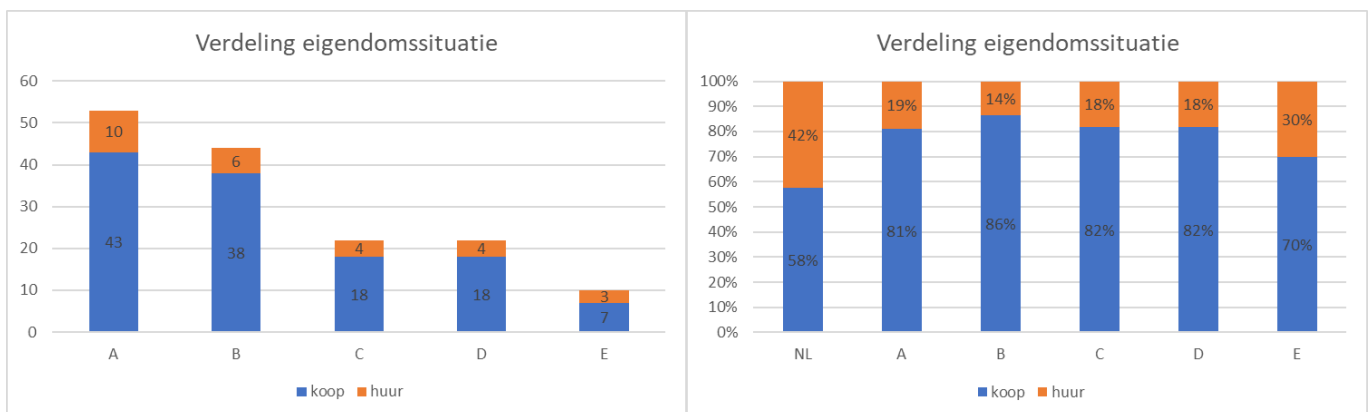
Voor de woning in cluster A (alle 53 deelnemende woningen) is ook de onderverdeling van energielabel en bouwjaarklasse gecombineerd. Te zien is dat de goede labels vooral voorkomen bij de latere bouwjaren.



Figuur 4.4. Verdeling energielabels per bouwjaarklasse voor alle woningen (cluster A).

Eigendomssituatie

Iets meer dan tachtig procent van de deelnemende woningen betreft een koopwoning. Dat is een ruim meer dan gemiddeld voor Nederland waar ongeveer 60% van de woningen in eigen bezit is.



Figuur 4.5. Verdeling eigendomssituatie per cluster.
 Cluster A: Alle woningen. Cluster B: comfortmetingen. Cluster C: Slimme meter.
 Cluster D: IR-panelen. Cluster E: Slimme meter en IR-panelen.



4.2 Bewoners, huishoudens

Huishouden

De omvang van het huishouden wordt gezien als een belangrijk kenmerk met betrekking tot het elektriciteitsverbruik in een woning. Verschillende studies^{13 14} vonden een vrijwel lineair verband tussen de grootte van het huishouden en het elektriciteitsverbruik.

15 van de 18 eenpersoonshuishoudens wonen in een appartement. 18 huishoudens bestaan uit twee personen en 15 huishoudens uit meer dan 2 personen. Gemiddeld is het aantal bewoners 2,08, iets minder dan het Nederlandse gemiddelde van 2,13.

Tabel 4.1. Aantal personen in het huishouden (Cluster A, alle woningen, N=51).

Woningtype	1	2	3	4	5 of meer	Eindtotaal
2 onder 1 kap		2		2		4
Appartement	15	5	1			21
Rijwoning	2	6	1	4		13
Vrijstaand	1	6	6	1		14
Eindtotaal	18	19	8	7	0	52
Totaal	35%	37%	15%	13%	0%	100%
Nederland	39%	33%	12%	12%	5%	100%

Aanwezigheid

Infraroodpanelen verwarmen vooral objectoppervlaktes en zorgen daarmee voor een indirecte en relatief kleine stijging in ruimtetemperatuur. Daarom zijn infraroodpanelen in de meeste gevallen bij afwezigheid van personen in een woning uitgeschakeld.

Door de situatie met het Coronavirus is een ander patroon ontstaan dan vóór de pandemie. Voor alle dagdelen doordeweeks geldt dat de bewoners in de situatie met het Coronavirus vaker thuis zijn dan voorheen.

De deelnemers zijn gemiddeld genomen in beide situaties het vaakst aanwezig in het begin van de ochtend. In de late ochtend en het begin van de middag zijn de deelnemers het minst vaak aanwezig (Tabel 4.2).

Er is niet gevraagd of de deelnemers al een idee hebben hoe de aanwezigheid thuis er ná de pandemie uit zal zien.

Tabel 4.2. Gemiddeld aantal aanwezige personen doordeweeks tijdens een normale situatie en Corona.

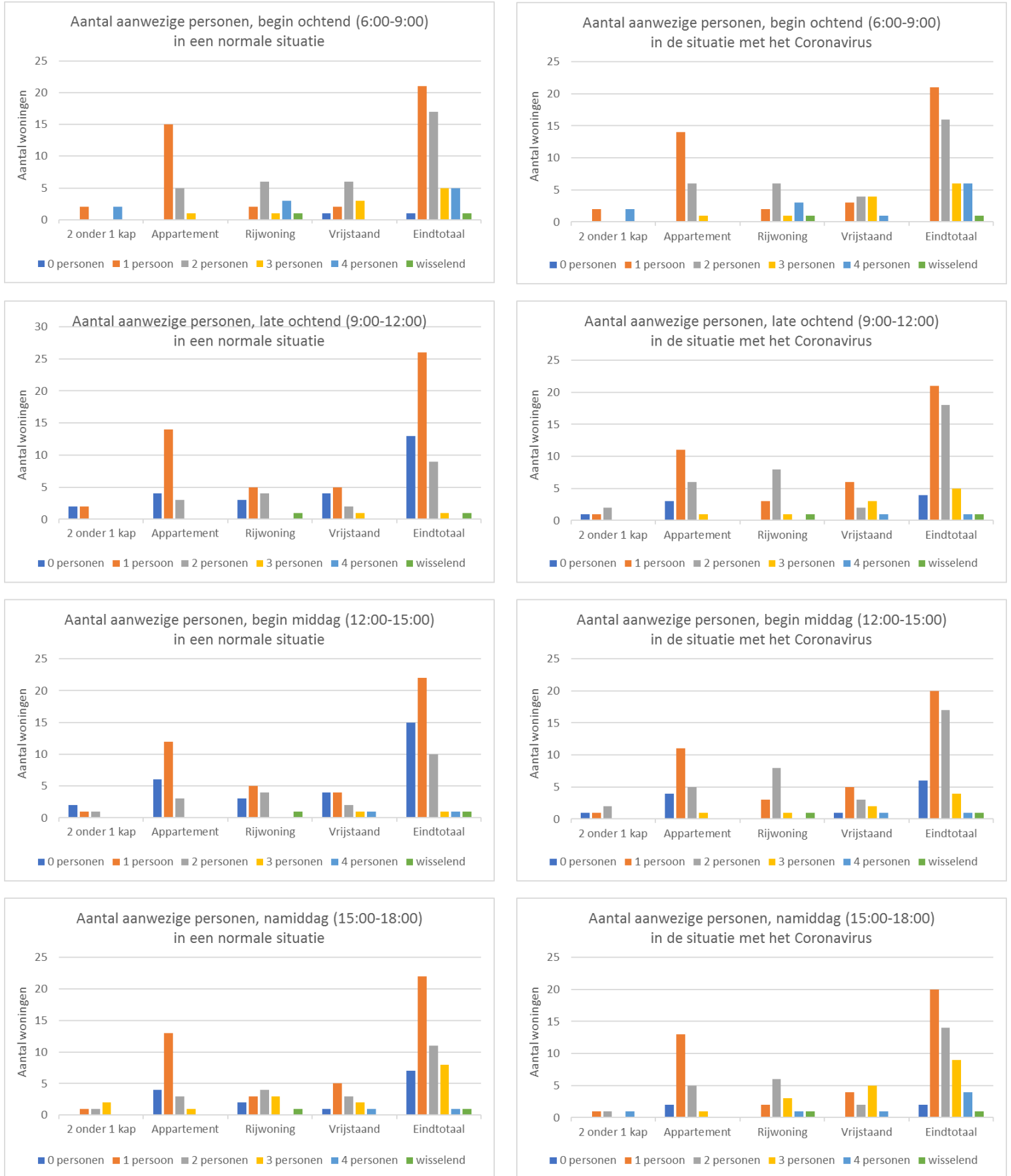
Dagdeel	Normale situatie	Coronavirus
Begin ochtend (6:00-9:00)	1,84	1,94
Late ochtend (9:00-12:00)	0,96	1,55
Begin middag (12:00-15:00)	1,00	1,46
Namiddag (15:00-18:00)	1,47	1,86

Het aantal aanwezige personen per woningtype is voor beide situaties weergegeven in Figuur 4.6.

In het onderzoek is niet gevraagd naar aanwezigheid 's avonds en in het weekend. Voor een goede inschatting van het verbruik van de woningen/IR-panelen versus aanwezigheid is dat inzicht wel nodig.

¹³ ECN/RIGO, 2013, Energiebesparing: Een samenspel van woning en bewoner-analyse van de module Energie WoON 2012

¹⁴ Woononderzoek Nederland 2018, Energiemodule



Figuur 4.6. Aantal aanwezige personen per dagdeel in een normale situatie (links) en de situatie met het Coronavirus (rechts).

4.3 Installaties

De woningen in het onderzoek hebben alle infraroodpanelen als hoofdverwarming. Een deel van de woningen heeft nog een tweede installatie voor bijverwarming. Daarnaast hebben alle woningen een installatie voor warm tapwater, de infraroodpanelen kunnen daar immers niet in voorzien. Er is niet gevraagd naar een eventueel toestel voor koeling (een functie waarin warmtepompen wel kunnen voorzien, maar IR-panelen niet). In deze paragraaf geven we algemene kenmerken van de installaties.

4.3.1 Infraroodpanelen

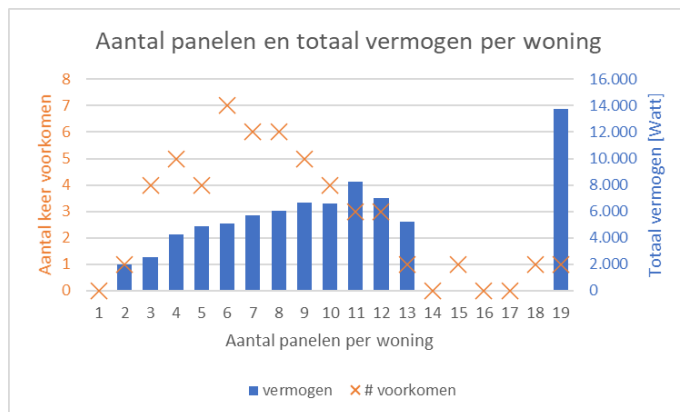
Informatie over de panelen is via enquête en telefonisch interview opgehaald bij de bewoners. Daarbij is ook gevraagd naar merk/type paneel. Die informatie bleek bij veel van de bewoners echter niet beschikbaar of niet bekend. We kunnen daarom geen uitspraken doen over aspecten die gerelateerd zijn aan het type, zoals bijvoorbeeld de onderliggende techniek, de temperatuur of de uitstralingshoek van de panelen.

Aantallen en vermogen

De woning in het onderzoek (cluster A) hebben gemiddeld bijna 8 panelen per woning. Het totaal vermogen van deze panelen is gemiddeld 5.700 Watt. 80% van de woningen heeft tussen de 3 en 10 panelen, met een totaal vermogen tussen 2.500 en 6.600 Watt/woning.

“Ik heb ze ook hangen in de hal en badkamer, maar die gaan eigenlijk nooit aan. Op de slaapkamers hangt niets.”

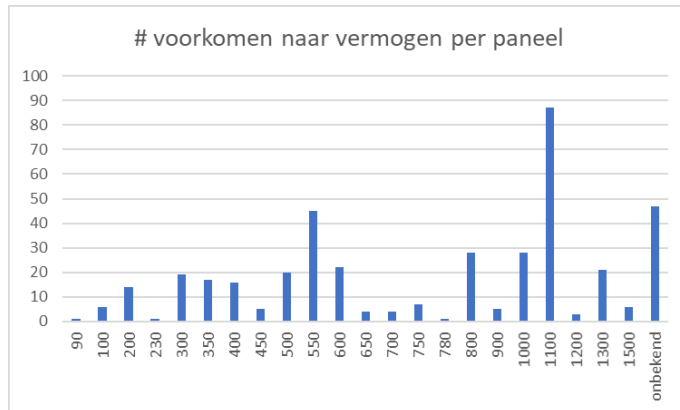
De woning met 19 panelen is grote vrijstaande woning van bijna 200 m². Het is nog niet de grootste woning uit het onderzoek.



Figuur 4.7. Verdeling aantal panelen en totaal vermogen per woning.

Cluster A: Alle woningen. Niet van alle woningen is het vermogen per paneel bekend.

Van 390 panelen is bekend welk vermogen ze hebben. En van 423 panelen (grotendeels overlappend, maar niet helemaal) is bekend in welke ruimte ze zijn opgesteld. Als we inzoomen op de vermogens per paneel en per ruimte, zien we grote verschillen. Het vermogen per paneel varieert van 90 Watt tot 1.500 Watt. Bepaalde formaten zoals 550/800/1.000/1.100 Watt komen relatief vaak voor.



Figuur 4.8. *Verdeling vermogen per paneel.*
Cluster A: Alle woningen. Niet van alle panelen is het vermogen bekend.

Van de 376 panelen waarvan de locatie én vermogen bekend is, is gekeken naar het vermogen per paneel per ruimte, en het vermogen per ruimte. De omschrijving van de verschillende ruimten in een woning is niet altijd gelijk. Niet alle ruimten komen voor in elke woningen, en niet zijn altijd alle ruimten verwarmd. Van 48 woningen is van de panelen bekend waar ze zijn opgesteld en wat het vermogen is.

Uit Tabel 4.3 is zo bijvoorbeeld af te lezen dat in 39 (van de 48) woningen minimaal één slaapkamer wordt verwarmd, met gemiddeld 2,0 panelen met een gecombineerd vermogen van 1.463 Watt. Ook is te zien dat er variatie is in het aantal panelen per ruimte (gemiddeld ca 3 in de woonkamer, maar 1 in de badkamer/douche) en de grootte van de panelen die in een specifieke ruimte worden toegepast (200 W op het toilet, 1.000 W in een werkkamer). Als er meer dan één soort ruimte per woning is (typisch een slaapkamer), dan zijn deze in de tabel gegroepeerd. Volgens de tabel staan er dus 2,0 panelen gemiddeld 'in een slaapkamer' in een woning. Dat is niet het zelfde als 2,0 panelen per slaapkamer.

Er is bij de telefonische interviews niet op gelet / niet gevraagd of er ruimten zijn die *niet* verwarmd worden. Wel is bekend dat alle deelnemers infraroodverwarming in de woonkamer/keuken hebben (soms is dit één ruimte). Niet iedere deelnemer heeft panelen in de hal/gang, badkamer. Ook zijn niet altijd alle slaapkamers/werkkamers verwarmd.

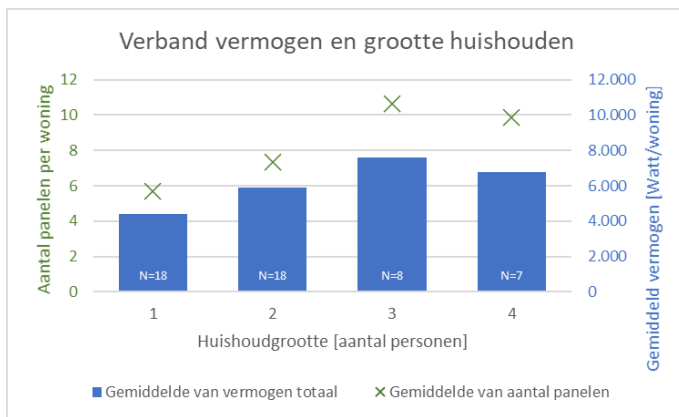
Tabel 4.3 *Verdeling panelen over ruimten in de woning, met vermogen per paneel en per ruimte.*
Berging en kelder staan in deze tabel omdat er 3 woningen zijn die (één van deze ruimten verwarmen. Van die panelen is echter het vermogen niet bekend.

Ruimte	# ruimten	# panelen	Gemiddeld per paneel	Gemiddeld per ruimte
woonkamer	42	2,8	819	2.262
woonkamer/keuken	7	3,0	871	2.614
keuken	25	1,2	834	1.034
bijkeuken	3	1,0	517	517
slaapkamer	41	2,1	689	1.478
studeerkamer	10	1,2	913	1.095
werkkamer	4	1,5	1.067	1.600
badkamer	31	1,0	599	599
douche	4	1,0	463	463
toilet	3	1,3	208	277
gang	12	1,3	577	721
hal	20	1,1	541	595

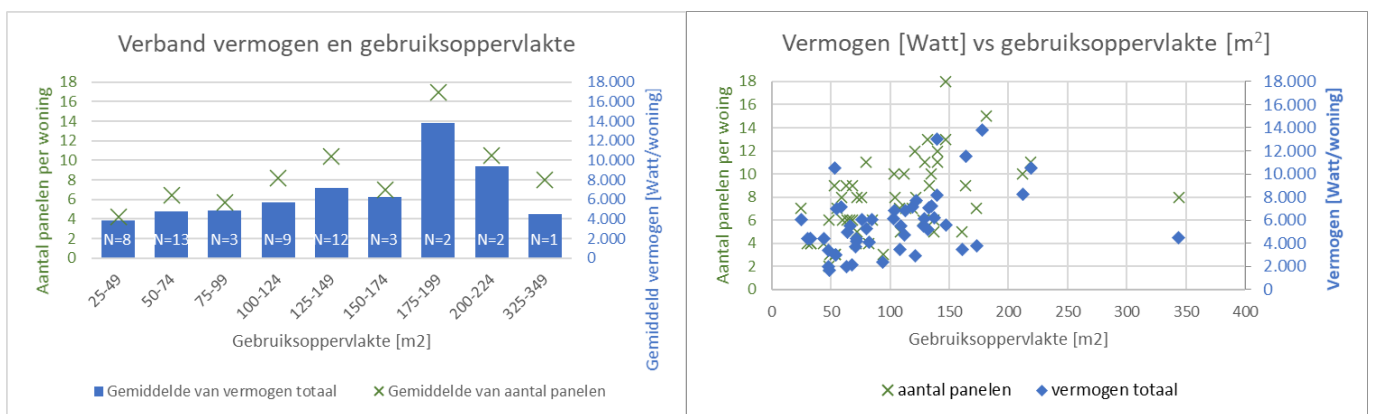


Ruimte	# ruimten	# panelen	Gemiddeld per paneel	Gemiddeld per ruimte
berging	1	1,0	200	200
zolder	9	1,7	720	1.200
serre	1	3,0	350	1.050
bijzetpaneel	3	1,3	360	480
onbekend	3	4,7	1.086	5.067
Totaal	51	7,6	741	5.669

Er is enig verband te zien tussen huishoudgrootte en het opgesteld vermogen. De verwachting is dat meer personen leidt tot een grotere verwarmde oppervlakte, meer IR-panelen en een groter vermogen. Voor 1 tot 3 personen per huishouden is die trend te zien, maar voor de grotere huishoudens (4 personen) gaat dat echter niet op. Het zelfde geldt voor het verband met de woninggrootte, uitgedrukt in gebruiksoppervlakte. Ook hier is een lichte stijging te zien bij grotere woningen, maar erg significant is deze niet. Merk op dat bij de grotere woningen het aantal (N) zeer klein is. Een enkele woning bepaalt dus het gemiddelde voor een categorie.

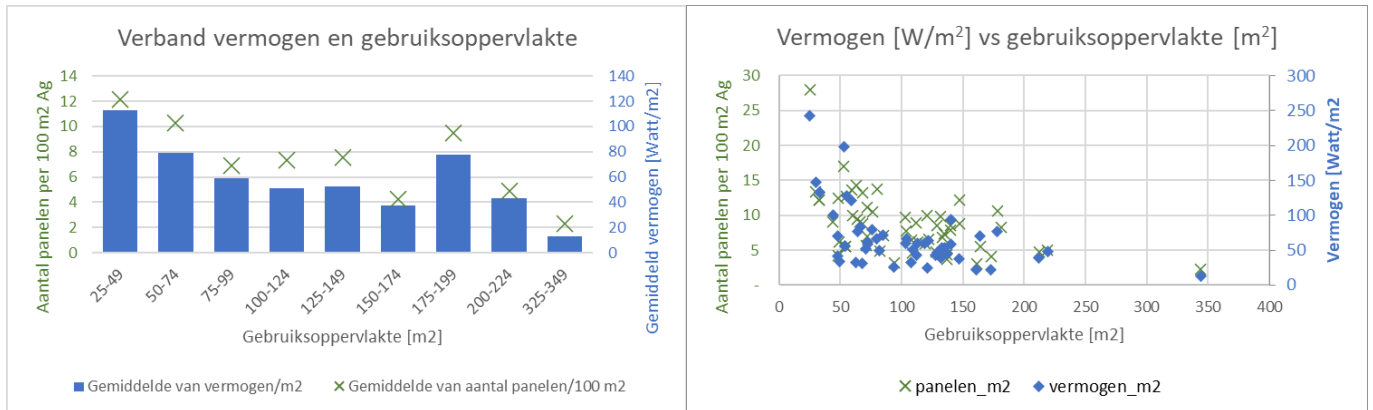


Figuur 4.9. Gemiddeld aantal panelen en opgesteld vermogen, naar huishoudgrootte. Cluster A: Alle woningen. Niet van alle panelen is het vermogen bekend.



Figuur 4.10. Gemiddeld aantal panelen en opgesteld vermogen, naar gebruiksoppervlakte. Cluster A: Alle woningen. Niet van alle panelen is het vermogen bekend.

De volgende figuren geven het verband weer tussen gebruiksoppervlakte en het aantal panelen per 100 m² gebruiksoppervlakte en het vermogen per m² gebruiksoppervlakte. Te zien is dat grotere woningen in de regel een lager vermogen per m² hebben en ook minder panelen per m².



Figuur 4.11. Gemiddeld aantal panelen en opgesteld vermogen, naar gebruiksoppervlakte.

Cluster A: Alle woningen. Niet van alle panelen is het vermogen bekend.

Regeling

Een derde van alle deelnemers regelt de verwarming met een handmatige thermostaat, terwijl ruim de helft van de deelnemers de ruimtetemperatuur instelt met slimme technologie: 31% met BeNext of een overige applicatie, 27% met een programmeerbare thermostaat. Enkele deelnemers regelen de temperatuur met knoppen op de verwarming. Een centrale thermostaat of aansturing via een app kan zowel sturing op luchttemperatuur betekenen als sturing op vermogen van de panelen. Bij een eventueel vervolgonderzoek moet daar expliciet naar gevraagd worden.

De meeste regeling gaan op luchttemperatuur. Via BeNext is het ook mogelijk om het vermogen van het paneel naar beneden bij te stellen. Effectief betekent dit dat het paneel hoogfrequent aan/uit gaat waardoor het maximale vermogen slechts een deel van de tijd geleverd wordt. Gevolg is dat de temperatuur van het paneel daalt. Dat kan (positieve en negatieve) gevolgen hebben voor het ervaren comfort.

Gemiddeld stellen bewoners de temperatuur in op 16,5 graden tijdens afwezigheid of gedurende de nacht. Bij aanwezigheid is dit gemiddeld 20 graden.

“Wij werken niet met de thermostaat, maar doen alles handmatig - als we het koud hebben zetten we de panelen aan en als we het warm hebben uit. We verwarmen alleen de ruimte waar we zijn.”

Tabel 4.4 Overzicht type regeling met mate van voorkomen

Type regeling	Aantal woningen	Aandeel woningen
Een handmatige thermostaat	20	38%
Via BeNext of een overige applicatie	16	31%
Een programmeerbare, klok- of slimme thermostaat	12	23%
Knoppen op de verwarming	3	6%
Onbekend	1	2%
Totaal	52	100%

De regeling is 21x per paneel (40%), 29x per ruimte (55%) en 3x per woning (5%). Waarbij moet worden opgemerkt dat er vaak 1 paneel per ruimte is geïnstalleerd zodat dat verschil niet zo relevant is.



4.3.2 Ruimteverwarming (bijverwarming)

Van de 52 woningen zijn er 12 die een aanvullend toestel voor ruimteverwarming hebben. Eén woning heeft elektrische vloerverwarming zonder overige panelen op de begane grond. Ketel/kachel wordt vaak aanvullend gebruikt bij de echt koude dagen.

Toestel aanvullende ruimteverwarming	aantal
Elektrische vloerverwarming	2
Elektrische kachel	1
Gaskachel	3
Individuele CV-ketel, in of na 1998	3
Houtkachel	3
Pelletkachel	2
Totaal	14

4.3.3 Tapwater

“Wij verwarmen onze gasloze woonark met infrarood panelen. Voor warm water hebben we een warmtepomp die ventilatiewarmte uit het huis gebruikt voor opwarming van het water in een opslagvat van 260 liter.” – Woningeigenaar (V) / vrijstaande woning (140 m²)

Een kwart van de woningen verwarmt de woning bij met een hout-, gas- of pelletkachel of met een ander type elektrische verwarming (elektrische kachel of elektrische vloerverwarming).

Zo'n 14% maakt nog gebruik van een CV-ketel voor het verwarmen van tapwater. Een ruime meerderheid (69%) verwarmt het tapwater met een doorstroomer of elektrische boiler. Een enkeling gebruikt hiervoor een warmtepompboiler of zonneboiler (Tabel 4.5).

Tabel 4.5. Warmtapwatervoorziening cluster A (alle woningen, N=52).

Warmtapwater voorziening	Aantal	Aandeel
Elektrische boiler	19	37%
Elektrisch doorstroomapparaat	14	27%
Kokend waterkraan	1	2%
Individuele CV-ketel	7	14%
Warmtebatterij	1	2%
Warmtepomp	5	10%
Warmtepompboiler	2	4%
Zonneboiler	1	2%
Onbekend	2	4%
Totaal	52	100%

Warm tapwater in all-electric woningen

De deelnemende woningen verwarmen op verschillende manieren het warmtapwater. Omdat infraroodpanelen alleen kunnen zorgen voor ruimteverwarming en niet voor warm water is hier een aparte voorziening voor nodig.

- Doorstroomboiler of instant heater: Een elektrische doorstroomboiler of instant heater verwarmt water door middel van een elektrisch verwarmingselement. Voordeel is dat er geen opslag(verlies) en geen distributie(verlies) is van warm water en dat het water vrijwel direct op temperatuur is.



- Elektrische boiler: Een reguliere elektrische boiler is een opslagvat voor warm water (van typisch 10 liter voor de keuken, en 80 tot 200 liter voor een badkamer) waarin water elektrisch wordt opgewarmd en op temperatuur wordt gehouden. Ook heetwaterkranen zijn varianten op een elektrische boiler, die vaak wel beter geïsoleerd zijn.
- Warmtepompboiler: De warmtepompboiler is een speciaal type warmtepomp dat gebruik maakt van de ventilatielucht in de woning om tapwater op te warmen.
- Zonnecollector: Een zonnecollector bestaat uit collectoren die op het dak, de gevel of in de tuin geplaatst wordt en een voorraadvat. De zonnecollectoren vangen de warmte van de zon op en zetten die om in warm water dat via een voorraadvat gebruikt kan worden voor tapwater of als voorverwarming voor centrale verwarming.

Ten minste 37% van de woningen wordt mechanisch geventileerd. Acht woningen zijn uitgerust met gebalanceerde ventilatie en 11 woningen worden natuurlijk geventileerd. Van 18 woningen is onbekend over welk ventilatiesysteem de woning beschikt. Dit heeft te maken met de woningopname op afstand waarbij een groot deel van de betrokkenen geen onderscheid kon maken tussen de verschillende systemen.

Tot slot beschikt 60% van de woningen over zonnepanelen, met een vermogen tussen 0,3 en 18 kWp. Op één na beschikken alle vrijstaande en twee-onder-één kap woningen over zonnepanelen. Bij rijwoningen is dat meer dan de helft en bij appartementen minder dan een kwart.

4.4 Conclusies & aanbevelingen

We hebben geen beeld kunnen krijgen van het totale aantal woningen met infraroodpanelen als hoofdverwarming en weten dus ook niet hoe groot de vijver is waarin we hebben gevist. We weten dus ook niet in hoeverre dit onderzoek representatief is voor alle (IR-)woningen in Nederland.

Het geïnstalleerd vermogen aan IR-panelen is vrij groot, met gemiddeld 5,7 kW per woning. De meeste woningen verdelen dat over 3 tot 10 panelen, met een vermogen van 2,5 tot 6,6 kW per woning.

Een gemiddeld paneel is 750 Watt, groter in werkkamers, kleiner in badkamer, toilet.

Regeling van de IR-panelen gebeurt meestal met een kamerthermostaat op luchttemperatuur.

Door corona zijn mensen overdag vaker thuis (overdag door de week gemiddeld halve persoon extra). Dat heeft effect op de geregistreerde energiegebruiken zoals beschreven in hoofdstuk 6. Het effect op de maximale vermogens in hoofdstuk 0 zal beperkt zijn.

Tapwater wordt meestal elektrisch opgelost, met een elektrische boiler of een elektrisch doorstroomapparaat.

Veel woningen zijn uitgerust met (veel) zonnepanelen (gemiddeld 3,8 kWp per woning die beschikt over zonnepanelen).

Aanbevelingen voor een vervolgonderzoek

- Navragen welke ruimten expliciet niet verwarmd worden.
- Navragen leeftijdsopbouw huishoudens.
- Navragen aanwezigheid 's avonds en in het weekend.
- Navragen eventueel toestel voor koeling
- Toestemming vragen van gebruikers om data van geregistreerde energielabels te gebruiken (beschikbaar via labeldatabase van RVO). Dat geeft een betere beeld van de thermische schil van de woningen dan het energielabel (wegens veel zon-pv) en van de verliesoppervlakte (nu een benadering op basis van woningtype en gebruiksoppervlakte).

5 Comfort

Centrale vraagstelling in dit hoofdstuk is ‘Wat zijn de voor- en nadelen van infraroodverwarming, wat is de invloed op het ervaren comfort (bijvoorbeeld stralingsasymmetrie)?’

Het ervaren comfort wordt hier uitgedrukt op basis van een 7-puntsschaal, waarbij de middelste keuze neutraal is en het comfort als prettig wordt ervaren. Alles daarboven (te warm) en daaronder (te koud) wordt geïnterpreteerd als discomfort. Deze 7-puntsschaal sluit aan bij de behaaglijkheidstheorie van Fanger. Een nadere toelichting op de gehanteerde methode is te vinden in de bijlagen.

In dit hoofdstuk beschrijven we hoe de gegevens voor de analyses verzameld en geïnterpreteerd zijn, en wat de kenmerken zijn van woningen/bewoners in dit cluster van woningen. Vervolgens wordt gekeken naar het **ervaren comfort** (7-puntsschaal) onder verschillende variaties:

- Overall beeld
- Buitentemperatuur
- Woningtype
- Energielabel
- Verliesoppervlakte
- Vermogen
- Ingestelde temperatuur
- Regeling
- Kleding en schoeisel
- Activiteiten

Daarna wordt gekeken naar de ervaren stralingsasymmetrie. We sluiten af met conclusies over het ervaren comfort.

5.1 Meetmethode / data-acquisitie

5.1.1 Enquête & interview

Het te installeren vermogen aan infraroodpanelen is naast woninggrootte en compartimentering van de woning ook sterk afhankelijk van huishoudenkenmerken, zoals het aantal bewoners, hun gedrag en wensen, en (de frequentie van) het gebruik van de ruimte. Een deel van de informatie voor dit onderzoek is daarom verkregen uit een schriftelijke enquête en een telefonisch interview met de deelnemers.

Bij het opstellen van de bewonersenquête is gekeken naar relevante vragen uit www.installatiemonitor.nl en WoON 2018¹⁵. We onderscheiden vier thema's: het huishouden, gedrag ten aanzien van verwarming, stralingsasymmetrie en overlast door vocht en schimmel in de woning. De vragenlijst is opgenomen als bijlage.

Interviews zijn wegens beperkingen door Corona telefonisch afgenomen in de periode december 2020 – januari 2021.

5.1.2 Comfortapp

Gedurende de meetcampagne (1 januari – 31 maart 2021) is naast objectieve meetdata ook subjectieve data verzameld. Voor het meten van comfort werd gebruik gemaakt van

¹⁵ Woononderzoek Nederland 2018, Energiemodule



een applicatie, zoals ook toegepast binnen het OPSCHALER¹⁶ project, waarin bewoners de thermische beleving van het binnenklimaat kunnen doorgeven.

Het ervaren comfort wordt gemeten op basis van een 7-puntsschaal, waarbij de middelste keuze neutraal is en het beleefde comfort als prettig wordt ervaren. Alles daarboven (te warm) en daaronder (te koud) wordt geïnterpreteerd als discomfort. Zie ook Bijlage 1.

De overige vragen die gesteld worden gaan over handelingen die van invloed kunnen zijn op het beleefde comfort:

- Waar de deelnemer het afgelopen half uur is geweest .
- Het ervaren comfortniveau en of de deelnemer het graag kouder of warmer zou willen hebben.
- Activiteiten die het afgelopen half uur zijn ondernomen die mogelijk het comfort kunnen beïnvloeden zoals het drinken van een warme of koude drank.
- Het activiteitsniveau van het afgelopen half uur.
- De manier waarop de deelnemer is gekleed.

Ten opzichte van eerdere toepassing van deze app in OPSCHALER zijn de volgende wijzigingen/toevoegingen doorgevoerd:

- Vraag naar schoeisel.
- In welke ruimte de deelnemer zich nu bevindt.
- Of de infraroodpanelen hier aan staan en op welke temperatuur die zijn ingesteld.

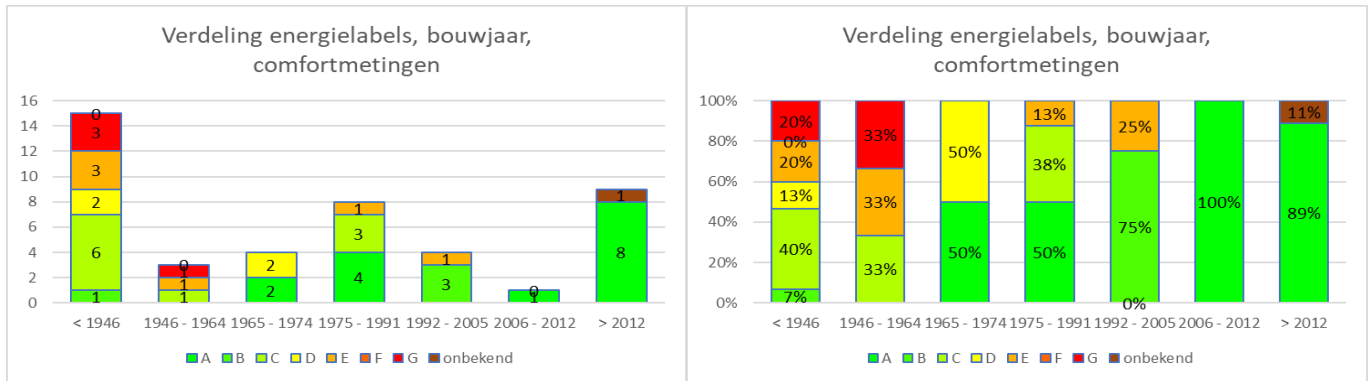
Met twee persoonsgebonden inlogcodes hebben bewoners gedurende de meetcampagne het ervaren comfort geregistreerd. De app registreert deze gegevens voorzien van een timestamp zodat uitkomsten kunnen worden gelinkt aan het elektriciteitsverbruik op dat moment. Per unieke code is daarnaast gevraagd naar het geslacht en de leeftijd.

5.2 Kenmerken woningen en bewoners

Voor het beantwoorden van de deelvraag over ervaren comfort, maken we gebruik van woningen uit cluster B. Dit cluster omvat de woningen waarin comfortmetingen zijn uitgevoerd. Dat zijn dus bewoners die gedurende de meetperiode op verschillende momenten via een app hebben aangegeven hoe ze het comfort in de woning hebben ervaren, in welke ruimte ze toen waren en welke activiteit werd verricht.

In de figuren in paragraaf 4.1 zijn verschillende relevante kenmerken van de woningen terug te vinden. De 44 woningen in dit cluster zijn qua woningtype, bouwjaarklasse en energielabel nagenoeg gelijk aan die in cluster A (alle woningen). Ten opzichte van Nederland zijn dus de maisonnettes (tweelaags appartementen) oververtegenwoordigd. Ook zijn er iets meer koopwoningen opgenomen dan in Nederland.

¹⁶ <https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/open-platform-voor-smart-data-in-combinatie-met-holistische-analyse-leidend-tot-energie-reductie-00024429> en <http://www.opschaler.nl/>

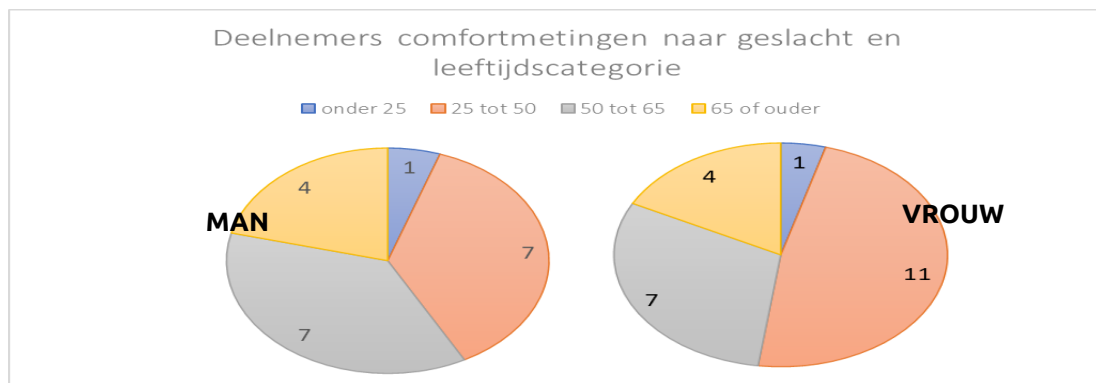


Figuur 5.1. Verdeling energielabels per bouwjaarklasse voor alle woningen (cluster B, comfortmetingen)

Let op: Veel woningen hebben (veel) zonnepanelen en scoren daardoor een gunstig energielabel. Het label is daarom geen goede indicator voor de kwaliteit van de thermische schil.

Er zijn in totaal 58 deelnemers verdeeld over 44 woningen. Van de 58 is van 42 deelnemers bekend of het om een man of vrouw gaat en in welke leeftijdscategorie zij zitten. Van de overige deelnemers heeft W/E deze informatie niet ontvangen.

Ruim driekwart van de deelnemers is tussen de 25 en 65 jaar oud. Iets meer dan de helft is vrouw.



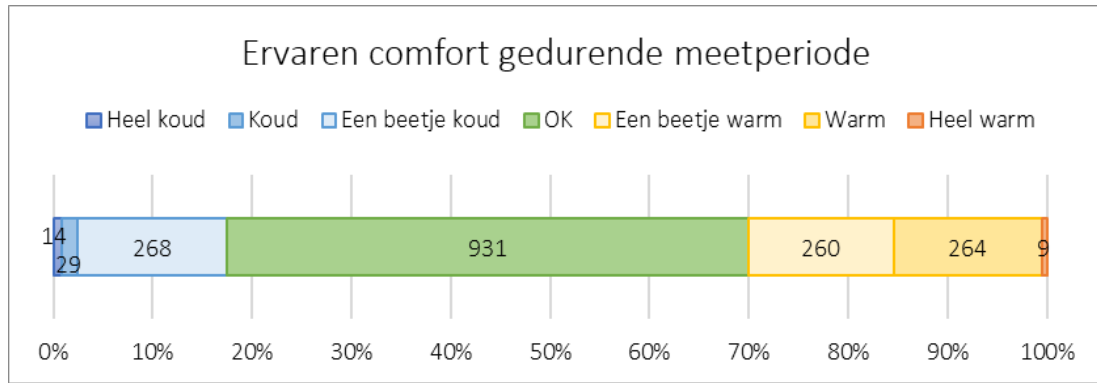
Figuur 5.2. Indeling deelnemers comfortmetingen naar geslacht en leeftijdscategorie (N=42). In totaal gebruikten 57 bewoners de comfortapp. Van 15 woningen is niet bekend wie hier gebruik van maakte.

5.3 Comfortbeleving

Overall

Over de gehele meetperiode (1 januari 2021-31 maart 2021) zijn bijna 1.800 registraties van het ervaren comfort gedaan door de deelnemers. Van 17 woningen zijn er minder dan 10 registraties, 10 woningen hebben er meer dan 80 en zijn zo samen goed voor zo'n 1.200 registraties.

Hoewel het lastig is om zonder controlemetingen in vergelijkbare woningen met een ander verwarmingssysteem (vooral ander afgiftesysteem zoals hoge temperatuur radiatoren of lage temperatuur vloerverwarming) een kwalitatieve uitspraak te doen over het ervaren comfort blijkt wel dat IR-panelen in de helft van de gevallen (52% van de registraties is 'OK', 15% 'een beetje warm en 15% 'een beetje koud) zorgen voor een behaaglijk binnenklimaat. Daarnaast is het vaker te warm (30% van de registraties) dan te koud (18%). De uiterste waarden ('heel warm' of 'heel koud') komen nauwelijks voor.



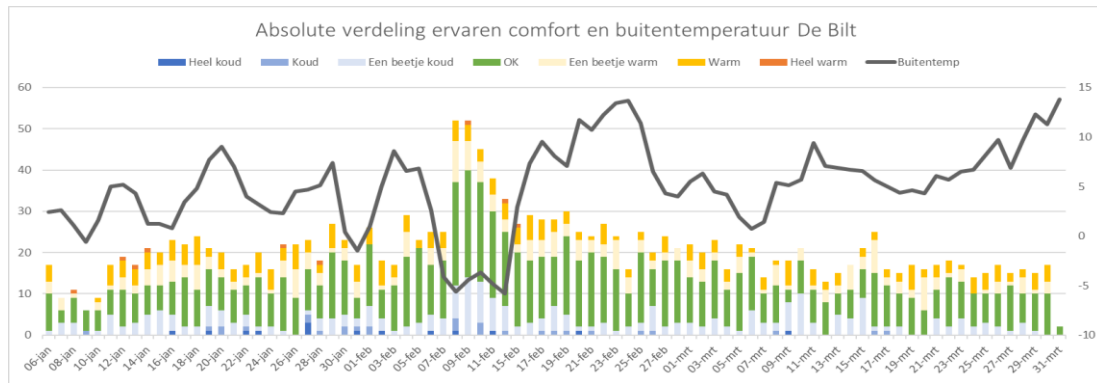
Figuur 5.3. Gemiddeld ervaren comfort over alle metingen (N=1.775).

De registraties zijn niet op willekeurige of juist voorgeschreven momenten uitgevoerd, maar op initiatief van de gebruiker. De deelnemers zijn wel in de erg koude week van 7-13 februari (buitentemperatuur gemiddeld -5 °C in De Bilt) een keer expliciet verzocht de comfortapp te gebruiken.

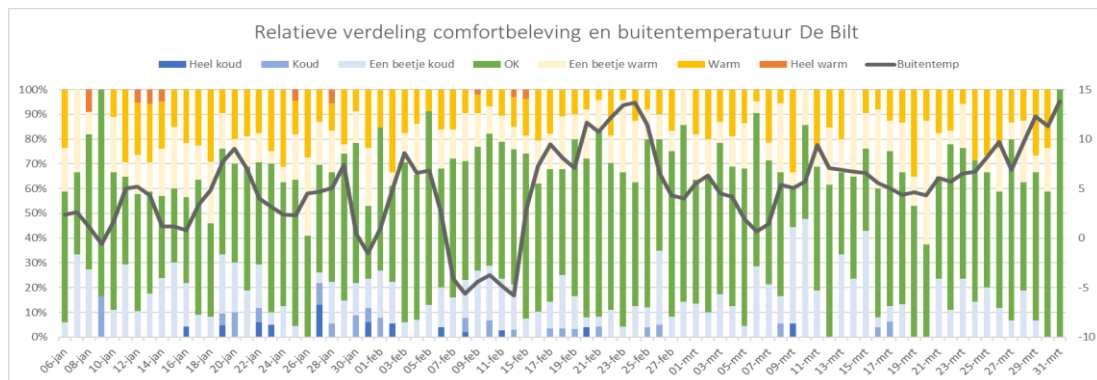
Onze inschatting is dat een registratie vaker zal zijn getriggerd door een situatie van discomfort dan in een behaaglijke situatie (goed nieuws is geen nieuws). We kunnen dit niet getalsmatig onderbouwen, maar we vermoeden dat het werkelijk ervaren comfort iets vaker in de 'groene zone' zit.

Comfortbeleving versus buitentemperatuur

In Figuur 5.4 zijn alle comfortmetingen gedurende de meetperiode per dag opgeteld. Te zien is dat gedurende de koude week in februari meer bewoners gebruik gemaakt hebben van de applicatie. Te zien is ook dat tijdens die koude week de thermische behaaglijkheid iets vaker dan gemiddeld als koud wordt ervaren, maar de week springt er niet bijzonder uit.



Figuur 5.4. Absolute verdeling ervaren comfort per dag en de gemiddelde buitentemperatuur De Bilt Periode jan – mrt 2021. In deze grafiek zijn alle comfortmetingen per dag opgeteld.

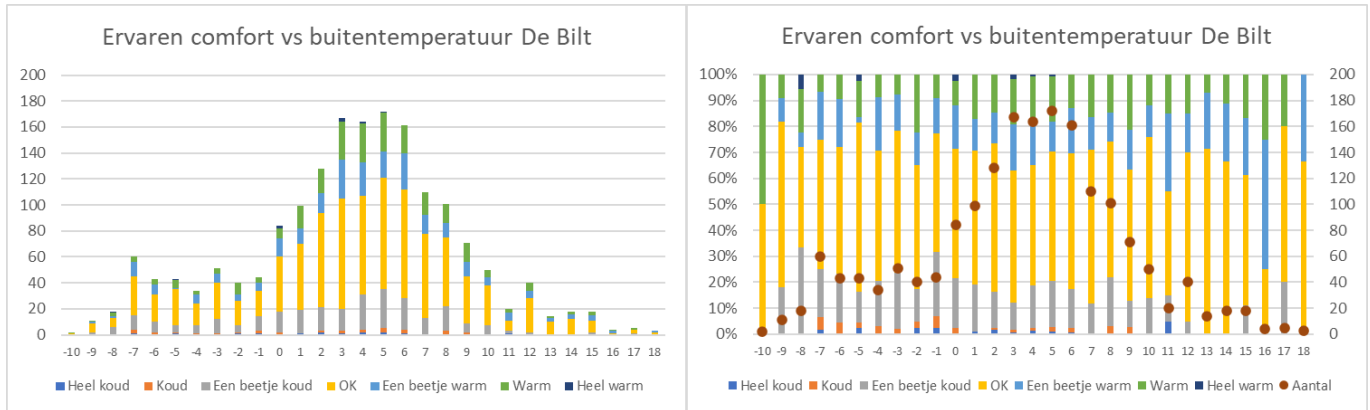


Figuur 5.5. Relatieve verdeling ervaren comfort per dag en de gemiddelde buitentemperatuur De Bilt

Periode jan – mrt 2021. In deze grafiek zijn alle comfortmetingen per dag opgeteld.

Als de gemiddelde comfortbeleving wordt uitgezet tegen de (uurlijkse) buitentemperatuur in De Bilt valt ook geen duidelijke trend op. Bij hele lage temperaturen (onder het vriespunt) lijkt er wat vaker sprake te zijn van ‘te koud’.

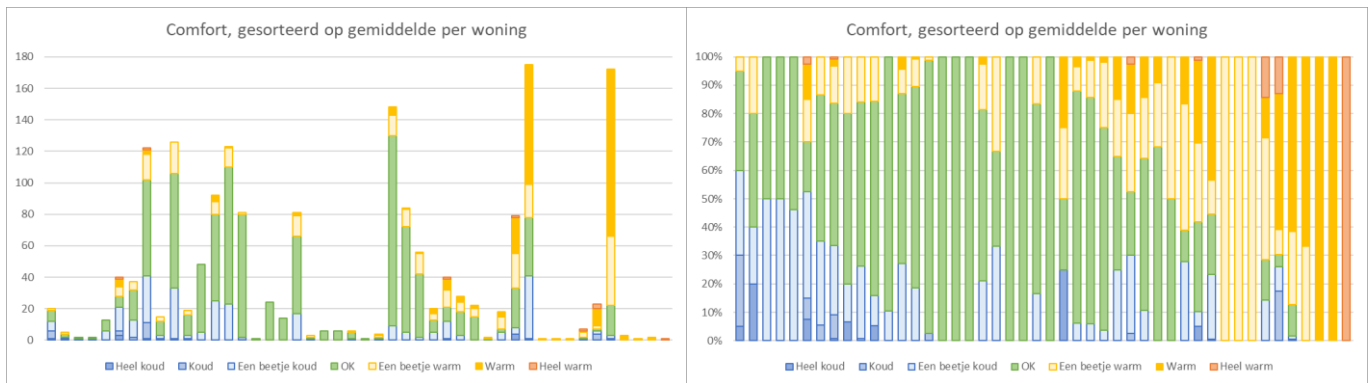
De gewogen gemiddelde score (waarbij ‘heel koud’ telt voor -3 tot en met ‘heel warm’ voor +3 varieert tussen -0,1 en +0,4 (dus van iets te koud tot iets te warm), uitgezonderd 2 uitschieters met slechts een enkele registratie.



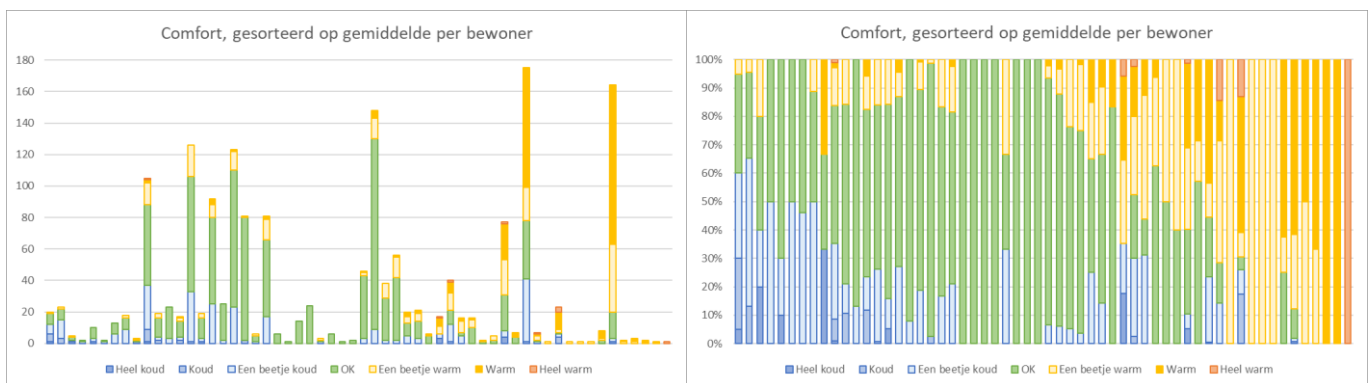
Figuur 5.6. *Relatieve verdeling ervaren comfort versus uurlijkse buitentemperatuur De Bilt*
 Periode jan – mrt 2021. In deze grafiek zijn alle comfortmetingen per graad Celsius opgeteld.

Ervaren comfort per woning en per persoon

In de figuren hieronder is te zien hoe de comfortregistraties zijn verdeeld over de woningen en over de bewoners. Wat opvalt is dat er nauwelijks woningen / bewoners zijn die altijd te warm of altijd te koud zijn (behoudens enkele gevallen met een paar registraties).



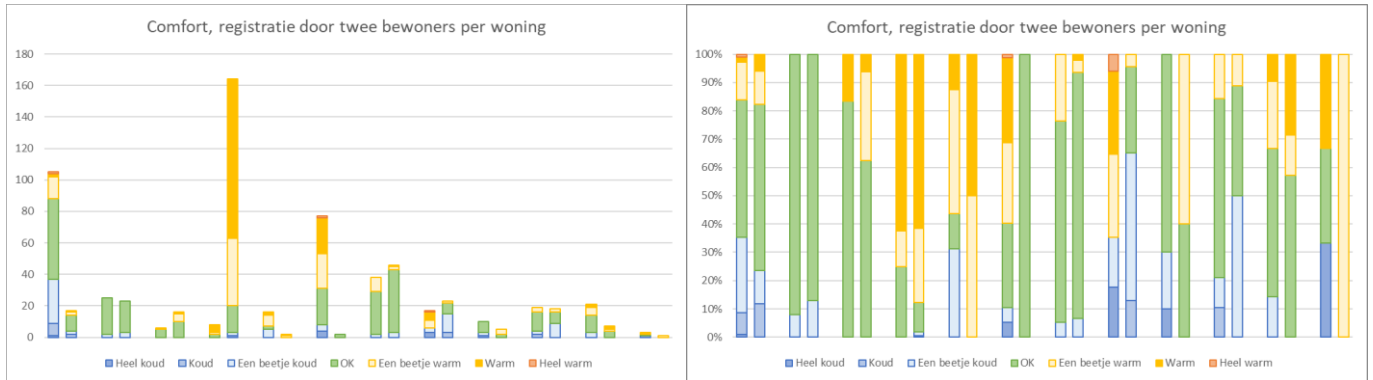
Figuur 5.7. *Ervaren comfort per woning.*
 Woning zijn gesorteerd op gemiddelde score, met weging van -3 voor ‘heel koud’ tot +3 voor ‘heel warm’.



Figuur 5.8. *Ervaren comfort per bewoner.*

Bewoners zijn gesorteerd op gemiddelde score, met weging van -3 voor 'heel koud' tot +3 voor 'heel warm'.

Ook is nog gekeken naar verschillen tussen bewoners. In 12 woningen zijn de comfortregistraties door 2 bewoners bijgehouden. Bij de meeste woningen is er een redelijke gelijkheid in het beleefde comfort, maar er zijn ook enkele woningen met duidelijke verschillen.

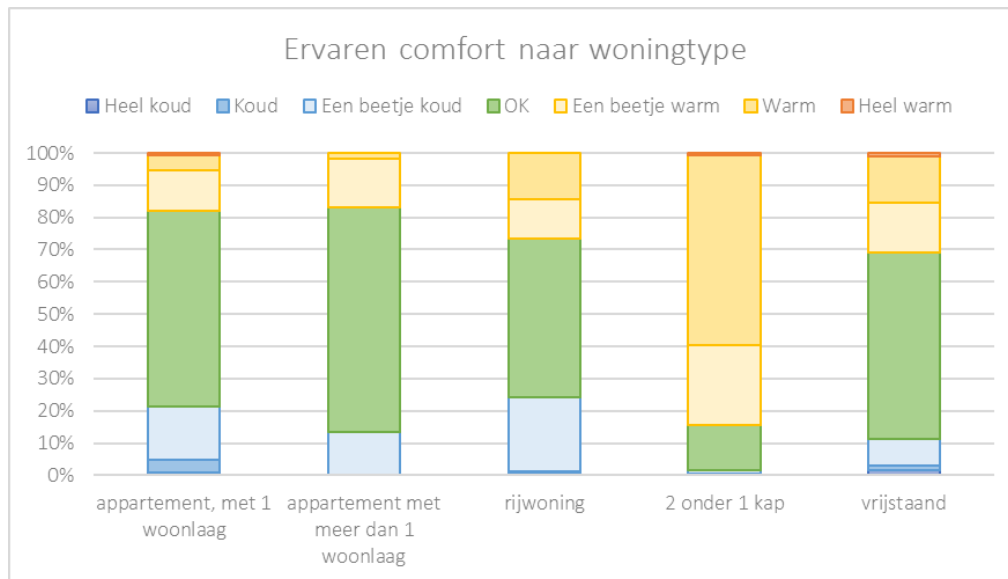


Figuur 5.9. Ervaren comfort per woning, per bewoner.

Te zien zijn alle woningen waar door 2 bewoners de comfortregistratie is uitgevoerd.

Ervaren comfort naar woningtype

In Figuur 5.10 is het ervaren comfort uitgesplitst naar woningtype. In elk type woning wordt het comfort als warm ervaren variërend van een beetje warm tot erg warm. Bij de 2-onder-1-kapwoningen zijn nagenoeg alle registraties door één persoon ingevoerd. Deze is daardoor niet representatief.



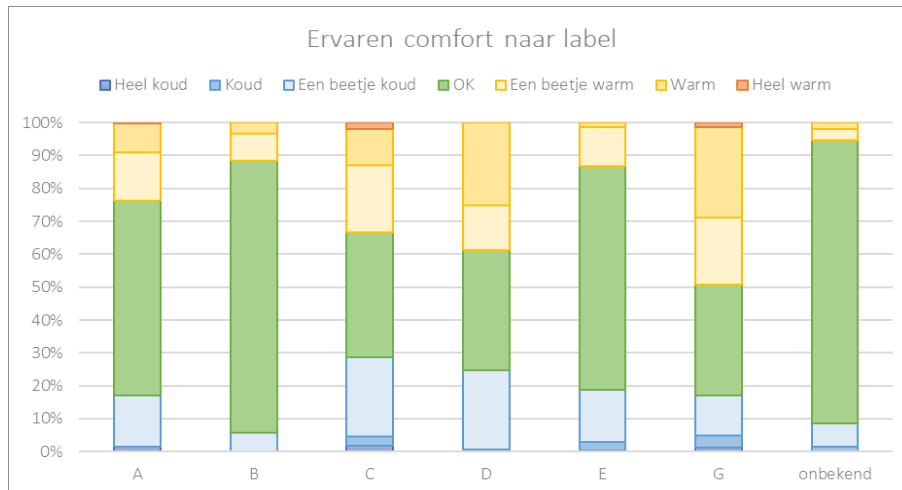
Figuur 5.10. Ervaren comfort naar woningtype

N = 493 / 172 / 580 / 179 / 351, samen 1.775. Bij de 2-onder-1-kapwoningen zijn nagenoeg alle registraties door één persoon ingevoerd. Deze is daardoor niet representatief.

Comfortbeleving naar energielabel

Verwacht mag worden dat mensen in een energiezuinige woning een beter comfort ervaren dan in niet-energiezuinige woningen. Uit de comfortmetingen blijkt over het algemeen dat respondenten in woningen met A- of B-label vaker tevreden zijn over het comfort in de woningen dan bij woningen met een C-G label. Uit nadere analyse van de onderliggende gegevens blijkt echter dat de gunstige labels vaak gehaald worden met een groot aandeel zonnestroom (voor de A- en B-labels gemiddeld 6,2 kWp per woning). Dat betekent dat het energielabel geen goede indicator is voor de kwaliteit van de bouwkundige schil, die weer van invloed is op het ervaren comfort.

Nader onderzoek naar het werkelijke energieverbruik in deze woningen is nodig om te bepalen of deze reacties verband houden met overmatig energieverbruik in woningen.



Figuur 5.11. Ervaren comfort naar energielabel

Aantal registratie: 365 / 154 / 108 / 301 / 213 / 482 / 151, samen 1.775.

Let op: Veel woningen hebben (veel) zonnepanelen en scoren daardoor een gunstig energielabel. Het label is daarom geen goede indicator voor de kwaliteit van de thermische schil.

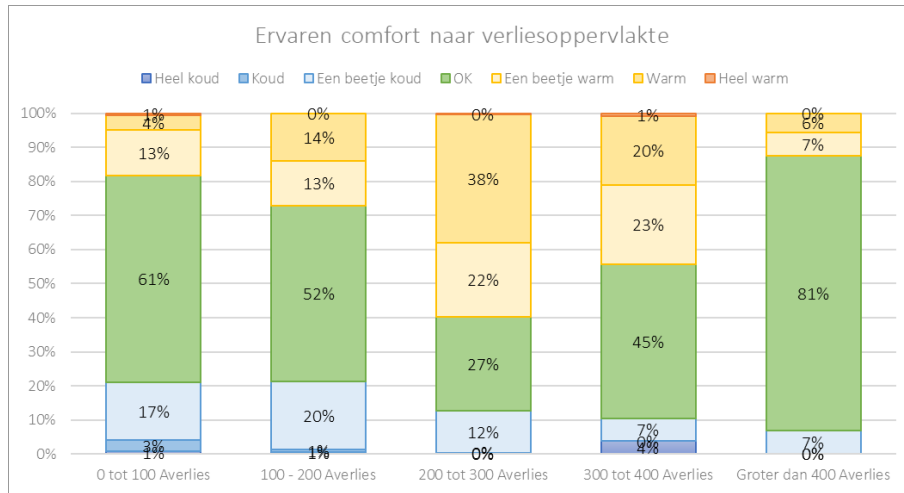
Comfortbeleving naar verliesoppervlakte

Het benodigd vermogen voor verwarming wordt grotendeels bepaald door de schiloppervlakte (in combinatie met de thermische kwaliteit). Voor deze analyse is een inschatting gemaakt van de schiloppervlakte (som van vloer, gevel, dak, beglazing, deuren en panelen) van de woning op basis van gebruiksoppervlakte en woningtype. We hebben hierbij omwille van de vergelijkbaarheid dezelfde factoren aan gehouden als www.installatiemonitor.nl:

Tabel 5.1 Verhoudingstabel voor bepaling verliesoppervlakte

Woningtype	Factor
Vrijstaand	2,5
Twee-onder-1-kap	2,0
Rijhoek	2,0
Rij tussen	1,5
Appartement 1 woonlaag	1,2
Appartement >1 woonlaag	1,2

Er is geen duidelijk verband tussen ervaren comfort en verliesoppervlakte. De woningen in de 'tussencategorie' van 200 tot 300 m² verliesoppervlakte scoren duidelijk het minste (het vaakst 'niet OK'), maar die trend zet zich niet door naar de grotere woningen.



Figuur 5.12. *Ervaren comfort naar verliesoppervlakte.*

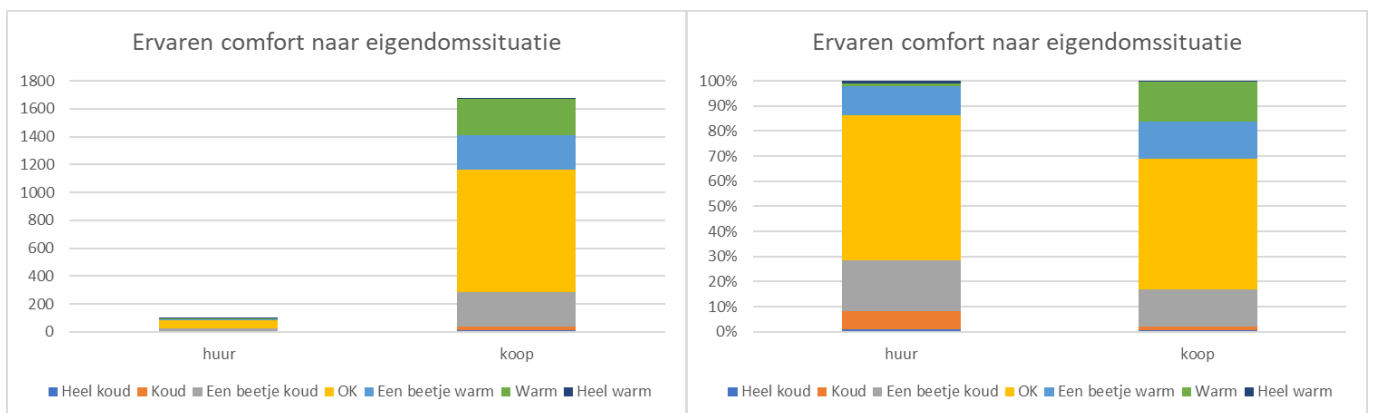
Aantal registraties: 579 / 574 / 313 / 133 / 72, samen 1.671

Aantal woningen: 14 / 11 / 9 / 5 / 3, samen 42

Ervaren comfort naar eigendomssituatie

Als we de registraties opsplitsen naar eigendom, valt op dat het leeuwendeel van de registraties komt van eigenaar-bewoners. We vermoeden dat dat te maken heeft met zowel de opbouw van de onderzoekspopulatie en met de motivatie om aan het onderzoek deel te nemen, en de motivatie om IR-panelen aan te schaffen. Bij huurders zal dat toch vaker de keuze van de verhuurder zijn geweest, niet per se de eigen voorkeur. Eigenaar-bewoners hebben bewust voor deze techniek gekozen en zijn (zo bleek ook uit de telefonische interviews) geïnteresseerd in de resultaten van dit onderzoek. Bij de huurders is dat iets minder vaak het geval. Ook de verdeling van het aantal eigenaar-bewoners en huurders zorgt voor een groot verschil in aantal respondenten: Er zijn 41 deelnemende eigenaar-bewoners en 10 deelnemende huurders. Daarbij komt het vaker voor dat huurders een 1-persoons huishouden hebben in vergelijking met eigenaar-bewoners (slechts 2 deelnemende huurwoningen had meer dan 1 personen in het huishouden). Bij eigenaar-bewoners is de comfortapp daardoor ook vaker door een 2^e persoon ingevuld. Uiteindelijk is de app ingevuld door 38 personen in een koopwoning en 5 in een huurwoning.

Het comfort dat zoals dat wordt ervaren door eigenaar-bewoners is iets vaker 'te warm', bij huurders iets vaker 'te koud'.

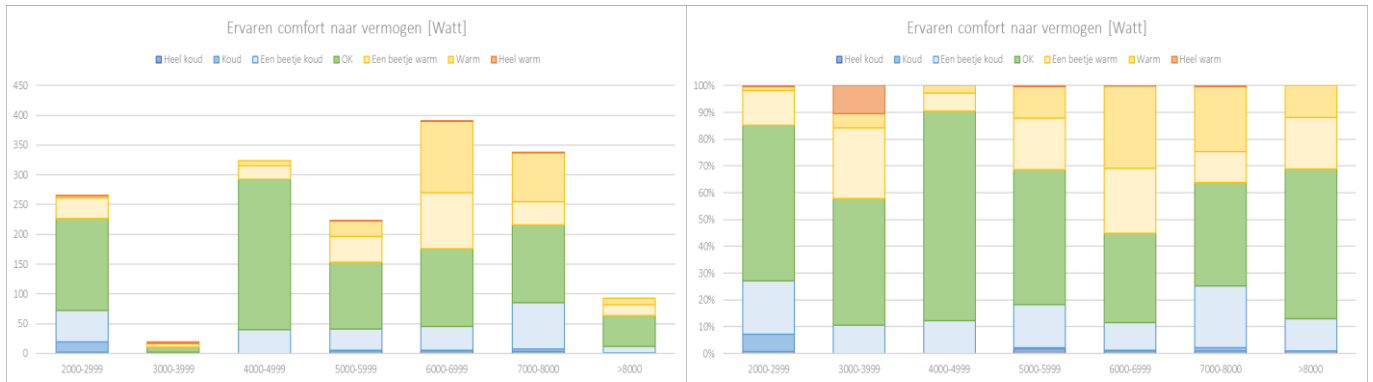


Figuur 5.13. *Ervaren comfort naar eigendomssituatie*

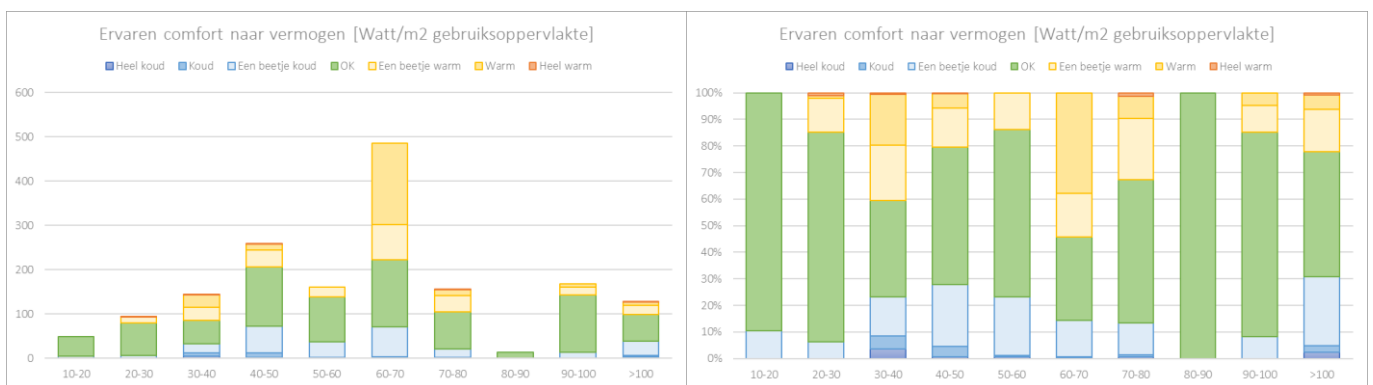
Aantal registraties = 95 (huur) / 1.680 (koop), samen 1.775.

Comfort versus opgesteld vermogen

Een dergelijk verband lijkt ook niet te bestaan tussen het ervaren comfort en het geïnstalleerd vermogen aan infraroodpanelen, absoluut per woning of per vierkante meter gebruiksoppervlakte. Ook bij de woningen met een kleiner vermogen per vierkante meter wordt het comfort toereikend geacht.



Figuur 5.14. Ervaren comfort naar geïnstalleerd vermogen per woning, gegroepeerd per 1.000 Watt.
 Aantal registraties = 266 / 19 / 324 / 223 / 391 / 338 / 93, samen 1.654
 Aantal woningen = 5 / 6 / 6 / 5 / 8 / 3 / 6, samen 39



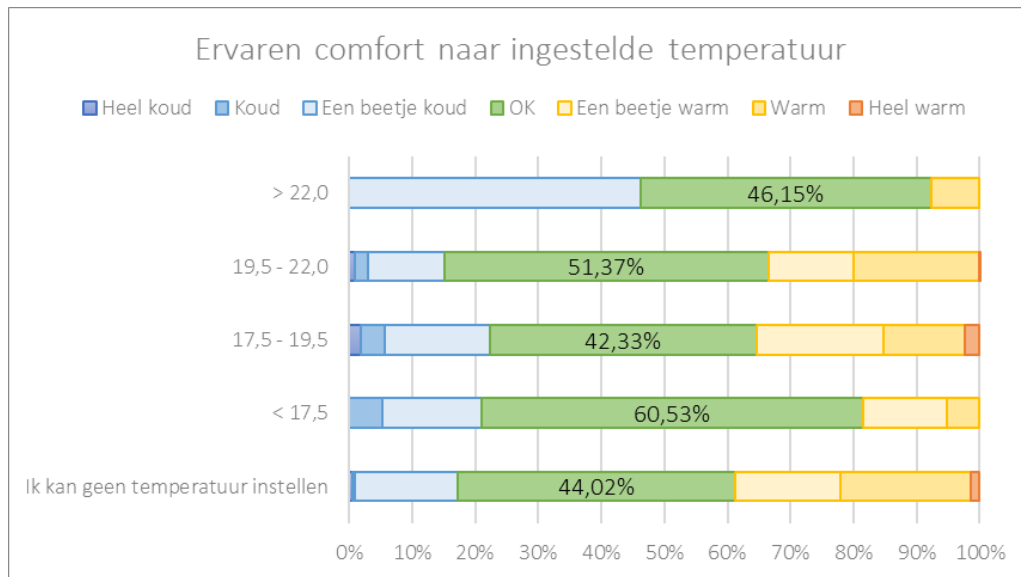
Figuur 5.15. Ervaren comfort naar geïnstalleerd vermogen per m², gegroepeerd per 10 W/m².
 Aantal registraties = 48 / 94 / 143 / 259 / 160 / 485 / 156 / 14 / 168 / 127, samen 1.654
 Aantal woningen = 1 / 4 / 6 / 6 / 6 / 4 / 6 / 1 / 2 / 3, samen 39

“Persoonlijk ben ik een koukleum. Onder de tafels ervaar ik een verschil van 2,3 graden. Daarom gebruik ik of een warme kruik onder mijn voeten (gemakkelijk & aangenaam), of ik gebruik een klein reserve 350 Watt sta-paneeltje.”

Ervaren comfort naar ingestelde temperatuur

In Figuur 5.16 is het ervaren comfort uitgezet tegenover de ingestelde temperatuur van dat moment. Opvallend is dat bij metingen waarbij een lagere temperatuur is ingesteld (onder 17,5 graden celcius) ruim 60% tevreden is over het comfort (38 metingen, 8 woningen). Bij woningen met panelen waar geen temperatuur kan worden ingesteld is 44% tevreden over het comfort (209 metingen, 29 woningen).

Het is daarom niet te zeggen dat panelen waarbij gewerkt wordt met een thermostaat leiden tot een beter comfort.



Figuur 5.16. Ervaren comfort naar temperatuurinstelling van de thermostaat

Alleen de metingen waarbij op dat moment panelen in die ruimte aan stonden

Van boven naar beneden: aantal registraties = 13 / 767 / 215 / 38 / 209, samen 1.242

De meeste metingen zijn verricht bij een ingestelde temperatuur tussen 17,5 en 22,0 graden Celsius. Daar is te zien dat dat naarmate de ingestelde temperatuur hoger is het comfort ook als beter wordt ervaren. Het verschil is echter minimaal en een direct verband is niet af te leiden. Bij een temperatuur hoger dan 22 graden celsius (13 metingen, 3 woningen) ervaart nog steeds een groot deel van de mensen kou. Dat suggereert dat gebruikers de thermostaat hoger zetten maar dat er onvoldoende (snel) effect daarvan merkbaar is.

"We zijn afgelopen maandag thuisgekomen in een huis op 19,5 graad. Schijnbaar hebben we benedenburen welke aardig "stoken" zodat onze betonnen vloer warm blijft. Het was bij thuiskomst niet nodig de stralingspanelen aan te zetten."

Ervaren comfort versus leeftijd en geslacht

Ook als we kijken naar het comfort in relatie tot leeftijd en geslacht zien we weinig verschillen.



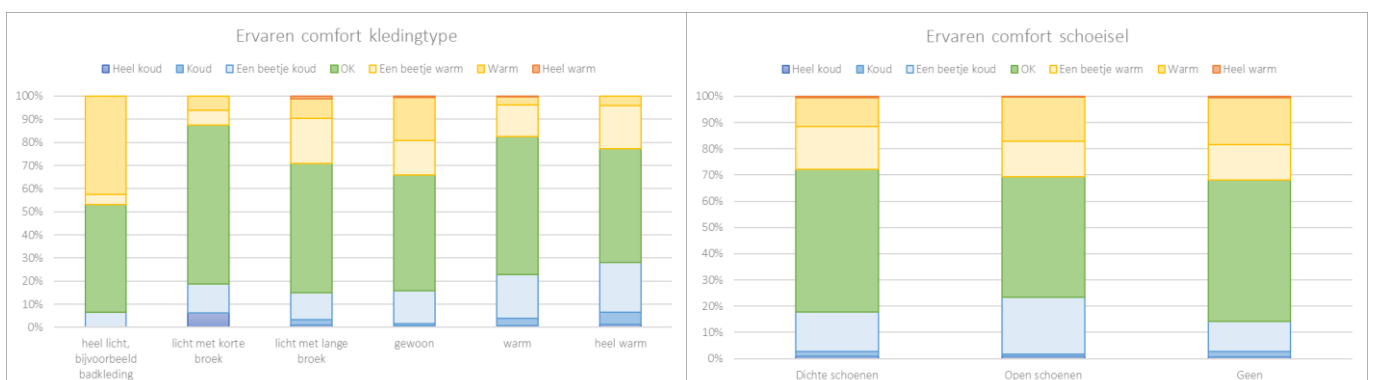
Figuur 5.17. Gemiddeld ervaren comfort naar leeftijd en geslacht.

Ervaren comfort versus kleding en schoeisel

Tijdens de comfortmetingen is men ook gevraagd naar variabelen (type kleding en schoeisel en activiteiten) die het ervaren comfort kunnen beïnvloeden anders dan installaties. Hieruit kunnen we het volgende concluderen:

- Type kleding: 66% van de tijd was dit normaal, 25% van de tijd warmer dan normaal en 8% van de tijd lichter dan normaal. Een duidelijk effect op het ervaren comfort is er niet.
- Schoeisel (geen, open of dichte schoenen): 60% van de tijd draagt men open schoenen of geen schoenen. Dit heeft geen effect op de comfortbeleving.

Uit de figuren blijkt dat de keuze voor kleding en schoeisel ofwel geheel niet relevant is voor comfortbeleving (wat onwaarschijnlijk is), ofwel goed wordt afgestemd op de lokale situatie. Of de situatie (verwarmingsvermogen) wordt goed afgestemd op de kledij. Opvallend is de linkerkolom in de linkerfiguur: Bij de lichtste kleding heeft men het het vaakst te warm.

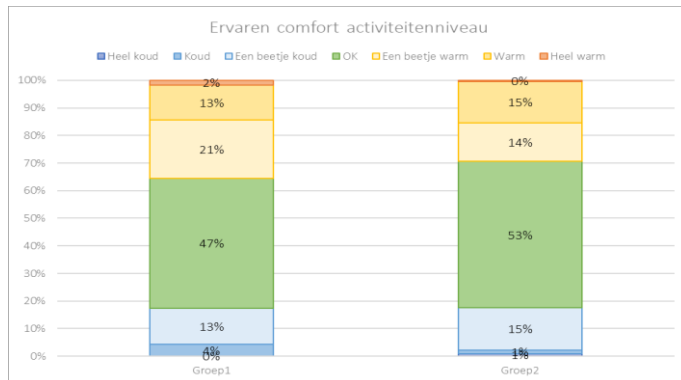


Figuur 5.18. Gemiddeld ervaren comfort naar kleding en schoeisel.

Kleding: N = 47 / 16 / 93 / 1.172 / 372 / 75, samen 1.775
 Schoeisel: N = 723 / 360 / 692, samen 1.775

Ervaren comfort versus activiteiten

Activiteitsniveau: 90% van de tijd is dat zittend werken, rustig zitten of rustig rondlopen. Bij de 10% die actief is geweest door schoonmaken, klussen of sporten ervaren het comfort vaker als warm (35,5% ten opzichte van 29,5%).



Figuur 5.19. Gemiddeld ervaren comfort naar activiteiten.

Groep 1: inspannender activiteiten, N=166
 Groep 2: rustige activiteiten, N=1.609, samen 1.775

Stralingsasymmetrie

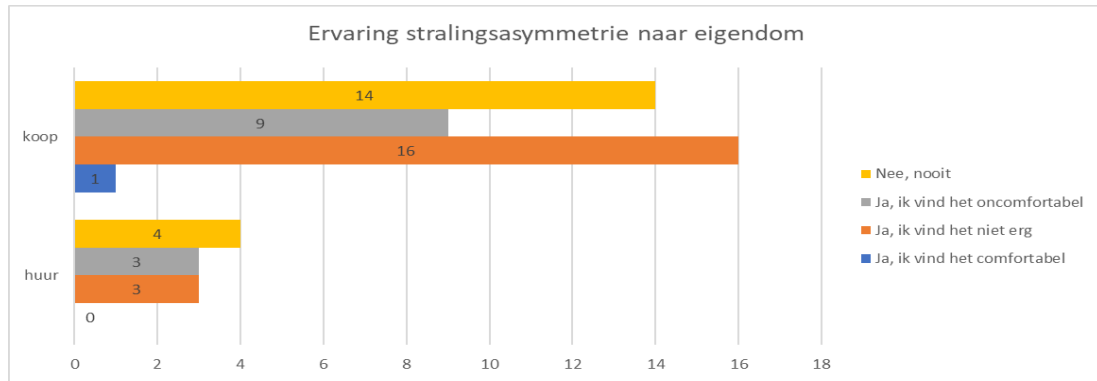
Het ervaren comfort in de paragrafen hiervoor is telkens de gemeten waarde uit de comfortapp. Voor de ervaren stralingsasymmetrie gebruik gemaakt van de enquête. Ruim 60% van de huishoudens ervaart stralingsasymmetrie, waarbij het onderlichaam kouder aanvoelt dan het bovenlichaam. Een ruime meerderheid stoort zich hier niet aan. Van de huishoudens die stralingsasymmetrie ervaren vindt 40% het oncomfortabel.

“Onze huid lijkt het steeds moeilijker ter krijgen onder de infrarood panelen. Om het voldoende warm te krijgen moeten we ze vrij hoog zetten. Vervolgens zitten we hier met rode gezichten en huidirritatie die uitgelokt lijken te worden door de straling.”

In Figuur 5.20 is dit uitgezet tegenover de eigendomssituatie (kopen of huren). Bij koopwoningen ervaart 35% stralingsasymmetrie als oncomfortabel, bij huurwoningen is dat 50%. Maar vanwege het geringe aantal waarnemingen bij met name huurwoningen kan geen uitspraak worden gedaan over hoe zich dit verhoudt tot het huren of kopen van een woning.

Tabel 5.2. Hoe men stralingsasymmetrie ervaart.

Ervaring stralingsasymmetrie	Koop	Huur	Totaal
Ja, mijn onderlichaam voelt soms kouder aan dan mijn bovenlichaam	18	5	23
Ik vind het comfortabel	1		1
Ik vind het niet erg	14	3	17
Ik vind het oncomfortabel	3	2	5
Ja, mijn onderlichaam voelt vaak kouder aan dan mijn bovenlichaam	8	1	9
Ik vind het niet erg	2		2
Ik vind het oncomfortabel	6	1	7
Nee, nooit	14	4	18
Ik vind het comfortabel	7	2	9
Ik vind het niet erg	2		2
(leeg)	5	2	7
Onbekend	1		1
Totaal	41	10	51



Figuur 5.20. Ervaring stralingsasymmetrie naar eigendomssituatie.

“We merken ook dat als we wat vroeger opstaan en het nog niet zo warm is in huis, de stralers (en dus de aanstraling) toch al zorgen voor een aangename gevoelstemperatuur. Best fijn als het feitelijk nog maar 16 graden is.”

Vocht en schimmel

Schimmels zijn het gevolg van condensvorming in de woning. Condens ontstaat als waterdamp uit de lucht in aanraking komt met koudere oppervlakken. Omdat bij IR-verwarming de luchttemperatuur laag blijft, is de veronderstelling dat er ook minder condens- en schimmelvorming optreedt.

In 12 woningen geven de bewoners aan dat er schimmelplekken aanwezig zijn. In 9 van de 12 gevallen was dat ook al vóór de IR-panelen werden geplaatst (en 3x 'onbekend'). Uit het Woon2018 onderzoek blijkt dat in Nederland zo'n 1,5 miljoen (19% van de 8 miljoen) woningen last hebben van schimmel. De woningen in dit onderzoek zijn dus niet erg afwijkend. De IR-panelen hebben de schimmel zichtbaar ook niet kunnen verminderen.

5.4 Conclusies

Over de gehele meetperiode (1 januari 2021-31 maart 2021) zijn bijna 1.800 registraties van het ervaren comfort gedaan door de deelnemers. Van 17 woningen zijn er minder dan 10 registraties, 10 woningen hebben er meer dan 80 en zijn zo samen goed voor zo'n 1.200 registraties.

Hoewel het lastig is om zonder controlemetingen in vergelijkbare woningen met een ander verwarmingssysteem (vooral ander afgiftesysteem zoals hoge temperatuur radiatoren of lage temperatuur vloerverwarming) een kwalitatieve uitspraak te doen over het ervaren comfort blijkt wel dat IR-panelen in de helft van de tijd (52% van de registraties) naar mening van de bewoners zorgen voor een behaaglijk thermisch binnenklimaat. Daarnaast is het vaker te warm (30% van de registraties) dan te koud (18%).

Er is gezocht naar parameters die invloed hebben op het ervaren thermische comfort. Geen van de parameters (buitentemperatuur, woningtype, verliesoppervlakte, energielabel, verwarmingsvermogen, kleding, schoeisel, activiteit) lijkt echter doorslaggevend te zijn. Ook in de hele koude week in februari 2021 is er geen heel ander beeld. Opgemerkt moet worden dat het energielabel voor deze woningen geen goede indicator is van de kwaliteit van de thermische schil wegens te veel invloed zonnepanelen op het label (veel woningen met veel zonnepanelen dus gunstig label).

Dat in deze studie geen significant verband is gevonden, wil niet zeggen dat er geen relatie is tussen deze parameters en het beleefde comfort. Afwezigheid van bewijs is niet het zelfde als bewijs van afwezigheid.

Huurders hebben het iets vaker te koud, kopers vaker te warm. Huurders zijn overall wel vaker tevreden, maar omdat het om kleine aantallen registraties gaat bij de huurwoningen kunnen we hier geen algemene conclusies aan verbinden.

6 Energie

In dit hoofdstuk gaan we in op het energiegebruik van de woning en van de infraroodpanelen zelf ten opzichte van gebouw- en bewonerskenmerken.

We maken hierbij gebruik van 2 clusters van woningen: Cluster C omvat woningen waarvan slimme meterdata beschikbaar is (uit de Cloudia's), Cluster D zijn woningen waarvan gegevens van de IR-panelen zelf beschikbaar zijn (uit BeNext).

In dit hoofdstuk beschrijven we hoe de gegevens voor de analyses verzameld en geïnterpreteerd zijn, en wat de kenmerken zijn van woningen/bewoners in dit cluster van woningen.

6.1 Meetmethode / data-acquisitie

Om inzicht te krijgen in energiegebruik en opgenomen vermogen van de infraroodpanelen zijn metingen uitgevoerd van het elektriciteitsgebruik van de woningen en van de losse panelen.

Op basis van de gedetailleerde meetgegevens in de tijd, ontstaat inzicht in verdeling van gelijktijdigheid van gebruik van IR-panelen en/of met andere elektrische apparaten. Dit levert waardevolle informatie ten aanzien van netbelasting voor eventuele toekomstige scenario's waarin veel IR-panelen figureren.

Het elektriciteitsverbruik is op woningniveau gemeten door de P1-poort van de slimme meter uit te lezen. De P1-poort op alle slimme meters is door consumenten simpel te benutten om hun energieverbruik te monitoren. Met een (telefoon)stekkertje en een bijpassend apparaatje, kan iedereen de data uit zijn of haar slimme meter zichtbaar maken op een display of (met een app) op de telefoon. Resolutie is afhankelijk van de meetapparatuur.

Uitlezen van P1 vereist een fysieke koppeling met een monitoringsapparaat. Voor dit onderzoek is gebruikt gemaakt van 2 systemen: Cloudia en BeNext. Cloudia is een generiek monitoringssysteem dat in alle woningen met een slimme meter toegepast kan worden. BeNext is een systeem dat veel gebruikt wordt voor aansturing en monitoring van IR-panelen.

De intentie was in alle woningen een Cloudia-systeem te installeren op de P1-poort. In een deel van de woningen was de P1-poort echt al 'bezet' door een BeNext-meter of een andere meter. In een aantal woningen is dat opgelost door de reeds aanwezige meter tijdelijk te vervangen door een Cloudia, of door een splitter te gebruiken.

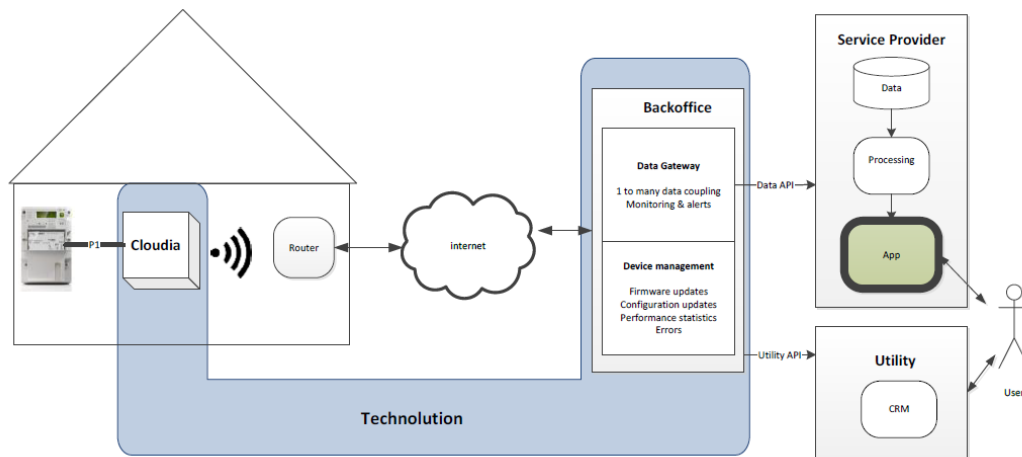
Om beter inzicht te krijgen in het verbruik per paneel en per ruimte is ook het elektriciteitsverbruik per IR-paneel inzichtelijk gemaakt door uitlezing van de BeNext Gateway. In enkele gevallen wordt door de Gateway ook de zonnepanelen en de slimme meter gemonitord. Dit gebeurt alleen bij woningen waar al een BeNext Gateway is geïnstalleerd. Dit betekent dat we dergelijke gegevens maar voor een deel van de woningen hebben.

Een groot deel van de deelnemers (33 van de 53 woningen) beschikt tevens over zonnepanelen. De opbrengst hiervan is niet af te lezen vanuit de slimme meter omdat hier enkel de afgenomen en teruggeleverde elektriciteit geregistreerd wordt. Achteraf is daarom gevraagd naar de opbrengst gedurende de meetperiode. Op die manier kan het bruto elektriciteitsverbruik worden berekend door de opbrengst van de zonnepanelen op te tellen bij het netto elektriciteitsverbruik.

Hieronder een korte beschrijving van de twee gebruikte systemen. In de bijlagen is gedetailleerder beschreven hoe de binnengekomen data is verwerkt en bewerkt.

6.1.1 Cloudia

Met de Cloudia wordt via een beveiligde internetverbinding het elektriciteits- en eventueel gasverbruik van de woning uitgelezen via de P1 aansluiting van de slimme meter. Cloudia registreert met een resolutie van 2 seconden en wordt geaggregeerd tot 10 seconden. Hierbij wordt ook het vermogen geregistreerd, waardoor er ook inzicht in de piekbelasting kan worden verkregen.



Figuur 6.1. Systematische weergave uitlezen slimme meter door middel van Cloudia.



Figuur 6.2. Foto van een Cloudia.

Vanuit de woning stuurt de Cloudia data naar de gateway van consortium partner Technolution om dit vervolgens te laten landen op de end point van W/E via een API. Gegevens zijn over een periode van 3 maanden uitgelezen en opgeslagen in een beveiligde omgeving. Elke Cloudia heeft een uniek serienummer welke is gekoppeld aan het ID van de woning.

6.1.2 BeNext

Met behulp van monitoringsystemen van BeNext worden energieprestaties van woningen inzichtelijk gemaakt en daarnaast is er de optie om hiermee klimaatinstallaties op basis van de data te sturen en optimaliseren. Binnen dit project is BeNext ingezet om de energieverbruiken van de woning en infraroodpanelen te monitoren. Afhankelijk van de keuzes van de bewoners kan hiermee het verbruik worden uitgelezen per paneel, voor een aantal panelen per ruimte of voor alle panelen in de gehele woning. De BeNext wordt direct aangesloten op de P1 meter, of aan de panelen zelf.

Met toestemming van BeNext en de bewoners komen de verbruiksgegevens 'real-time' binnen op de server van W/E adviseurs. Hierbij zijn gebruikersnamen van de bewoners gebruikt als koppeling met het ID van de betreffende woningen.

6.2 Kenmerken woningen en bewoners

Cluster C – Slimme meterdata

Voor het beantwoorden van de deelvraag over energiegebruik, maken we gebruik van woningen uit cluster C. Dit cluster omvat de woningen waarin gegevens bekend zijn over het energiegebruik in de meetperiode 1 februari tot en met 31 maart 2021. Samen zijn er 22 woningen, waarvan 6 vrijstaand, 7 appartementen, 7 rijwoningen en 2 onder 1 kap woningen. Van de appartementen zijn er 3 met één woonlaag en 4 met meer dan één woonlaag. De belangrijkste woning- en installatiekenmerken zijn opgenomen in Tabel 6.1.

In de figuren in paragraaf 4.1 zijn verschillende kenmerken van de woningen terug te vinden en te vergelijken met de andere clusters. De 22 woningen in dit cluster zijn qua woningtype en energielabel nagenoeg gelijk aan die in cluster A (alle woningen), maar met een nog grotere oververtegenwoordiging van maisonnettes (tweelaags appartementen). De woningen zijn wel iets ouder. Niet alle bouwjaarklassen zijn vertegenwoordigd in dit cluster.

Tabel 6.1. Woning- en installatiekenmerken Cluster C.

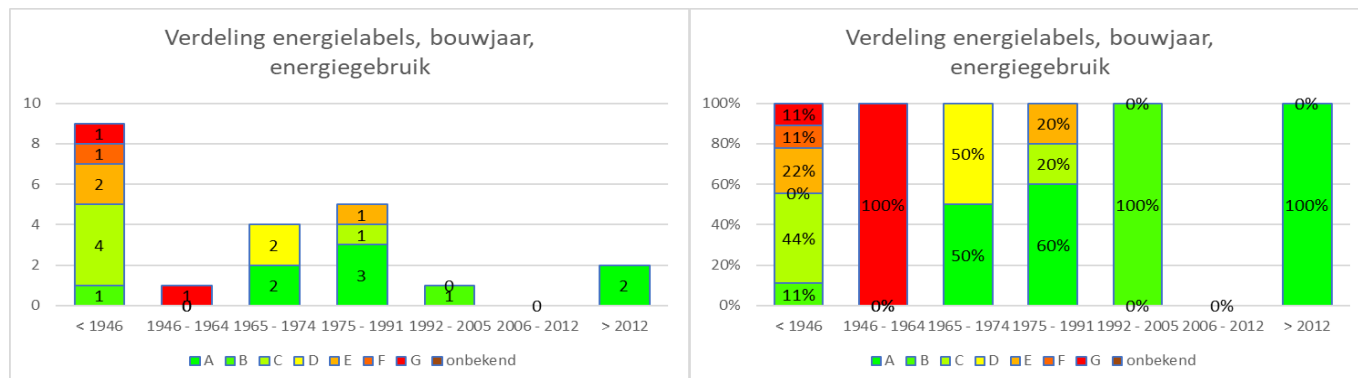
Nr.	Woningtype	GO [m ²]	Bouwjaarklasse	Label	Tapwaterinstallatie	Vermogen [Watt]	Vermogen [Watt/m ²]
W07	appartement, 1 woonlaag	48	t/m 1945	E	Doorstroomapparaat	2.000	41,67
W10	appartement, 1 woonlaag	76	t/m 1945	C	Doorstroomapparaat	6.050	79,61
W11	vrijstaand	344	1975 t/m 1991	A	elektrische boiler	4.500	13,08
W17	rijwoning tussen	49	t/m 1945	F	Individuele CV-ketel, ≥1998	1.650	33,67
W22	appartement, 1 woonlaag	72	1975 t/m 1991	A	Onbekend	4.400	61,11
W28	vrijstaand	137	1946 t/m 1964	G	elektrische boiler	6.200	45,26
W30	appartement >1 woonlaag	25	t/m 1945	E	doorstroomapparaat	6.050	242,00
W31	rijwoning tussen	109	1965 t/m 1974	D	elektrische boiler	5.500	50,46
W32	2 onder 1 kap	161	t/m 1945	B	elektrische boiler	3.450	21,43
W33	rijwoning tussen	122	1975 t/m 1991	A	individuele CV-ketel, ≥1998	7.700	63,11
W35	rijwoning hoek	103	1975 t/m 1991	C	individuele CV-ketel, ≥1998	6.150	59,71
W38	Vrijstaand	147	2014 t/m heden	A	elektrische boiler	5.100	34,69
W39	Vrijstaand	212	1965 t/m 1974	A	individuele CV-ketel, ≥1998	8.250	38,92
W40	appartement > 1 woonlaag	94	1975 t/m 1991	E	elektrische boiler	2.400	25,53
W43	rijwoning tussen	119	1965 t/m 1974	D	elektrische boiler	7.150	60,08
W44	rijwoning tussen	104	1965 t/m 1974	A	Warmtepompboiler	6.850	65,87
W45	2 onder 1 kap	173	1992 t/m 2005	B	elektrische boiler	3.750	21,68
W46	rijwoning hoek	68	t/m 1945	C	elektrische boiler	2.100	30,88
W49	Vrijstaand	164	t/m 1945	G	individuele CV-ketel, ≥1998	11.500	70,12
W50	appartement >1 woonlaag	33	t/m 1945	C	Doorstroomapparaat	4.400	133,33
W53	Vrijstaand	178	2014 t/m heden	A	Warmtepomp	13.780	77,42
W58	appartement >1 woonlaag	30	t/m 1945	C	Doorstroomapparaat	4.400	146,67

Er zijn 7 woningen met een A label. Van een aantal woningen is geen afgemeld energielabel bekend, dit zijn voornamelijk oudere woningen. Hiervoor is een vereenvoudigd energielabel berekend op basis van bekende gebouwkenmerken.

82% van de deelnemende woningen betreft een koopwoning.

Van 3 woningen is bekend dat zij naast infraroodpanelen een andere grootverbruiker hebben, zoals een elektrische auto of zwembad. 19 bewoners hebben aangegeven niet te beschikken over een dergelijke grootverbruiker anders dan de tapwaterinstallatie.

Hoewel enkele woningen beschikken over een CV-ketel, geven de bewoners aan dat deze niet of nauwelijks wordt ingezet voor ruimteverwarming en enkel worden ingeschakeld bij zeer koude dagen als aanvulling op de IR panelen.



Figuur 6.3. Verdeling energielabels per bouwjaarklasse voor alle woningen (cluster C, energiegebruik)

Let op: Veel woningen hebben (veel) zonnepanelen en scoren daardoor een gunstig energielabel. Het label is daarom geen goede indicator voor de kwaliteit van de thermische schil.

Cluster D – data van infraroodpanelen

Het tweede onderdeel in dit hoofdstuk is het energiegebruik van de IR-panelen zelf. Deze gegevens zijn verkregen uit woningen uitgerust met het BeNext-systeem, voor dit onderzoek gegroepeerd in cluster D. Dit cluster omvat 22 woningen, waarvan 2 vrijstaand, 15 appartementen, 4 rijwoningen en 1 onder 1 kap woningen. Van de appartementen zijn er 4 met één woonlaag en 11 met meer dan één woonlaag. In dit cluster hebben appartementen de overhand. De belangrijkste kenmerken zijn opgenomen in Tabel 6.2.

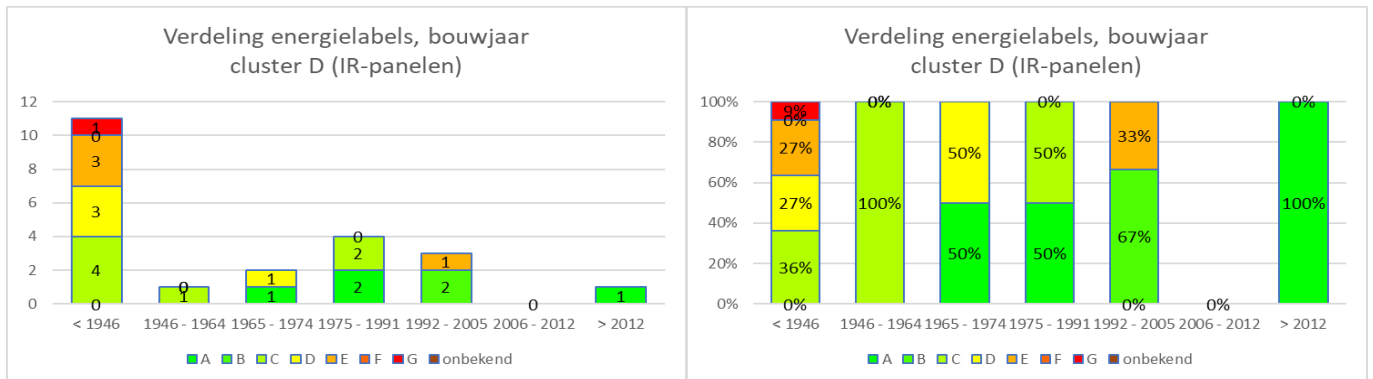
Tabel 6.2. Woning- en installatiekenmerken Cluster D.

Nr.	Woningtype	GO [m ²]	Bouwjaarklasse	Label	Tapwaterinstallatie	Vermogen [Watt]	Vermogen [Watt/m ²]
W02	appartement, 1 woonlaag	60	t/m 1945	E	doorstroomapparaat	onbekend	-
W06	appartement, 1 woonlaag	44	1992 t/m 2005	B	doorstroomapparaat	4.400	100,00
W07	appartement, 1 woonlaag	48	t/m 1945	E	doorstroomapparaat	2.000	41,67
W10	appartement, 1 woonlaag	76	t/m 1945	C	doorstroomapparaat	6.050	79,61
W14	appartement, 1 woonlaag	85	1946 t/m 1964	C	elektrische boiler	6.050	71,18
W19	appartement, 1 woonlaag	59	t/m 1945	G	doorstroomapparaat	7.150	121,19
W20	appartement, 1 woonlaag	71	1975 t/m 1991	C	doorstroomapparaat	3.700	52,11
W22	appartement, 1 woonlaag	72	1975 t/m 1991	A	onbekend	4.400	61,11
W24	Rijwoning tussen	53	t/m 1945	C	doorstroomapparaat	onbekend	-
W25	2 onder 1 kap	113	t/m 1945	D	Individuele CV-ketel > 1998	6.800	60,18
W27	appartement, 1 woonlaag	66	1992 t/m 2005	E	elektrische boiler	5.500	83,33
W30	appartement > 1 woonlaag	25	t/m 1945	E	doorstroomapparaat	6.050	242,00
W33	Rijwoning tussen	122	1975 t/m 1991	A	Individuele CV-ketel > 1998	7.700	63,11
W35	Rijwoning hoek	103	1975 t/m 1991	C	Individuele CV-ketel > 1998	6.150	59,71
W39	vrijstaand	212	1965 t/m 1974	A	Individuele CV-ketel > 1998	8.250	38,92
W41	appartement, 1 woonlaag	55	t/m 1945	D	Doorstroomapparaat	7.000	127,27
W43	Rijwoning tussen	119	1965 t/m 1974	D	elektrische boiler	7.150	60,08
W47	appartement, 1 woonlaag	64	1992 t/m 2005	B	Doorstroomapparaat	4.950	77,34
W50	appartement >1 woonlaag	33	t/m 1945	C	Doorstroomapparaat	4.400	133,33
W51	appartement >1 woonlaag	33	t/m 1945	D	Doorstroomapparaat	4.400	133,33
W52	Vrijstaand	140	2014 t/m heden	A	elektrische boiler	onbekend	-
W58	appartement >1 woonlaag	30	t/m 1945	C	Doorstroomapparaat	4.400	146,67

Er zijn 4 woningen met een A label. Van een aantal woningen is geen afgemeld energielabel bekend, dit zijn voornamelijk oudere woningen. Hiervoor is een vereenvoudigd energielabel berekend op basis van bekende gebouwkenmerken.

82% van de deelnemende woningen betreft een koopwoning.

Er zijn binnen dit cluster geen woningen bekend met een andere grootverbruiker, zoals een elektrische auto of zwembijver.



Figuur 6.4. Indeling cluster D naar bouwjaarklasse en energielabel (n=22).

6.3 Energiegebruik woning

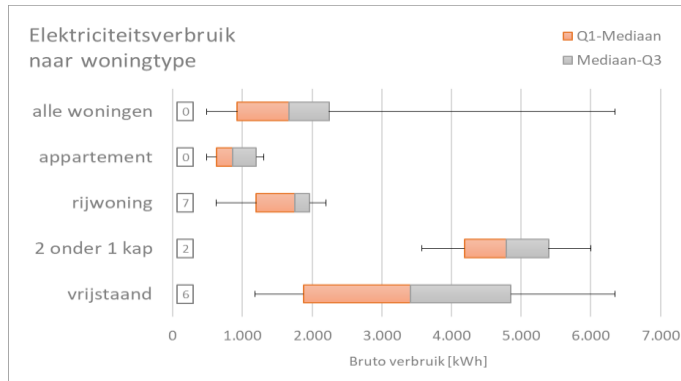
In deze paragraaf kijken we eerst naar het elektriciteitsgebruik in relatie tot woning- en installatiekenmerken. Daarna naar de verbanden met huishoudenkenmerken en bewonersgedrag.

6.3.1 Elektriciteitsverbruik WONING in relatie tot woning- en installatiekenmerken

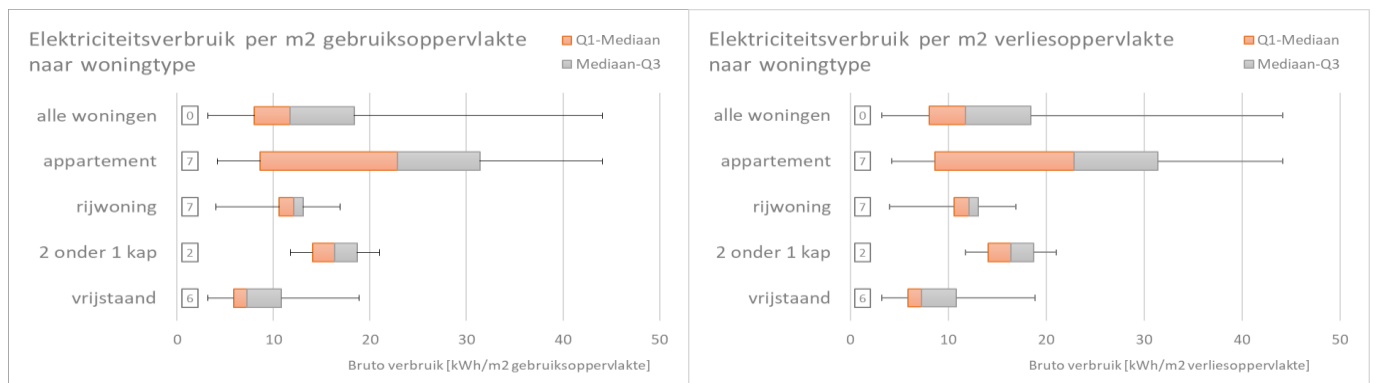
Woningtype, bouwjaar en energielabel

Het elektriciteitsverbruik van een woning is afhankelijk van het woningtype en de energetische staat van deze woning. In onderstaande figuur is de verdeling van het elektriciteitsverbruik per vierkante meter verliesoppervlak naar woningtype weergegeven. Per vierkante meter verbruiken de vrijstaande woningen minder dan kleinere appartementen (Figuur 6.6). Dat komt mede doordat grotere woningen over het algemeen minder bewoners per vierkante meter hebben, wat leidt tot een lager gedeelte (en gedurende kortere tijd) verwarmde oppervlakte, en een lager vermogen van infraroodpanelen in Watt per vierkante meter gebruiksoppervlakte. Daarnaast zullen in een grote woning ook vaker ruimten zijn die in het geheel niet verwarmd worden.

Wanneer we kijken naar het absolute verbruik is het beeld uiteraard anders. Vrijstaande- en 2-onder-1-kapwoningen verbruiken het meest. Appartementen hebben over het algemeen een lager verbruik. Een appartement heeft immers een kleiner verliesoppervlak en wordt vaak aan meerdere zijden omsloten waardoor er minder warmte verloren kan gaan.



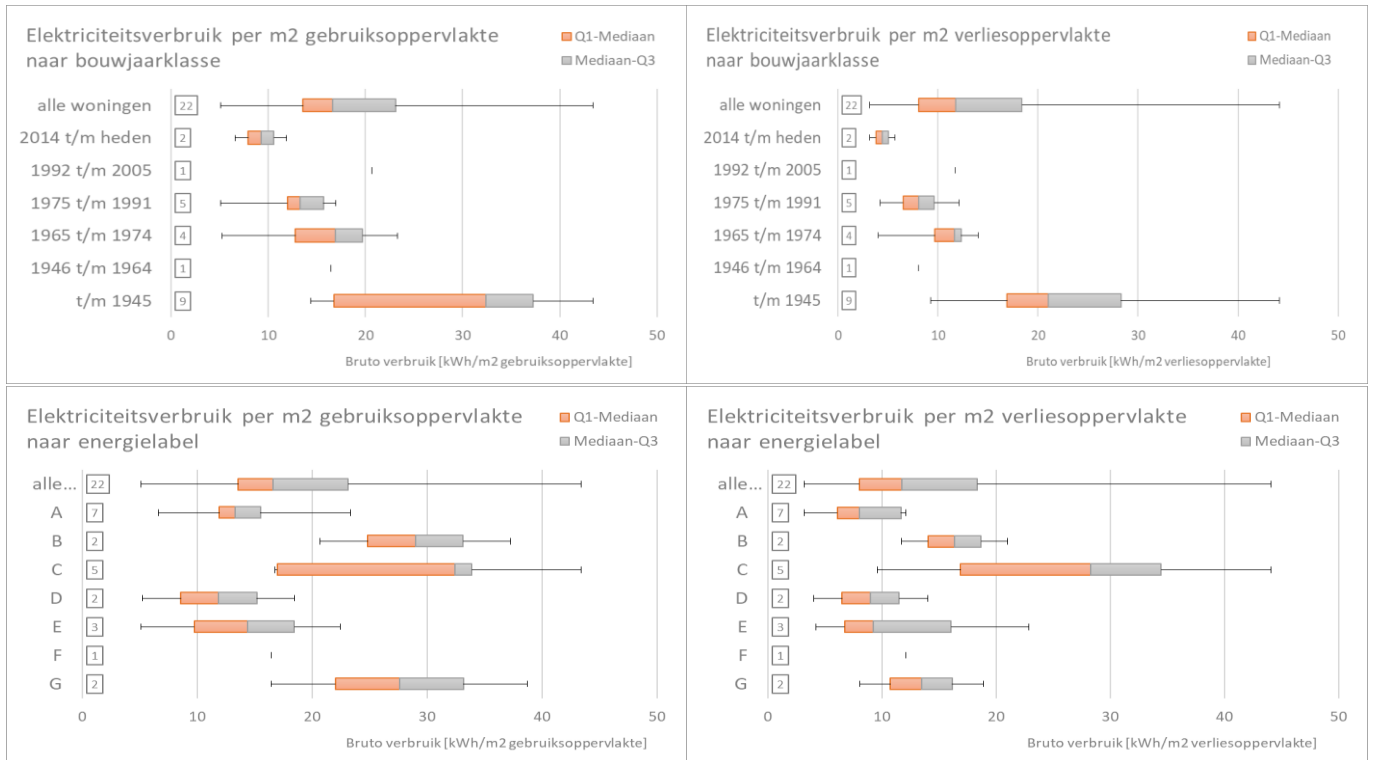
Figuur 6.5. *Verdeling van het bruto verbruik naar woningtype.
Elektriciteitsverbruik in kWh/m² over periode februari – maart 2021*



Figuur 6.6. *Verdeling van het bruto verbruik per m² gebruiks- of verliesoppervlakte naar woningtype.
Elektriciteitsverbruik in kWh/m² over periode februari – maart 2021*

In Figuur 6.7 is links het specifieke verbruik uitgezet tegenover de bouwjaarklassen. Er is een trend zichtbaar waarin nieuwere woningen minder verbruiken dan oudere woningen. Tot 1975 werd nieuwbouw niet geïsoleerd, daarna werden steeds meer onderdelen, zoals ramen en het dak, standaard geïsoleerd. Met name bij oudere woningen zien we een grote variatie. Dit komt omdat een deel van deze woningen door de jaren heen is gerenoveerd en daarmee een hoger energetisch niveau heeft bereikt.

In de rechter Figuur 6.7 is het specifiek verbruik per m² verliesoppervlakte is afgezet tegen het energielabel. Daar zou een oplopende trend logisch zijn: Slechter energielabel betekent hoger energiegebruik. Het energielabel is in veel van de woningen fors beïnvloed door de aanwezigheid van zonnepanelen. Op jaarbasis zou dan evenwel een oplopend energiegebruik bij slechtere labels verwacht worden. In het label is immers de opbrengst van de zonnepanelen verdisconteerd. We kijken hier echter alleen naar de maanden februari-maart 2021 met daardoor een beperkte opbrengst van de zonnepanelen.

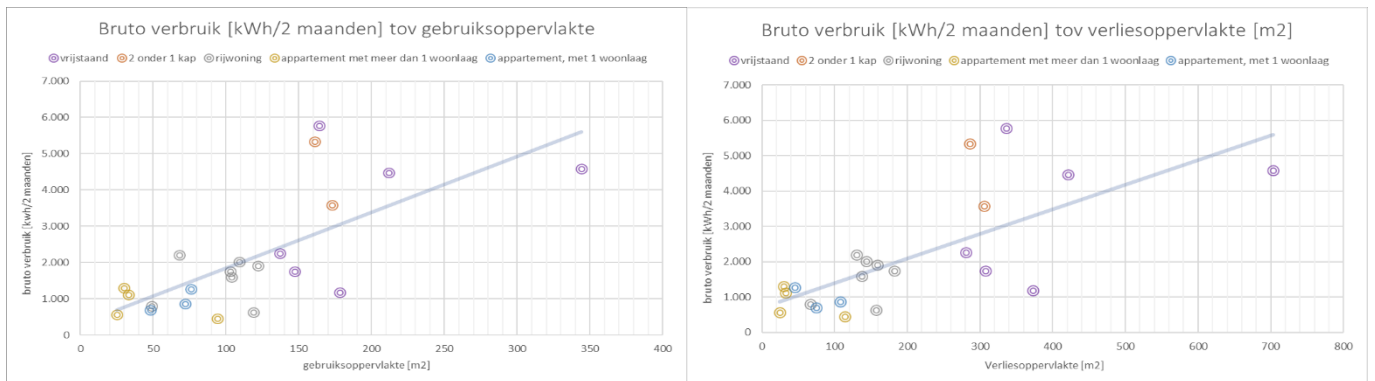


Figuur 6.7. Verdeling van het bruto verbruik naar bouwjaarclassse en naar energielabel (N=22).
 Elektriciteitsverbruik in kWh/m² over periode februari – maart 2021. Let op: Veel woningen hebben (veel) zonnepanelen en scoren daardoor een gunstig energielabel. Het label is daarom geen goede indicator voor de kwaliteit van de thermische schil.

Gebruiks- en verliesoppervlakte

De oppervlakte van de woning bepaalt grotendeels het elektriciteitsverbruik van de woning. Huishoudens in grote woningen verbruiken over het algemeen meer energie dan huishoudens in kleine woningen. Dit komt omdat er nu eenmaal meer gebruiksoppervlakte verwarmd moet worden. Wanneer we kijken naar het specifiek verbruik ten opzichte van de oppervlakte van de woning zien we dat grotere woningen over het algemeen efficiënter zijn in het verbruik.

Analyse laat zien dat het verliesoppervlakte van de woning net een hogere correlatie heeft met het verbruik dan het gebruiksoppervlakte, maar het verschil is gering. Het verliesoppervlak wordt bepaald door de hoeveelheid oppervlak waardoor een gebouw warmte kan verliezen (bijvoorbeeld via dak, vloer of gevel). In het algemeen zal een woning in een appartement met vergelijkbaar gebruiksoppervlakte aan de buitenzijde van het complex meer verbruiken dan een appartement middenin.

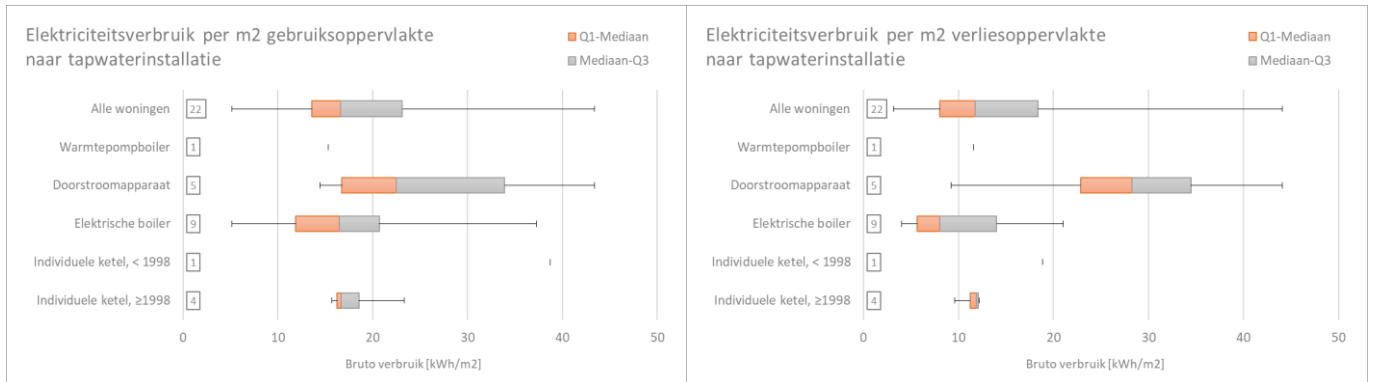


Figuur 6.8. Bruto verbruik ten opzichte van de gebruiks- en verliesoppervlakte (N=22).
 Elektriciteitsverbruik in kWh/m² over periode februari – maart 2021

Tapwaterinstallatie

Wanneer een woning wordt voorzien van infrarood als hoofdverwarming, moet een separate voorziening voor warmtapwater worden gekozen. In Figuur 6.9 is het specifiek verbruik uitgezet tegen het type tapwaterinstallatie. Opvallend zijn de elektrische voorzieningen zoals een doorstroom- of elektrische boiler. Met name woningen uitgerust met een doorstroomer lijken aanzienlijk meer energie te verbruiken dan andere woningen. De spreiding is echter groot en er zijn mogelijk andere factoren die dit veroorzaken.

Het gebruik van elektrische boilers maken het moeilijk om aan de eisen van BENG 2 (maximale gebruik fossiele energie) en BENG-3 (percentage hernieuwbare energie) te voldoen. Daar zal in dat geval een PV installatie tegenover moeten staan.



Figuur 6.9. Bruto verbruik ten opzichte van verliesoppervlak naar tapwaterinstallatie (N=22).

Buitentemperatuur

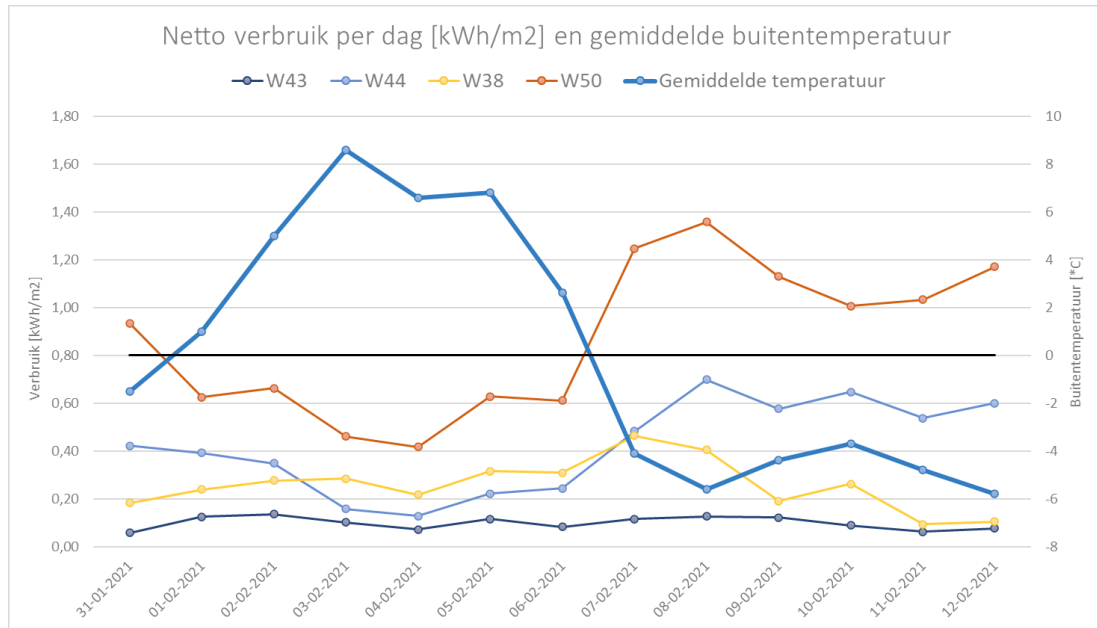
Bij extreem koud weer is de warmtevraag in woningen het hoogst. Het verwarmingssysteem moet in dat geval harder werken om de woning op temperatuur te krijgen. Infraroodpanelen verwarmen de woning lokaal. Dit maakt het interessant om te kijken of bovenstaande ook geldt voor dit type verwarming.

In de onderstaande analyse is het verbruik gedurende twee weken in februari met elkaar vergeleken.

In Figuur 6.10 is het energieprofiel weergegeven van een 4-tal woningen voor de periode lopend van 31 januari 2021 tot en met 12 februari 2021. Dit is inclusief de extreem koude week waarbij de temperatuur in De Bilt tot ver onder het nulpunt zakte. Per woning is hier het netto specifiek elektriciteitsverbruik in kWh per vierkante meter per dag weergegeven (dus inclusief de opwek van zonnestroom, het brutoverbruik is dus hoger; data over opwek van zonnestroom is niet op dagbasis bekend).

Te zien is dat het elektriciteitsverbruik over het algemeen hoger is naarmate de temperatuur daalt en dat de ene woning daar heftiger op reageert dan de ander. Zo werd er gemiddeld 48% meer kWh per vierkante meter verbruikt van 7 t/m 12 februari dan de 6 dagen daarvoor.

In sommige gevallen werd tijdens de koude week minder energie verbruikt dan de week daarvoor. Het is niet duidelijk of de bewoners op dit moment aanwezig waren in de woning.



Figuur 6.10. Specifiek elektriciteitsverbruik (netto) in kWh/m² gebruiksoppervlakte van 4 woningen en de gemiddelde buitentemperatuur gemeten in De Bilt.

6.3.2 Elektriciteitsverbruik WONING in relatie tot huishoudenkenmerken en gedrag

Huishoudsamenstelling

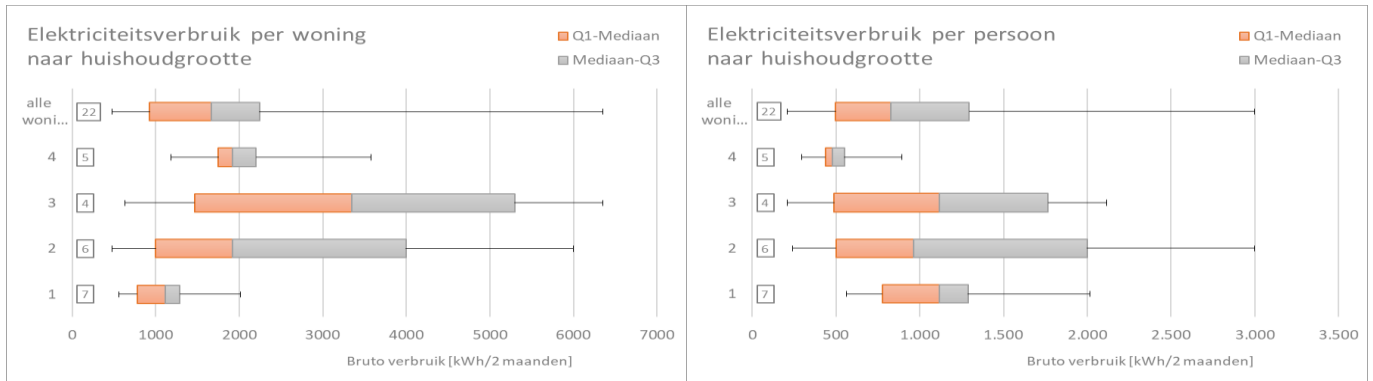
De omvang van het huishouden wordt gezien als een belangrijk kenmerk met betrekking tot het elektriciteitsverbruik in een woning. Verschillende studies vonden een vrijwel lineair verband tussen de grootte van het huishouden en het elektriciteitsverbruik. Daarbij daalt het elektriciteitsverbruik per persoon in een huishouden naarmate het huishouden groter is. Het elektriciteitsverbruik neemt in mindere mate toe naarmate het huishouden groter is. Dit kan worden verklaard door het delen van het woonoppervlak en de apparaten in het huishouden.

Een vergelijkbare trend is zichtbaar bij het verwarmen van de woning op conventionele manier. Dit is begrijpelijk omdat het verwarmen van het vloeroppervlak van de woning voor één of meerdere personen gelijk is.

Infraroodpanelen verwarmen met stralingswarmte en verwarmen daarmee niet op basis van convectie. De infraroodstraling verwarmt objecten (en personen) direct. Het is daarom de vraag of een vergelijkbare relatie ook bestaat voor het aantal personen in het huishouden en het gebruik van infraroodverwarming.

In Figuur 6.11 is het bruto verbruik uitgezet tegenover het aantal personen in het huishouden. De 1-2 en 3-persoonshuishoudens laten een oplopend verbruik zien, maar de 4-persoonshuishoudens wijken duidelijk af. Een mogelijke verklaring is de leeftijdsopbouw van de huishoudens: een puber docht langer dan een peuter. Een huis met een baby verwarm je 's nachts mogelijk iets meer. Oudere kinderen verblijven meer in een eigen kamer. Leeftijdsopbouw van de deelnemende huishoudens is niet bekend.

Eerder werd duidelijk dat een doorstroomboiler resulteert in een hoger verbruik. Geen van de vijf 4-persoonshuishoudens maakt hier gebruik van. Dit zou een logische verklaring kunnen zijn voor een lager verbruik. Daarnaast worden ze allemaal mechanisch geventileerd. Niet in lijn hiermee is dat het geïnstalleerd vermogen aan infraroodpanelen op voor de 4-persoonshuishoudens hoger ligt dan het gemiddelde van het hele cluster.



Figuur 6.11. Verdeling van het bruto verbruik naar het aantal personen in het huishouden (n=22).

Elektriciteitsverbruik in kWh of kWh/persoon over periode februari – maart 2021

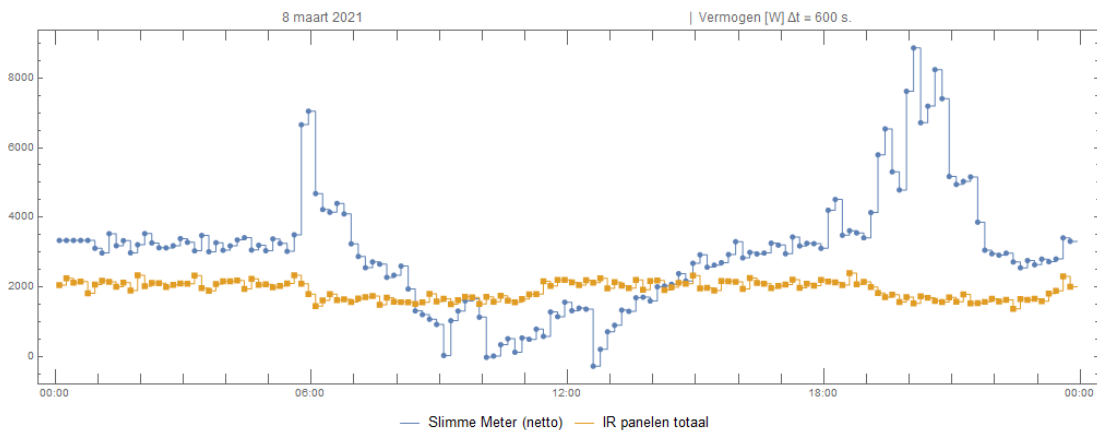
Bewonersgedrag

In Figuur 6.12 en Figuur 6.13 is het verbruik gedurende één dag te zien voor twee verschillende woningen. Het illustreert het effect van bewonersgedrag ten aanzien van het energieverbruik. De bewoners van de eerste woning laten de infraroodpanelen altijd aan staan, dag en nacht. Dit zorgt voor een continu hoog verbruik, maar weinig enorme pieken.

“De panelen staan altijd aan in het stookseizoen. Alleen de instelling 10-100% stel ik bij met de hand, bijna dagelijks. Mijn comfort is dan ook perfect.”

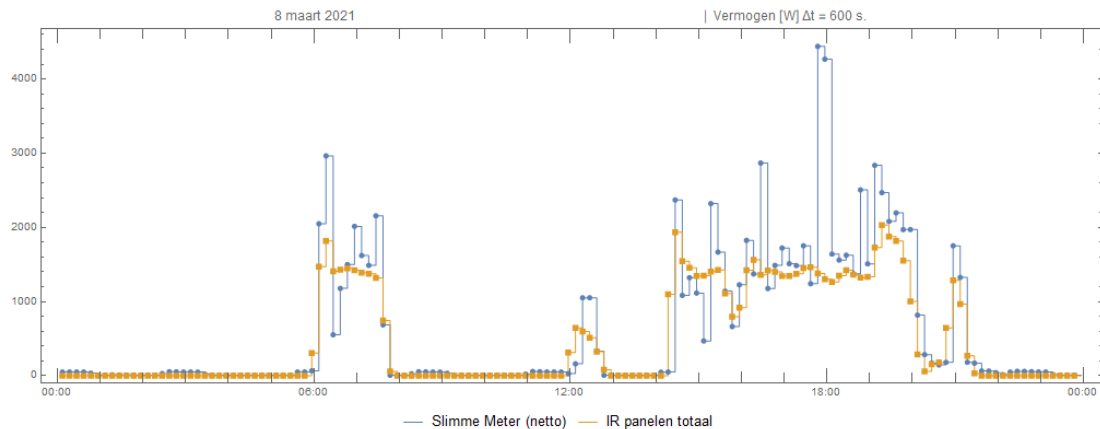
– Woningeigenaar (M) / vrijstaande woning (212 m²)

De bewoner van de tweede woning maakt op een geheel andere manier gebruik van zijn/haar IR panelen. Hier is te zien dat de basislast van de woning erg laag is en dat het totaal verbruik op de slimme meter het verloop van de IR panelen volgt.



Figuur 6.12. Verbruik over één dag voor een vrijstaande woning van 212 m² en een vermogen van 8250 W aan IR panelen.

Ondanks dat het verloop wellicht anders doet vermoeden beschikt deze woning niet over een elektrische auto of een andere grote elektriciteitsverbruiker.



Figuur 6.13. Verbruik over één dag voor een appartement van 30 m² en een vermogen van 4400 W aan IR panelen.

Voor een tweede analyse zijn drie woningen in detail met elkaar vergeleken. De woningen hebben een vergelijkbaar gebruiksoppervlakte tussen de 164 en 178 m² maar een sterk afwijkend bruto verbruik oplopend van 1.180 tot 6.346 kWh (in februari en maart). De woningen komen uit verschillende bouwjaarklassen en hebben een afwijkend energielabel, waarbij de woning met het hoogste verbruik ook het slechtst geïsoleerd is. Het vermogen aan IR panelen is voor woning W45 een stuk lager dan bij de andere woningen het geval is. Ondanks dat is het verbruik drie keer zo hoog als bij woning W53. Het verschil tussen deze woningen kan mogelijk verklaard worden de tapwater installatie, waarbij een warmtepomp efficiënter werkt dan een elektrische boiler.

Tabel 6.3 *Vergelijking verbruik drie losse woningen*
Elektriciteitsverbruik in kWh of kWh/m² over periode februari – maart 2021

		W49	W53	W45
Gebruiksoppervlakte	m ²	164	178	173
Bruto verbruik	kWh	6.346	1.180	3.577
Bruto verbruik	kWh/m ²	38,70	6,63	20,68
Maximaal vermogen	W	11.835	10.838	10.116
Woning				
Energielabel		G	A	B
Woningtype		vrijstaand	vrijstaand	2 onder 1 kap
Bouwjaar		t/m 1945	2014 t/m heden	1992 t/m 2005
Aantal personen		3	4	4
Installaties				
Opwekkingstoestel tapwater		Individuele ketel, < 1998	Warmtepomp	elektrische boiler
Ventilatiesysteem		onbekend	mechanische ventilatie	mechanische ventilatie
Vermogen PV panelen	kW	0	5,88	6
Vermogen IR panelen	Watt	11500	13780	3750

6.4 Energiegebruik IR-panelen

In deze paragraaf kijken we eerst naar het elektriciteitsgebruik van de infraroodpanelen zelf in relatie tot woning- en installatiekenmerken. Daarna naar de verbanden met huishoudenkenmerken en bewonersgedrag.

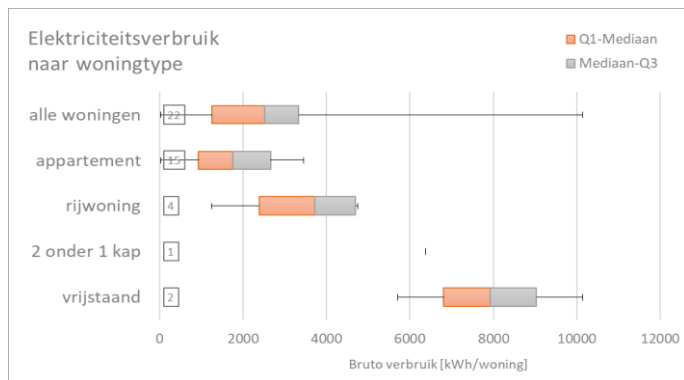
Het elektriciteitsverbruik is geregistreerd in de periode februari-maart 2021. Omdat het alleen gaat om elektriciteit voor verwarming, is het mogelijk deze terug te rekenen naar een standaardklimaatjaar. De twee maanden tellen samen in De Bilt 783 gewogen graaddagen (met 18°C als stookgrens). Het verbruik is teruggerekend naar kWh/graaddag en vervolgens naar 2.800 graaddagen voor een gemiddeld jaar. De grafieken hieronder zijn

daarom telkens het verbruik van de twee maanden in kwestie, maar teruggerekend naar een standaardjaarverbruik. Dat maakt het ook mogelijk de getallen te vergelijken met het jaarverbruik van woningen met een ander soort installatie.

6.4.1 Elektriciteitsverbruik IR-PANELEN in relatie tot woning- en installatiekenmerken

Woningtype, bouwjaar en energielabel

De eerste figuur geeft het gemiddelde elektriciteitsverbruik van de panelen ten opzichte van het woningtype. Duidelijk te zien dat grotere woningen (vrijstaand) een hoger verbruik hebben dan kleinere (appartementen).

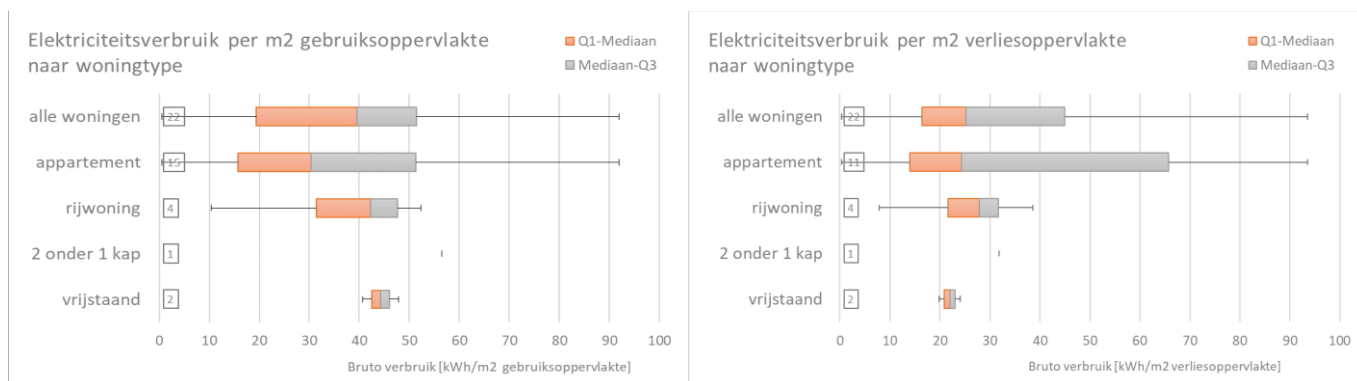


Figuur 6.14. Verdeling van het verbruik van IR-panelen naar woningtype.

Elektriciteitsverbruik in kWh/woning, geregistreerd in de periode februari – maart 2021, via graaddagen teruggerekend naar een standaardklimaatjaar.

Kijken we naar het verbruik per m² gebruiks- of verliesoppervlakte, dan zijn de verschillen veel kleiner. Hoewel er nog steeds een behoorlijk spreiding zit in de verbruiken per m² gebruiksoppervlakte per woning, vooral bij de appartementen, zit zo'n 50% van de woningen tussen een verbruik van 20 en 50 kWh/m² en gemiddeld rond de 40 kWh/m². (Dat is dus het verbruik dat is geregistreerd in februari-maart 2021, teruggerekend tot een standaardklimaatjaar). Dit getal komt goed overeen met bevindingen in een eerdere studie van Thuisbaas, die uitkomt op 37 kWh/m² jaar.

Een gemiddelde woning in Nederland gebruikt ongeveer 1.310 m³ gas¹⁷ waarvan 250 m³ voor koken en tapwater. Bij een gemiddelde grootte¹⁸ van 119 m² is dat ongeveer 9 m³/m² (≈ 90 kWh/m²) voor ruimteverwarming.



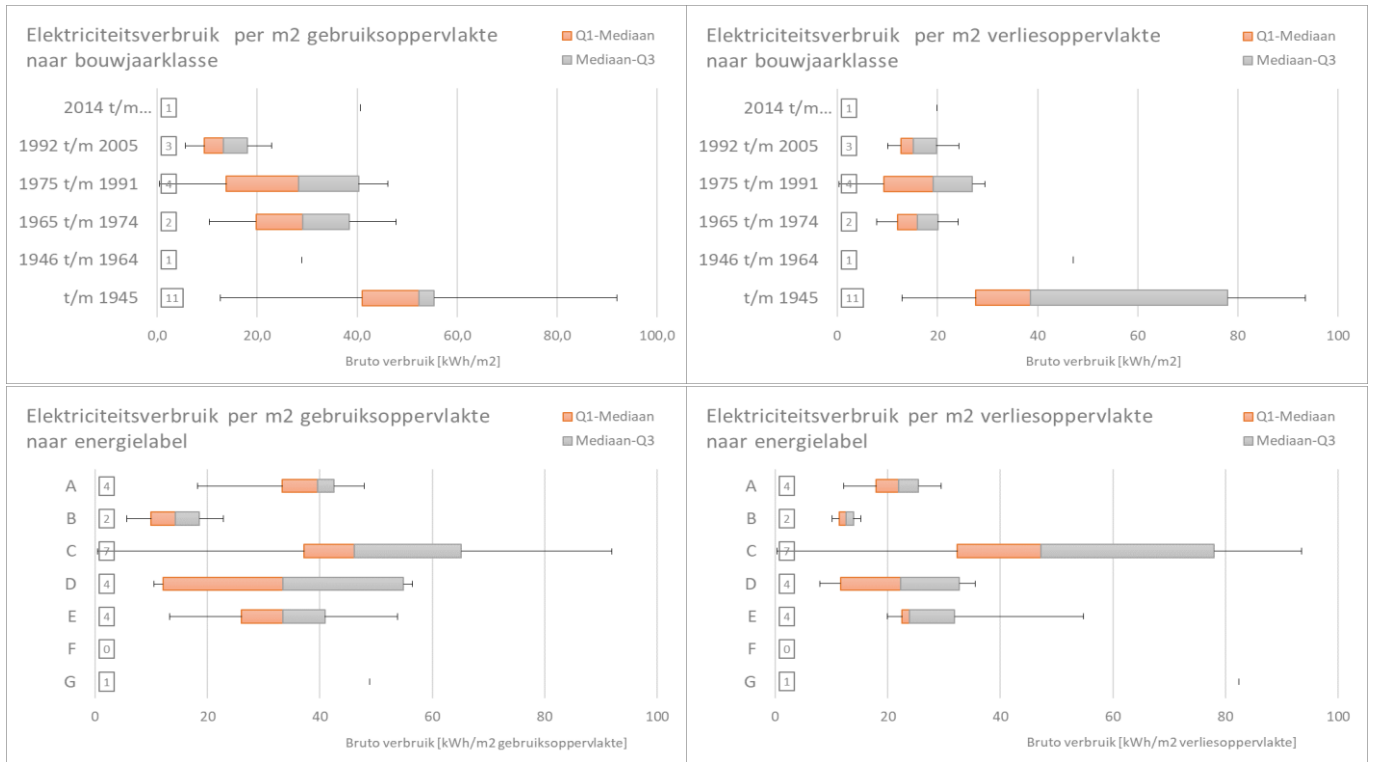
Figuur 6.15. Verdeling van het verbruik van IR-panelen per m² gebruiks- of verliesoppervlakte naar woningtype.

Elektriciteitsverbruik in kWh/m², geregistreerd in de periode februari – maart 2021, via graaddagen teruggerekend naar een standaardklimaatjaar.

¹⁷ https://klimaatmonitor.databank.nl/Jive?workspace_quid=d50e4f7a-e047-43f7-a112-b512c1d78a78

¹⁸ <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82550NED/table?dl=3FEF6>

De volgende figuren kijken naar het elektriciteitsgebruik ten opzichte van de kwaliteit van de thermische schil (benaderd door het bouwjaar en het energielabel). We zien dat nieuwe woningen een lager verbruik per m² gebruiksoppervlakte hebben. Het verband met het energielabel is minder duidelijk, maar dat wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de behoorlijke grote vermogens aan zonnepanelen op een groot deel van de woningen (die het energielabel behoorlijk beïnvloeden). Gekeken per m² verliesoppervlakte is het verband met bouwjaarclassie minder duidelijk, al is wel duidelijk te zien dat oudere woningen (voor 1945) een beduidend hoger verbruik per m² hebben.

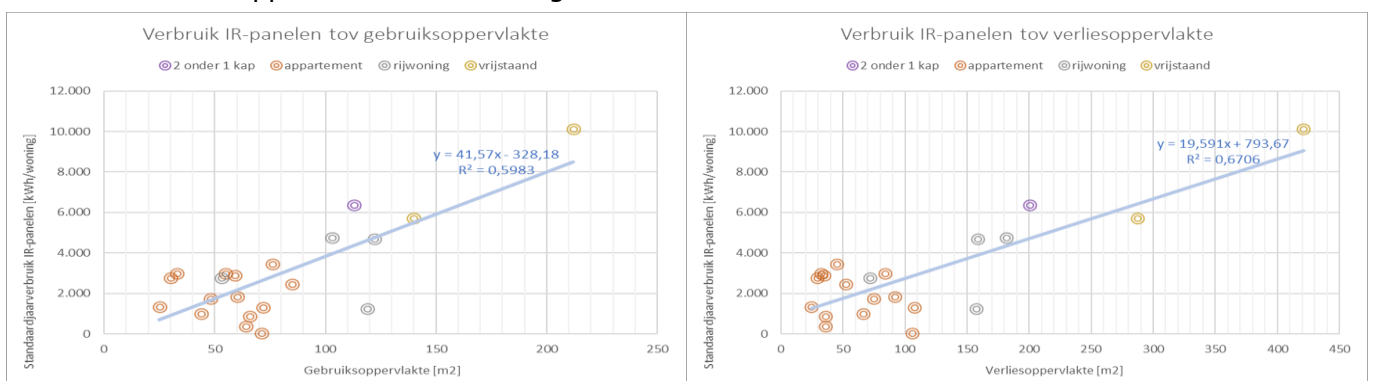


Figuur 6.16. Verdeling van het verbruik van IR-panele per m² gebruiks- of verliesoppervlakte naar bouwjaarclassie en energielabel.

Elektriciteitsverbruik in kWh/m², geregistreerd in de periode februari – maart 2021, via graaddagen teruggerekend naar een standaardklimaatjaar. Let op: Veel woningen hebben (veel) zonnepanelen en scoren daardoor een gunstig energielabel. Het label is daarom geen goede indicator voor de kwaliteit van de thermische schil.

Gebruiks- en verliesoppervlakte

We zagen hiervoor dat het verbruik van grotere woning hoger is dan van kleine woningen. Dat wordt duidelijk als we het verbruik van de panelen uitzetten tegen de gebruiks- of verliesoppervlakte van de woningen.



Figuur 6.17. Verbruik IR-panele ten opzichte van de gebruiks- en verliesoppervlakte (N=22).

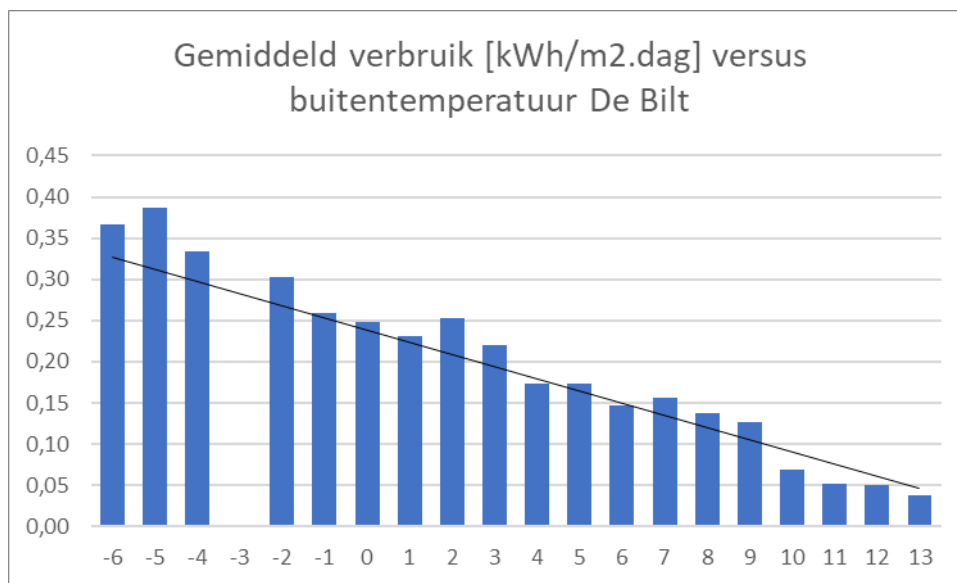
Elektriciteitsverbruik in kWh/m², geregistreerd in de periode februari – maart 2021, via graaddagen teruggerekend naar een standaardklimaatjaar.

Tapwaterinstallatie

Het verbruik van de panelen ten opzichte van de tapwaterinstallatie is niet van belang. Deze installaties opereren los van elkaar.

Buitentemperatuur

De buitentemperatuur blijkt niet verrassend sterk samen te hangen met het verbruik van de IR-panelen. Dat is te zien in de volgende figuur waar het gemiddelde verbruik over de 22 woningen is uitgezet tegen de temperatuur in De Bilt. (Er is hier gekozen voor De Bilt als maat voor heel Nederland. De woningen zijn verspreid over het hele land, deels in binnensteden waar de buitentemperatuur hoger ligt dan in het meetstation in De Bilt).



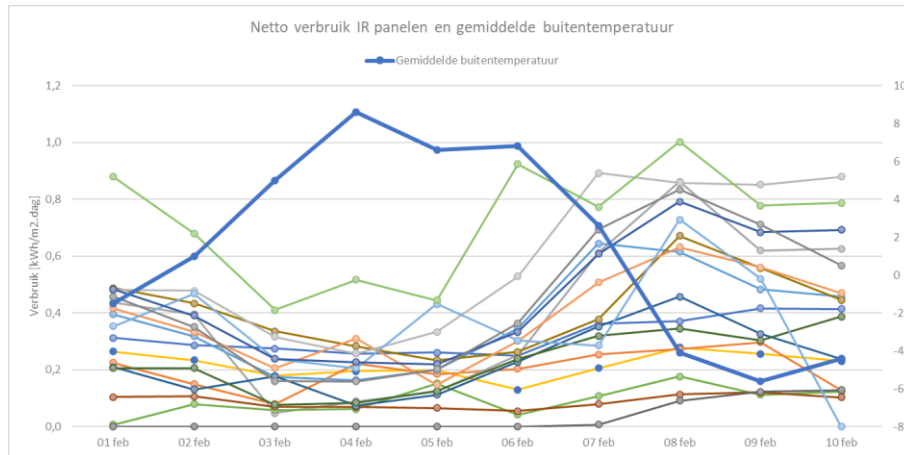
Figuur 6.18. Verbruik IR-panelen ten opzichte van de buitentemperatuur in De Bilt (N=22).

Elektriciteitsverbruik in kWh/m².dag, geregistreerd in de periode februari – maart 2021. Temperatuur van '-6' betekent een daggemiddelde temperatuur in De Bilt tussen -5 en -6 °C. De trendlijn is bedoeld als indicatie van de samenhang. Deze volgt niet uit een fysisch model en is ook niet bedoeld als voorspelling van een werkelijk gebruik.

"Ik ben verder tevreden over infrarood verwarmen. Maar nu het vriest is het duidelijk dat de panelen het maar net warm kunnen krijgen. Als ik ze 's avonds op 19 °C zet duurt het overdag de hele dag voor het weer 20 °C is."

In Figuur 6.19 is het verbruik van de IR-panelen in kWh uitgezet in de tijd voor de verschillende woningen. De verwachting is dat in een koudere periode het verbruik hoger ligt. Dat geldt niet voor alle woningen. Gemiddeld gebruikten de infraroodpanelen meer stroom van 7 t/m 12 februari dan de 6 dagen daarvoor. In sommige gevallen werd tijdens de koude week juist minder verbruikt dan de week daarvoor.

Opvallend is dat bij een relatief hoge buitentemperatuur (5-10 graden) er minder spreiding is in het energieverbruik dan bij lage temperaturen (0 tot -5 graden).

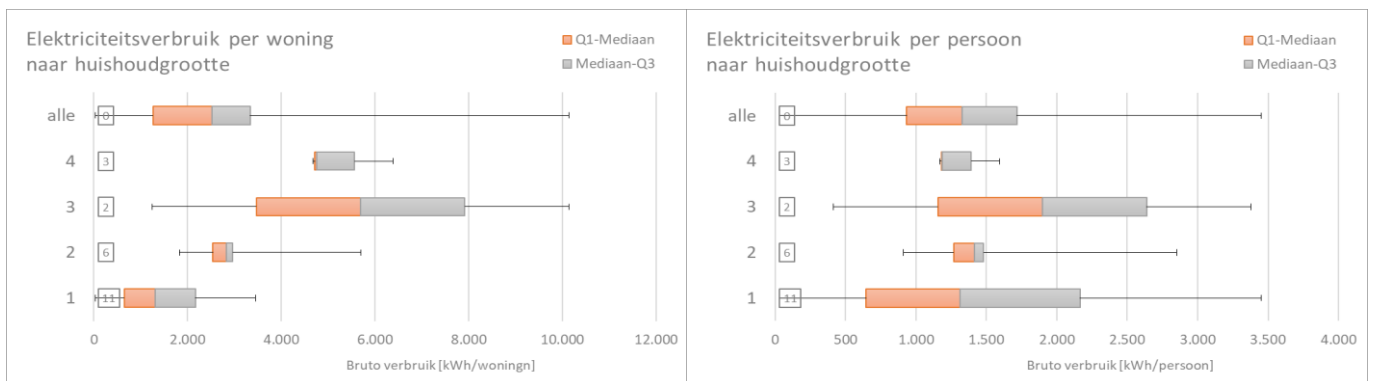


Figuur 6.19. Verbruik infraroodpanelen voor 21 woningen gedurende de eerste 12 dagen van februari.

6.4.2 Elektriciteitsverbruik IR-PANELEN in relatie tot huishoudkenmerken en gedrag

Huishoudsamenstelling

De volgende figuren laten zien dat het verbruik van de IR-panelen toeneemt met het aantal personen in een huishouden. Het verbruik per persoon is gemiddeld 1.350 kWh, met 50% van de gevallen tussen 930 en 1.720 kWh/jaar. Ook hier is een behoorlijke spreiding te zien, met een aantal woningen met een verbruik van nagenoeg 0 kWh tot een uitschieter naar 10.000 kWh voor een grote vrijstaande woning.



Figuur 6.20. Verbruik IR-panelen naar het aantal personen in het huishouden (n=22).

Elektriciteitsverbruik in kWh/m², geregistreerd in de periode februari – maart 2021, via graaddagen teruggerekend naar een standaardklimaatjaar.

Bewonersgedrag

Het gedrag van bewoners is één van de bepalende variabelen. Het gedrag (bijvoorbeeld ingestelde binnentemperatuur, aanwezigheid) zorgt voor grote variatie in het werkelijk gebruik bij verder identieke woningen. Voor een deel is dat al te zien in de spreiding in de resultaten in de voorgaande figuren. Ter illustratie is voor drie woningen die in één en hetzelfde woongebouw liggen gekeken naar de verbruiken van de IR-panelen.

De woningen hebben een vergelijkbaar gebruiksoppervlakte tussen de 25 en 33 m² maar een afwijkend verbruik oplopend van 561 tot 1.301 kWh (in februari en maart, geen jaarverbruik). Deze drie woningen bevinden zich onder elkaar in één pand, waarvan W58 op de begane grond, W50 op een tussenverdieping en W30 onder het dak. (Energie label E is ook afwijkend → nagaan of het afgemelde label ook al zonnepanelen heeft).

De woningen zijn allemaal even oud, zijn op de zelfde manier geïsoleerd en worden bewoond door één persoon.

Wat opvalt is dat de kleinste woning (W30) het hoogste vermogen aan IR panelen heeft. Daarnaast is dit ook de woning met 3,55 kWp aan zonnepanelen. Dat de andere

twee woningen duidelijk meer verbruiken kan niet verklaard worden op basis van woning- en installatiekenmerken. Het is duidelijk dat gedrag hier een grote rol speelt.

Het maximaal opgenomen vermogen van de panelen is wel ongeveer gelijk over de drie woningen.

Tabel 6.4 *Vergelijking energiegebruik IR-panelen van drie naastgelegen woningen*
Elektriciteitsverbruik in kWh/woning, geregistreerd in de periode februari – maart 2021, niet teruggerekend naar jaarverbruik.

	W58 (BG)	W50 (tussen)	W30 (dak)
Gebruiksoppervlakte [m ²]	30	33	25
Bruto verbruik [kWh]	1.301	1.118	561
Bruto verbruik [kWh/m ² GO]	43	34	22
Maximaal vermogen [W]	3.613	3.428	3.884
Woning			
Energielabel	C	C	E
Woningtype	appartement >1 woonlaag	appartement >1 woonlaag	appartement >1 woonlaag
Bouwjaar	t/m 1945	t/m 1945	t/m 1945
Aantal personen	1	1	1
Installaties			
Opwekkingstoestel tapwater	doorstroomapparaat	doorstroomapparaat	doorstroomapparaat
Ventilatiesysteem	natuurlijke ventilatie	natuurlijke ventilatie	natuurlijke ventilatie
Vermogen PV panelen [kWp]	0	0	3.550
Vermogen IR panelen	4.400	4.400	6.050

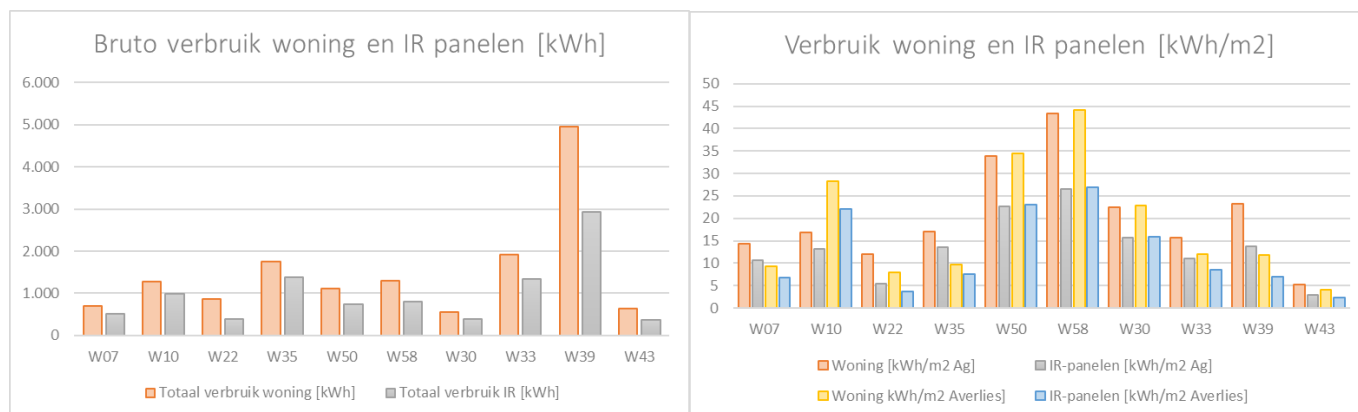
6.5 Elektriciteitsverbruik infrarood t.o.v. woning

Voor een klein deel van de woningen (Cluster E, 10 woningen) zijn gegevens bekend van zowel de slimme meter als de IR-panelen. Voor deze woningen is gekeken naar een relatie tussen het verbruik van de panelen en het totaal verbruik van de woningen.

Figuur 6.21 laat het verbruik van de IR panelen ten opzichte van de gehele woning zien over de gehele maand februari en maart. Het verbruik van de panelen ligt tussen de 43% en 81% met gemiddeld 69% van het totaal.

“Wat ik ook merk is dat het maandverbruik door het dak is gegaan in januari en dat ik ruim 300 euro verbruikt heb. Dat komt natuurlijk ook doordat ik momenteel vanwege Corona de hele dag thuis werk en dan hakt 3x1300 watt aan infrarood er wel in.”

– Woningeigenaar (V) / vrijstaande woning (137 m²)



Figuur 6.21. *Verbruik IR panelen ten opzichte van het totaal verbruik per woning.*

Elektriciteitsverbruik in kWh/woning, geregistreerd in de periode februari – maart 2021, niet teruggerekend naar jaarverbruik.



6.6 Conclusies

In dit hoofdstuk is gekeken naar het elektriciteitsgebruik van woningen en van IR-panelen. Dat zijn deels overlappende clusters. We vinden een duidelijke correlatie van elektriciteitsgebruik van de woningen en van de IR-panelen met gebruiks- en met verliesoppervlakte. Er is eveneens een duidelijke correlatie van het gebruik van de panelen met de buitentemperatuur

Hoewel er nog steeds een behoorlijk spreiding zit in de verbruiken van de IR-panelen per m² gebruiksoppervlakte, vooral bij de appartementen, zit zo'n 50% van de woningen tussen een verbruik van 20 en 50 kWh/m² en gemiddeld rond de 40 kWh/m². (Dat is dus het verbruik dat is geregistreerd in februari-maart 2021, teruggerekend tot een standaardklimaatjaar). Voor een gemiddelde woning van zeg 100 m² is dat een jaarverbruik (voor alleen ruimteverwarming) van 4.000 kWh. Dat is het equivalent van circa 400 m³ aardgas. Het is fors minder dan het gemiddelde van woningen met een gasgestookte verwarming (circa 90 kWh/m²). Er moet nog wel rekening gehouden worden met een mogelijk hoger energiegebruik van IR-woningen voor tapwater en eventueel koeling. Het verbruik per persoon is gemiddeld 1.350 kWh, met 50% van de gevallen tussen 930 en 1.720 kWh/jaar.

IR-panelen zijn dominant in het elektriciteitsgebruik van de woningen, gemiddeld goed voor 70% van het elektriciteitsgebruik in februari-maart.

7 Comfort en energie

In dit hoofdstuk kijken we naar de relatie tussen het energieverbruik van de woning en de comfortbeleving.

7.1 Meetmethode / data-acquisitie

We maken voor deze analyses gebruik van de woningen die zijn uitgerust met een Cludia waarmee de slimme meter wordt uitgelezen (Cluster C) en van woningen waarmee data van de IR-panelen beschikbaar is, uitgerust met BeNext (Cluster D). In paragraaf 6.1.1 en 6.1.2 worden deze systemen nader toegelicht. In paragraaf 6.2 zijn enkele kenmerken van de woningen gegeven. We combineren die gegevens met woningen waarvan ook comfortmetingen bekend zijn (Cluster B, zie 5.2)

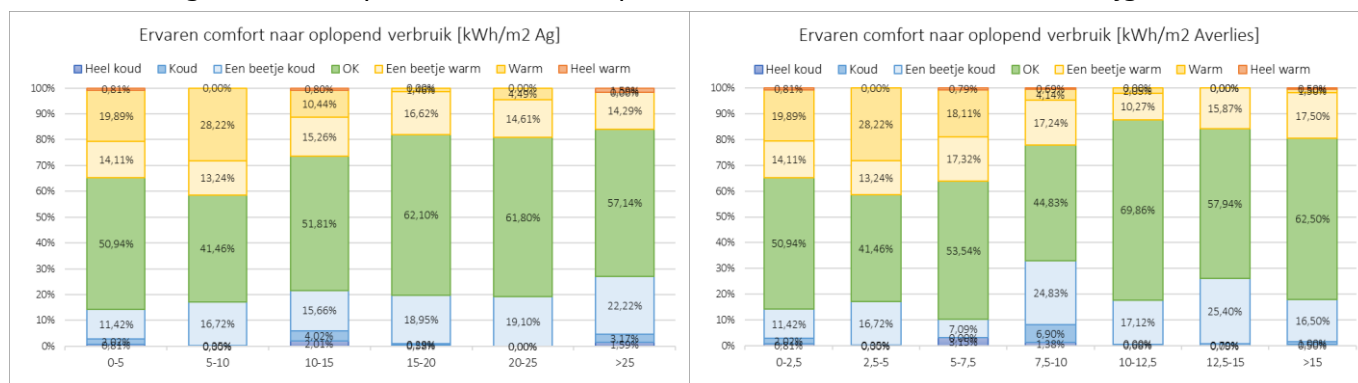
7.2 Comfortbeleving in relatie tot elektriciteitsverbruik

“Op ijskoude dagen (zoals afgelopen winter) was het soms kantje boord.”

– Woningeigenaar (M) / tussenwoning (53 m²)

Er lijkt een zwak verband te zijn tussen de comfortbeleving en het verbruik (Figuur 7.1).

Bij woningen met een laag verbruik is het comfort vaker ‘te warm’, bij woningen met een hoog verbruik vaker ‘te koud’. Blijkbaar is in die laatste gevallen het vermogen, de regelbaarheid en/of de locatie van de panelen onvoldoende om het warm te krijgen.

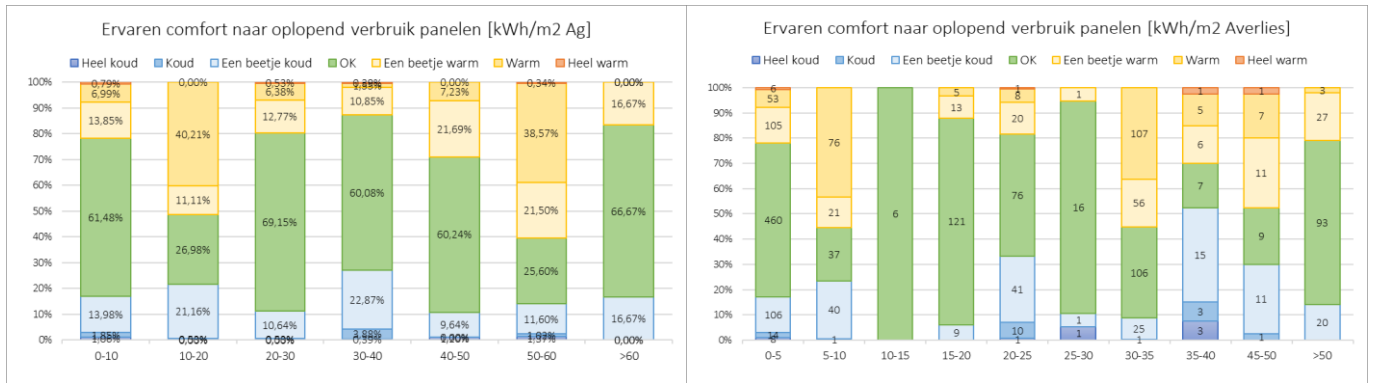


Figuur 7.1. Ervaren comfort naar verbruiksklasse.

Links aantal registraties = 744 / 287 / / 249 / 343 / 89 / 63, samen 1.775

Rechts aantal registraties = 744 / 287 / 127 / 145 / 146 / 126 / 200, samen 1.775

Energiegebruik in kWh over periode februari-maart 2021, dus slechts 2 maanden.



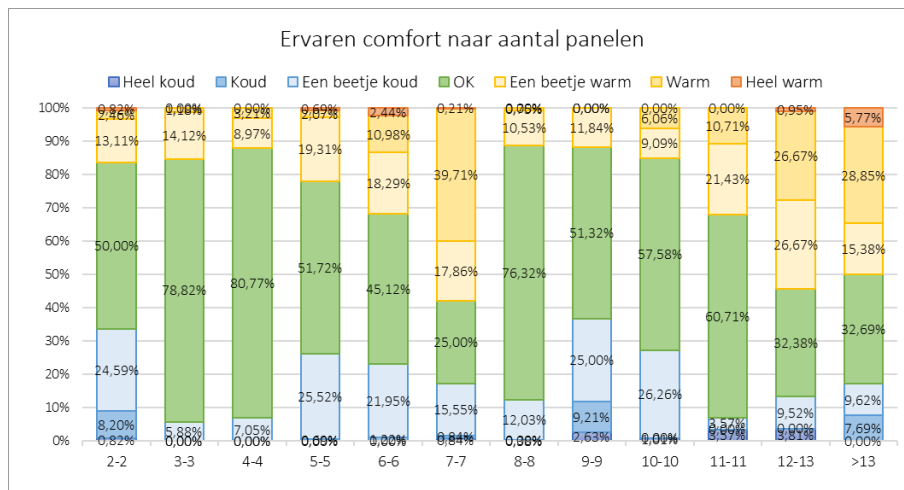
Figuur 7.2. *Ervaren comfort naar verbruiksklasse.*

Links aantal registraties = 744 / 287 / / 249 / 343 / 89 / 63, samen 1.775

Rechts aantal registraties = 744 / 287 / 127 / 145 / 146 / 126 / 200, samen 1.775

Elektriciteitsverbruik in kWh/m², geregistreerd in de periode februari – maart 2021, via graaddagen teruggerekend naar een standaardklimaatjaar.

In voorgaande hoofdstukken hebben we gezien dat het aantal panelen per woning en het vermogen per paneel fors kan variëren. Als het aantal panelen groter is, is ook de lokale regelbaarheid groter. Dat zou in theorie kunnen leiden tot een aangenamer comfort. Kijken we echter naar het ervaren comfort ten opzichte van het aantal panelen, dan is daar geen verband in te vinden.



Figuur 7.3. *Ervaren comfort naar aantal panelen.*

7.3 Conclusies & aanbevelingen

Bij woningen met een laag verbruik is het comfort vaker ‘te warm’, bij woningen met een hoog verbruik vaker ‘te koud’. Blijkbaar is in die laatste gevallen het vermogen, de regelbaarheid en/of de locatie van de panelen onvoldoende om het warm te krijgen. Mogelijk spelen ook nog andere aspecten een rol zoals de luchtdichtheid van de woningen, koudeval bij ramen en/of persoonlijke voorkeur van de bewoners.

Het is interessant om bij deze bewoners door te vragen of deze aanname inderdaad klopt.

8 Vermogen

Behalve het energiegebruik van woningen is ook het vermogen een relevant aspect. In de energietransitie vindt een verschuiving plaats van gas naar elektriciteit en warmte. Het elektriciteitsnetwerk moet al die extra vraag wel aankunnen. Op verschillende plekken in het land zal het net verzaamd moeten worden. Bepalend is hier niet zozeer het elektriciteitsgebruik, maar de piekvraag. In dit hoofdstuk kijken we daarom naar de invloed van IR-panelen op piekvraag van de woning? En maken we een inschatting van de netimpact van de **gelijktijdige vermogensvraag** (op wijkniveau). Omdat een deel van de woningen ook is uitgerust met zonnepanelen kijken we ook of toepassing van infraroodverwarming effect heeft op de **benuttingsfractie van zonnepanelen**.

8.1 Meetmethode / data-acquisitie

We maken voor deze analyses gebruik van de woningen die zijn uitgerust met een Cloudia waarmee de slimme meter wordt uitgelezen (Cluster C) en in het tweede deel van woningen waarmee data van de IR-panelen beschikbaar is, uitgerust met BeNext (Cluster D). In paragraaf 6.1.1 en 6.1.2 worden deze systemen nader toegelicht. In paragraaf 6.2 zijn enkele kenmerken van de woning gegeven.

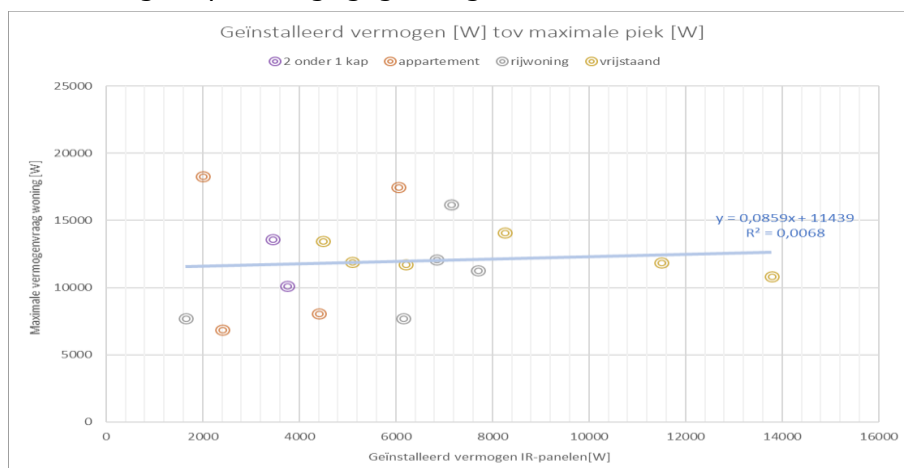
8.2 Woning

Piekvermogen woning

“Vaak beginnen we met 100% en zetten ze na een tijdje lager. 's Avonds gaat alles om 19 uur uit en dan blijft het nog enkele uren warm.”

– Woningeigenaar (V) / appartement (85 m²)

In is de maximale vermogensvraag van de woning uitgezet tegen het geïnstalleerd vermogen aan IR panelen. Hier is geen enkel verband te zien. Wat betekent dat het geïnstalleerd vermogen niet altijd een goede voorspeller is voor de maximale netbelasting. De piekvraag ligt grofweg tussen 10 en 15 kW.



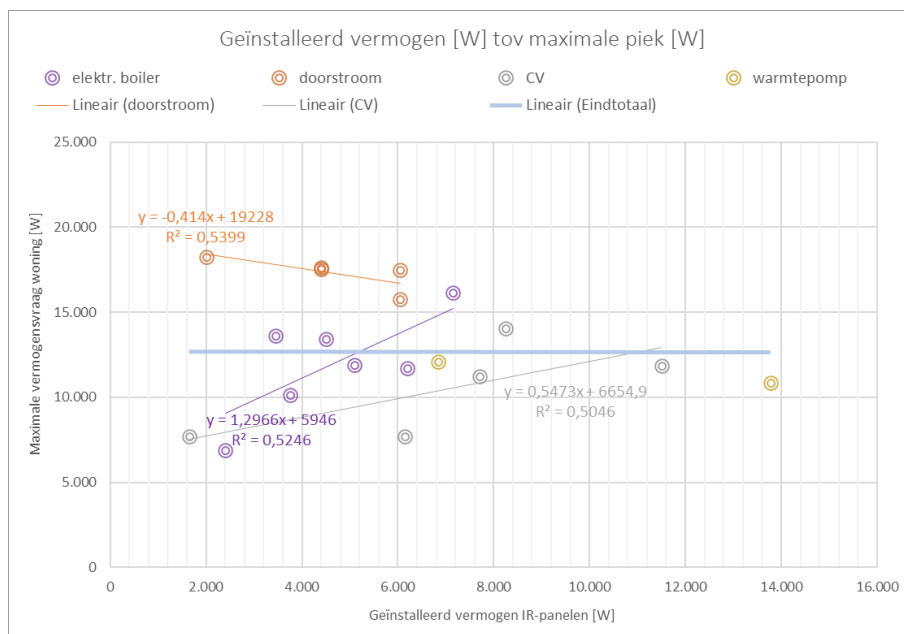
Figuur 8.1. Maximale vermogensvraag woningen versus opgesteld vermogen IR-panelen. Registratie in februari-maart 2021.

Wel is er een verband te zien tussen het type installatie voor warm tapwater en de maximale vermogensvraag, zie Figuur 8.2. Als we alle woningen bij elkaar beschouwen, is er nauwelijks een verband (blauwe trendlijn), maar als we inzoomen op de verschillende toestellen dan is er wel een verband te vinden. Let wel op dat het over kleine aantallen woningen gaat. Het is niet zeker dat deze verbanden stand houden als er een grotere onderzoekspopulatie wordt bekeken.

Voor de 7 woningen met een elektrische boiler is de piekvraag van de woning ongeveer 6 kW plus 1,3x het vermogen van de IR-panelen. Voor de 5 woningen met een (gasgestookte) CV-ketel is dat 6,5 kW plus 0,55x het vermogen van de IR-panelen. Hierin speelt niet alleen het effect van de extra IR-panelen, maar ook de grootte van de woning een rol. Grotere woningen hebben een hoger totaal vermogen IR-panelen maar vaak ook een groter vermogen aan andere apparatuur.

Er zijn binnen cluster C 5 woningen met een doorstroomboiler. Deze trekken een vermogen tot wel 18 kW, duidelijk hoger dan de woningen die een andere tapwatervoorziening hebben. Doorstroomtoestellen hebben een vermogen in de range van enkele kW tot zeker 24 kW. Een piek van 18 kW is dus niet eigenaardig.

Twee woningen met een warmtepomp is te weinig om daar een trendlijn aan te koppelen.

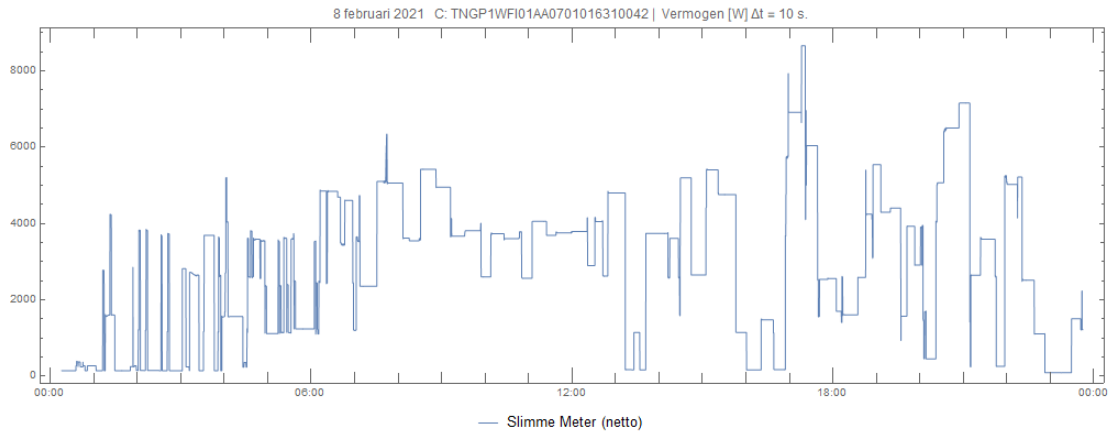


Figuur 8.2. Geïnstalleerd vermogen IR panelen ten opzichte van maximale vermogensvraag van het net. Onderverdeeld naar type tapwaterinstallatie.

Registratie in februari-maart 2021. Trendlijnen dienen als illustratie van het verband.

In Figuur 8.3 is de netbelasting van een vrijstaande woning met label G per 10 seconden weergegeven. De piek tijdens de avonduren is hier duidelijk zichtbaar. Deze ligt maximaal op zo'n 8 kW. Gemiddeld over de winter ligt de piek tussen 3 kW en 15 kW (andere grootverbruikers inbegrepen). Dit ligt zeker hoger dan van de netcapaciteit verwacht mag worden.

Als we kijken naar de koudste dagen in februari in vergelijking met het gemiddelde over de hele periode dan ligt de piekbelasting ongeveer 2 kW hoger. Dit heeft mogelijk te maken met de intensiteit die men handmatig kan instellen.



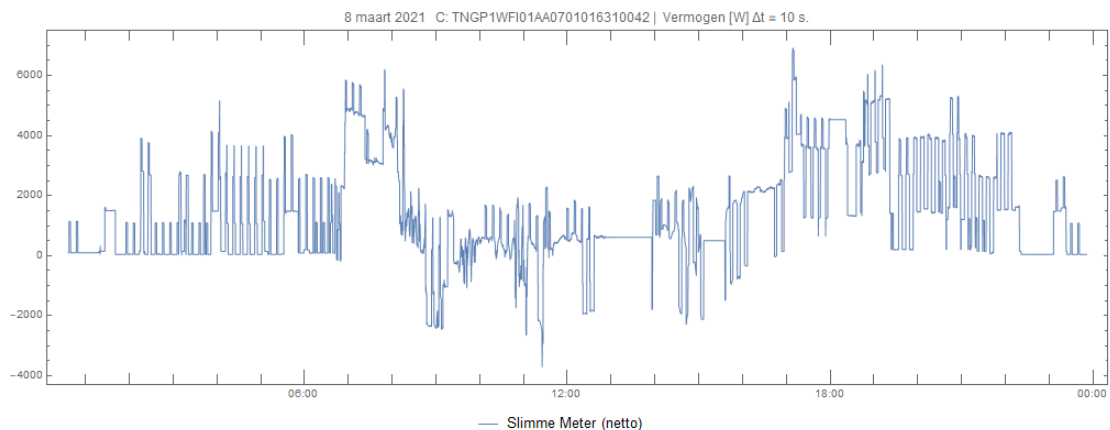
Figuur 8.3. Netbelasting per 10 seconden over de koudste dag in februari. Van een vrijstaande woning, gebouwd tussen 1945 en 1965 met een label G (W28).

Benuttingsfractie zon-PV

“Over het hele jaar genomen valt het allemaal nog mee, maar de wintermaanden schieten eruit. Daar moet echt PV tegenover staan om dat op jaarbasis uit te vlakken, want anders is het niet te doen en ook niet duurzaam.”

– Woningeigenaar (V) / vrijstaande woning (137 m²)

14 van de 22 woningen in cluster C beschikken over zonnepanelen. Ondanks dat gemeten is gedurende de winterperiode is de invloed van PV-opwek duidelijk zichtbaar en zakt de elektriciteitsvraag rond het middaguur soms zelf onder nul (Figuur 8.4).



Figuur 8.4. Netbelasting per 10 seconden over één dag in maart. Van een vrijstaande woning, gebouwd tussen 1945 en 1965 met een label G.

Normaal loopt de productie van zon-PV niet gelijk met de verwarmingsbehoefte. Juist als de productie stopt, loopt de warmtevraag op en daarmee ook het gevraagde elektrisch vermogen. Momenteel verkeren we echter in een situatie waarbij veel bewoners doordeweeks vaker thuis zijn (Corona), waardoor PV-panelen overdag helpen de piekbelasting van de woning te verlagen.

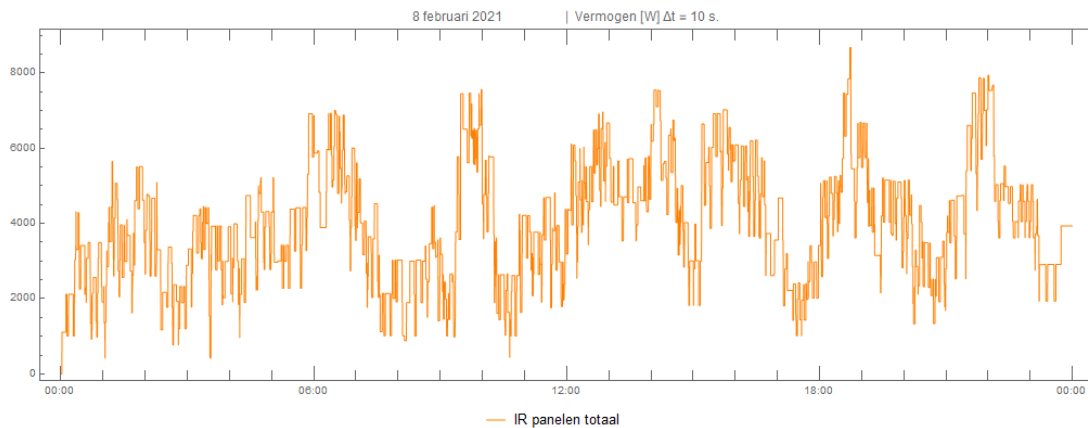
Ook tijdens de winterperiode zorgt zon-PV voor een duidelijk lager netto-verbruik. Waarbij de directe zelfconsumptie afhangt van meerdere factoren zoals het geïnstalleerd vermogen, het bruto verbruik en het gedrag van de bewoner.

Analyse van directe benuttingsfractie geeft geen eenduidig beeld. Hier wordt samen met Universiteit Utrecht nog naar gekeken.

8.3 Infraroodpanelen

Piekbelasting infraroodpanelen

In Figuur 8.5 is de netbelasting van een vrijstaande woning met label A per 10 seconden weergegeven. De piek is hier maximaal zo'n 8 kW tijdens de avonduren. Ook gedurende de rest van de dag is de piek redelijk hoog en komt meer dan eens tot boven 6 kW uit.



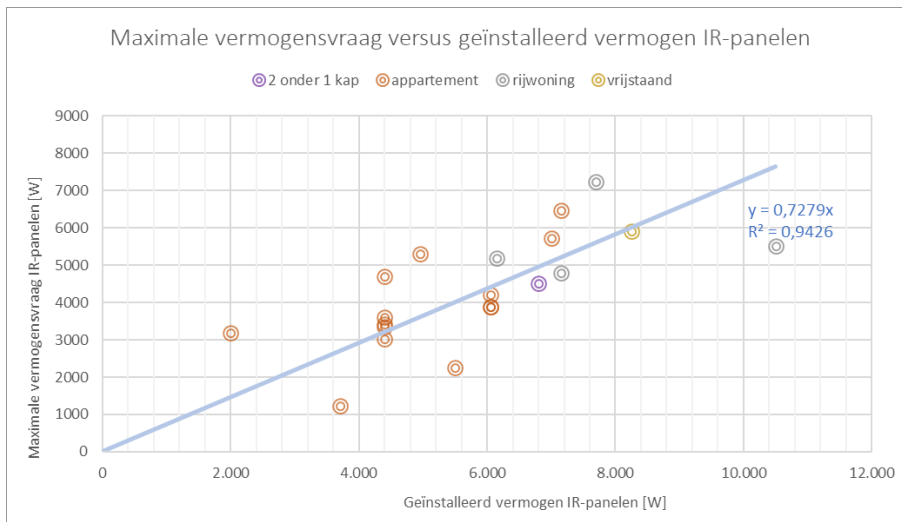
Figuur 8.5. Vermogensvraag gedurende een koude dag in februari, resolutie 10 sec. Van een vrijstaande woning gebouwd na 2014 met een energielabel A.

Als we kijken naar de koudste dagen in februari ligt de piek binnen dit cluster tussen 1 kW en 10 kW (voor alleen IR panelen), afhankelijk van het geïnstalleerd vermogen. Diverse leveranciers hanteren eenvoudige vuistregels om het te installeren vermogen te bepalen. Veelal wordt dan uitgegaan van een benodigd vermogen per m² vloer van 40 – 60W.

“Nu het arctisch koud aanvoelt merk ik dat onze panelen het niet redden met deze koude om boven de 17,2 graden te komen.”

Ondanks dat de winter van 2020/2021 zeer zacht was, kunnen we de maximale netbelasting gedurende de winterperiode wel redelijk voorspellen. Dat komt doordat de IR panelen veelal al op maximaal vermogen zijn gaan verwarmen. Bovendien hadden we een hele koude week in februari. Het geïnstalleerd vermogen van de panelen is dus een goede voorspeller voor het te verwachten piekvermogen.

Uit de figuur blijkt dat de maximale vermogensvraag (van alle IR-panelen in een woning gesommeerd) redelijk correleert met het geïnstalleerd vermogen (wederom van alle IR-panelen in een woning gesommeerd). De figuur is te interpreteren als een gelijktijdigheidsfactor van alle panelen binnen woning. Let op dat de trendlijn een ruwe indicatie geeft en niet moet worden opgevat als ontwerprichtlijn.

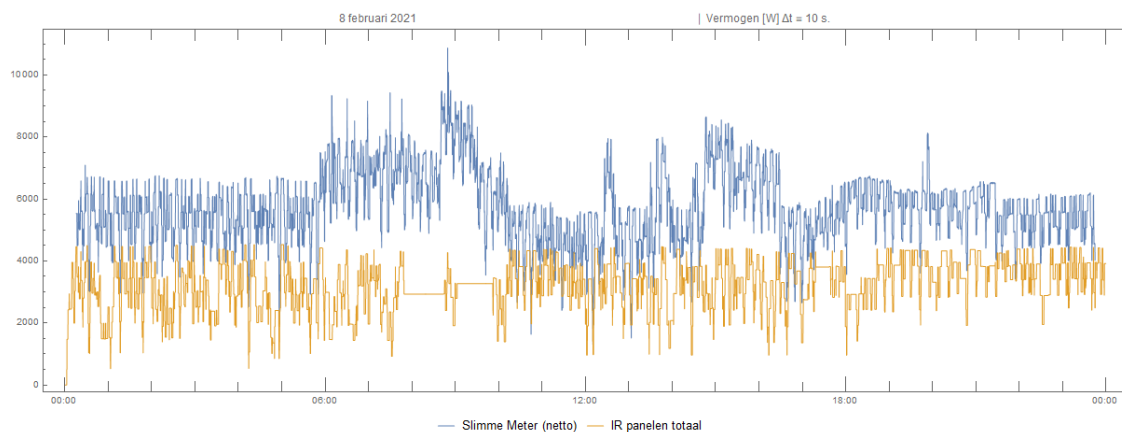


Figuur 8.6. Een lineair verband tussen het geïnstalleerd vermogen t.o.v. de vermogensvraag IR panelen.

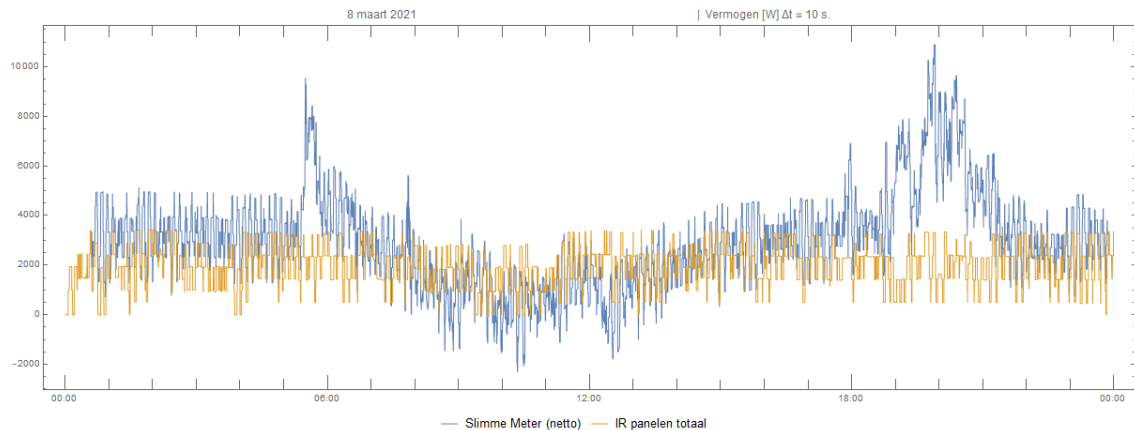
8.4 Piekbelasting infrarood t.o.v. woning

Over het algemeen piekt de belasting in de ochtend en avond, wanneer de PV-productie stil valt, het huishoudelijk verbruik toeneemt en er tegelijkertijd een grotere warmtebehoefte is.

Onderstaande figuren tonen de belasting gedurende twee dagen. Figuur 8.7 toont het verloop op maandag 8 februari met een gemiddelde temperatuur van -5,4 graden Celsius, Figuur 8.8 het verloop op maandag 8 maart met een gemiddelde temperatuur van +5,4 graden Celsius. Hier is te zien dat de maximale piek niet temperatuurafhankelijk is. Maar wordt er op een koudere dag wel vaker een hoger vermogen gevraagd.



Figuur 8.7. Vermogensvraag per 10 seconden van de infraroodpanelen en de woning in totaal in Watt op 8 februari 2021 voor een vrijstaande woning van 212 m². Buitentemperatuur gemiddeld -5,4 °C



Figuur 8.8. Vermogensvraag per 10 seconden van de infraroodpanelen en de woning in totaal in Watt op 8 maart 2021 voor een vrijstaande woning van 212 m². Buitentemperatuur gemiddeld +5,4 °C

De maximale piek is niet zozeer afhankelijk van het type woning. Het geïnstalleerd vermogen en type tapwaterinstallatie zijn wel belangrijke indicatoren.

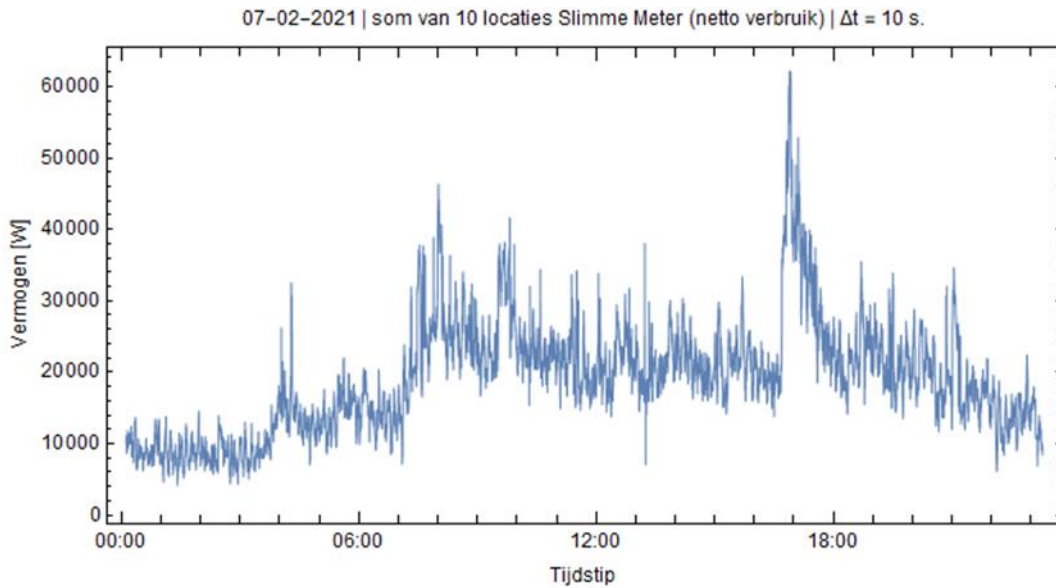
Gelijktijdige vermogensvraag

De piekbelasting is een belangrijke factor om rekening mee te houden, aangezien dit al zeer dicht bij de ontwerpbelasting van gemiddelde Nederlandse netten komt. Er is gezocht naar de maximale gelijktijdige vermogensvraag. Deze ontstaat gedurende de avond, wanneer de meeste mensen thuis zijn en de buitentemperatuur daalt.

De hoogst mogelijke piek komt voor op zondag 7 februari aan het begin van de avond rond 17:00 uur. Met een resolutie van 10 seconden is de gelijktijdige vermogensvraag op dat moment 60 kW (Figuur 8.9). Gemiddeld per woning is dat 6 kW. 7 februari was een erg koude zondag met een gemiddelde temperatuur in De Bilt van -4,1 °C.

Voor de aansluiting in de woning wordt uitgegaan van een aansluiting van 3x25A of 3x35A. Zeker wanneer de stralingspanelen over de fasen verdeeld worden zal er in de praktijk nooit een probleem ontstaan door te weinig beschikbaar vermogen. Dat wil niet zeggen dat het net ook ontworpen is voor een gelijktijdige vermogensvraag van dit niveau. Hier wordt veelal uitgegaan van een gelijktijdigheid lager dan 1. Het Nederlandse laagspanningsnet is ontworpen op 1,5 tot 2,5 kW per woning.

Om 18u in de avond in februari is de bijdrage van zonnepanelen nagenoeg nul. Als later in het jaar (eind maart) nog een dergelijke piek optreedt, kunnen zonnepanelen wel een beperkte bijdrage leveren aan het beperken van de piek.



Figuur 8.9. De gelijktijdige vermogensvraag per 10 seconden ($n=10$).

De figuren hieronder gaan nog wat dieper in tussen het verschil in vermogen zoals gevraagd door de IR-panelen en van de woning als geheel. Gegevens zijn beschikbaar voor 9 woningen omdat voor één van de 10 woningen een deel van de gegevens wegens een storing is weggevallen. Verschil met de voorgaande figuur is ook dat de tijdsresolutie nu 10 minuten is in plaats van 10 seconden. Praktisch gevolg is dat de hoogste pieken dan worden weggemiddeld.

De figuren geven telkens de cumulatieve vermogens over de 9 woningen die met verschillende kleuren worden onderscheiden.

De gemiddelde buitentemperatuur (De Bilt) op maandag 8 februari was $-5,6$ °C, op maandag 8 maart was dat $+5,4$ °C.

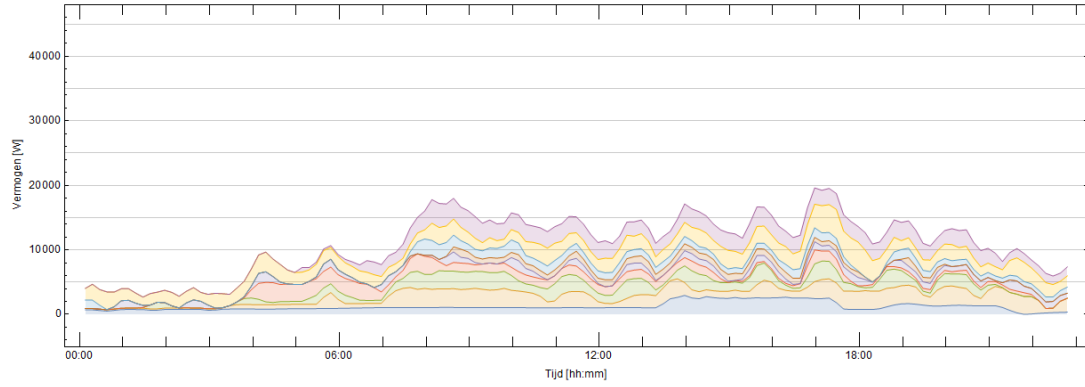
De tweede deelfiguur komt het meest overeen met Figuur 8.10. De piek is iets minder hoog omdat er één woning minder is en omdat de tijdsresolutie anders is. Duidelijk te zien is dat de IR-panelen niet zorgen voor de steile pieken, waarschijnlijk zijn dat de tapwatertoestellen, al dan niet aangevuld met inductiekoken. De piek van 43 kW wordt voor 20 kW veroorzaakt door de IR-panelen (4,8 en 2,2 kW/woning). De 'groene' woning met de hoogste piek heeft een elektrisch doorstroomtoestel voor tapwater.

Een dag later, maandag 8 februari, was het buiten nog iets kouder. De vermogensvraag van de IR-panelen is redelijk gelijk met ook een piek rond de 20 kW voor 9 woningen rond 18u 's avonds. De extreme piek van de dag ervoor is echter niet te zien. Wel zijn er verschillende pieken tot zo'n 30 kW (3,3 kW/woning) te zien gedurende de dag.

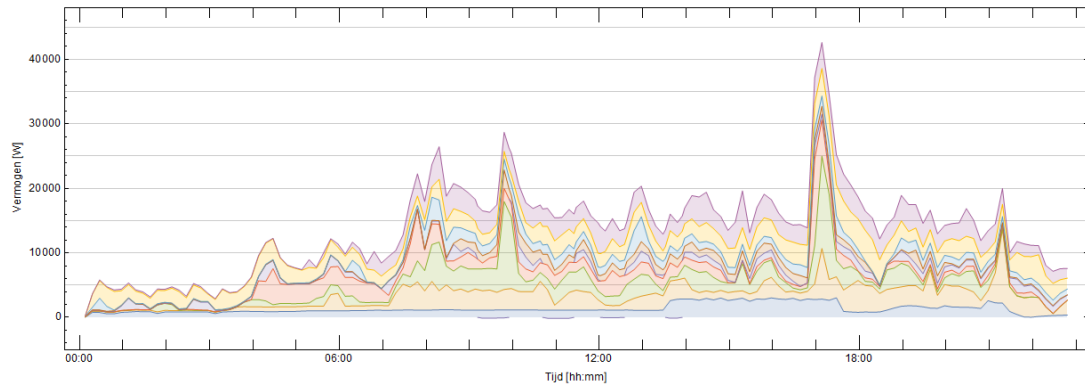
Op 8 maart tenslotte was het buiten beduidend warmer. De maximale vraag van de IR-panelen ligt dat ook beduidend lager, evenals de maximale piek voor de woningen als geheel. Te zien is ook dat in het midden van de dag voor een aantal woningen sprake is van netto teruglevering van zonnestroom. Het aandeel van de IR-panelen in de totale vermogensvraag lijkt wel iets hoger dan op de 2 dagen in februari.



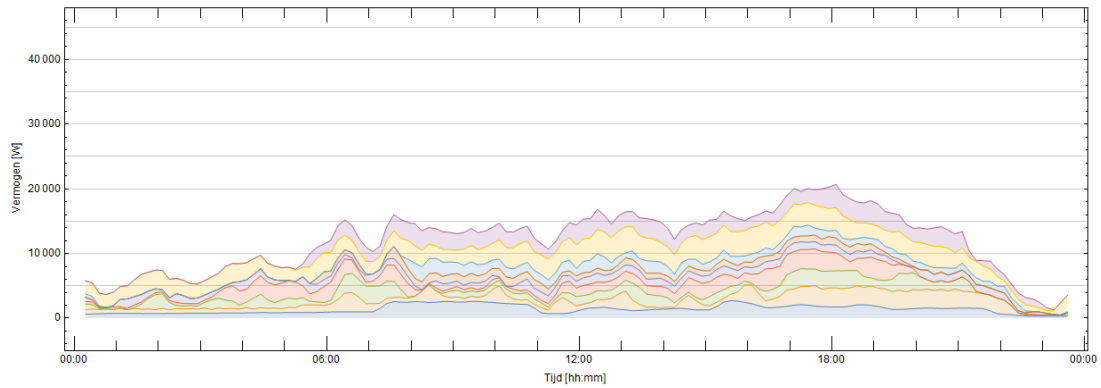
(zo 7 februari 2021): IR panelen (totaal) 9 locaties | $\Delta t = 10$ min.



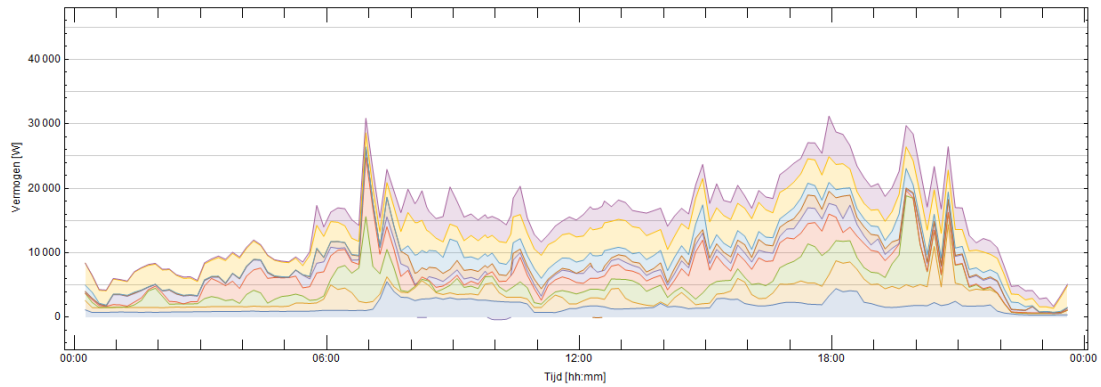
(zo 7 februari 2021): Slimme meter (netto) 9 locaties | $\Delta t = 10$ min.

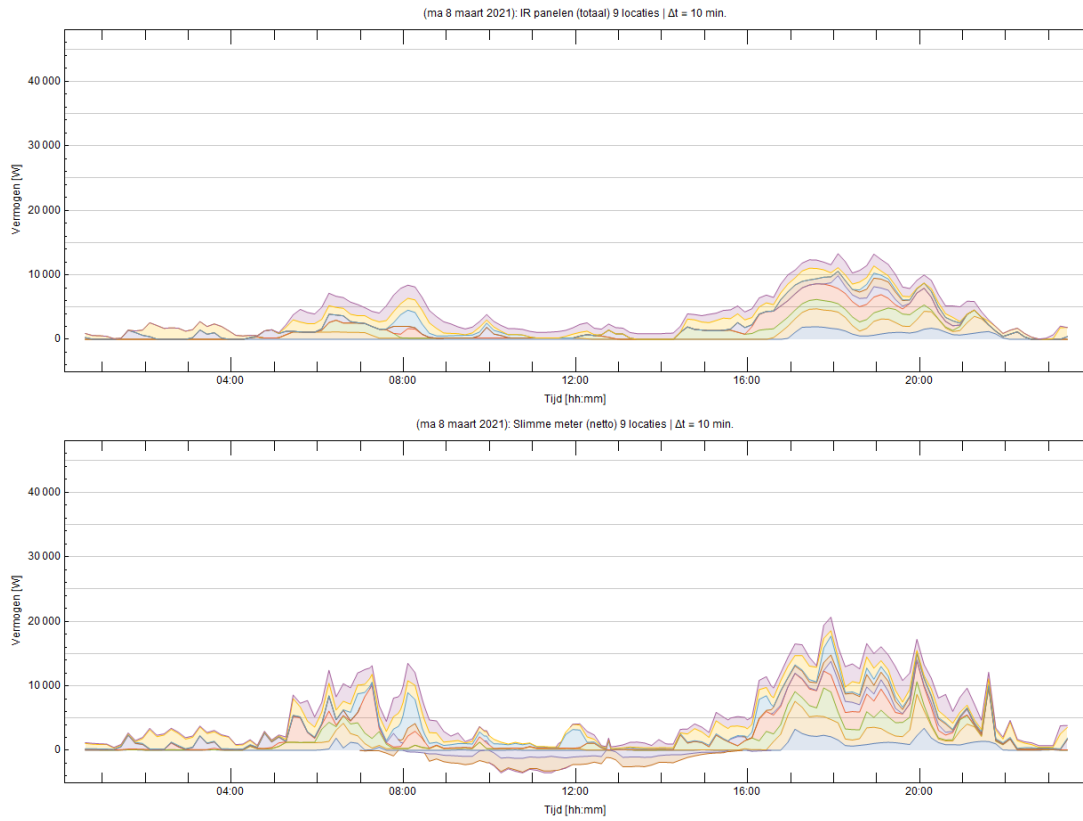


(ma 8 februari 2021): IR panelen (totaal) 9 locaties | $\Delta t = 10$ min.



(ma 8 februari 2021): Slimme meter (netto) 9 locaties | $\Delta t = 10$ min.





Figuur 8.10. De gelijktijdige vermogensvraag per 10 minuten ($n=9$) over 3 dagen voor IR-panelen en gehele woning.

8.5 Conclusies & aanbevelingen

De piekvermogens van de woningen liggen gemiddeld tussen de 10 en 15 kW, met uitschieters richting 20 kW. De hoogste pieken worden geregistreerd in woningen met een elektrisch doorstroomapparaat voor tapwater. Het vermogen van de IR-panelen correleert goed met de maximale vermogensvraag van de IR-panelen. Toch is het vermogen van de panelen niet bepalend voor de maximale vermogensvraag van de woningen, dat lijkt eerder te worden bepaald door het tapwatertoestel.

Met een piekvraag van 18 kW moet er in die woningen zeker een 3x35A aansluiting aanwezig moet zijn om overbelasting te voorkomen, vermoedelijk groter. De periodieke kosten (netwerkkosten) van een 3x35A aansluiting liggen zo'n 550 tot 750 euro/jaar hoger dan van een meer gebruikelijke 3x25A aansluiting. Een 3x50A nog eens 500 euro/jaar hoger. Als een dergelijke kostbare aansluiting nodig is om een all-electric woning mogelijk te maken (en hoge investeringen in een warmtepomp te voorkomen) zullen de life cycle kosten van een woning met IR-panelen al snel hoger liggen¹⁹.

De piekbelasting door tapwatervraag zal voor de meeste woningen niet samenvallen. De vraag voor verwarming doet dat deels wel. De maximale gelijktijdige vermogensvraag van de woningen treedt op in de vroege avond, rond 18u, wanneer de meeste mensen thuis zijn en de buitentemperatuur daalt. De hoogste piek over 10 onderzochte woningen is 60 kW, of 6 kW per woning. Dat hoeft per individuele woning geen probleem te zijn, maar is zeker een punt van aandacht voor het ontwerp van het elektriciteitsnet. Pieken in de tapwatervraag kunnen enigszins worden beperkt door toepassing van douchewaterwarmteterugwinning.

De piek duurt vrij kort. Dat betekent dat het wellicht mogelijk is om met een batterij of accu de pieken te reduceren. Kosten voor een dergelijke thuisaccu bedragen momenteel tussen 3.000 en 9.000 euro, een behoorlijk bedrag maar met mogelijke kostenbesparing van 750 euro/jaar wel financieel haalbaar. Opslagcapaciteit ligt in de orde van 2 tot 20 kWh, uitgaand vermogen tussen ongeveer 1 en 5 kW, met een hoger vermogen tijdens kortdurende pieken.

Een andere manier om de pieken te regelen is zorgvuldig te sturen op grote stroomvragers in de woning, met naast de IR-panelen vooral elektrische auto's en inductiekookplaten als aandachtspunt. Met een voorrangregeling kan overbelasting van de huisaansluiting worden voorkomen. Dit kan echter niet de pieken en overbelasting van het net voorkomen als meerdere woningen in een huizenblok of straat overgaan naar all-electric verwarming met infraroodpanelen.

Bijkomend nadeel van stralingsverwarming is dat het slechts beperkt mogelijk is om de verwarmingscapaciteit op een ander moment in te zetten. Watergedragen systemen kunnen bijvoorbeeld gedurende het gehele etmaal in werking blijven zodat de pieken veel minder hoog zijn. Uit de 'sneak preview'²⁰ van www.installatiemonitor.nl blijkt dat in de koude februariweek woningen met een verliesoppervlakte van circa 175 m² (zoals de woningen in deze studie) een maximale piek hebben van ongeveer 2 kW. Dat correspondeert aardig met een COP van 3 van all-electric warmtepompen.

Aanbevelingen voor een vervolgonderzoek

- Navragen wat het aansluitvermogen van de woningen is.
- Navragen wat het vermogen van de tapwateropwekker is.

¹⁹ Zie bijvoorbeeld ook <https://www.nii.nl/assets/files/elektrificatie-van-de-nederlandse-woningbouw-addendum.pdf>

²⁰ <https://www.installatiemonitor.nl/wp-content/uploads/2021/03/Sneak-preview-installatiemonitor-extreem-koude-week.pdf>

9 Conclusies en aanbevelingen

9.1 Conclusies

De conclusies zijn geordend naar de onderzoeksvragen die in dit onderzoek gesteld zijn. Daarna volgen enkele aanbevelingen voor mogelijk vervolgonderzoek.

9.1.1 **Onder welke omstandigheden is het zinvol en heeft het toegevoegde waarde om infraroodpanelen toe te passen in woningen?**

Het project is gestart met een heldere onderzoeksvraag: *'Onder welke omstandigheden is het zinvol en heeft het toegevoegde waarde om infraroodpanelen toe te passen in woningen?'*

De gegevens die zijn verzameld in dit onderzoek zijn onvoldoende om een goed onderbouwd compleet antwoord op deze vraag te kunnen geven. Wel kunnen we meer inzicht geven in de toepassing van infraroodpanelen, aandachtspunten bij de toepassing, het energiegebruik, ervaren comfort en opgenomen vermogens.

Het bleek lastig om voldoende woningen te vinden met IR als hoofdverwarming. Hierdoor is er geen goed beeld van wat het 'marktaandeel' is van IR, als hoofd- noch als bijverwarming.

Gedrag is zeer bepalend voor de prestatie van de infraroodpanelen, zijnde het energieverbruik, piekvermogen en ervaren comfort. Dit begint al bij het te installeren vermogen dat sterk varieert tussen de verschillende woningen, maar werkt ook door in de manier waarop men de panelen gebruikt. Zelfs in identieke woningen is het type bewoner en zijn of haar gedrag bepalend voor de energieprestatie van de woning en de verwarmingsinstallatie.

Overall kunnen we als randvoorwaarden voor plaatsing van IR-panelen meegeven:

- Houd rekening met een ander thermisch comfort.
IR-panelen warmen sneller op en koelen sneller af. Dat betekent ook dat een ander (actiever) stookgedrag van bewoners nodig is. Informeer de bewoners hierover.
Betrek hierin ook het type regeling: luchttemperatuur, vermogen, aanwezigheidsdetectie.
Stralingsasymmetrie treedt op. De meeste bewoners vinden dat niet erg, maar het wijkt wel af van meer gangbare systemen met radiatoren en/of vloerverwarming.
- Houd rekening met de maximale vermogensvraag van de woningen.
Op woningniveau moet een oplossing voor warmwater gekozen worden die past binnen de (beoogde) elektrische aansluiting. Grote vermogens hebben een zwaardere aansluiting nodig en dat leidt tot significant hogere vastrechtkosten.
- Houd rekening met de maximale vermogensvraag van de wijk.
Als projectmatig IR-panelen worden toegepast moet ook gekeken worden naar de gelijktijdige vermogensvraag in relatie tot de capaciteit van het lokale elektriciteitsnet.
- Zorg indien mogelijk voor het beperken van de maximale vermogensvraag door een verantwoorde keuze voor een tapwatertoestel, een voorrangregeling en/of opslag (accu) op woning- of wijkniveau.

Het onderzoek biedt onvoldoende aanknopingspunten om randvoorwaarden mee te geven over bijvoorbeeld woningtype, woningomvang, isolatieniveau, gezinssamenstelling (aantal bewoners, leeftijd) of bewonersgedrag (als bijvoorbeeld ingestelde binnentemperatuur, aanwezigheid).



9.1.2 Wat zijn de voor- en nadelen van infraroodverwarming, wat is de invloed op het ervaren comfort (bijvoorbeeld stralingsasymmetrie)?

Om de voor- en nadelen van IR-verwarming vast te kunnen stellen, is ook een vergelijking nodig met een andere situatie. Dat kan een ander verwarmingssysteem zijn, maar ook een vergelijking tussen IR-systemen onderling.

Hoewel het lastig is om zonder controlemetingen in vergelijkbare woningen met een ander verwarmingssysteem (vooral ander afgiftesysteem zoals hoge temperatuur radiatoren of lage temperatuur vloerverwarming) een kwalitatieve uitspraak te doen over het ervaren comfort blijkt wel dat IR-panelen in de helft van de tijd (52% van de registraties) naar mening van de bewoners zorgen voor een behaaglijk thermisch binnenklimaat. Daarnaast is het vaker te warm (30% van de registraties) dan te koud (18%). Als het buiten koud is, vindt men het binnen ook vaker koud.

Er is gezocht naar parameters die invloed hebben op het ervaren thermisch comfort. Geen van de parameters (buitentemperatuur, woningtype, verliesoppervlakte, energielabel, verwarmingsvermogen, kleding, schoeisel, activiteit) lijkt echter doorslaggevend te zijn. Ook in de hele koude week in februari 2021 is er geen heel ander beeld. Dat in deze studie geen significant verband is gevonden, wil niet zeggen dat er geen relatie is tussen deze parameters en het beleefde comfort. Afwezigheid van bewijs is niet het zelfde als bewijs van afwezigheid.

Wel lijkt het erop dat men de nadelen van IR (zoals stralingsasymmetrie) voor lief neemt wanneer men zelf heeft gekozen voor dit type verwarming. We signaleren daarbij als punt voor nader onderzoek de invloed van IR verwarming op de verkoopbaarheid van de woning.

“Je lichaam kan wennen aan koudere temperaturen zonder dat het onbehaaglijk voelt. Het voordeel van infrarood is dat het heel snel behaaglijk voelt als het eenmaal aan staat.” – Woningeigenaar (M) / appartement

9.1.3 Wat is de relatie tussen het energieverbruik van infraroodverwarming en de comfortbeleving?

We zien geen duidelijk verband tussen energieverbruik van de IR-panelen en het ervaren comfort. Bij woningen met een laag verbruik is het comfort vaker ‘te warm’, bij woningen met een hoog verbruik vaker ‘te koud’. Blijkbaar is in die laatste gevallen het vermogen, de regelbaarheid en/of de locatie van de panelen onvoldoende om het warm te krijgen. Mogelijk spelen ook nog andere aspecten een rol zoals de luchtdichtheid van de woningen of de koudeval bij ramen. De samenhang van de configuratie van de woningen en exacte opstelling van de IR-panelen kunnen onderwerp zijn van aanvullend onderzoek.

9.1.4 Hoe beïnvloeden gebouw- en bewonerskenmerken het energieverbruik van infraroodverwarming?

Hoewel er nog steeds een behoorlijk spreiding zit in de verbruiken van de IR-panelen per m² gebruiksoppervlakte, vooral bij de appartementen, zit zo’n 50% van de woningen tussen een verbruik van 20 en 50 kWh/m² en gemiddeld rond de 40 kWh/m². (Dat is het verbruik dat is geregistreerd in februari-maart 2021, teruggerekend tot een standaardklimaatjaar). Voor een gemiddelde woning van zeg 100 m² is dat een jaarverbruik (voor alleen ruimteverwarming) van 4.000 kWh. Dat is het equivalent van circa 400 m³ aardgas. Het verbruik ligt in dezelfde ordegrrootte als bij eerder onderzoek van Thuisbaas. Net als bij gasgestookte woning (zie bijvoorbeeld Woon2018, module energie) is er een behoorlijke spreiding tussen de woningen.

Het verbruik per persoon is gemiddeld 1.350 kWh, met 50% van de gevallen tussen 930 en 1.720 kWh/jaar.

IR-panelen zijn dominant in het elektriciteitsgebruik van de woningen in het stookseizoen, gemiddeld goed voor 70% van het elektriciteitsgebruik in februari-maart.



Er is een duidelijk verband tussen energiegebruik en gebruiks- en verliesoppervlakte. Woningen met een betere thermische schil (nieuwere woning) hebben een lager verbruik. Er zit minder spreiding in het verbruik per m² verliesoppervlakte dan in het verbruik per m² gebruiksoppervlakte.

9.1.5 Hoe beïnvloeden infraroodpanelen de piekvraag? En wat is de netimpact van de gelijktijdige vermogensvraag (op wijkniveau)?

De piekvraag in de woningen lijkt eerder bepaald door het type tapwatertoestel dan door de infraroodpanelen. De maximale vermogens liggen voor de meeste woningen tussen 10 en 15 kW, met uitschieters richting 20 kW. Dat betekent dat er in die woningen zeker een 3x35A aansluiting aanwezig moet zijn om overbelasting te voorkomen, vermoedelijk groter. De periodieke kosten (netwerkkosten) van een 3x35A aansluiting liggen zo'n 550 tot 750 euro/jaar hoger dan van een meer gebruikelijke 3x25A aansluiting. Een 3x50A nog eens 500 euro/jaar hoger. Als een dergelijke kostbare aansluiting nodig is om infraroodpanelen mogelijk te maken (en een warmtepomp te voorkomen) zullen de life cycle kosten van IR-panelen al snel hoger liggen.

Op wijkniveau is de gelijktijdigheid van verwarming echter groter dan van tapwater. Op koude momenten (begin van de avond, buiten ruim onder nul) is het gemiddelde van de woningen (dus inclusief gelijktijdigheidsfactor) kortstondig zo'n 6 kW. Het Nederlandse laagspanningsnet is niet uitgelegd op dergelijke vermogens, eerder op een vermogen van 1,5 tot 2 kW/woning. Bij grootschalige toepassing in een gebied (wijk/buurt) leidt dit zeer waarschijnlijk tot congestieproblemen en uitval en daarmee tot aanzienlijke maatschappelijke kosten om dat te voorkomen.

Bijkomend nadeel van stralingsverwarming is dat het slechts beperkt mogelijk is om de verwarmingscapaciteit op een ander moment in te zetten, waardoor ook de mogelijkheden beperkt zijn om de pieken af te vlakken.

9.1.6 Heeft toepassing van infraroodverwarming effect op de benuttingsfractie van zonnepanelen?

Dit onderdeel moet nog nader uitgewerkt worden. Gegevens zijn aanwezig in de meetset, maar interpretatie is nog onvoldoende gedaan.

9.2 Aanbevelingen vervolgonderzoek

In deze studie is praktische ervaring opgedaan met het meten van zowel energiegebruik als comfortbeleving in woningen met infraroodverwarming. Er is een systeem opgezet om meetresultaten te verwerken. De bevindingen uit deze studie geven enkele voorlopige/voorzichtige conclusies. Deze zouden in een vervolg-meetcampagne in de winter 2021/2022 getoetst kunnen worden. Als tijdig begonnen wordt, is er nog ruimte om de onderzoeksvragen en bijbehorende meetmethode gedetailleerder te formuleren. Een deel van de bewoners uit deze studie zal ook aan een toekomstige studie willen meewerken.

In de database met geregistreerde energielabels die RVO beheert (ep-online.nl) is informatie opgenomen over verwarmingssystemen. Per 1 januari 2021 is de NTA 8800 in werking getreden, sindsdien zou er ook statistische informatie over de penetratiegraad van onder meer infraroodpanelen uit de database afgeleid moeten kunnen worden. Begin 2022, als het nieuwe systeem een jaar draait, lijkt een goed moment om daar een analyse op uit te voeren. Hoewel de database met labels uit één jaar niet zonder meer representatief is voor alle woningen in Nederland geeft het wel een indicatie van de omvang van de toepassing van infraroodpanelen als hoofdverwarming.

De methode van het vereenvoudigd label is minder betrouwbaar dan een energieprestatieberekening volgens BRL 9500 en ISSO 82.1, doorgerekend met NEN7120-NV of NTA 8800. In de energielabeldatabase van RVO is meer informatie over de woningen



beschikbaar. Voor een eventueel vervolgonderzoek kan geprobeerd worden die informatie te benutten, voor zover binnen AVG is toegestaan.

Er zijn ook andere manieren om met behulp van openbare bronnen informatie van woningen te verzamelen. Gegevens van het Kadaster/BAG zijn vrij beschikbaar. Er zijn ook partijen die uit foto's uit de openbare ruimte (Google Streetview, Cyclomedia en dergelijke) informatie kunnen afleiden over de geometrie van gebouwen (zoals oppervlaktes kozijn, gevel, dak, aanwezigheid zonnepanelen, rookgasafvoeren, ventilatiekanalen). Met dergelijke bronnen kunnen de gegevens over de woningen worden verbeterd zonder extra inspanning door de bewoners.

Een fysieke woningopname waarbij kenmerken (grootte, vermogen, type, opstelling) van de IR-panelen zorgvuldig worden geregistreerd blijkt echt nodig te zijn.

De grote diversiteit in leveranciers / type panelen, afmetingen, vermogens en opstellingslocatie maakt het op voorhand al lastig om conclusies te trekken over de voor- en nadelen van de ene variant ten opzichte van de andere. Voor vervolgonderzoek specifiek inzoomen op een bepaalde vergelijking.

Het werken met een comfortapp is goed bevallen.

De comfortabel geachte temperatuur tussen 22 en 25 °C is naar onze mening vrij hoog. Vraag is of dat a) wel klopt en b) bij stralingsverwarming als hoofdverwarming wellicht anders zou moeten liggen.

Het installeren van meetapparatuur, hoewel voor de meeste deelnemers geen probleem, blijkt toch voor zo'n 15% van de deelnemers een te hoge drempel. In een vervolgonderzoek moet dat dus ofwel nog eenvoudiger, ofwel door moet dat door een van de onderzoekers uitgevoerd worden.



Bijlagen

Bijlage 1: Waardering comfort in 7-puntsschaal

Bijlage 2: Data energiegebruik

Bijlage 3: Opnameformulier gebouwkenmerken

Bijlage 4: Bewonersenquête

Bijlage 5: Overzicht deelnemende woningen

Bijlage 6: Overzicht klankbordgroep

Bijlage 1: Waardering comfort in 7-puntsschaal

PMV/PPD

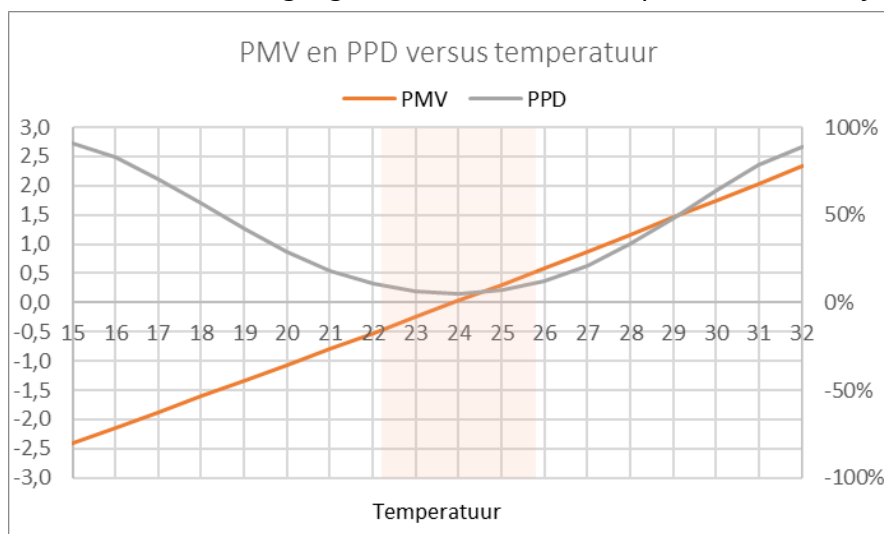
De comfortapp is gebaseerd op de behaaglijkheidstheorie van Fanger en de 'predicted mean vote', PMV. De PMV geeft aan welk percentage van gebruikers/bewoners ontevreden zal zijn over de kwaliteit van het thermisch binnenklimaat ('percentage of people dissatisfied', PPD). De PPD volgt uit de PMV die aangeeft hoe het thermisch binnenklimaat door de gemiddelde gebruiker wordt beoordeeld. Er wordt rekening gehouden met de volgende variabelen:

- activiteitsniveau van de gebruiker (metabolisme, uitgedrukt in 'met-waarde'; 1 met = 58 W/m²)
- warmteweerstand van de kleding (uitgedrukt in I_{clo}-waarde)
- luchttemperatuur
- gemiddelde stralingstemperatuur
- relatieve luchtvochtigheid
- lichtsnelheid

De PMV wordt uitgedrukt in een getal dat doorgaans ligt tussen -3,0 (heel koud) en +3,0 (heel heet). Bij een PMV van 0,0 (= neutraal, niet te warm en niet te koel) zijn de gebruikers gemiddeld genomen het meest tevreden over de thermische behaaglijkheid in een ruimte. Als eis aan de 'behaaglijkheid' wordt meestal gesteld dat de PMV in een ruimte maar een bepaald aantal uren buiten de grens $-0,5 < PMV < 0,5$ mag komen.

In Figuur 0.1 is de berekende PMV-waarde te zien die is berekend met als uitgangspunten een metabolisme van 1,1 met (65 W/m²), een kledingweerstand I_{clo} van 0,8 (dunne trui en overhemd of winterjurk met maillot, ondergoed, sokken, gesloten schoenen), luchtvochtigheid van 50% en lichtsnelheid van 0,15 m/s. De lucht- en stralingstemperatuur zijn geacht gelijk te zijn aan elkaar.

Het comfortabele gebied ($-0,5 < PMV < 0,5$) ligt tussen ongeveer 22 °C en 25,2 °C met een optimum PMV = 0,0 bij 24 °C. Dat is een zone met vrij hoge temperaturen. De invloed van metabolisme en kleding is groot en bovendien sterk persoonsafhankelijk.



Figuur 0.1. Verband tussen Predicted Mean Vote (PMV), Percentage of People Dissatisfied (PPD) en Temperatuur. De oranje markering geeft het 'comfortabele' gebied weer met een PMV tussen -0,5 en +0,5.









De comfortapp

Hieronder een aantal screenshots van de app.



<p>Liggen</p>	<p>Rustig zitten</p>	<p>Zittend werken</p>
<p>Rustig rondlopen</p>	<p>Heel actief (schoonmaken/klussen)</p>	<p>Sporten</p>
<p>Raam dichtgedaan</p>	<p>Warme drank gedronken</p>	<p>Warme kleren aangetrokken</p>
<p>Raam open gezet</p>	<p>Koude drank gedronken</p>	<p>Lichtere kleren aangetrokken</p>
<p>Warme douche genomen</p>	<p>Thermostaat hoger</p>	<p>Iets gegeten</p>
<p>Koude douche genomen</p>	<p>Thermostaat lager</p>	<p>Iets anders</p>

	<p>Heel licht (badkleding bijvoorbeeld)</p>
	<p>Licht met korte broek (T- shirt en korte broek bijvoorbeeld)</p>
	<p>Licht met lange broek (T- shirt met korte mouw en lange broek)</p>
	<p>'Gewoon' met T-shirt, lange broek en trui</p>
	<p>Warm: T-shirt, lange broek, trui en vest</p>
	<p>Heel warm: T-shirt, warme, lange broek, trui, vest en kamerjas</p>

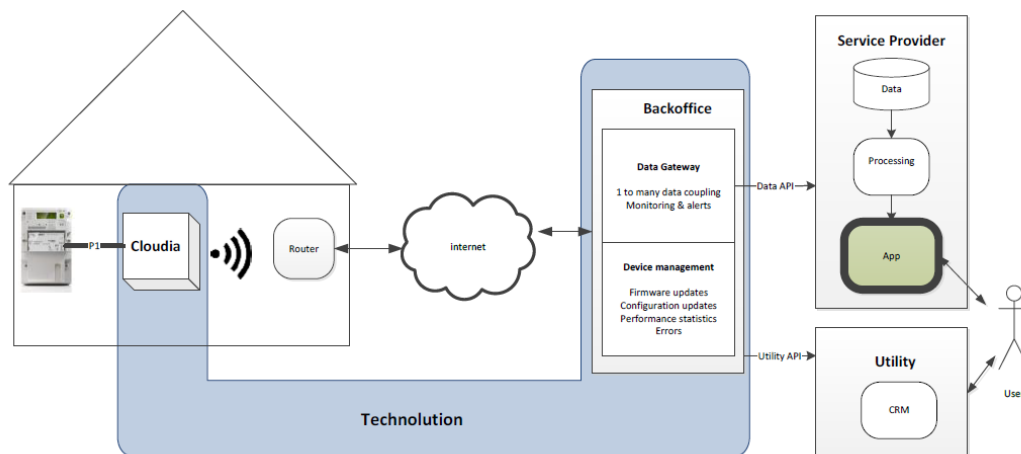
Bijlage 2: Data energiegebruik

Apparatuur en backoffice

Bij het uitlezen van de P1-poort van de slimme meter is gebruikt gemaakt van 2 systemen: Cloudia en BeNext. De intentie was in alle woningen een Cloudia-systeem te installeren op de P1-poort. In een deel van de woningen was de P1-poort al 'bezet' door een BeNext-meter of een andere meter. In een aantal woningen is dat opgelost door de reeds aanwezige meter tijdelijk te vervangen door een Cloudia, of door een splitter te gebruiken.

Cloudia

Met de Cloudia wordt via een beveiligde internetverbinding het elektriciteits- en eventueel gasverbruik van de woning uitgelezen via de P1 aansluiting van de slimme meter. Cloudia registreert met een resolutie van 2 seconden en wordt geaggregeerd tot 10 seconden. Hierbij wordt ook het vermogen geregistreerd, waardoor er ook inzicht in de piekbelasting kan worden verkregen.



Figuur 0.2. Systematische weergave uitlezen slimme meter door middel van Cloudia.



Figuur 0.3. Foto van een Cloudia.

Vanuit de woning stuurt de Cloudia data naar de gateway van consortium partner Technolution om dit vervolgens te laten landen op de end point van W/E via een API. Gegevens zijn over een periode van 3 maanden uitgelezen en opgeslagen in een beveiligde



omgeving. Elke Cloudia heeft een uniek serienummer welke is gekoppeld aan het ID van de woning.

BeNext

Met behulp van monitoringsystemen van BeNext worden energieprestaties van woningen inzichtelijk gemaakt en daarnaast is er de optie om hiermee klimaatinstallaties op basis van de data te sturen en optimaliseren. Binnen dit project is BeNext ingezet om de energieverbruiken van de woning en infraroodpanelen te monitoren. Afhankelijk van de keuzes van de bewoners kan hiermee het verbruik worden uitgelezen per paneel, voor een aantal panelen per ruimte of voor alle panelen in de gehele woning. De BeNext wordt direct aangesloten op de P1 meter, of aan de panelen zelf.

Met toestemming van BeNext en de bewoners komen de verbruiksgegevens 'real-time' binnen op de server van W/E adviseurs. Hierbij zijn gebruikersnamen van de bewoners gebruikt als koppeling met het ID van de betreffende woningen.

Ophalen en bewerken (Mathematica)

Via MYSQL query's zijn de meetgegevens opgehaald uit de database. Hierin zijn keuzes gemaakt over de mee te nemen tijd ranges, producttypen en units binnen die producttypen. De BeNext Gateway registreert bijvoorbeeld meerdere soorten producten (slimme meters en infraroodpanelen maar bijvoorbeeld ook slimme schakelaars in de woning). Niet alle producttypen waren nodig voor dit onderzoek.

Na het ophalen van de data is dit vervolgens geordend via Mathematica. Hiermee zijn de volgende datasets gegenereerd:

Cloudia

- Slimme Meter
 - netto kWh verbruik per dag (verschil tussen eerste en laatste meetmoment per dag) per user.
 - maximaal vermogen per dag per user.
 - datadekking per dag per user. (niet gebruikt voor analyse, alleen van belang bij time series analyse)
 - kWh telwerk op eerste moment 1 jan 2021 en op laatste moment 31 maart 2021 voor totaalverbruik over deze periode.
 - kWh telwerk per uur per dag per user.
 - maximaal vermogen per uur per dag per user.

BeNext Gateway

- Slimme Meter
 - netto kWh verbruik per dag (verschil tussen eerste en laatste meetmoment per dag) per user.
 - maximaal vermogen per dag per user.
 - kWh telwerk per uur per dag per user.
 - maximaal vermogen per uur per dag per user.
 - kWh telwerk op eerste moment 1 jan 2021 en op laatste moment 31 maart 2021 voor totaalverbruik over deze periode.
- Infraroodpanelen
 - netto kWh verbruik per dag (som van alle panelen), (verschil tussen eerste en laatste meetmoment per dag) per user
 - maximaal vermogen per dag (som van alle panelen) per user.
 - netto kWh verbruik per dag per uur (som van alle panelen), (verschil tussen
 - maximaal vermogen per dag per uur (som van alle panelen) per user.



Kwaliteit en dekking

Ondanks dat de meetperiode liep van 1 januari 2021 tot 30 maart 2021 is er niet op alle dagen gemeten. Dat komt door storing en uitval. Met name de maand januari kent veel uitval. Dit heeft er mee te maken dat sommige deelnemers de apparatuur pas later hebben geïnstalleerd (woningen met een Cloudia). Echter, om de data over alle woningen te kunnen vergelijken is in de analyse gekeken naar februari en maart.



Bijlage 3: Opnameformulier gebouwkenmerken

Algemeen

E-mail

Naam

Straat + huisnummer

Postcode

Telefoon

Type woning

Koop of huur?

indien huur, welke corporatie?

Aantal IR panelen

van welk merk zijn de panelen?

indien van Degree'n, beschikt u over een Homematic kastje?

Andere verwarming aanwezig? Zo ja, wat?

Slimme meter?

Stopcontact in meterkast?

Foto slimme meter verstuurd?

Type slimme meter

Monitoring met BeNext?

Beschikt de woning over energielabel?

Is er een wifin netwerk beschikbaar?

Woningbezoek nodig?

indien ja, gepland op

Overige notities nav telefonisch contact

Gebouwkenmerken

invoerparameter

woningtype

woningsubtype

bouwjaar

Renovatie (extreem goed nageïsoleerd)

beglazing leefruimte

beglazing slaapruijnte

gevel nageïsoleerd

dak nageïsoleerd

vloer nageïsoleerd

opwekkingstoestel voor BIJverwarming

opwekkingstoestel tapwater

ventilatiesysteem

zonneboiler

Aantal panelen [a 1,65 m2]

vermogen PV panelen , totaal [kWp]

oriëntatie PV panelen

type dak

invoerwaarde



Kenmerken infraroodpanelen

invoerparameter	invoerwaarde
Merk	
Type	
Aantal	
Investeringskosten per paneel	
Soort aansluiting	
Bediening per	
Bediening op basis van	
In te stellen via	
indien anders	

Informatie per paneel

	Locatie in woning	Orientatie	Hoogte van het paneel	Vermogen
<i>Paneel 1</i>				
<i>Paneel 2</i>				
<i>Paneel 3</i>				
<i>Paneel 4</i>				
<i>Paneel 5</i>				
<i>Paneel 6</i>				
<i>Paneel 7</i>				
<i>Paneel 8</i>				
<i>Paneel 9</i>				
<i>Paneel 10</i>				

aanvullen indien nodig

Bijlage 4: Bewonersenquête

Enquêteformulier

Vraag 1 t/m 5 zijn open vragen.

De overige vragen zijn meerkeuze vragen. In dat geval het juiste antwoord duidelijk markeren. In Word met:



Postcode:

Huisnummer:

Vragen	Antwoorden
1. Uit hoeveel personen bestaat uw huishouden (uzelf meegerekend)	
2. Hoeveel personen zijn er doordeweeks overdag thuis, uitgaande van een normale situatie , op de volgende momenten:	... aan het begin van de ochtend (6:00-9:00)
	... in de late ochtend (9:00-12:00)
	... in de voormiddag (12:00-15:00)
	... in de namiddag (15:00-18:00)
3. Hoeveel personen zijn er doordeweeks overdag thuis, uitgaande van de huidige situatie met corona , op de volgende momenten:	... aan het begin van de ochtend (6:00-9:00)
	... in de late ochtend (9:00-12:00)
	... in de voormiddag (12:00-15:00)
	... in de namiddag (15:00-18:00)
4. Hoe hoog staat de temperatuur ingesteld bij aanwezigheid overdag?	
5. Hoe hoog staat de temperatuur ingesteld bij afwezigheid/in de nacht?	
6. Hoe wordt bij u thuis de temperatuur geregeld? Omcirkel/markeer wat van toepassing is	Een handmatige thermostaat
	Een programmeerbare, klok- of slimme thermostaat
	Knoppen op de verwarming
	Iets anders, namelijk ...
7. Met welk van deze factoren houdt u rekening bij het instellen van de temperatuur? Omcirkel/markeer wat van toepassing is, meerdere mogelijk.	Of er iemand thuis is
	Wie er thuis is
	Comfort, de temperatuur moet aangenaam zijn
	Kosten
	Milieu
Iets anders, namelijk ...	

<p>8. Ervaart u stralingsasymmetrie? Omcirkel/markeer wat van toepassing is</p> <p><i>Stralings-asymmetrie houdt in dat een persoon binnen het bereik van de IR-panels niet altijd gelijkmatig over het lichaam zal worden verwarmd. Een persoon die recht onder infraroodpanelen zit die aan het plafond zijn bevestigd, zal meer warmte ervaren op het hoofd dan bij de voeten.</i></p>	Nee, nooit
	Ja, mijn onderlichaam voelt soms kouder aan dan mijn bovenlichaam
	Ja, mijn onderlichaam voelt vaak kouder aan dan mijn bovenlichaam
	Ja, mijn onderlichaam voelt soms warmer aan dan mijn bovenlichaam
	Ja, mijn onderlichaam voelt vaak warmer aan dan mijn bovenlichaam
<p>9. Hoe ervaart u dit? Omcirkel/markeer wat van toepassing is</p>	Ik vind het oncomfortabel
	Ik vind het niet erg
	Ik vind het comfortabel
<p>10. Wanneer ervaart u dit? Omcirkel/markeer wat van toepassing is, meerdere mogelijk.</p>	Wanneer ik sta
	Wanneer ik zit met mijn benen onder tafel/bureau
	Wanneer ik zit zonder mijn benen onder tafel/bureau
	Wanneer ik lig
<p>11. In welke van onderstaande ruimtes ervaart u dit? Omcirkel/markeer wat van toepassing is, meerdere mogelijk.</p>	Badkamer/toilet
	Keuken
	Slaapkamer
	Hal
	Studeerkamer
	Anders, namelijk ...
12. Is er vocht aanwezig in de woning?	Ja / Nee
13. Was er al vocht voordat IR panelen in gebruik werden genomen?	Ja / Nee
<p>14. Geef aan wat van toepassing is met betrekking tot vocht in de woning? Omcirkel/markeer wat van toepassing is, meerdere mogelijk.</p>	Vocht als gevolg van lekkages
	Doorslaand vocht door gevel(s)
	Optrekkend vocht
	Condens op beglazing
	Condens op overig
<p>15. In welke ruimte(n) merkt u hier iets van? Omcirkel/markeer wat van toepassing is, meerdere mogelijk.</p>	Badkamer/toilet
	Keuken
	Slaapkamer
	Hal
	Studeerkamer
	Anders, namelijk ...



16. Is er schimmel aanwezig in de woning?	Ja / Nee
17. Was er al schimmel voordat IR panelen in gebruik werden genomen?	Ja / Nee
18. Wat is de totale oppervlakte van de schimmelplekken? Omcirkel/markeer wat van toepassing is	kleiner of gelijk aan 0,1 m ²
	kleiner of gelijk aan 0,25 m ²
	tussen 0,25 en 0,5 m ²
	tussen 0,5 en 1,00 m ²
	meer dan 1,00 m ²
19. In welke ruimte(n) merkt u hier iets van? Omcirkel/markeer wat van toepassing is, meerdere mogelijk.	Badkamer/toilet
	Keuken
	Slaapkamer
	Hal
	Studeerkamer
	Anders, namelijk ...

Overige vragen:

Bijlage 5: Overzicht deelnemende woningen

Nr.	Woningtype	GO [m ²]	Bouwjaar-klasse	Energie-label	Tapwater-installatie	Vermogen IR panelen [Watt]	Vermogen IR panelen [Watt/m ²]
W01	rijwoning	108	1975 t/m 1991	A	Individuele CV-ketel, >1998	3.450	31,94
W02	appartement, 1 woonlaag	60	t/m 1945	E	doorstroomapparaat	onbekend	-
W03	rijwoning	128	t/m 1945	C	doorstroomapparaat	5.500	42,97
W06	appartement, 1 woonlaag	44	1992 t/m 2005	B	doorstroomapparaat	4.400	100,00
W07	appartement, 1 woonlaag	48	t/m 1945	E	doorstroomapparaat	2.000	41,67
W08	appartement >1 woonlaag	54	2014 t/m heden	A	elektrische boiler	3.000	55,56
W10	appartement, 1 woonlaag	76	t/m 1945	C	doorstroomapparaat	6.050	79,61
W11	vrijstaand	344	1975 t/m 1991	A	elektrische boiler	4.500	13,08
W12	vrijstaand	140	2006 t/m 2013	A	Warmtepomp	8.200	58,57
W14	appartement, 1 woonlaag	85	1946 t/m 1964	C	elektrische boiler	6.050	71,18
W15	appartement >1 woonlaag	54	2014 t/m heden	A	elektrische boiler	3.000	55,56
W17	rijwoning	49	t/m 1945	F	Individuele CV-ketel, >1998	1.650	33,67
W18	2 onder 1 kap	135	1992 t/m 2005	A	elektrische boiler	7.250	53,70
W19	appartement, 1 woonlaag	59	t/m 1945	G	doorstroomapparaat	7.150	121,19
W20	appartement, 1 woonlaag	71	1975 t/m 1991	C	doorstroomapparaat	3.700	52,11
W21	appartement, 1 woonlaag	72	2014 t/m heden	A	elektrische boiler	4.200	58,33
W22	appartement, 1 woonlaag	72	1975 t/m 1991	A		4.400	61,11
W23	vrijstaand	219	t/m 1945	G	Warmtepomp	10.530	48,08
W24	rijwoning	53	t/m 1945	C	doorstroomapparaat	10.500	198,11
W25	2 onder 1 kap	113	t/m 1945	D	Individuele CV-ketel, >1998	6.800	60,18
W26	appartement, 1 woonlaag	63	1946 t/m 1964	E		2.000	31,75
W27	appartement, 1 woonlaag	66	1992 t/m 2005	E	elektrische boiler	5.500	83,33
W28	vrijstaand	137	1946 t/m 1964	G	elektrische boiler	6.200	45,26
W30	appartement >1 woonlaag	25	t/m 1945	E	doorstroomapparaat	6.050	242,00
W31	rijwoning	109	1965 t/m 1974	D	elektrische boiler	5.500	50,46
W32	2 onder 1 kap	161	t/m 1945	B	elektrische boiler	3.450	21,43
W33	rijwoning	122	1975 t/m 1991	A	Individuele CV-ketel, >1998	7.700	63,11
W34	vrijstaand	121	1975 t/m 1991	A	elektrische boiler	2.900	138,10
W35	rijwoning	103	1975 t/m 1991	C	Individuele CV-ketel, >1998	6.150	59,71
W36	appartement, 1 woonlaag	48	t/m 1945	C	elektrische boiler	3.400	70,83
W37	rijwoning	133	1975 t/m 1991	A	Warmtepomp	7.100	53,38
W38	vrijstaand	147	2014 t/m heden	A	elektrische boiler	5.100	34,69
W39	vrijstaand	212	1965 t/m 1974	A	Individuele CV-ketel, >1998	8.250	38,92
W40	appartement >1 woonlaag	94	1975 t/m 1991	E	elektrische boiler	2.400	25,53
W41	appartement, 1 woonlaag	55	t/m 1945	D	doorstroomapparaat	7.000	127,27
W42	vrijstaand	140	2014 t/m heden	onbekend	Warmtebatterij	5.880	42,00
W43	rijwoning	119	1965 t/m 1974	D	elektrische boiler	7.150	60,08
W44	rijwoning	104	1965 t/m 1974	A	Warmtepompboiler	6.850	65,87
W45	2 onder 1 kap	173	1992 t/m 2005	B	elektrische boiler	3.750	21,68
W46	rijwoning	68	t/m 1945	C	elektrische boiler	2.100	30,88



Nr.	Woningtype	GO [m2]	Bouwjaarklasse	Energie-label	Tapwater-installatie	Vermogen IR panelen [Watt]	Vermogen IR panelen [Watt/m2]
W47	appartement, 1 woonlaag	64	1992 t/m 2005	B	doorstroomapparaat	4.950	77,34
W48	vrijstaand	132	t/m 1945	G	Warmtepomp	5.200	39,39
W49	vrijstaand	164	t/m 1945	G	Individuele CV-ketel, <1998	11.500	70,12
W50	appartement >1 woonlaag	33	t/m 1945	C	doorstroomapparaat	4.400	133,33
W51	appartement >1 woonlaag	33	t/m 1945	D	doorstroomapparaat	4.400	133,33
W52	vrijstaand	140	2014 t/m heden	A	elektrische boiler	13.050	93,21
W53	vrijstaand	178	2014 t/m heden	A	Warmtepomp	13.780	77,42
W55	rijwoning	112	2014 t/m heden	A	elektrische boiler	4.750	42,41
W56	vrijstaand	181	2014 t/m heden	A	elektrische boiler	onbekend	-
W57	vrijstaand	137	2014 t/m heden	A	Zonneboiler	onbekend	-
W58	appartement >1 woonlaag	30	t/m 1945	C	doorstroomapparaat	4.400	146,67
W59	rijwoning	129	1975 t/m 1991	C	doorstroomapparaat	6.090	47,21
W04	appartement, 1 woonlaag	82	1992 t/m 2005	B	doorstroomapparaat	4.100	50,00
W05	vrijstaand	147	t/m 1945	G	doorstroomapparaat	onbekend	-
W09	rijwoning	91	2014 t/m heden	A	onbekend	onbekend	-
W13	rijwoning	68	t/m 1945	C	onbekend	onbekend	-
W16	2 onder 1 kap	80	1965 t/m 1974	B	elektrische boiler	onbekend	-
W29	rijwoning	116	t/m 1945	A	onbekend	onbekend	-
W54	rijwoning	91	2014 t/m heden	A	onbekend	onbekend	-
W60	rijwoning	121	2014 t/m heden	A	onbekend	onbekend	-



Bijlage 6: Klankbordgroep

Tijdens de uitvoering van het project is enkele malen overleg geweest de opdrachtgevers RVO en TKI Urban Energy. Ook zijn er 2 bijeenkomsten geweest met een klankbordgroep, één maal aan het begin van het onderzoek (opzet, methodologie) en éénmaal aan het einde (concept eindresultaten). Op- en aanmerkingen en aanbevelingen van de klankbordgroep zijn deels in dit rapport verwerkt.

Organisatie

IG-infrarood

BeNext

De Alliantie

TU Eindhoven

TNO

ISSO

Thuisbaas

MilieuCentraal

RVO

TKI

Contactpersoon

Walid Atmar, Bas Spekreijse

Edwin van Kessel

Cardo Nerden

Twan van Hooff

Roberto Travasari

Harry van Weele

Gijs van Wijk

Jan Tjemme van Wieringen

Menno Brouwer, Marion Bakker

Robert Jan van Egmond, David van Petersen