

Radarweg 60
1043 NT Amsterdam

www.tno.nl

E: vera.rovers@tno.nl
M: +31 (0)61 183 25 41

TNO-rapport

TNO 2021 P12657

Energievraag van ruimtekoeling in woningen

Datum: 24 december 2021

Auteur(s): Vera Rovers, Robin Niessink, Pieter Loonen, Arianne van der Wal,
Edwin Matthijssen

Review: Marijke Menkveld, Peter Reffeltrath, Katharina Andrés

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2021 TNO

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Doel en vraagstelling	5
1.3 Aanpak en leeswijzer	6
2 Huidige inzichten in ruimtekoeling van woningen	7
2.1 Inleiding	7
2.2 Koelsystemen	8
2.3 Energiegebruik van koelinstallaties	11
2.4 Bewonersgedrag	12
2.5 Energievraag voor koeling	14
2.6 Conclusies en vervolgonderzoek	16
3 Koudeprofielen van woningen	19
3.1 Inleiding	19
3.2 De Warmteprofielengenerator	20
3.3 Weerdata KNMI	23
3.4 Modellering uurprofielen temperatuur voor toekomstige jaren	25
3.5 Resultaten: Koudeprofielen Tussenwoning	27
3.6 Conclusie en vervolgonderzoek	32
4 Koelgedrag in woningen	34
4.1 Inleiding	34
4.2 Koelbehoefte	37
4.3 Aanwezigheid en aanschaf van een koelsysteem	39
4.4 Koelgedrag	45
4.5 Conclusies en vervolgonderzoek	58
Referenties	60
Bijlage(n)	
A Inputdata WPG: Straling en bewolkingsgraad 2019	
B Inputdata WPG: Temperatuur	
C Uurprofiel temperatuur 2015-2020 (o.b.v. metingen KNMI)	
D Gedetailleerde WPG resultaten per variant	

Samenvatting

De verwachting is dat het energiegebruik voor ruimtekoeling zal toenemen door warmere zomers, beter geïsoleerde woningen en een toename van de installatie van airco's en warmtepompen. Koeling krijgt vooralsnog weinig aandacht in de energietransitie. Om deze reden heeft TKI Urban Energy een 'Ronde tafel overleg' geïnitieerd waar geconcludeerd is dat aanvullend onderzoek nodig is naar koeling bij woningen.

Het 'Ronde tafel overleg' was aanleiding voor TNO om een onderzoek te starten om een beter beeld te krijgen van het huidige en toekomstige energiegebruik voor ruimtekoeling in woningen. Daarvoor is allereerst een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de benadering van koeling in bestaande studies en modellen en naar de reeds beschikbare informatie. Als tweede is met een bestaand TNO model de koudevraag van woningen berekend voor de huidige situatie en voor 2030 en 2050 op basis van de KNMI klimaatscenario's. Tot slot is met een vragenlijst informatie verzameld over het gebruik van koelsystemen door bewoners.

Uit deze onderzoeken kan worden afgeleid dat zo'n 16 tot 19% van de huishoudens momenteel een vaste of mobiele airconditioner heeft. Daarnaast heeft nog zo'n 2% een andere vorm van koeling, zoals een bodemwarmtepomp. Verder overweegt 26% van de huishoudens de komende jaren een koelsysteem aan te schaffen.

De meeste mensen geven aan dat zij het vanaf een binnentemperatuur van 25 °C te warm te vinden. Indien er een koelsysteem aanwezig is, zetten de meesten deze ook aan als de binnentemperatuur boven de 25 °C komt. Het koelsysteem wordt echter met gemiddeld 20 °C een stuk lager ingesteld. Overdag ligt de ingestelde temperatuur iets hoger (20,3 °C) dan 's nachts (19,7 °C). Een vaste airco wordt ook gemiddeld iets hoger ingesteld (20,8 °C) dan een mobiele airco (19,4 °C) en een bodemwarmtepomp (19,5 °C).

Een mobiele airco stond in de maanden juni tot en met september van 2021 gemiddeld 16 dagen aan, een vaste airco vaker met gemiddeld 24 dagen. Beide werden dan gemiddeld 6 uur per dag gebruikt. De bodemwarmtepomp staat vaak continu aan. De zomer van 2021 was wat koeler dan normaal met bijna een kwart minder dagen boven de 25 °C.

De koudevraag van een woning wordt nu nog lang niet altijd ingevuld met een koelsysteem, zoals een airconditioner, om te voorkomen dat de woning boven een gewenste temperatuur uitkomt. Als deze wel zou worden ingevuld met energie-intensieve koelsystemen dan kan dat tot een substantieel energiegebruik leiden. Nader onderzoek en validatie zijn nodig, maar eerste berekeningen voor een goed geïsoleerde tussenwoning komen op een energievraag voor koeling die 30% tot 50% van de warmtevraag is.

Met deze uitkomsten zijn nog lang niet alle aspecten onderzocht die nodig zijn om de energievraag voor koeling in woningen te bepalen en te monitoren. In dit rapport doen we de volgende aanbevelingen voor verder onderzoek:

- Meer informatie is nodig over het elektriciteitsverbruik van de verschillende koelsystemen bij verschillende condities, zodat ook de energievraag voor koeling bepaald kan worden.
- Het gebruik van airco's is onderzocht door middel van een enquête, maar omdat iedere zomer anders is, zou onderzoek naar gebruik van koelsystemen meerdere jaren herhaald moeten worden om een betrouwbaar beeld te krijgen.
- Het is nog niet goed bekend in hoeverre bewoners maatregelen toepassen om te voorkomen dat de woning opwarmt, zoals zonwering en nachtventilatie, en hoe effectief deze zijn.
- Validatie van de berekening van de huidige koudevraag met de warmtevraagprofielengenerator is nodig.
- Verdere modellering van de toename in de koudevraag in de toekomst door klimaatverandering en isolatie van woningen is nodig.
- De monitoring van de verkoop van het aantal mobiele airco's ontbreekt, CBS verzamelt alleen gegevens over vaste airco's en warmtepompen.
- Het is niet bekend in hoeverre warmtepompen die worden geïnstalleerd voor verwarming ook worden gebruikt voor koeling in woningen.
- Verwachtingen voor de toekomst zijn nodig over het bezit van airco's en warmtepompen die gebruikt kunnen worden voor koeling van woningen.
- Het effect van koeling bepalen op de piekvraag van elektriciteit, het stedelijke hitte eiland effect en hittestress en arbeidsproductiviteit.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In Nederland is ruimtekoeling in woningen niet gebruikelijk. Het risico op warmtebelasting van mensen binnenshuis zal echter toenemen door klimaatverandering en een toenemende isolatiegraad van woningen¹. Indien een stijgende binnentemperatuur niet wordt voorkomen, bijvoorbeeld met nachtventilatie of zonwering, neemt de koelbehoefte toe. Die koelbehoefte zou op verschillende manieren kunnen worden ingevuld, waaronder door de inzet van airco's en warmtepompen. Dit leidt tot extra elektriciteitsverbruik en CO₂-emissies. De piekbelasting voor koeling op warme dagen kan daarnaast capaciteitsproblemen opleveren voor het elektriciteitsnet. Het afgelopen jaar meldde Essent dat het elektriciteitsverbruik tijdens een hittegolf 30% hoger ligt dan normaal (Essent, 2020).

Het IPCC schat dat de wereldwijde koelvraag van woningen van 300 TWh in 2000 zal toenemen naar 4.000 TWh in 2050 (Arent, et al., 2014). Het International Energy Agency (IEA) verwacht dat het energiegebruik voor ruimtekoeling zal verdrievoudigen tussen nu en 2050. In besluitvorming over verduurzamingsstrategieën in de gebouwde omgeving is het dan ook belangrijk om een goed beeld te hebben van de te verwachte koudevraag, maar koeling krijgt vooralsnog weinig aandacht in de energietransitie. De IEA stelt dan ook dat "koeling een kritieke blinde vlek is in het klimaatdebat" (IEA, 2018).

Om deze reden heeft TKI Urban Energy een serie 'Ronde tafel overleggen' opgezet over de energievraag voor ruimtekoeling met deelnemers vanuit onder andere CBS, TNO, Klimaatverbond, KNMI, RVO, PBL, BZK en EZK. Een van de hoofdconclusies van de Ronde tafel is dat het aspect koeling bij woningen in de huidige energiemodellen voor de gebouwde omgeving verbeterd moet worden en dat er aanvullend onderzoek nodig is naar de vraag naar koeling in woningen én het energiegebruik van koelinstallaties.

1.2 Doel en vraagstelling

Het 'Ronde tafel overleg' was aanleiding voor TNO om een onderzoek te starten om een beter beeld te krijgen van het huidige en toekomstige energiegebruik voor ruimtekoeling in woningen. Het energiegebruik voor koeling is van een aantal factoren afhankelijk:

- De warmte-opbouw in de woning (de 'functionele koudevraag'), die weer afhankelijk is van onder andere het type woning, de oriëntatie, het isolatieniveau en in hoeverre bewoners maatregelen nemen om opwarming van de woning te voorkomen
- In hoeverre koelsystemen worden toegepast en welke type
- Het operationele energiegebruik van de verschillende type koelsystemen, onder andere afhankelijk van het rendement
- Het gebruik van het koelsysteem door de bewoners.

¹ Isolatie kan de warmte buitenlucht in de zomer tegenhouden, maar opwarming binnenshuis door met name zoninstraling, wordt, net als in de winter, ook heel goed vastgehouden door de isolatie.

1.3 Aanpak en leeswijzer

De eerste stap in het onderzoek is een literatuuronderzoek naar de benadering van koeling in bestaande studies en modellen en de beschikbare informatie over de bovenstaande factoren. Hoofdstuk 2 beschrijft de inzichten uit dit onderzoek.

Als tweede is verkend of een bestaand TNO model, de Warmtevraagprofielengenerator, voor het berekenen van de warmtevraag op uurbasis kan worden gebruikt om ook de koudevraag te bepalen. Het model is uitgebreid met aannames over het weer in 2030 en 2050 op basis van de klimaatscenario's van het KNMI. De berekening van de resulterende koudeprofielen wordt toegelicht in Hoofdstuk 3.

Eind september 2021 heeft TNO een vragenlijst uitgezet om informatie te verzamelen over het koelgedrag, zoals 'welke ruimtes worden gekoeld?', 'op welke temperatuur wordt het koelsysteem ingesteld?' en 'hoeveel dagen/uren is het koelsysteem gebruikt in 2021?'. De resultaten van deze enquête worden beschreven in Hoofdstuk 4.

Bij het opstellen van dit rapport werd duidelijk dat veel kennis nog ontbreekt. Voor nieuwe informatie(bronnen) houden wij ons dan ook van harte aanbevolen. Elk hoofdstuk sluit ook af met aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

2 Huidige inzichten in ruimtekoeling van woningen

Vera Rovers, Pieter Loonen, Robin Niessink

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk delen we de inzichten uit literatuuronderzoek naar de volgende vragen:

- 1 Wat is het huidige energiegebruik voor ruimtekoeling in woningen?
- 2 Welke informatie is hierover beschikbaar en welke aannames worden gehanteerd?
- 3 Wat zijn de kennishiaten om een inschatting te geven van het (huidige en toekomstige) energiegebruik voor ruimtekoeling in woningen?

Om de huidige energievraag te kunnen bepalen zijn twee hoofdzaken van belang, die leidend zijn voor de opzet van dit stuk:

- Welke systemen zijn er om te koelen en in hoeverre worden deze toegepast? (Hoofdstuk 2.2)
- Wat is het energiegebruik van deze systemen, afhankelijk van:
 - de technische specificaties (Hoofdstuk 2.3);
 - bewonersgedrag (Hoofdstuk 2.4)?

Diverse studies en modellen hebben op basis van deze informatie het totale energiegebruik voor koeling in woningen bepaald en deze worden beschreven in Hoofdstuk 2.5. De notitie sluit af met de conclusies en met kennisvragen voor vervolgonderzoek (Hoofdstuk 2.6).

Verschil tussen de koudevraag en de energievraag voor koeling

Met de koudevraag wordt de functionele vraag naar koeling bedoeld. Deze vraag ontstaat op het moment dat de temperatuur in huis boven een gewenste temperatuur uit komt. Deze temperatuur is afhankelijk van de voorkeuren van de bewoner(s) en kan variëren bij verschillende activiteiten (slapen, werken, koken, etc.). Hoe snel en in hoeverre de woning opwarmt is afhankelijk van gebouwkenmerken (bijvoorbeeld isolatieniveau, raamoppervlak), gedrag (zoals gebruik van zonwering en ventilatie) en het klimaat.

De koudevraag kan worden ingevuld met een koelsysteem, zoals een airconditioner, zodat de woning niet boven de gewenste temperatuur uitkomt. Hoeveel energie het kost om de woning te koelen is afhankelijk van het systeem en van het gebruik door de bewoner(s).

2.2 Koelsystemen

Er zijn verschillende koelsystemen die de koudevraag in woningen in kunnen vullen. Onder koelsystemen verstaan we in deze notitie systemen die de binnenlucht koelen. Een ventilator is bijvoorbeeld geen koelsysteem; deze biedt wel verkoeling vanwege de luchtstroming, maar koelt de lucht feitelijk niet. Naast airco's die de lucht direct koelen, zijn er koelsystemen die koel water door de woning leiden (lucht-water warmtepompen, bodemkoude en koudenetten) of door middel van verdamping de lucht koelen. In de paragrafen hieronder worden deze systemen beschreven en wordt voor elk van deze systemen uiteengezet wat er bekend is over de aanwezigheid.

2.2.1 *Airconditioners / lucht-lucht warmtepomp*

Airconditioners zijn compressiekoelmachines die elektriciteit gebruiken om warmte van binnen naar buiten te verplaatsen. Een lucht-lucht warmtepomp die gebruikt wordt om te verwarmen is feitelijk een omgekeerde airco. Lucht-lucht warmtepompen worden echter hoofdzakelijk gebruikt voor koeling en worden in het vervolg ook 'airconditioners' genoemd. Een belangrijk onderscheid is te maken tussen vaste airco's en mobiele airco's. Bij vaste airco's is een binnen- en buitenunit geïnstalleerd (split-unit) en deze kunnen voor zowel voor één als meerder ruimtes worden gebruikt. Mobiele airco's zijn verplaatsbaar en worden vaak voor één kleinere ruimte gebruikt. Door middel van een slang wordt de warme lucht naar buiten geblazen. Wanneer de slang niet kierdicht is afgesloten, de slang hangt bijvoorbeeld door een open raam, komt warme lucht naar binnen. Ook als de slang wel goed is afgedicht, heeft een mobiele airco het nadeel dat door aanzuiging van lucht uit de woning een onderdruk ontstaat, waardoor er warme buitenlucht naar binnen komt.

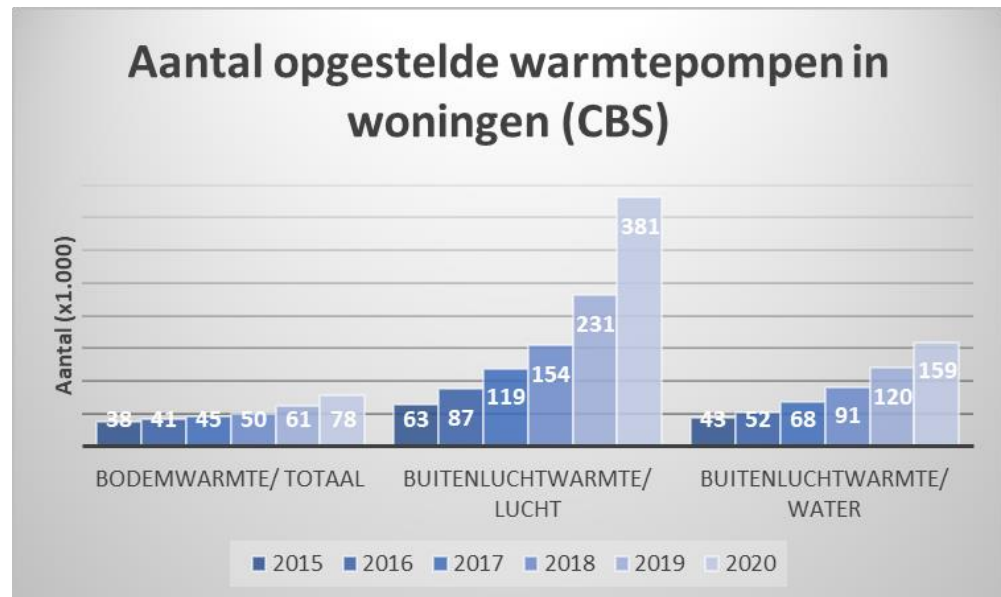
Het precieze aantal airconditioning installaties in Nederland is niet bekend, maar diverse bronnen geven een schatting. In het WoON onderzoek is een grote database met technische en sociaaleconomische gegevens van woningen opgebouwd met informatie verzameld uit inspecties en enquêtes onder een grote representatieve steekproef (ong. 4.500 in 2018) van woning-eigenaren en huurders (Woononderzoek, 2018). Het totale aantal airco's in Nederland is in te schatten op basis van een gewogen extrapolatie van WoON onderzoeksdata naar de gehele woningvoorraad. Volgens een gewogen extrapolatie van de WoON data hadden in 2018 ongeveer 457.000 huishoudens een airco (vast of mobiel), dat is zo'n 6% van de bewoonde woningen².

Het CBS verzamelt voor de hernieuwbare energiestatistiek cijfers over het aantal lucht-lucht warmtepompen in woningen en komt in 2020 op 380.800, dat is 5% van de bewoonde woningen. Een lucht-lucht warmtepomp is een airco die vooral voor koeling wordt geïnstalleerd maar ook voor verwarming kan worden gebruikt. Zoals te zien is in Figuur 2.1 neemt dit aantal de laatste jaren sterk toe, sterker dan bij lucht-water en bodemwarmtepompen. De stijging in lucht-luchtwarmtepompen wordt ook bevestigd door het Vakblad Warmtepompen (Vakblad Warmtepompen, 2019). In 2018 was het aantal lucht-lucht warmtepompen op basis van CBS data nog maar 154.000, zo'n 2% van de bewoonde woningen.

Deze cijfers baseert het CBS op basis van de informatie die zij ontvangen van Vereniging Warmtepompen (60% van de gegevens) en een enquête onder de

² Op basis van 7,4 miljoen bewoonde woningen in 2018:
<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82900NED/table?fromstatweb>

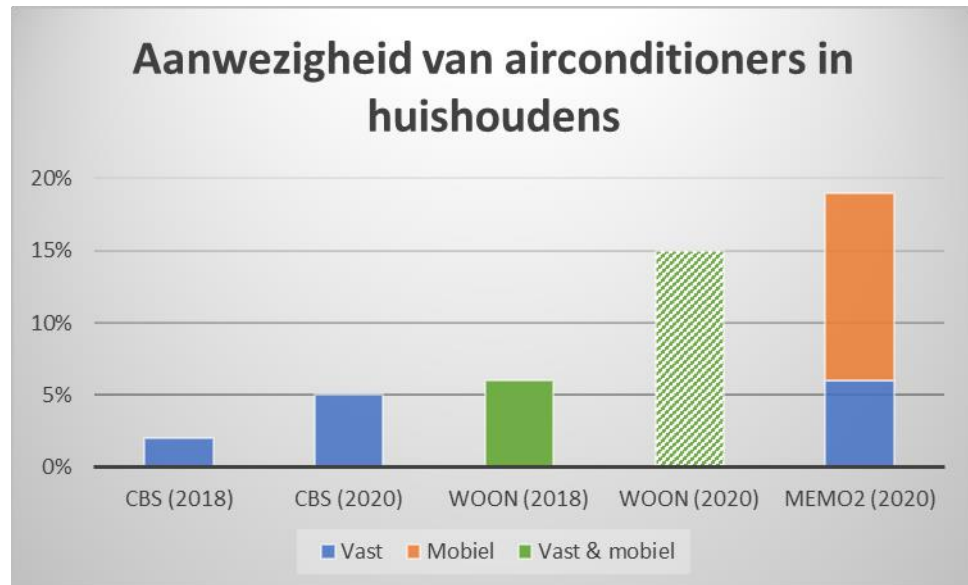
leveranciers die geen lid zijn van de branchevereniging (40% van de gegevens) (CBS StatLine, 2020). De Vereniging Warmtepompen rapporteert echter geen mobiele airco's, in de vragenlijst van CBS is geen expliciet onderscheid gemaakt naar vaste en mobiele airco's. Het is onbekend in hoeverre mobiele airco's zijn meegenomen in de CBS cijfers, maar we kunnen aannemen dat het hoofdzakelijk vaste airco's betreft. Het verschil in het aantal airco's in 2018 tussen het CBS en WoON2018 is daarom mogelijk te verklaren door het ontbreken van mobiele airco's. Dit zou betekenen dat er in 2018 zo'n 300 duizend mobiele airco's waren en zo'n twee derde van de airco's in huishoudens een mobiele airco is.



Figuur 2.1 Het aantal geïnstalleerde warmtepompen per type volgens CBS (CBS StatLine, 2020)

In de Klimaat- en energieverkenning (KEV) wordt het aantal vaste airco's meegenomen via het SAWEC model (PBL, 2019a) op basis van de CBS cijfers. Het aantal mobiele airco's wordt geraamd via het EVA model (PBL, 2019b) dat zich baseert op de WoON cijfers waarbij is aangenomen dat 75% van de airco's in WoON2018 mobiele airco's zijn.

Onderzoeks- en consultingbureau MeMo² heeft in opdracht van Essent in 2020 onder 1.400 Nederlanders onderzoek gedaan naar de maatregelen die Nederlanders nemen voor verkoeling. Uit dit onderzoek komt dat 13% van de huishoudens een mobiele airco heeft en 6% een vaste airconditioner (MeMo², 2020). De aanwezigheid van een airco ligt hoger bij woningeigenaren (24%) dan bij huurders (16%). Dit lijkt stukken hoger te liggen dan de cijfers van het CBS en WoON2018, maar als we de stijging in vaste airco's zoals bekend uit de CBS-cijfers tussen 2018 en 2020, een factor 2,5, toepassen op WoON2018 data, dan zou het aandeel huishoudens met een airco (vast of mobiel) in 2020 ook al uitkomen op 15% (Figuur 2.2).



Figuur 2.2 Een overzicht van de aanwezigheid van airconditioners in huishoudens volgens verschillende bronnen. De gearceerde balk bij WoON (2020) is een vermenigvuldiging van het aantal airconditioners in WoON 2018 met 2,5, de factor waarmee het aantal vaste airco's volgens de CBS cijfers is toegenomen tussen 2018 en 2020.

2.2.2 Lucht-water warmtepompen

In tegenstelling tot lucht-lucht warmtepompen, worden lucht-water warmtepompen doorgaans vooral gebruikt voor verwarming. Lucht-water warmtepompen onttrekken dan warmte aan de buitenlucht en geven die af aan het water in het verwarmingscircuit dat vervolgens de energie weer afgeeft aan de woning via het warmteafgiftesysteem (bv. LT-radiatoren of vloerverwarming). Deze installaties kunnen ook koelen. Om dit mogelijk te maken onttrekt de lucht-water warmtepomp warmte aan de woning en verwijdert deze via de buitenunit (compressor) naar buiten. Hoeveel lucht-water warmtepompen ook gebruikt worden voor koeling is niet bekend. Een laag temperatuurafgiftesysteem met water als warmteoverdrachts-medium is niet altijd geschikt om te koelen vanwege mogelijke condensvorming.

Net als voor het aantal lucht-lucht warmtepompen is in Figuur 2.1 te zien dat ook het aantal lucht-water warmtepompen de laatste jaren is toegenomen. Aan het eind van 2020 waren er in Nederlandse woningen 159.000 lucht-water warmtepompen aanwezig.

2.2.3 Bodemkoude

Een andere optie om te koelen is door middel van koude uit de bodem. 's Winters kan bodemwarmte worden benut om de woning efficiënt te verwarmen met een warmtepomp in combinatie met een laag temperatuurafgiftesysteem. In de zomer kan de temperatuur van het grondwater en de ondiepe bodem de woning koelen. Voor koeling is vaak alleen de circulatiepomp nodig, niet de compressor van de warmtepomp. Ook hier geldt (net als bij luchtwarmtepompen) dat het koudeafgiftesysteem geschikt moet zijn voor koeling. Figuur 2.1 geeft het aantal warmtepompen op bodemwarmte volgens het CBS. Eind 2020 waren er in Nederlandse woningen ca. 62.000 warmtepompen met een bodemwarmtewisselaar en ca. 16.000 warmtepompen met grondwater als bron aanwezig.

2.2.4 *Koudenetten*

Naast koelinstallaties voor individuele woningen bestaan er ook collectieve voorziening voor koeling. Grote warmteleveranciers in Nederland leveren soms niet alleen warmte, maar op relatief beperkte schaal ook koude met koudenetten. Bijvoorbeeld in Amsterdam-Zuid en -Zuidoost worden kantoren, woningen en andere gebouwen, waaronder het AMC, gekoeld met water uit de nabijgelegen meren. Binnen monitoringsafspraken in Europa is er sprake van een koudenet als er distributie plaatsvindt van een gekoelde vloeistof vanuit een centraal (productie)punt door een leidingnet voor meerdere gebouwen, ten behoeve van het koelen van ruimtes. De koude kan bijvoorbeeld afkomstig zijn van een WKO, oppervlaktewater (aquathermie) of een koelinstallatie. Koudenetten worden momenteel echter vooral toegepast in utiliteitsbouw, voor woningen worden koudenetten in Nederland nauwelijks toegepast (CBS en TNO, 2019). Een paar voorbeelden waarin dit wel gebeurt, zijn³: 1) 111 appartementen in het Maankwartier van Heerlen die via het warmtebedrijf Mijnwater worden gekoeld⁴; 2) In Groningen voorziet Eteck twee woontorens van warmte en koude via aquathermie vanuit het naastliggende kanaal⁵; 3) Eteck verwarmt ook twee woontorens (1.439 appartementen) in Den Haag vanuit WKO bronnen.

2.2.5 *Adiabatische koeling*

Een andere manier van koelen is adiabatische koeling, of verdampingskoeling. Om water te verdampen is energie nodig waardoor de temperatuur van de lucht daalt, zoals verdamping van zweet het lichaam afkoelt. In hoeverre deze manier van koeling wordt toegepast en geschikt is voor woningen in Nederland is niet bekend.

2.3 **Energiegebruik van koelinstallaties**

Het elektriciteitsverbruik van airconditioners en koelende warmtepompen is niet alleen afhankelijk van de buitentemperatuur, maar ook van zoninstraling, ventilatie, warmteproductie van apparaten en mensen, en het koelgedrag van mensen zelf. Ook het gebruik van de koelinstallatie in de voorgaande dagen bepaalt de binnentemperatuur en beïnvloedt daarmee de prestatie (Coefficient of Performance, 'COP') van de installatie. Diverse bronnen doen aannames over het energiegebruik van airconditioners (Tabel 3.1).

In het SAWEC model dat voor de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2021 wordt gebruikt (PBL, 2019a), wordt met de cijfers van het CBS over het vermogen van lucht-luchtwarmtepompen een vermogen van 1,9 kW_{elektrisch} berekend voor de vaste airco's. Daarbij wordt verondersteld dat een vaste airco 40 dagen in gebruik is gedurende 8 uur (een gebruiksduur van 320 uur) (VHK, 2008). Het elektriciteitsverbruik van een vaste airco komt dan op 608 kWh per jaar. Mobiele airco's worden minder gebruikt, 23 dagen gedurende 8 uur (een gebruiksduur van 184 uur). Daarnaast draaien ze een aantal uren in stand-by modus (VHK, 2008). Op basis van deze gebruiksuren maakt het EVA model een schatting van het jaarlijkse energiegebruik van een mobiele airco van 64 kWh per jaar bij een vermogen van 350W_{elektrisch}, volgens de efficiëncynorm van Ecodesign.

W/E adviseurs heeft in 2018 in opdracht van RVO onderzoek gedaan naar de koude vraag van woningen. Zij geven aan dat geen actuele kentallen gevonden zijn voor het gemiddelde gebruik van airco's. Cijfers uit literatuuronderzoek lopen uiteen

³ Deze voorbeelden bieden geen volledig overzicht.

⁴ <https://mijnwater.com/projecten/centrumplan-maankwartier>

⁵ <https://www.eteck.nl/>

van 150 kWh tot 850 kWh per jaar waarbij geen duidelijk onderscheid tussen mobiele en vaste airco's kon worden gemaakt. Het gemiddelde uit die range is 400 kWh elektriciteit per jaar. Uit berekeningen gebaseerd op de RVO-voorbeeldwoningen die zijn ontworpen op de voorgenomen BENG-eisen komt een gemiddelde koudevraag van grofweg 430 kWh/jaar. Bij een airco met COP = 3 komt W/E op een elektriciteitsgebruik van zo'n 150 kWh/jaar (W/E adviseurs, 2018).

De Consumentengids (Consumentenbond, 2021) geeft aan dat het gemiddelde energiegebruik van een split airco in hun test 0,75 kW per uur is. Ervan uitgaande dat de airco wordt gebruikt als het buiten minstens 25 °C is en deze dan 8 uur aan staat, zou het elektriciteitsverbruik in de zomer van 2020 met 39 dagen boven de 25 °C dus 234 kWh zijn.

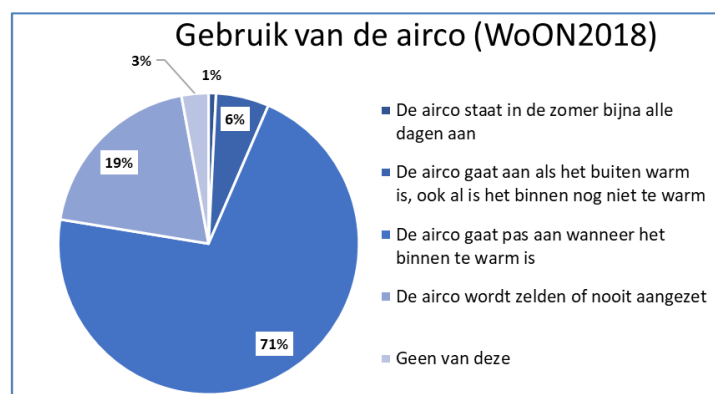
Tabel 2.1 Aannames uit verschillende bronnen over het energiegebruik van airconditioners (kWh/jaar)

	Vaste airco	Mobiele airco	Airco (ongedefinieerd)
EVA (o.b.v. VHK en Ecodesign)		64	
SAWEC (o.b.v. VHK en CBS)	608		
W/E: gemiddeld uit literatuur			400
W/E: EPG berekening nieuwbouw			150
Consumentenbond	234		

Bij koeling d.m.v. bodemenergie in woningen is het energiegebruik gering, omdat het alleen de koude rondpompt zonder dat er actief gekoeld hoeft te worden. Of er voor de koude in een koudenet energie nodig is (naast reguliere circulatie- of bronpompen) is afhankelijk van het type net. Het Mijnwaterproject in Heerlen gebruikt bijvoorbeeld water-water warmtepompen.

2.4 Bewonersgedrag

De manier waarop bewoners de koelsystemen gebruiken bepaalt in belangrijke mate het energiegebruik voor koeling. Vooralsnog geeft alleen het WoON onderzoek uit 2018 hier informatie over. Het onderzoek heeft de respondenten met een airco gevraagd hoe zij deze gebruiken (Figuur 2.3). Ruim 70% geeft aan dat zij de airco alleen aan zetten als het binnen te warm is, tegen 6% die de airco ook aanzet als het binnen nog niet zo warm is. 1% heeft de airco bijna altijd aan staan in de zomer tegenover 19% die de airco bijna nooit aan heeft staan.



Figuur 2.3 Respons uit de enquête van het WoON2018 onderzoek

Belangrijke informatie betreft ook het type en aantal ruimtes dat gekoeld wordt, wat ook iets zegt over het moment op de dag waarop de installatie aan staat. Een interessante ontwikkeling daarbij komt naar voren in een interview van ST/Warmte met de NOS waar het installatiebedrijf aangeeft dat mensen nu naast de hoofdslaapkamer ook overwegen een airco te laten installeren in andere kamers, zoals de slaapkamer van de kinderen, de werkkamer en soms ook de woonkamer⁶.

Een indicatie voor het gebruik van koelsystemen is de beleving van hitte in huis. De Hogeschool van Amsterdam heeft in 2019 en 2020 onderzoek gedaan naar de koelbehoefte in 11 woningen (HvA, 2020a) (Caverzam Barbosa, Kluck, & de Groot, 2020). Het is daarmee geen representatief onderzoek, maar het biedt wel een eerste inzicht in de koelbehoefte. Uit de resultaten uit 2019 blijkt dat er een kleine behoefte onder de deelnemers was om te koelen. Hoge temperaturen in huis bleken veelal geaccepteerd te worden en niet als een probleem te worden ervaren. In 2020 gaf echter het merendeel van de deelnemers aan de temperatuur in huis tijdens een hittegolf wel als hinderlijk te ervaren. Uit de monitoring van Nul-Op-de-Meter woningen bleek dat 23-44% van de inwoners het te warm vindt in de zomer (Energiesprong, 2015).

Een belangrijk aspect is ook in hoeverre mensen opwarming van de woning voorkomen. Uit het onderzoek van MeMo² blijkt bijvoorbeeld dat 76% van de Nederlanders een zonnescherf, rolluik of gordijn gebruikt om te zon tegen te houden en 62% houdt de ramen en deuren dicht om de warmte buiten te houden (MeMo², 2020).

Tot slot is het relevant om te weten in hoeverre huishoudens, die nog geen koelinstallatie hebben, overwegen in de nabije toekomst een koelinstallatie aan te schaffen. In het onderzoek van de HvA in 2019 dacht de helft van de deelnemende bewoners in de toekomst wel gebruik te gaan maken van een koelinstallatie. In het Memo² onderzoek geeft 15% van de respondenten aan de aanschaf van een airco te overwegen. Tweederde daarvan is geïnteresseerd in een mobiele airco en eenderde in een vaste airco. Huurders overwegen daarbij voornamelijk een mobiele airco, bij woningeigenaren is het ongeveer gelijk verdeeld. Verder heeft ruim de helft van de respondenten geen interesse in een airco. De belangrijkste redenen dat men geen airco overweegt is het hoge energiegebruik, de kosten en het feit dat het niet nodig is om de woning te koelen.

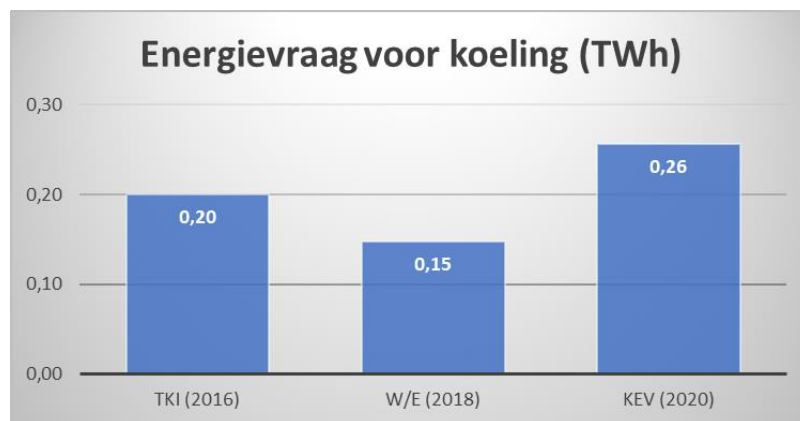
Kennis over het gebruik van een koelinstallatie door bewoners is erg beperkt. De informatie uit dit hoofdstuk wordt nog niet meegenomen in schattingen van de energievraag voor koeling in woningen (zie Hoofdstuk 2.5).

⁶ <https://amp.nos.nl/artikel/2385181-drukte-bij-plaatsing-airco-sommige-klanten-moeten-wachten-tot-na-de-zomer.html>

2.5 Energievraag voor koeling

2.5.1 Huidige energievraag voor koeling

In een aantal studies wordt de energievraag berekend op basis van schattingen van het aantal airconditioners in een bepaald jaar vermenigvuldigd met een geschat gemiddeld energiegebruik van de airco. Zoals te zien in Figuur 2.4 en Tabel 2.2 varieert de schatting van de huidige elektriciteitsvraag voor koeling tussen de 0,15 in een studie van W/E en 0,26 TWh in de meest recente KEV studie (2021). De KEV 2021 gaat voor mobiele airco's nog uit van een zeer beperkte groei tussen 2018 en 2020. Als we de aanname toepassen dat ook mobiele airco's met een factor 2,5 zijn toegenomen dan zou het energiegebruik uitkomen op 0,29 TWh. Dit is relatief weinig ten opzichte van het totale energiegebruik voor ruimteverwarming van woningen (70 TWh) (CBS & TNO, 2020). Als we deze elektriciteitsvraag voor koeling omzetten naar een koudevraag met de aanname voor het gemiddelde rendement van airconditioners van 300% ($COP = 3$)⁷ dan ligt de koudevraag tussen de 0,4 en 0,8 TWh.



Figuur 2.4 Schattingen van de energievraag voor ruimtekoeling in woningen op basis van het aantal airco's. De jaartallen tussen haakjes zijn de jaartallen waarop de studies zich baseren voor het aantal airco's

Tabel 2.2 Schattingen van de energievraag voor ruimtekoeling in woningen op basis van het aantal airco's

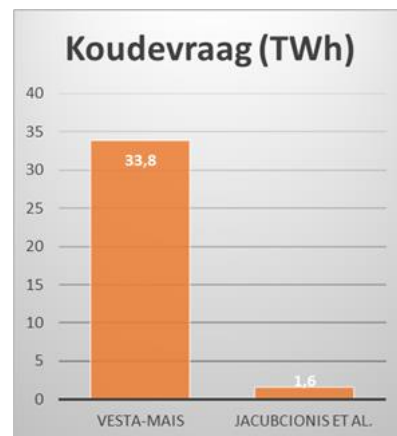
Referentie	Aanwezigheid airco's	Zichtjaar	Bron	Energiegebruik per installatie (kWh/jaar)	Bron	Energiegebruik totaal (TWh/jaar)
TKI UE	1%	2016	CBS 2016, NEV 2017	onbekend	onbekend	0,2
W/E	5%	2018	O.b.v. Kempen 2000	400	Literatuurstudie	0,15
KEV:						0,26
Vast (SAWEC)	5%	2020	CBS 2020	608	CBS, VHK	0,23
Mobiel (EVA)	5%	2020	WoON2018	64	EcoDesignVHK	0,03

⁷ Diverse bronnen hanteren een verschillend rendement: de KEV 260%, de NTA8800 300%, Vesta-MAIS 350% en W/E 360%. We zijn voor deze berekening ongeveer in het midden gaan zitten en houden 300% aan.

Toelichting bij Figuur 2.4 en Tabel 2.2:

- De TKI Urban Energy factsheet (TKI-UE, sd) baseert de schatting op data tot en met 2016 van het CBS en komt op een huidige elektriciteitsvraag voor ruimtekoeling in woningen van 0,2 TWh.
- W/E adviseurs (W/E adviseurs, 2018) hanteert een schatting van de penetratiegraad van airco's in Nederland van 5%. Met een geschat energieverbruik van 400 kWh per jaar per airco komt dat voor heel Nederland uit op ongeveer 0,15 TWh.
- De KEV 2021 berekent het elektriciteitsgebruik van airco's met het SAWEC model (vaste airco's) en het EVA model (mobiele airco's). Op basis van aannames over aantal (zie 'airconditioners'), vermogen en gebruiksduur (zie 'energiegebruik') komt het SAWEC model in 2021 op een energievraag van 0,23 TWh en het EVA model op 0,03 TWh. Daarbij baseert het SAWEC model zich op CBS cijfers van vaste airco's in 2020 en het EVA model op cijfers van mobiele airco's uit WoON 2018 met een aanname voor zeer beperkte stijging voor 2020.

De bovenstaande koudevraag is alleen gebaseerd op een schatting van het aantal airco's en een energieverbruik per airco. De werkelijke koudevraag van de woningvoorraad is echter veel groter, enerzijds doordat de koudevraag niet wordt ingevuld met een koelsysteem (dit betekent dus dat de woning te warm wordt) en anderzijds doordat ook andere koelsystemen dan airco's kunnen worden gebruikt, zoals een bodemwarmtepomp. In het Vesta MAIS model wordt de totale koudevraag van woningen gemodelleerd. Vesta MAIS neemt de aannames van W/E adviseurs voor de functionele koudevraag per m² als uitgangspunt (W/E adviseurs, 2018) en berekent vervolgens per woning de functionele koudevraag op basis van woningkenmerken en de buitentemperatuur op regionaal niveau. Bij een huidige gemiddelde koudevraag van 3,6 kWh/m² vloeroppervlak (CE-Delft, 2019) en in totaal 939 miljoen m² woningoppervlak in Nederland⁸ komt de totale functionele koudevraag uit op 33,8 TWh (aangegeven in Figuur 2.5). Als deze koudevraag volledig zou worden ingevuld met airco's met een rendement van 300%, zou het elektriciteitsverbruik uitkomen op zo'n 11 TWh, ongeveer 15% van de huidige energievraag voor verwarming en bijna 50% van de huidige elektriciteitsvraag voor woningen.



Figuur 2.5 De koudevraag zoals berekend door twee studies (let op het verschil in de schaal van de y-as ten opzichte van Figuur 2.4).

Het Vesta MAIS model biedt ook de mogelijkheid om de gerelateerde energievraag te berekenen, maar vanwege het ontbreken van goede aannames geeft het model geen indicatie van het elektriciteitsverbruik voor koeling.

De TKI factsheet over koeling (TKI, 2016) refereert verder aan een studie door Jakubcionis & Carlsson (2017). Deze studie heeft op basis van Amerikaanse data een correlatie berekend tussen het aantal koelgraaddagen en de koudevraag. Door deze correlatie toe te passen op het gemiddelde aantal koelgraaddagen in Nederland tussen 1995-2015 wordt de theoretische koudevraag voor Nederland

⁸ Gemiddelde oppervlakte per woning * aantal woningen: 119 m² * 7.891.786 (CBS Statline 2020).

ingeschat op 1,6 TWh. Indien het warmste jaar in die periode (2003) wordt aangehouden dan komt de koudevraag via deze berekening op 2,94 TWh uit. De vraag is in hoeverre deze correlatie op de Nederlandse situatie kan worden toegepast, omdat het aantal koel-graaddagen hier veel lager ligt en de gebouwkwaliteit verschillend is. Bovendien is naast de buitentemperatuur, waar de koelgraaddagen op gebaseerd zijn, de (zonne)straling een belangrijke factor. De resultaten uit dit onderzoek zijn daarom niet representatief voor Nederland.

2.5.2 *Toekomstige ontwikkeling*

Een aantal bronnen gaat ook in op de ontwikkeling van de koudevraag van Nederland in de toekomst.

De studie van Jakubcionis & Carlsson (2017), vermeld in (W/E adviseurs, 2018), schat in dat als het klimaat in Nederland in de toekomst meer zou gaan lijken op dat van Tsjechië het zou leiden tot een dubbele hoeveelheid koel-graaddagen en hogere potentiële penetratie airco's. De potentiële koudevraag kan dan toenemen van 1,58 tot 5 TWh. Hierbij is wederom het gebruik van airco's gebaseerd op Amerikaanse data.

In het Vesta-MAIS model worden KNMI klimaatscenario's toegepast om de koudevraag voor toekomstige zichtjaren te bepalen. De koudevraag neemt daarbij toe met 3,66% wanneer de vraag naar ruimteverwarming met 1% afneemt. Voor 2030 geven de 4 klimaatscenario's een toename van de koudevraag van 19%, waarmee de koudevraag in 2030 zou uitkomen op 40,3 TWh. Ook hier is het model voorbereid om uitgebreidere inschattingen te maken van de koudevraag in de toekomst en zijn diverse parameters ingebouwd, maar ontbreekt de informatie voor de invulling van de ingebouwde parameters.

In de KEV 2021 wordt voor mobiele airco's verondersteld dat het bezit toeneemt van 4,5% van de bewoonde woningen in 2018 tot 8,5% in 2030. In de KEV2021 wordt de groei van vaste airco's/lucht-lucht warmtepompen gebaseerd op de gemiddelde groei van de afgelopen 5 jaar. Het bezit van vaste airco's neemt dan toe van 5% in 2020 naar 13% in 2030. De elektriciteitsvraag voor koeling (vast en mobiel) stijgt dan van 0,26 TWh in 2020 naar 0,63 TWh. In de bandbreedte van de ramingen wordt rekening gehouden met een grotere groei van airco's.

2.6 **Conclusies en vervolgonderzoek**

Voor deze notitie is gekeken welke informatie beschikbaar is over het energiegebruik voor ruimtekoeling in woningen. Dit hoofdstuk biedt een samenvatting van de verzamelde informatie en geeft aan waar de kennishiaten liggen.

Cijfers over aantal in gebruik genomen airco's lopen uiteen. Het WoON2018 bestand heeft de meest complete en recente gegevens en komt op een penetratiegraad van 6% van de bewoonde woningen in 2018. Cijfers van het CBS laten echter zien dat de aanschaf van vaste airco's sinds 2018 sterk stijgt en de indicatie uit WoON 2018 wordt dan ook snel achterhaald. Uit de CBS cijfers blijkt dat in 2020 5% van de huishoudens een vaste airco had, ten opzichte van 2% in 2018. Het aandeel huishoudens met een mobiele airco is bij het CBS niet bekend. Als we de factor 2,5 toepassen op WoON2018 dan zou nu 15% van de huishoudens een airco hebben, vast of mobiel. Dit komt in de buurt van het onderzoek van MeMo² in 2020 waaruit blijkt dat 19% van de huishoudens een airco

heeft. Uit de bovenstaande bronnen lijkt te kunnen worden afgeleid dat zo'n twee derde van de airco's in huishoudens een mobiele airco is.

Schattingen voor het totale energieverbruik van airco's lopen van 0,15 TWh uit een studie van W/E uit 2018 tot 0,26 TWh voor de meest recente KEV studie (2021). De werkelijke koudevraag kan veel hoger liggen, omdat in koeling ook op een andere manier kan worden voorzien dan met airco's en omdat de huidige koudevraag niet altijd wordt ingevuld, wat betekent dat woningen te warm worden. In het Vesta-MAIS model wordt de zogenaamde 'functionele' koudevraag berekend die uitkomt op 33,8 TWh. Als deze vraag volledig met airco's met een rendement van 300% zou worden ingevuld dan zou het energieverbruik op zo'n 11 TWh uitkomen, 15% van het huidige energieverbruik voor ruimteverwarming en bijna 50% van het huidige elektriciteitsgebruik van woningen.

Naast airco's heeft in 2020 ongeveer 2% van de bewoonde woningen een lucht-water warmtepomp. In welke mate lucht-water warmtepompen worden toegepast voor koeling is onbekend. Verder heeft bijna 1% van de bewoonde woningen een aansluiting op een bodemwarmte/-koude bron, maar in welke mate bodemkoude wordt toegepast voor koeling is hier ook onbekend. Het energieverbruik voor koeling met bodemenergie zal echter beperkt zijn, omdat geen compressor nodig is, maar alleen een circulatie- en/of bronpomp.

Naast individuele koelinstallaties zijn er koudenetten, maar deze worden met name toegepast in de utiliteitsbouw. Een totaaloverzicht van alle koudenetten met onderscheid naar koudebron ontbreekt nog en het is niet bekend aan hoeveel woningen koude wordt geleverd. In hoeverre voor de koude in een koudenet nog energie nodig is, is afhankelijk van het type net.

Hoeveel energie verschillende soorten warmtepompen per jaar voor koeling gebruiken is onzeker en schattingen voor airconditioners lopen uiteen van 64 kWh tot 850 kWh. Naast technische specificaties is het gebruik van het koelsysteem door de bewoner een belangrijk aspect in het energieverbruik, zoals: Vanaf welke binnentemperatuur wordt er gekoeld? Welke ruimtes worden gekoeld? Maar ook: wat is de binnentemperatuur en in hoeverre wordt deze al beperkt door het nemen van maatregelen (zoals ventilatie, zonwering, beschaduwning van de woning)? Over het bewonersgedrag is echter weinig bekend, evenals de beweegredenen voor de aanschaf van een koelsysteem.

Uit het bovenstaande kunnen we de volgende kennislücken afleiden om de energievraag voor ruimtekoeling in woningen, beter in te kunnen schatten:

1. CBS verzamelt cijfers over vaste airco's/lucht-lucht warmtepompen in de hernieuwbare energiestatistiek. Er is geen monitoring van de verkoop van het aantal mobiele airco's.
2. Er is niet bekend in hoeverre vaste airco's, lucht-water en bodemwater warmtepompen die worden geïnstalleerd voor verwarming ook worden gebruikt voor koeling in woningen.
3. De vraag is hoe koelsystemen momenteel gebruikt worden door bewoners. Bij welke binnentemperatuur wordt er bijvoorbeeld gekoeld?
4. Er is nog weinig bekend over het elektriciteitsverbruik van de verschillende koelsystemen. Welke 'Coefficient of Performance' (COP) kan het beste worden aangehouden? Welke factoren spelen een rol in het energieverbruik en wat zijn redelijke aannames hiervoor? Kan er een eenduidige methode worden ontwikkeld? Zijn er nog technologische ontwikkelingen mogelijk?

5. Het is niet bekend hoe bewoners maatregelen toepassen om te voorkomen dat de woning opwarmt, zoals zonwering en nachtventilatie.

Om ook de verwachte energievraag voor de toekomst in te kunnen schatten is informatie nodig over toekomstige ontwikkelingen in bovenstaande kennisvelden en over de volgende twee vragen:

6. Wat zijn de verwachtingen voor het bezit van airco's en warmtepompen die gebruikt kunnen worden voor koeling van woningen in de toekomst?
7. In hoeverre neemt de koudevraag in de toekomst toe door;
 - a) klimaatverandering;
 - b) verdere isolatie van woningen?

Een andere interessante onderzoeksvraag betreft het (neven)effect van koeling:

8. Wat is de impact van koelsystemen op:
 - a) de piekvraag van elektriciteit;
 - b) het stedelijke hitte-eilandeffect;
 - c) hittestress, en;
 - d) arbeidsproductiviteit?

3 Koudeprofielen van woningen

Robin Niessink, Edwin Matthijssen

Met dank aan het KNMI voor de suggesties voor de analyse van de historische weerstation gegevens en de klimaatscenario's.

3.1 Inleiding

In Nederland is er door klimaatverandering sprake van een trendmatige stijging van de gemiddelde jaartemperatuur. Er is altijd sprake van natuurlijke fluctuatie: relatief koudere en warmere jaren wisselen elkaar af. Echter de gemiddelde temperatuur per jaar neemt toe. Dit heeft consequenties in het stookseizoen voor de vraag naar ruimteverwarming; die neemt trendmatig af. Maar op de warmste dagen in het jaar (buiten het stookseizoen) heeft de stijgende temperatuur consequenties voor de vraag naar ruimtekoeling, die neemt trendmatig toe.

In dit hoofdstuk berekenen we het koudevraagprofiel van een woning: de koudevraag per uur van het jaar. Ook berekenen we hoe dit verandert als gevolg van een stijgende temperatuur in de toekomst. Het doel is om een koudevraagprofiel in het heden te vergelijken met een koudevraagprofiel voor 2030 en 2050. Dit om te analyseren hoe zowel de totale vraag naar koude als het aantal piekmomenten in de koudevraag van een woning zou kunnen veranderen. We willen daarmee een eerste idee geven hoeveel de koelbehoefte zou kunnen veranderen in de toekomst.

Er zijn diverse variabelen en parameters die een rol spelen in de modelmatige bepaling van de koudevraag van een woning, denk aan de meegenomen klimaatvariabelen in het model, de bouwkundige eigenschappen van woningen, interne warmtewinst en het effect van mechanische of natuurlijke ventilatie. Op de onzekerheidsmarges die dit oplevert voor het resultaat zullen we in deze analyse niet (uitgebreid) ingaan. We gaan ook nog niet in op de vraag hoe deze koudevraag eventueel wordt gereduceerd met maatregelen (zoals bijvoorbeeld zonwering en zomernachtventilatie), welke rol renovatie (i.e. isolatie) speelt, of hoe deze koudevraag eventueel zal worden ingevuld met klimaatinstallaties en tot welk energiegebruik dit dan leidt.

De profielen zijn berekend voor een voorbeeldwoning met behulp van de Warmteprofielengenerator (WPG) van TNO (zie 3.2). Dit model is in ontwikkeling en moet nog gevalideerd worden. We willen met deze analyse verkennen of de WPG gebruikt kan worden voor het bepalen van de huidige en toekomstige koudevraag. Voor de temperatuur is gebruik gemaakt van de KNMI weermetingen voor historische jaren⁹ en voor de toekomst van de KNMI 2014 klimaatscenario's (KNMI, KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, 2014b).

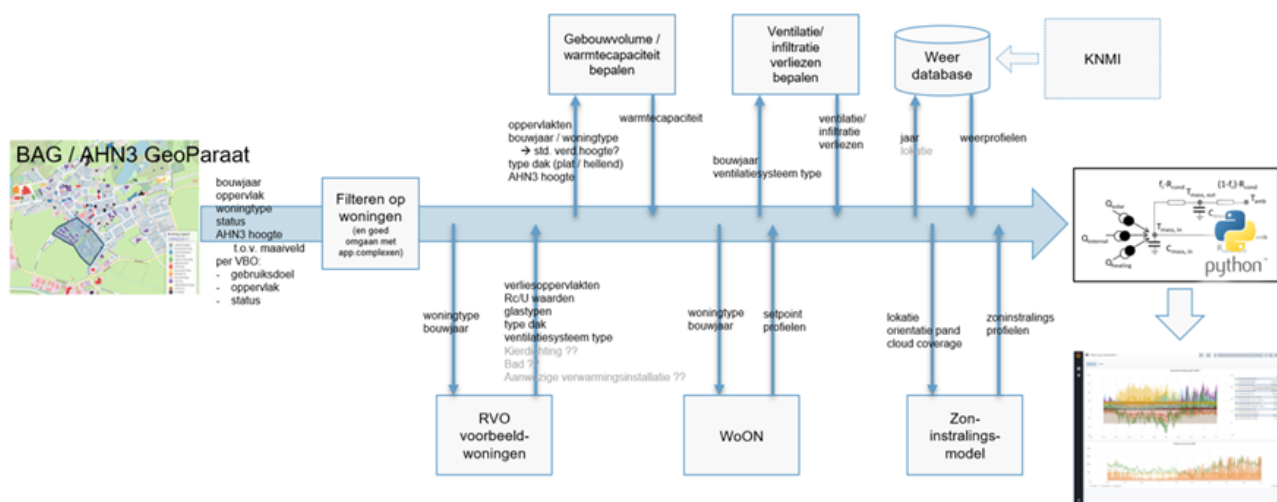
⁹ Uurgegevens voor het weer (temperatuur, zon, bewolking en zicht, luchtdruk, wind en neerslag) per meetstation zijn hier te downloaden: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens>.

Leeswijzer

Paragraaf 3.2 beschrijft het model dat is gebruikt om de koudevraag te berekenen, de Warmtevraagprofielengenerator. Paragraaf 3.3 beschrijft de gebruikte weerdata van het KNMI en paragraaf 3.4 de berekening van de buitentemperatuur voor toekomstige jaren. Paragraaf 3.5 toont de resultaten van het berekende koudevraagprofiel. Paragraaf 3.6 sluit dit hoofdstuk af met conclusies en aanbevelingen.

3.2 De Warmteprofielengenerator

We maken gebruik van de Warmteprofielengenerator (WPG) van TNO. Dit model is schematisch weergegeven in Figuur 3.1. De WPG is een fysisch warmtebalansmodel op uurbasis. De WPG gebruikt inputdata over woningdimensies, woning oriëntatie, isolatiewaarden, ventilatie en overige woningkarakteristieken in combinatie met weergegevens over uurlijkse temperatuur, zon en bewolgingsgraad om een warmtebalans (winsten en verliezen) voor een woning per uur te berekenen. Door de balans voor alle opeenvolgende uren van een jaar door te rekenen wordt zodoende een profiel gegenereerd voor een heel jaar. Het warmteprofiel laat zien hoeveel thermisch vermogen een (denkbeeldige) installatie per uur zou moeten leveren om de vraag in te vullen. Het model houdt daarin rekening met het maximum thermische vermogen van de installatie: een piekvraag die hoger is dan dit maximum kan dus niet volledig ingevuld worden. Het model doet dan een poging om de woning in het daaropvolgende uur wel op de gewenste temperatuur te krijgen. Het profiel geeft dus ook aan hoe een (denkbeeldige) installatie presteert. Omdat bekend is hoeveel vermogen de installatie gedurende ieder uur moet leveren kan hiermee via het rendement de bijhorende energievraag worden afgeleid. Door naar de vraag en het aanbod (de geleverde energie) op piekvraagmomenten te kijken kan het model ook gebruikt worden om de piekbelasting van het net op buurtniveau te berekenen.



Figuur 3.1 Overzicht WPG model, gebruikte brondata en data flows. Het model is ontwikkeld om buurtprofielen op de stellen, maar inmiddels is het ook mogelijk om profielen voor individuele woningen te genereren

De WPG werkt met de dimensies en isolatiewaarden conform de RVO voorbeeldwoningen 2020. In het inputdata-selectiescherm (de gebruikersinterface) kan een combinatie van woningtype en bouwjaarklassen worden geselecteerd waarmee wordt gerekend. De WPG neemt automatisch de gemiddelde waarde uit de RVO voorbeeldwoningen over als de uitgangssituatie voor het isolatieniveau. Dit kan handmatig worden aangepast.

De WPG is oorspronkelijk opgezet om een warmteprofiel op buurtniveau te genereren (zie Figuur 3.1). De WPG is inmiddels ook in staat om warmteprofielen voor individuele woningen te genereren die vervolgens geëxporteerd kunnen worden. Voor dit project is een functionaliteit aan het model toegevoegd waarmee de koudevraagprofielen voor individuele woningen te berekenen zijn.

Een belangrijke parameter voor hoe het uiteindelijke profiel eruit zal zien is het “setpoint”. Er is een apart setpoint voor verwarmen en voor koeling. Het setpoint kan worden opgevat als de binnentemperatuur waar de woning in dat uur naartoe verwarmd of gekoeld wordt (de gewenste temperatuur). Als de binnentemperatuur lager is dan het setpoint voor verwarmen is er een warmtevraag. Er is in de WPG één setpoint per woning voor verwarmen dat per uur is in te stellen (er is géén onderscheid per kamer). Deze setpoints zijn afgeleid van het WoON2018 onderzoek. In het WoON onderzoek is een grote database met technische en sociaaleconomische gegevens van woningen opgebouwd met informatie verzameld uit inspecties en enquêtes onder een grote representatieve steekproef (ong. 4.500 in 2018) van woning-eigenaren en huurders (Woononderzoek, 2018). In Figuur 3.2 is een voorbeeld van setpoint aannames met onderscheid naar week- en weekenddagen weergegeven. Deze setpoint instellingen voor verwarming zullen we gebruiken voor het berekenen van de warmtevraag.



Figuur 3.2 Setpoint aannames (default) verwarming in de WPG

In het WoOn2018 onderzoek onder respondenten zit echter geen vraag naar setpoints voor koeling onder de respondenten (wel voor verwarmen, ingedeeld in tijdsblokken). Als onderdeel van dit project is een enquête uitgezet om setpoints voor koeling bij woningen uit te vragen aan respondenten (zie Hoofdstuk 4). Resultaten hiervan konden vanwege de parallelle uitvoering van werkzaamheden in dit project niet meer gebruikt worden als inputwaarden voor de WPG.

Voor koude wordt daarom momenteel in het model met slechts één setpoint gewerkt die voor alle uren hetzelfde is. Als de binnentemperatuur hoger is dan de setpointtemperatuur dan is er een koudevraag. Het setpoint voor koude kan

bijvoorbeeld worden ingesteld op 24 °C¹⁰. Dit betekent dat de klimaatinstallatie zal proberen de woning onder de 24 graden te houden. In deze verkenning kiezen we als aanname (en gevoeligheidsanalyse) voor twee verschillende setpoints: namelijk 24 en 22 °C. Dit valt binnen een range van mogelijke aannames gevonden in de literatuur (zie Tabel 3.1) (W/E adviseurs, 2018).

Tabel 3.1 Aannames setpoints voor koeling uit de literatuur (W/E adviseurs, 2018)

Bron:	Aanname(s) setpoint koeling:
W/E adviseurs	“Er is verschil te maken tussen de setpointtemperatuur waarbij mensen overgaan tot aanschaf van een koelapparaat en de temperatuur waarbij deze wordt aangezet. In een woning zonder mogelijkheid tot koeling worden temperaturen tot bv 25 °C nog acceptabel geacht, pas daarboven ontstaat een comfortprobleem. Uit onderzoek van IthoDaalderop (monitoring van enkele duizenden warmtepompen/WKO-systemen) blijkt dat in woningen waar wél de mogelijkheid tot koeling is, de temperatuur in de zomer vaak (veel) lager wordt gehouden dan 25 °C.”
EPC/BENG rekenmethode	“De EPC-berekening (en straks ook de BENG-berekeningen) gaan uit van een bepaalde setpointtemperatuur waarboven sprake is van een koudevraag. Het setpoint is gebaseerd op de fysiologische koudevraag: bij hogere temperaturen wordt het thermisch discomfort te hoog. Dat gaat voorbij aan het effect dat bewoners die kunnen beschikken over een koelvoorziening deze eerder inschakelen dan uit fysiologisch oogpunt noodzakelijk is: als er een koelvoorziening is, wordt deze ook gebruikt. Bij de exploitatie van WKO-systemen blijkt de koudevraag in goed geïsoleerde woningen ongeveer gelijk aan 70% van de warmtevraag. Dat is een significant andere verhouding dan wat volgt uit EPC berekeningen. Setpointtemperatuur ligt daar op ongeveer 21 à 22 °C.”

Het is goed om hier te vermelden dat we in deze analyse voorsnog slechts de hypothetische koude behoefte berekenen (die een koelinstallatie hypothetisch levert) en geven daarbij niet aan óf de koudevraag daadwerkelijk zou worden ingevuld en wat het gerelateerde energiegebruik zou zijn. Het zou goed kunnen dat sommige bewoners enige mate van oververhitting accepteren of aan de andere kant bijvoorbeeld de zonwering vaker zullen gebruiken als het te warm is in de woning.

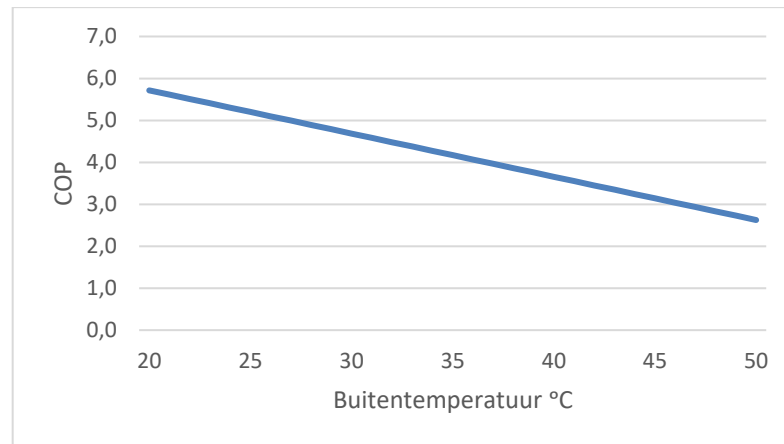
De koelvermogensvraag wordt uitgedrukt in thermisch vermogen (kW_{th}) dat geleverd moet worden door de denkbeeldige koelinstallatie (d.w.z. de hoeveelheid vermogen aan warmte die per uur onttrokken moet worden aan de woning). Een koelinstallatie zal proberen in deze vraag te voorzien, wat lukt als het gevraagde vermogen onder het maximale koelvermogen ligt. Het maximale vermogen van de koelinstallatie (hier aangenomen op 5 kW_{th}) is de beperkende factor. Dit betekent dat als het gevraagde koelvermogen hoger is dan het geïnstalleerde vermogen hier niet aan wordt voldaan. Het resultaat is een niet-ingevulde vraag en een (gedeeltelijk) oververhitte woning gedurende dat uur. Uit de gemaakte analyses volgt dat dit alleen kan gebeuren op de meest warme dagen in het jaar.

In de WPG wordt tevens rekening gehouden met het rendement van de koelinstallatie. Voorsnog gaan we ervan uit dat gekoeld wordt met een airco¹¹

¹⁰ Noot: Een setpoint bij woningen zegt minder over hoeveel daadwerkelijk actief gekoeld gaat worden in vergelijking tot utiliteit (o.a. kantoren). Inzet van koelinstallaties is vaker geautomatiseerd bij utiliteit en het uiteindelijke gebruik hangt dan minder af van koelgedrag en andere factoren.

¹¹ Andere koelopties zoals bodemwarmtepompen worden momenteel ingebouwd in de WPG.

(lucht-lucht warmtepomp). In de WPG is het rendement van de koelinstallatie (COP) afhankelijk van de buitentemperatuur (zie ook Figuur 3.3):



Figuur 3.3 Rendement (COP) koelinstallatie als functie van de buitentemperatuur

De aannames voor de isolatiewaarde per bouwdeel (Rc-waarden/Uw) per bouwjaarklasse en dimensies per woningtype (o.a. hoek, tussen, vrijstaand, portiek) zijn afkomstig van een update van de RVO voorbeeldwoningen die gebruik maken van de WoON2018 data om een inschatting te maken van de huidige isolatiegraad. Wanneer een woningtype en bouwjaarklasse worden geselecteerd worden de gemiddelde isolatiewaarden gekozen van de voorbeeldwoningen. In dit geval is gekozen om uit te gaan van een tussenwoning. Dit is het meest voorkomende woningtype in Nederland. Voor de bouwjaarklasse is gekozen voor de meest recente bouwjaarklasse “na 2012” (bouwjaar 2016). Hiervoor is gekozen omdat dit type woning goed geïsoleerd is en momenteel al een significante koude vraag heeft. Ter vergelijking is ook een tussenwoning uit bouwperiode “1975-1991” (bouwjaar 1983) doorgerekend. We rekenen met de huidige gemiddelde isolatiewaarden van die bouwjaarklassen. Het effect van energetische renovatie op de koude vraag laten we voor nu buiten beschouwing.

De interne warmtewinst door personen en elektrische apparaten is in het model verondersteld op 5W/m². De totale warmtewinst is de som van de interne warmtewinst en externe warmtewinst door zoninstraling. Hoe beter geïsoleerd en kierdicht de woning is hoe lager het transmissieverlies en infiltratieverlies en hoe groter de warmtewinst is ten opzichte van de warmtevraag.

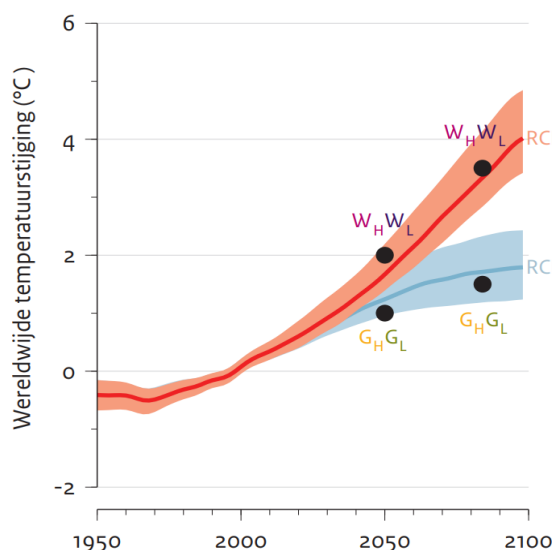
Tot slot zijn de KNMI meet- en scenariodata gebruikt in de WPG voor het bepalen van het weer.

3.3 Weerdata KNMI

Voor de weergegevens uit historische jaren maken we gebruik van de meetreeksen op uurbasis van het KNMI. Voor het gemiddelde weer in Nederland hanteren we metingen op meetlocatie de Bilt. We hebben uurlijkse data van meteorostation de Bilt (meteorostation nr. 260) ingelezen voor periode 1981-2020 (zie bijlagen A en B). Hiermee hebben we de daggemiddelde, en maandgemiddelde (en jaargemiddelde) temperatuur berekend. Voor zoninstraling en bewolking is ook uitgegaan van uurdata uit deze meetreeksen. De directe zoninstraling is per uur opgegeven in Joule/m². De bewolkingsgraad is opgegeven per uur in een schaalverdeling

(octanten¹²) die loopt van 0=onbewolkt naar 9=volledig bewolkt (bovenlucht onzichtbaar).

Voor de toekomst heeft het KNMI in 2014 vier verschillende scenario's opgesteld (KNMI, KNMI'14-klimaatscenario's - 'Scenario's samengevat' en 'Kerncijfers', 2014a). Deze 4 scenario's geven als het ware de hoekpunten (extremen) aan waarbinnen het klimaat in Nederland zich kan ontwikkelen. Meer toelichting op de scenario's en de uitgangspunten is te vinden in de KNMI brochure (KNMI, KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, 2014b). De temperatuurstijging in de scenario's is weergegeven in Figuur 3.4.



Figuur 3.4 Wereldwijde temperatuurstijging ten opzichte van 1981-2010 volgens de modelberekeningen voor het IPCC rapport uit 2013. Twee uitstootscenario's: RCP4.5 (stabilisatie) en RCP8.5 (hoge uitstoot). Gekleurde banden: spreiding tussen klimaatmodellen; lijnen: gemiddelde over de modellen; punten: wereldwijde temperatuurstijging zoals toegepast in de KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland (KNMI, KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie, 2014b).

We hebben gekozen om het gematigd-hoog scenario: “G_H scenario” te hanteren als het uitgangspunt voor de klimaatdata om de koudeprofielen mee te berekenen. Dit betreft een klimaatscenario waarin de toekomstige opwarming tussen het scenario's met de meeste (W_H) en de minste opwarming (scenario G_L) ligt. Het G_H scenario bereikt +1,6 °C opwarming in 2050 ten opzichte van de periode 1981-2010. Het G_L en W_H scenario stijgt de temperatuur met respectievelijk +1,1 °C en +2,7 °C in 2050 t.o.v. 1981-2010.

Voor de historische jaren zijn uurwaarden beschikbaar¹³, maar de KNMI scenario's bevatten slechts resultaten voor daggemiddelde temperatuur, dagelijkse minimumtemperatuur, dagelijkse maximumtemperatuur en daggemiddelde globale zonnestraling (die het aardoppervlak raakt). De WPG werkt echter op uurbasis. We maken daarom hier een inschatting van de uurtemperaturen voor toekomstige jaren. Dit doen we door een jaarprofiel op basis van metingen uit het verleden op te

¹² <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/daggegevens-van-het-weer>

¹³ Uurwaarden per meetstation zijn ook hier te downloaden: <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/uurgegevens>

hogen met de verwachte temperatuurstijging (per dag) conform het klimaatscenario (zie paragraaf 3.4).

Voor de bewolgingsgraad (die ook een vereiste input is in de WPG) zitten geen projecties in de KNMI scenario's. Er is daarom gekeken of uurwaarden voor toekomstige bewolking af te leiden waren door regressieanalyses uit te voeren op historische uurdata voor 1) temperatuur vs. bewolking en 2) zoninstraling vs. bewolking. In beide gevallen is geen verband gevonden. Ook niet met alleen de uurdata binnen een specifieke maand dan wel analyses voor een specifieke dag in die maand. Het was daarom niet mogelijk een toekomstig uurprofiel voor deze twee variabelen af te leiden. Uit gesprekken met KNMI bleek ook dat het onzeker is hoe de zonnestraling precies zal veranderen in de toekomst. Bewolking is erg complex om te voorspellen. Eén van de KNMI scenario's laat een toename zien, maar dat is niet algemeen toepasbaar.

Voorlopig is gekozen om voor 2030 en 2050 uit te gaan van hetzelfde uurprofiel voor zoninstraling en bewolking als in 2019 (zie Bijlage A). Het enige weerelement dat in de WPG anders is in de jaren 2030 en 2050 is dan ook de temperatuur. In een vervolgstudie moet hier uitgebreider naar gekeken worden. Het KNMI beveelt aan om als aanname de gemiddelde zoninstraling van de afgelopen 30 jaar te nemen en die te projecteren op 2030 of 2050.

3.4 Modellerings uurprofielen temperatuur voor toekomstige jaren

Het KNMI hanteert een referentieperiode om de opwarming aan te relateren. De referentieperiode voor de KNMI '14 scenario's is 1981-2010. Het KNMI heeft voor het opstellen van de scenario's gebruik gemaakt van een zogenoemd transformatieprogramma¹⁴ om tijdreeksen te genereren voor verschillende tijdshorizonten (te kiezen uit steeds een 5 jaar verschuiving van de tijdshorizont). Het transformatieprogramma houdt rekening met de kansverdeling op bepaalde typen weer in de toekomst door rekening te houden met de natuurlijke variaties in de referentieperiode en die te incorporeren. De toekomstige opwarming is dus gemodelleerd met de natuurlijke variabiliteit die daarbij hoort. Niet ieder toekomstig jaar is daarom qua jaargemiddelde temperatuur warmer dan het gemiddelde van de referentieperiode.

De getransformeerde reeksen voor het klimaat zijn gegenereerd in setjes van 30-jaar rond een bepaald zichtjaar. De klimaatprojecties geven de kansverdeling op een bepaald weer in een periode van 30 jaar. In de toekomst worden net als in het verleden relatief koudere jaren afgewisseld met relatief warmere jaren. We willen nu voor het op te stellen koudeprofiel niet juist één relatief warm of relatief koud jaar selecteren uit het scenario. We zijn geïnteresseerd in de langjarige trend; ofwel de ontwikkeling van het langjarige gemiddelde. Als we bijvoorbeeld de opwarming tussen 2050 en 2030 willen weten kunnen we voor 2050 het 30-jarige gemiddelde van 2036-2065 nemen en voor het heden een 30-jaar gemiddelde rond 2020 (2006-2035). Het verschil daartussen geeft aan hoeveel het klimaat gemiddeld is opgewarmd.

Om de 30-jaars gemiddelde trend conform de scenario's te kwantificeren gaan we als volgt te werk (zie ook Bijlage B):

¹⁴ http://climexp.knmi.nl/scenarios_knmi14_form.cgi

- De referentieperiode voor de scenario's van het KNMI is de periode 1981-2010 (30 jaar). Dit korten we even af als '1995'. Voor elke dag is een gemiddelde daggemiddelde temperatuur bepaald over 30 jaar. De temperatuur in de KNMI scenario's is gemodelleerd ten opzichte van deze referentie periode.
- Voor '2050' nemen we voor elke in het scenario gemodelleerde dag de gemiddelde temperatuur van de jaren 2036-2065. Voor iedere dag in het jaar berekenen we de gemiddelde daggemiddelde temperatuur. Dus voor 1-januari 2050 is de gemiddelde temperatuur berekend voor alle 1-januari's in periode 2036-2065.
- Voor '2030' nemen we op dezelfde manier de gemiddelde daggemiddelde temperatuur van jaren 2016-2045.
- Voor '2020' nemen we idem de gemiddelde temperatuur van jaren 2006-2035.

Vervolgens bereken we de trendmatige opwarming voor iedere individuele dag, als volgt:

- ΔT voor 1995-2050 als het verschil tussen '2050' en '1995'
- ΔT voor 1995-2030 als het verschil tussen '2030' en '1995'
- ΔT voor 1995-2020 als het verschil tussen '2020' en '1995'

Hiermee leiden we vervolgens de ΔT af tussen 2020 en 2030 en tussen 2020 en 2050. De trendmatige opwarming is op deze manier bepaald voor iedere individuele dag. Het KNMI heeft bevestigd dat dit detailniveau vereist is om voldoende rekening te houden met de natuurlijke variatie in temperaturen binnen maanden. In Tabel 3.2 is een samenvatting te zien van de maandgemiddelde temperaturen voor de historie (metingen), toekomst (KNMI klimaatscenario GH) en de ΔT (oppluswaarden). De tabel laat zien dat het elke maand gemiddeld warmer wordt richting 2030 en 2050, ten opzichte van 2020. In de wintermaanden warmt het klimaat gemiddeld meer op dan in de zomermaanden. Zoals aangeven kijken we naar de trendmatige opwarming per dag en niet per maand. Dat zou echter een zeer grote tabel opleveren, vandaar dit samenvattende overzicht per maand.

Tabel 3.2 Maandgemiddelde historische temperaturen (1981-2010), gemodelleerde temperaturen in het KNMI scenario GH en de gebruikte oppluswaarden (ΔT) per maand op basis van klimaatscenario GH. De cijfers geven steeds een 30-jaars gemiddelde rond het betreffende zichtjaar aan. Het jaar 2050 geeft dus het gemiddelde aan van periode 2036-2065. Periode 1981-2010 (aangeduid als 1995) wordt gebruikt als de referentieklimaatperiode om de opwarming in de scenario's aan te relateren via het transformatieprogramma.

	Maandgemiddelde temperatuur en ΔT obv KNMI '14 scenario GH					
	gem. 1981-2010	gem. 2006-2035	gem. 2016-2045	gem. 2036-2065		
Maand	1995	2020	2030	ΔT 2020-2030	2050	ΔT 2020-2050
Jan	3,1	3,9	4,2	0,3	4,9	1,0
Feb	3,3	4,2	4,5	0,3	5,2	1,0
Mrt	6,2	6,9	7,1	0,2	7,6	0,8
April	9,2	9,7	9,8	0,1	10,2	0,5
Mei	13,1	13,6	13,7	0,1	14,1	0,5
Juni	15,6	16,2	16,4	0,2	16,9	0,7
Juli	17,9	18,6	18,8	0,2	19,3	0,7
Aug	17,5	18,2	18,5	0,3	19,0	0,8
Sept	14,5	15,0	15,3	0,3	15,8	0,8
Okt	10,7	11,3	11,6	0,3	12,1	0,8
Nov	6,7	7,3	7,6	0,3	8,1	0,8
Dec	3,7	4,4	4,7	0,3	5,3	0,9

3.4.1 Uurprofiel temperatuur

De ΔT is de waarde voor de temperatuurstijging die we gebruiken als oppluswaarde (in °C) voor het uurprofiel van het 'heden'. Hiervoor kiezen we één jaarprofiel uit van de afgelopen 5 jaar (2015-2020), zie Tabel 3.3 en Bijlage C. In dit geval is gekozen voor het uurprofiel van 2019 omdat dit jaarprofiel per maand gezien het dichtst bij de gemiddelde maandtemperatuur ligt uit de afgelopen 5 jaar (de som van afwijkingen t.o.v. het gemiddelde 2015-2020 is het kleinste). De temperatuurdata over 2019 is daarmee het meest representatief voor het gemiddelde temperatuurprofiel van de afgelopen 5 jaar. Er is gekozen voor het profiel van één jaar en niet een gemiddeld uurprofiel van meerdere jaren, omdat pieken (hoog en laag) elkaar dan uitmiddelen. Het uurprofiel van 2019 wordt dus opgeplust met de ΔT 2020-2030 om het uurprofiel voor 2030 te krijgen en met de ΔT 2020-2050 voor het uurprofiel van 2050¹⁵¹⁶.

Tabel 3.3 Historische maandgemiddelde temperaturen KNMI meteorostation de Bilt op basis van metingen. De gemiddeldes uit het jaar 2019 zijn in deze verkenning gebruikt als uitgangssituatie.

Maandgemiddelde temperatuur KNMI weerstation De Bilt							
Maand	ref_2015-2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Jan	4,3	4,0	4,8	1,6	5,6	3,5	6,2
Feb	4,5	3,5	4,7	5,0	0,7	6,1	7,1
Mrt	6,6	6,2	5,4	8,6	4,7	8,0	6,8
April	10,1	9,0	8,7	8,6	12,1	10,9	11,1
Mei	13,8	12,4	14,5	15,0	16,4	11,7	13,1
Juni	17,3	15,6	16,8	18,0	17,5	18,1	17,5
Juli	18,5	18,4	18,4	17,9	20,7	18,8	17,0
Aug	18,5	18,5	17,9	17,2	18,5	18,4	20,4
Sept	14,8	13,4	17,3	13,7	14,7	14,5	15,2
Okt	11,3	9,9	9,9	13,3	11,9	11,6	11,3
Nov	7,4	9,9	5,4	7,3	6,8	6,4	8,9
Dec	6,1	9,6	4,7	4,9	6,1	5,8	5,5

3.5 Resultaten: Koudeprofielen Tussenwoning

Met de uurtemperatuurprofielen en overige aannames zoals hierboven beschreven zijn met de WPG koudeprofielen berekend voor drie situaties (varianten). Daarvan zijn 2 varianten, een recente woning en een wat oudere woning, doorgerekend met een setpoint van 24 °C, namelijk:

- **Variant 1:** Tussenwoning, bouwjaar 2016 (bouwjaarklasse na 2012)
- **Variant 2:** Tussenwoning, bouwjaar 1983 (bouwjaarklasse 1975-1991)

Er is ook een recente woning met een setpoint van 22 °C doorgerekend, namelijk:

- **Variant 3:** Tussenwoning, bouwjaar 2016 (bouwjaarklasse na 2012)

In Figuur 3.5 wordt het uurprofiel van Variant 1 getoond voor drie zichtjaren (zie Bijlage D voor uitgebreide resultaten van Variant 1 en de andere varianten). Op de horizontale as staan de uren in het jaar oplopend van 0 naar 8760 (maanden jan-

¹⁵ Het opwarmingsverschil tussen periodes 2020-2030 en 2019-2030 is slechts zeer klein (verwaarloosbaar).

¹⁶ De temperaturen in de referentieperiode 1981-2010 gebruikt voor het scenario zijn gelijk aan de historische metingen voor deze periode.

dec) en op de verticale as staat het benodigde thermische vermogen (Watt) dat de energie-installatie in dat uur levert. De bovenste panelen laten alleen de koudevraag zien (blauw). In het onderste paneel wordt ook de vraag voor ruimteverwarming (oranje) en warm tapwater (grijs) getoond¹⁷. De vraag naar tapwater is continu aanwezig over een jaar. De vraag naar ruimtekoeling bevindt zich in de zomermaanden en de vraag naar ruimteverwarming zit in de wintermaanden.

In Figuur 3.6 wordt de jaarlijkse warmtebalans weergegeven voor de drie zichtjaren voor Variant 1. Te zien is hoe het blauwe oppervlak (koeling) toeneemt en het oranje gebied (ruimteverwarming) afneemt richting de toekomst. Voor Variant 3 (hier niet weergegeven) ziet het plaatje er min of meer hetzelfde uit. In Variant 2 (hier niet weergegeven) worden de warmtewinsten bijna in het geheel uitgebalanceerd met warmteverliezen. Er blijft daardoor een beperkte koudevraag over.

Voor **Variant 1** (bouwjaar 2016, setpoint 24 °C) zijn de belangrijkste resultaten:

- Een koudevraag van 5,5 GJ in 2019, 5,9 GJ in 2030 en 6,4 GJ in 2050.
- Dit is een toename in koudevraag van 7% in 2030 en 17% in 2050 is, beide t.o.v. 2019.
- Er is een warmtevraag van 18,1 GJ in 2019, 17,5 GJ in 2030 en 16,6 GJ in 2050
- Dit is een afname in warmtevraag met 3% in 2030 en 8 % in 2050, beide t.o.v. 2019

Met het veronderstelde thermische vermogen van de koelinstallatie (5 kW_{th}) kan circa 90% van de jaarlijkse koude vraag worden ingevuld door de installatie, nu en in de toekomst (dit geldt voor alle drie de varianten). Met andere woorden, deze woningen hebben met dit koelvermogen gedurende het jaar maar beperkt last van binnentemperatuuroverschrijding. In Tabel 3.4 is wel te zien dat het aantal momenten toeneemt dat de installatie een relatief hoog vermogen (hoger dan 3 kW_{th}) moet leveren. Een onverwachts resultaat uit de analyses is dat de maximale piekvraag voor koude gedurende het jaar niet stijgt. Er moet nog verder onderzoek worden gedaan naar een verklaring hiervoor. Voor meer gedetailleerde resultaten per variant zie Bijlage D.

Tabel 3.4 Aantal uren per jaar dat de koelinstallatie (5kW_{th}, max vermogen) een koelvermogen boven de 3 kW_{th} moet leveren in de 3 varianten.

			2019	2030	2050
Variant 1	Aantal uren per jaar met koudevraag boven 3 kW _{th}	#	104	119	130
Variant 2	Aantal uren per jaar met koudevraag boven 3 kW _{th}	#	22	24	45
Variant 3	Aantal uren per jaar met koudevraag boven 3 kW _{th}	#	168	192	208

Voor Variant 2 (bouwjaar 1983, setpoint 24 °C) zijn de belangrijkste resultaten:

- Een koudevraag van 1,0 GJ in 2019, 1,2 GJ in 2030 en 1,6 GJ in 2050
- Dit is een toename in koudevraag van 20% in 2030 en 56% in 2050 is, beide t.o.v. 2019

¹⁷ De capaciteit van de verwarmingsinstallatie (i.e. het verondersteld vermogen van de warmtepomp) is ingesteld op 6kW_{th} voor de woning na 2012. Deze draait een aanzienlijke tijd op vol vermogen. Voor de CV-ketel in de oudere woning van variant 2 is een thermisch vermogen van 15 kW_{th} verondersteld en te zien is dat deze ook een aanzienlijke tijd op vol vermogen draait.

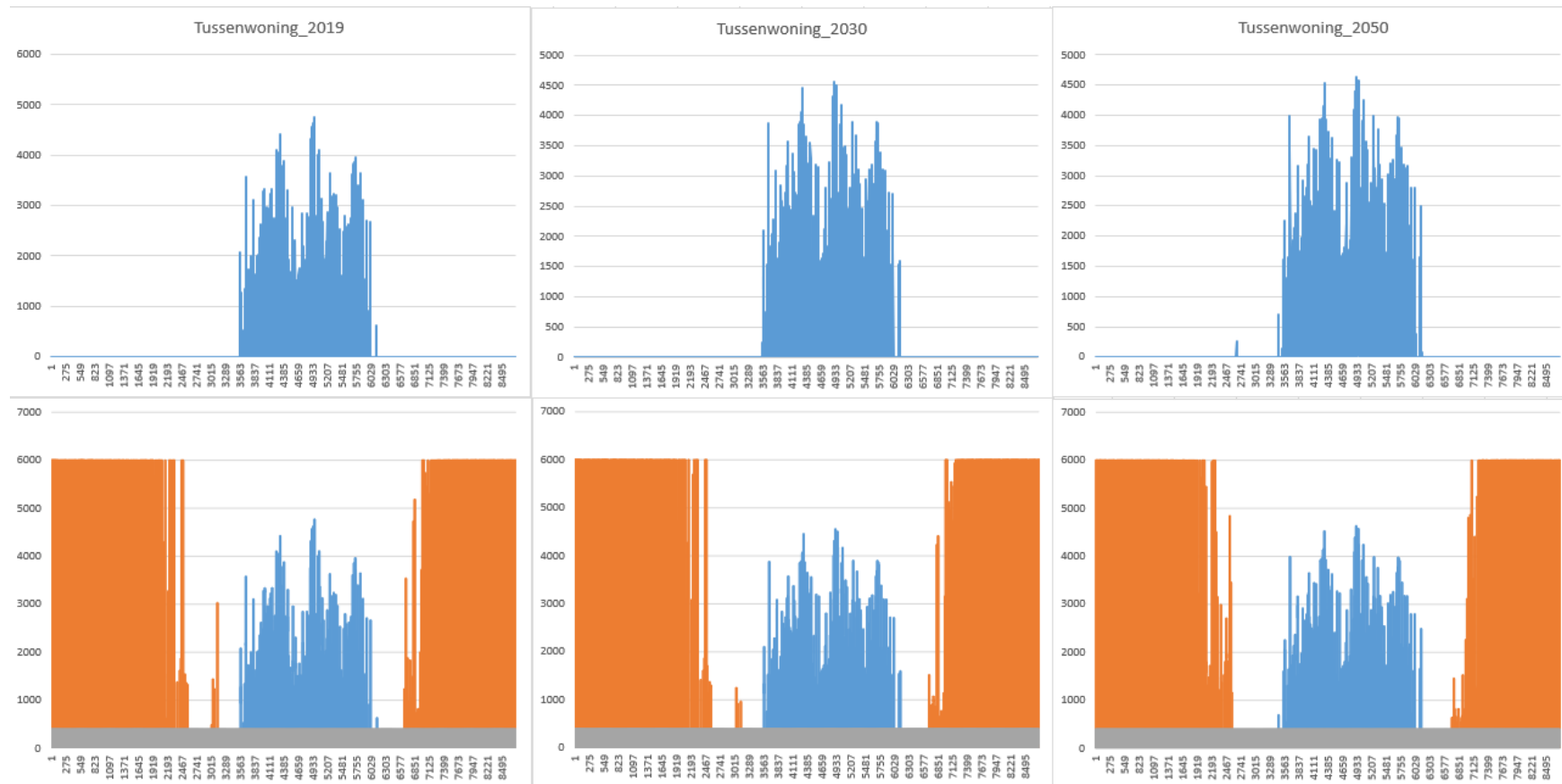
- Er is een warmtevraag van 40,3 GJ in 2019, 39,2 GJ in 2030 en 37,3 GJ in 2050
- Dit is een afname in warmtevraag van 3% in 2030 en 8% in 2050 is, beide t.o.v. 2019.

Het is voor Variant 2 logisch dat de warmtevraag zoveel hoger is aangezien het isolatieniveau veel lager is vergeleken met de woning van bouwperiode na 2012. De koudevraag is ook veel lager in dit geval. Dit heeft te maken met dat de woning wel veel sneller opwarmt, maar ook veel sneller de warmte weer kwijtraakt. In de toekomst stijgt de koudevraag voor deze woning echter wel relatief meer dan voor de recentere woning.

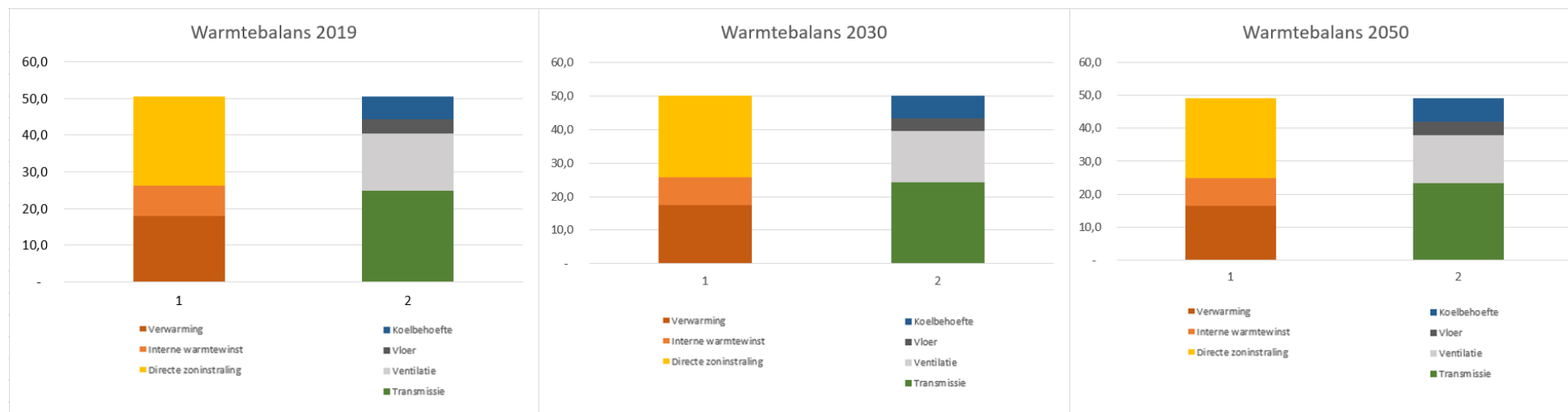
Voor Variant 3 (bouwjaar 2016, setpoint 22 °C) zijn de belangrijkste resultaten:

- Een koudevraag van 8,6 GJ in 2019, 9,0 GJ in 2030 en 9,8 GJ in 2050
- Dit is een toename in koudevraag van 5% in 2030 en 13% in 2050 is, beide t.o.v. 2019
- Er is een warmtevraag van 18,2 GJ in 2019, 17,7 GJ in 2030 en 16,8 GJ in 2050
- Dit is een afname in warmtevraag van 3% in 2030 en 8% in 2050 is, beide t.o.v. 2019.

In Variant 3 zorgt de afname van het setpoint met 2 °C (ten opzichte van Variant 1) voor een hogere koudevraag, maar een minder sterke stijging naar de toekomst. In Bijlage D is te zien dat de koudevraag eerder in het jaar begint en langer aanhoudt.



Figuur 3.5 Resultierend uurprofiel voor Variant 1. In blauw: koudevraagprofiel; oranje: Ruimteverwarmingsvraagprofiel; grijs: warmtapwaterprofiel



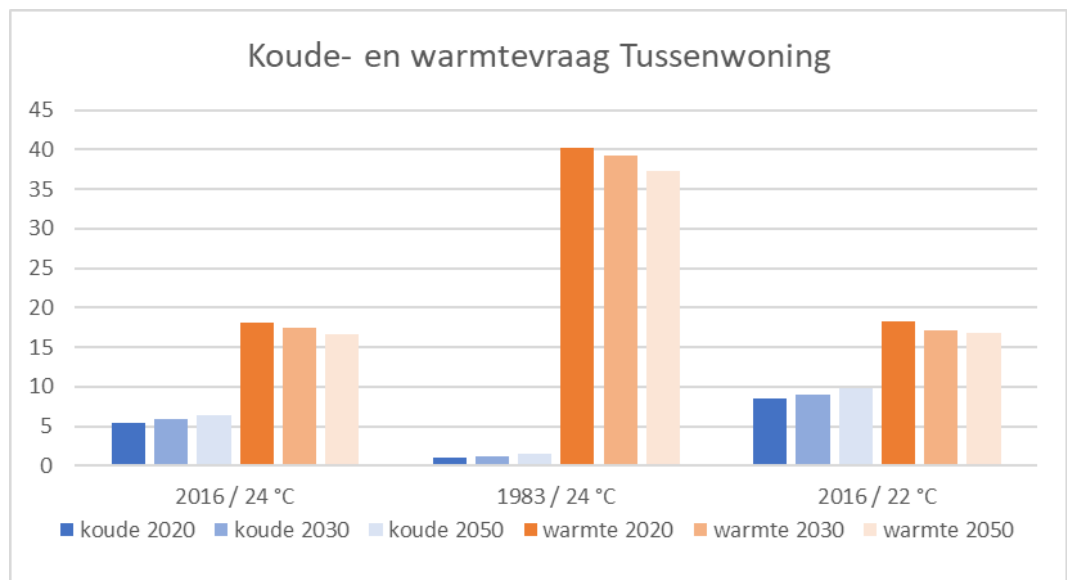
Figuur 3.6 Resulterende warmtebalans voor Variant 1. Eenheid is GJ (thermisch) Links de verschillende soorten warmtewinsten. Rechts de verschillende soorten warmteverliezen. In blauw de resulterende koelbehoefte.

3.6 Conclusie en vervolgonderzoek

Samenvattend zijn de uitkomsten voor de doorgerekende varianten als volgt:

- Voor de doorgerekende tussenwoning met bouwjaar na 2012 en setpoint 24 °C is er een koudevraag berekend van ca 6 GJ in met een verwachte toename van de koudevraag van 7% in 2030 en met 17% in 2050. De koudevraag is in 2019 zo'n 30% van de warmtevraag en dat percentage loopt op richting de 40% in 2050.
- Indien dezelfde tussenwoning op 22 °C gehouden zou moeten (i.p.v. 24 °C) stijgt de koudevraag in 2019 al naar ca 9 GJ, bijna 50% van de warmtevraag.
- Indien een oudere tussenwoning met bouwjaar 1975-1991 (bouwjaar 1983) wordt ingevoerd komt hier slechts een koudevraag uit van 1,0 GJ in 2020. De koudevraag voor deze woning stijgt echter wel relatief sneller richting 2030 (+20%) en richting 2050 (+56%) ten opzichte van 2019, maar de koudebehoefte van deze woning blijft relatief laag ten opzichte van de warmtebehoefte (2,5%-4%).

De resultaten per variant zijn ook weergegeven in Figuur 3.7.



Figuur 3.7 Koude- en warmtevraag tussenwoning per variant.

Uit deze eerste resultaten valt op te maken dat de koudevraag in nieuwbouwwoningen relatief hoog is t.o.v. de warmtevraag. In de toekomst neemt de koudevraag relatief gezien steeds meer toe t.o.v. de warmtevraag. Indien deze koudevraag (volledig) ingevuld wordt met installaties kan dit een substantiële impact hebben op de energievraag. Door bestaande woningen te renoveren naar nieuwbouwniveau zal ook hier de koudevraag substantieel toenemen. In de bestaande bouw is de koudevraag relatief beperkt ten opzichte van de warmtevraag.

De analyse laat zien dat de WPG naast warmteprofielen ook koudeprofielen op uurbasis kan genereren voor woningen. De modelberekening laat zien hoe een installatie de woning koelt. De methode erachter is transparant. Het resultaat ziet er realistisch uit gelet op de resulterende koudebehoefte, de verdeling hiervan over het jaar en de verhouding tussen de warmte- en koudevraag per jaar. Validatie is

nog wel nodig evenals verdere verbetering van de inputwaarden (zie ook paragraaf 'Verbetering').

We kunnen de berekende koudevraag vergelijken met waarden in de literatuur. Er is door TNO gekeken naar het energiegebruik van airco's in Nederland, zie Tabel 2.1). Het elektriciteitsgebruik varieert tussen de 64 en 608 kWh per jaar. Met een aangenomen COP van 3 komt dit overeen met een koudevraag tussen de 0,7 GJ en 6,6 GJ. De berekende koudevraag voor Varianten 1 en 2 vallen precies binnen deze range, nu maar ook in de toekomstjaren. Het interessante is dat de koudevraag in Variant 3 al buiten deze range valt hetgeen mogelijk verklaard kan worden door het lagere setpoint (wat niet representatief hoeft te zijn als gemiddelde).

3.6.1 Vervolgonderzoek

Vervolgonderzoek kan worden opgesplitst in verbetering van de methode en uitbreiding van de berekening.

Verbetering

De berekende koudevraag zal nog verder gevalideerd moeten worden. Het vergelijken met gemeten energiegebruiksdata is momenteel echter nog lastig om te maken. Enerzijds omdat het elektriciteitsverbruik voor koelinstallaties in woningen niet goed bekend is (2.3) en anderzijds omdat in werkelijkheid niet de gehele koelvraag wordt ingevuld met een installatie en op dit punt eerst nog meer inzicht nodig is (inzicht die o.a. via de koude-enquête moet worden opgedaan). Door vergelijking met het werkelijk energieverbruik voor koeling (werkelijk gedrag) zal duidelijk worden hoe goed het model de koudevraag van woningen benadert. Vooralsnog is aangenomen dat de bewolkingsgraad en zoninstraling in de toekomst niet verandert, maar of dat werkelijk zo is moet nader onderzocht worden. Uurprofielen voor temperatuur in de toekomst zijn vooralsnog door ons zelf afgeleid. Het is daarom ook een suggestie dat KNMI (op aanvraag) scenario uurreeksen voor het weer beschikbaar stelt aan partijen die dit soort analyses willen doen.

Uitbreiding

Aan het model kan data worden toegevoegd waarmee meer en nieuwe resultaten berekend kunnen worden:

- Andere KNMI klimaatscenario's toevoegen naast GH (en updaten wanneer het KNMI in 2023 met nieuwe scenario's komt)
- Meerdere woningtypen bekijken
- Koudevraag van de gehele woningvoorraad berekenen
- Het effect van energetische renovatie van de woningvoorraad op de koudevraag
- De aan de koudevraag gerelateerde energievraag en CO₂-uitstoot berekenen (met aannames voor het energiegebruik van installaties en koelgedrag van bewoners)
- Het effect van de energievraag op de (piek)belasting van het elektriciteitsnet.

4 Koelgedrag in woningen

Vera Rovers, Arianne van der Wal

4.1 Inleiding

Om een inschatting te kunnen maken van het energiegebruik voor koeling in woningen is meer inzicht nodig in het gebruik van koelinstallaties door bewoners. TNO heeft daarom eind september 2021 een vragenlijst laten uitzetten door marktonderzoeksbureau CG Research. In totaal hebben 1187 personen de vragenlijst ingevuld. Daarbinnen maken we onderscheid in twee groepen respondenten:

1. De groep respondenten die naar aanleiding van de uitnodiging de vragenlijst volledig heeft ingevuld (n = 1031).
2. De groep respondenten die de vragenlijst alleen verder in mocht vullen als ze aan hadden gegeven een koelsysteem te hebben, de zogenaamde 'boostergroep' (n = 156).

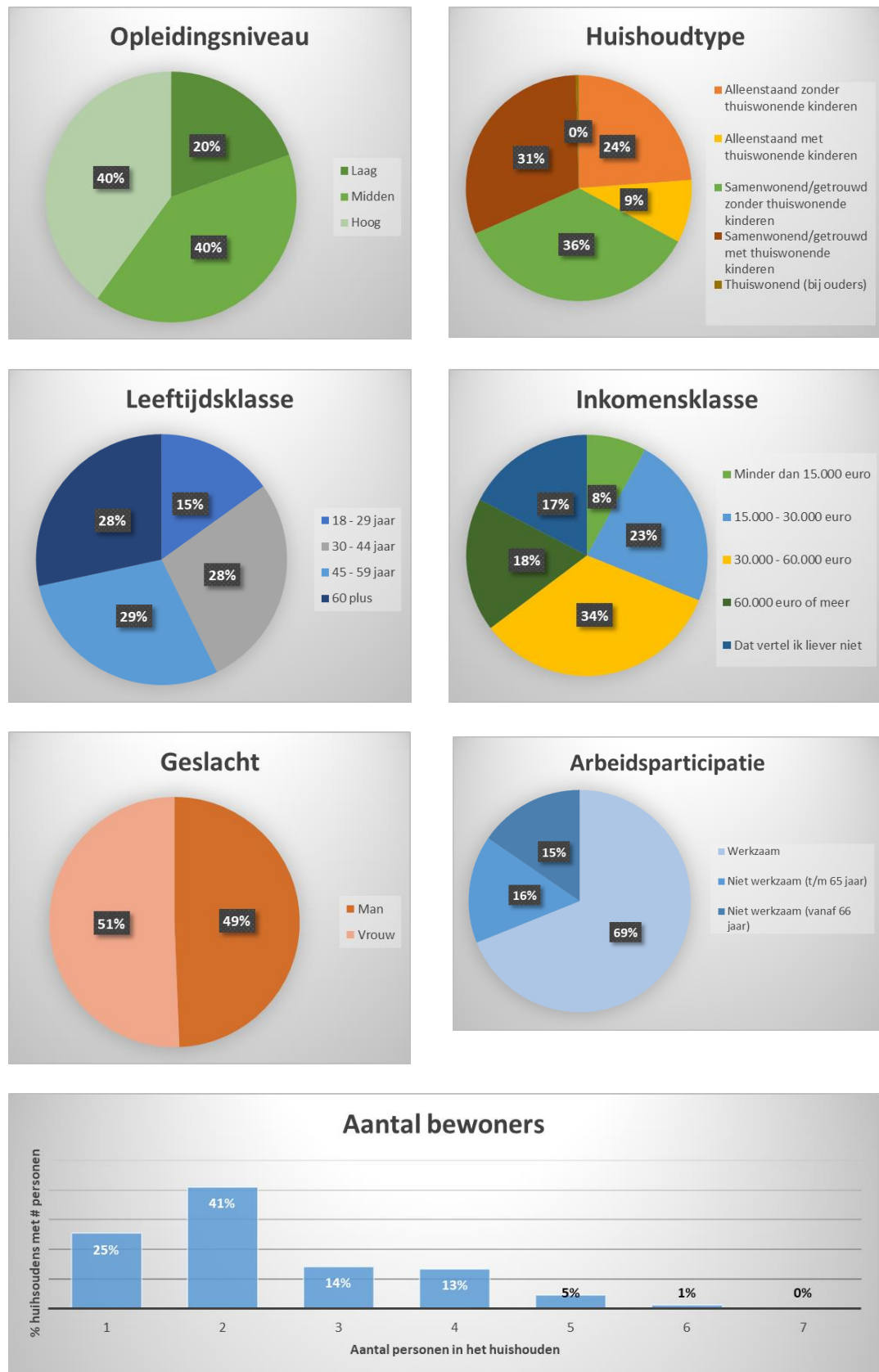
De respondenten zijn op geslacht, leeftijd, opleiding en regio representatief voor inwoners van Nederland van 18 jaar en ouder. De onderstaande paragrafen tonen de persoons- en woningkenmerken van de respondenten. Dit hoofdstuk behandelt verder de antwoorden over de koelbehoefte (4.2), de aanwezigheid en mogelijke aanschaf van een koelsysteem (4.3) en het koelgedrag (4.4). Het hoofdstuk sluit af met de conclusies en aanbevelingen voor vervolgonderzoek (4.5).

4.1.1 *Persoonskenmerken*

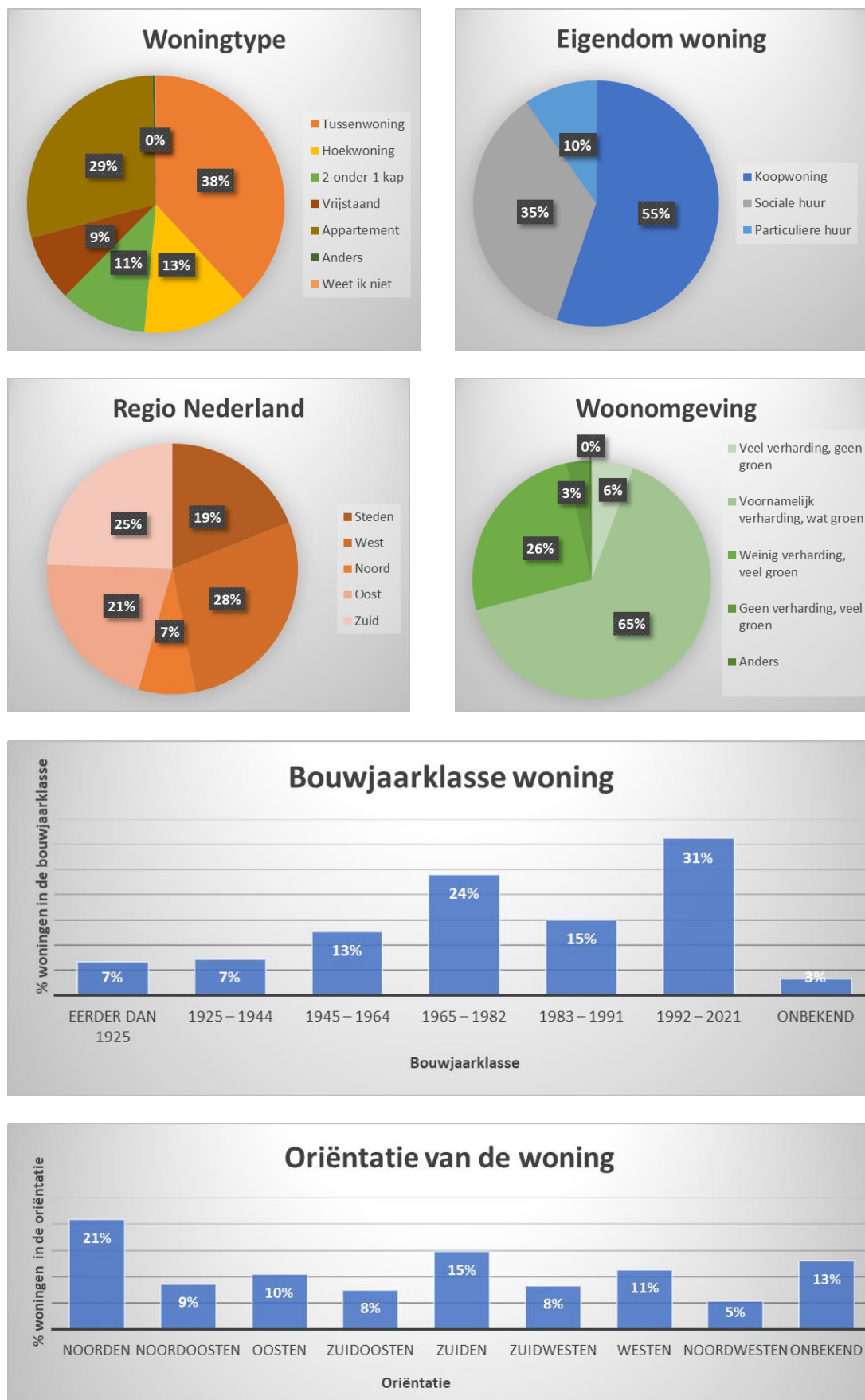
De grafieken onder Figuur 4.1 laten diverse persoonskenmerken zien van de respondenten. Twee derde woont samen, met of zonder kinderen, en een derde is alleenstaand, voornamelijk zonder kinderen. De meeste huishoudens bestaan uit 2 personen. De leeftijdsklasse 18-29 jaar vertegenwoordigt een kleinere groep ten opzichte van de andere leeftijdsklassen. De grootste groep respondenten, ruim een derde, valt in de inkomensklasse met een bruto huishoudinkomen van 30-60.000 Euro. Qua opleidingsniveau valt 20% in de klasse 'laag' en 40% in de klassen 'midden' en 'hoog'. Tot slot is ruim twee derde actief werkzaam. Van de overige respondenten is de helft 66 jaar of ouder en waarschijnlijk met pensioen.

4.1.2 *Woningkenmerken*

De grafieken onder Figuur 4.2 laten de woningkenmerken van de populatie zien. De tussenwoning is het meest voorkomende woningtype, gevolgd door een appartement. Ruim de helft van de respondenten is eigenaar van de woning. Een kleine groep, 10%, woont in een sociale huurwoning. 19% woont in de drie grootste steden (Amsterdam, Rotterdam en Den Haag en randgemeenten), de rest is redelijk verdeeld over West-, Oost- en Zuid-Nederland, met uitzondering van Noord-Nederland, waar respondenten minder vertegenwoordigd zijn. 71% geeft aan in een omgeving te wonen met weinig of geen groen. De grootste groep, bijna een derde, heeft een relatief nieuwe woning van 1992 of jonger en 14% heeft een vooroorlogse woning. Verder zijn de meeste woningen op het noorden georiënteerd (21%).



Figuur 4.1 Persoonskenmerken van de respondenten

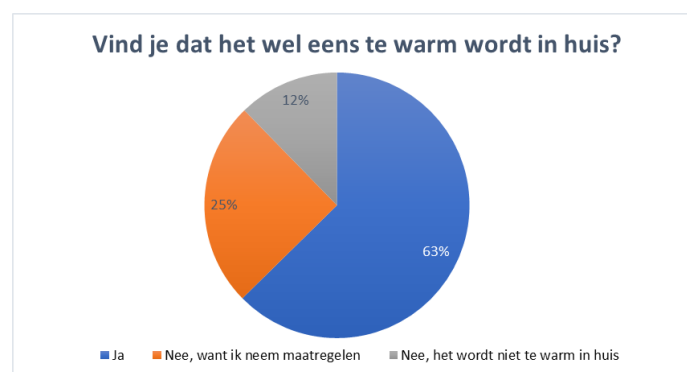


Figuur 4.2 Woningkenmerken van de respondenten

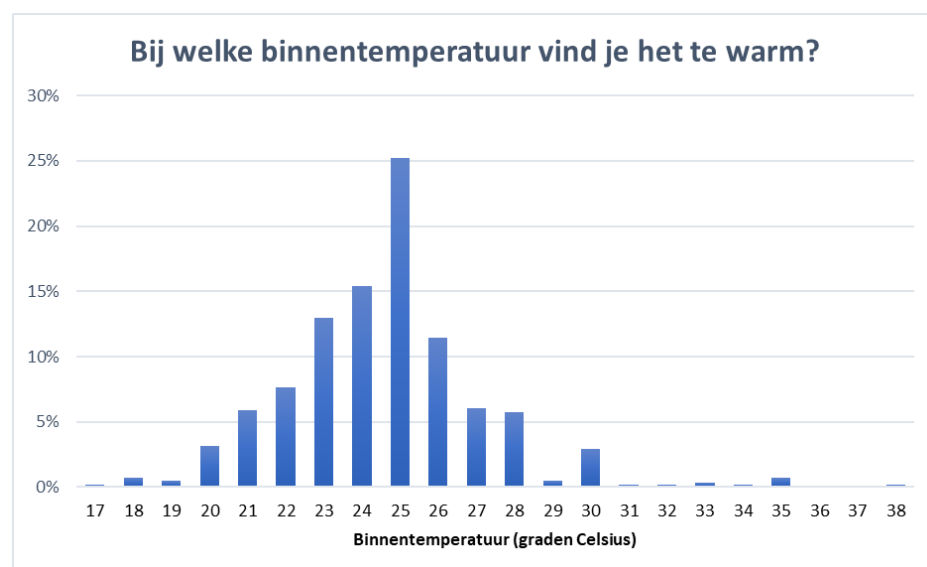
4.2 Koelbehoefte

4.2.1 Wordt het te warm in huis? (N = 1187; A5, A8)

Aan de respondenten van de enquête is gevraagd of zij vinden dat het wel eens te warm wordt in huis (Figuur 4.3). 25% zegt een te warm huis te kunnen voorkomen door maatregelen te nemen (zie 4.2.2) en 12% geeft aan dat het huis koel genoeg blijft. 63% geeft aan dat het inderdaad te warm wordt. Deze laatste groep (n = 743) kon ook aangeven bij welke binnentemperatuur ze het te warm vinden (Figuur 4.4). Een temperatuur vanaf 25 °C wordt door deze meeste respondenten (25%) als oncomfortabel ervaren. 46% vindt temperaturen onder de 25 °C ook al te warm en voor 28% kan het nog wel wat warmer zijn dan 25 °C voordat ze er last van krijgen. 165 respondenten wisten niet bij welke temperatuur ze het te warm vinden en zijn niet meegenomen in de bovengenoemde percentages.



Figuur 4.3 Antwoorden op de vraag "Vind je het wel eens te warm in huis?".



Figuur 4.4 Antwoorden op de vraag 'Bij welke binnentemperatuur vind je het te warm?'

4.2.1.1 Hoe lang, waar en wanneer wordt het te warm (N = 743; A6, A7, A8)

De respondenten waar de woning te warm wordt is gevraagd hoeveel dagen ze in de zomermaanden van 2021 last hebben gehad van een te warme woning (Figuur 4.5). 11% geeft aan geen last te hebben gehad in 2021 en een even groot percentage heeft juist meer dan 30 dagen een te warme woning gehad in 4 maanden tijd. Voor 26% is de overlast in 2021 beperkt gebleven tot 1-5 dagen.



Figuur 4.5 Antwoorden op de vraag “Hoeveel dagen heb je in 2021 last gehad van een te warme woning?”

Tot slot heeft deze groep aangegeven waar en wanneer de opwarming plaatsvindt. De woonkamer wordt iets vaker (79%) genoemd dan de slaapkamer (74%) (Figuur 4.6). Ongeveer evenveel respondenten geven aan dat het vooral overdag te warm is als zowel overdag als 's nachts (Figuur 4.7). Bij 17% is het vooral 's nachts te warm.



Figuur 4.6 Antwoorden op de vraag “In welke kamers wordt het te warm?”



Figuur 4.7 Antwoorden op de vraag “Op welk moment van de dag wordt het te warm?”

4.2.2 Verkoelende maatregelen (n = 1039; A9)

Er zijn een aantal goed werkend maatregelen die voorkomen dat de woning opwarmt en daarmee oververhitting binnenshuis voor een groot gedeelte kunnen voorkomen. Aan de respondenten hebben we ook gevraagd of zij maatregelen nemen om opwarming van de woning te voorkomen (Figuur 4.8). De antwoorden die zijn gegeven onder het antwoord ‘Anders, namelijk..’ zijn geanalyseerd en opnieuw ingedeeld indien mogelijk¹⁸. Het betreft hier antwoorden van de populatie zonder de boostergroep.

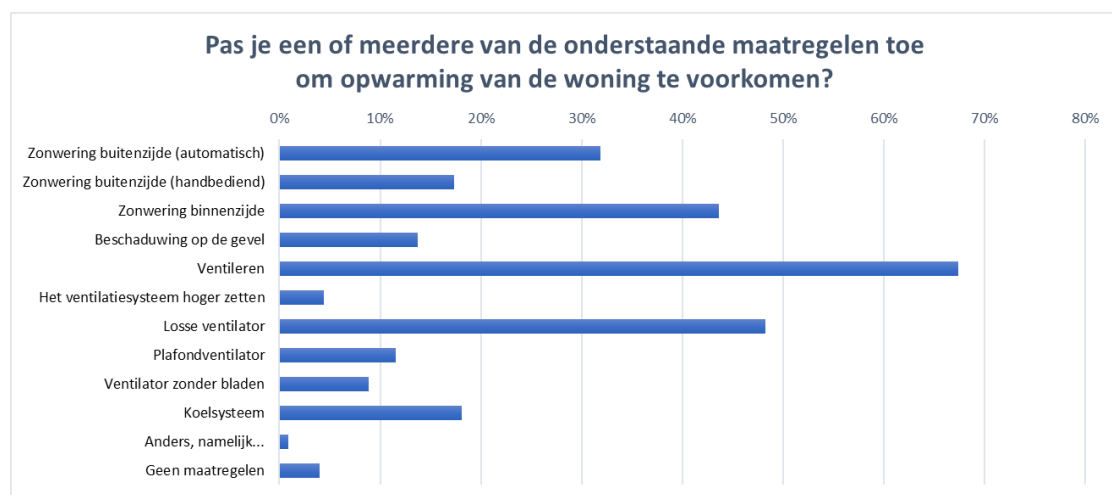
Belangrijk is om te voorkomen dat de zon binnen schijnt waardoor de woning van binnenuit opwarmt, waarbij beter geïsoleerde woningen de warmte beter vasthouden dan slecht geïsoleerde woningen. Veel respondenten geven aan een of meerdere vormen van zonwering toe te passen:

¹⁸ Het percentage dat een koelsysteem gebruikt (18%) wijkt om die reden licht af van het percentage onder () (17,2%).

- Handbediende zonwering aan de buitenzijde, zoals rolluiken, luiken, luifel/markiezen, screens: 32%
- Automatische zonwering aan de buitenzijde: 17%
- Zonwering aan de binnenzijde, zoals (rol)gordijnen, jaloezieën, luxaflex, houten shutters, zonwerende folie: 44%
- Beschaduwing van de gevel, zoals een boom: 13%.

Een andere goede maatregel is de woning ventileren als het buiten kouder is dan binnen, bijvoorbeeld door de ramen en deuren open te zetten. Tweederde van de respondenten geeft aan dit ook te doen. Een klein aantal (4%) zet het ventilatiesysteem hoger waardoor warme lucht uit de woning wordt afgevoerd.

Veel huishoudens maken ook gebruik van een ventilator voor verkoeling. Een ventilator is geen koelsysteem. Het biedt wel verkoeling vanwege de luchtstroming, maar koelt de lucht feitelijk niet. De losse ventilator is het populairst, 48% geeft aan deze te gebruiken. Verder heeft 12% een plafondventilator en 9% een ventilator zonder bladen (bijvoorbeeld een torenventilator of 'Dyson' ventilator). 4% zegt geen maatregelen toe te passen en 18,1% gebruikt een koelsysteem om de woning te koelen.



Figuur 4.8 Antwoorden op de vraag “Pas je een of meerdere maatregelen toe om opwarming van de woning te voorkomen?”

4.3 Aanwezigheid en aanschaf van een koelsysteem

4.3.1 Aanwezigheid koelsysteem (N = 1031) (A10)

Aan de respondenten werd gevraagd of zij gebruik maakten van een koelsysteem en indien dit het geval was aan te geven welk type koelsysteem dit betrof. Daarbij werd er een onderscheid gemaakt tussen de volgende drie koelsystemen:

1. Een mobiele airco (deze kan verplaatst worden in de ruimte of tussen ruimtes)
2. Een vaste airco (met een binnen- en buitenunit, de zogenaamde split-unit airco) of een warmtepomp die in contact staat met de buitenlucht
3. Een warmtepomp die zowel koude als warmte uit de bodem gebruikt (zoals warmte-koudeopslag (WKO) of een bodemwarmtewisselaar).

Van de 1031 respondenten (exclusief de boostergroep) gaven er 185 (18,1%) aan dat zij gebruik maakten van een koelsysteem. Een mobiele airco wordt door 91 (8,8%) respondenten gebruikt, een vaste airco door 72 (7,0%) respondenten en een bodemwarmtepomp door 11 (1,1%) respondenten. Elf (1,1%) respondenten gaven aan een ander type koelsysteem te gebruiken. Het onderzoek van (MeMo2, 2020) kwam op iets hogere cijfers uit van het aantal airconditioners en met een andere verhouding tussen vast (6%) en mobiel (13%).

4.3.1.1 *Factoren die invloed hebben op de aanwezigheid van het koelsysteem (N = 1031)*¹⁹

Met behulp van de Generalized Linear Models is vastgesteld dat inkomen, woonlocatie en woningtype een sterke invloed hebben op het aanwezig zijn van een koelsysteem. In Tabel 4.1 staat per factor (onderverdeeld in subcategorieën) het percentage respondenten dat een koelsysteem heeft en vervolgens de onderverdeling in de verschillende type koelsystemen.

Bij respondenten met een hoger inkomen is vaker een koelsysteem aanwezig. Met name het bezit van een vaste airco stijgt naarmate het inkomen toeneemt en het bezit van een bodemwarmtepomp is duidelijk hoger bij respondenten met een inkomen boven de €60.000. we hebben het niet onderzocht, maar deze stijging is te verklaren doordat mensen wel de financiële ruimte moeten hebben voor de aanschaf van een koelsystemen, zeker wanneer het een bodemwarmtepomp betreft.

In de provincies Friesland, Groningen en Drenthe en de provincies Limburg, Noord-Brabant en Zeeland is vrijwel een op de vier respondenten in het bezit van een koelsysteem. Daarnaast is het opvallend dat in Limburg, Noord-Brabant en Zeeland het aandeel vaste airco's (12,9%) hoger ligt dan de mobiele airco's (10,0%), terwijl dit in de overige locaties steevast andersom ligt. In Amsterdam, Den Haag en Rotterdam ligt het bezit van koelsystemen het laagst, met 7,0% van de respondenten die een mobiele airco heeft en 1,8% die een vaste airco heeft.

Respondenten met een twee-onder-één kap woning en respondenten met een vrijstaande woning zijn meer in het bezit van een koelsysteem (respectievelijk 32,8% en 27,4%) dan de respondenten die wonen in een rijtjeshuis (14,8%) of appartement (14,5%). Ook is het aandeel vaste airco's daar hoger dan in de andere woningtypes. Respondenten met een appartement die een koelsysteem hebben, heeft drie van de vier een mobiele airco. De warmtepomp is meest voorkomend onder respondenten met een vrijstaande woning.

¹⁹ Voor deze analyse is een Generalized Linear Models gedraaid waarin de afhankelijke variabele als ordinal response is opgenomen en alle onafhankelijke variabelen (gezinssamenstelling, werkstatus, inkomen, woonlocatie, leeftijd, opleidingsniveau, arbeidsparticipatie, aantal inwonenden, woonsituatie, woningtype, locatie voorgevel, bouwjaar, buurtomschrijving) als factors zijn opgenomen in het model. Enkel de factoren die significant zijn met een *p*-waarde van onder de .05 zijn in dit rapport gerapporteerd.

Tabel 4.1 Factoren die invloed hebben op het bezit van (type) koelsysteem

		Koel-systeem	Mobiele airco	Vaste airco	Bodem warmte pomp	Anders
Inkomen	< €15.000	5,7%	4,4%	0,9%	0,5%	0,0%
	€15.000 - €30.000	15,3%	10,3%	4,1%	0,5%	0,5%
	€30.000 - €60.000	16,2%	9,1%	6,5%	0,6%	0,0%
	> €60.000	30,4%	12,6%	13,9%	3,0%	0,9%
Locatie	Amsterdam Den Haag Rotterdam	9,5%	7,0%	1,8%	0,5%	0,1%
	Noord-Holland Zuid-Holland Utrecht	14,4%	6,7%	5,8%	1,2%	0,6%
	Friesland Groningen Drenthe	24,1%	17,2%	6,9%	0,0%	0,0%
	Overijssel Gelderland Flevoland	16,3%	7,5%	7,5%	1,3%	0,0%
	Limburg Noord-Brabant Zeeland	23,9%	10,0%	12,9%	1,0%	0,0%
Woningtype	Rijthuis (tussenwoning)	12,4%	6,2%	5,5%	0,5%	0,2%
	Rijthuis (hoekwoning)	17,3%	7,2%	8,7%	1,4%	0,0%
	Twee-onder- één kap	32,8%	12,9%	17,4%	1,9%	0,7%
	Vrijstaande woning	27,4%	8,9%	13,7%	3,2%	1,6%
	Appartement	14,5%	11,3%	2,4%	0,9%	0,0%

4.3.1.2 Reden voor aanschaf koelsysteem (N = 333; B1)

De meeste respondenten met een koelsysteem geven als reden voor de aanschaf op dat zij daarmee goed willen kunnen slapen (Figuur 4.9). Redenen die vaker terugkomen onder de uitleg bij 'Anders' zijn dat mensen koeling willen om thuis te kunnen studeren en werken, om medische redenen en voor de huisdieren. Een opvallend antwoord van één van de respondenten was dat zij het koelsysteem cadeau hebben gekregen bij de aanschaf van een nieuwe cv-ketel.



Figuur 4.9 Antwoorden op de vraag “Wat was de reden om een koelsysteem aan te schaffen?”

4.3.2 Indien geen koelsysteem, aanschaf in overweging? (N = 852; D1)

26% van de respondenten die nu nog geen koelsysteem hebben, geeft aan dat ze de aanschaf van een koelsysteem in de komende jaren overwegen (Figuur 4.10). 45% zegt vooralsnog geen koelsysteem te overwegen en 28% weet het nog niet.



Figuur 4.10 Antwoorden op de vraag “Overweeg je de komende jaren een koelsysteem aan te schaffen?”

4.3.2.1 Aanschaf koelsysteem niet in overweging (N= 387) (D2A, D4A, D4B)

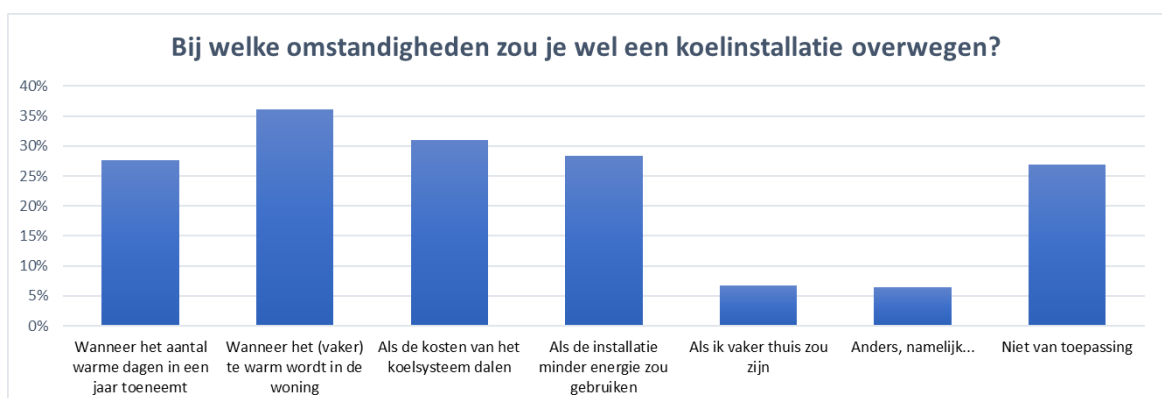
De meeste mensen die de komende jaren niet overwegen om een koelsysteem aan te schaffen geven daarvoor als reden de aanschaf- (45%) en/of energiekosten (42%) (Figuur 4.11). Bij 23% van de respondenten is de woning koel genoeg en/of kan opwarming voorkomen worden door het nemen van maatregelen (29%). 16% van de mensen geeft aan dat de woning wel te warm wordt, maar dat ze er geen last van hebben.

Een derde van de respondenten die een toelichting hebben gegeven onder ‘Anders’ laten weten geen koelsysteem te willen aanschaffen omdat dit slecht is voor het milieu. Verder geven meerdere respondenten (18%) aan dat het maar een beperkte periode in het jaar te warm is en dat ze het niet nodig vinden om daar koeling voor aan te schaffen, ook omdat het dan onaangenaam is als je weer naar buiten gaat en je niet aan de temperaturen went. Andere redenen die worden genoemd is dat mensen in een huurhuis wonen, dat er geen ruimte is voor een airco of vanwege de geluidsoverlast.



Figuur 4.11 Antwoorden op de vraag “Welke factoren spelen een rol in de keuze om geen koelsysteem aan te schaffen?”

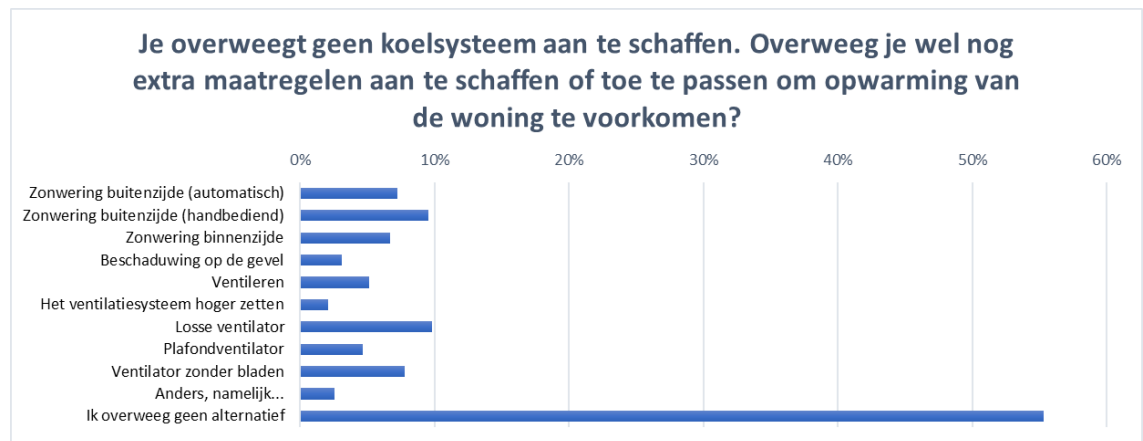
Als we vragen wanneer mensen wél een koelinstallatie zouden overwegen dan is de belangrijkste reden wanneer het vaker te warm wordt in de woning (36%) (Figuur 4.12). Andere redenen zijn wanneer de kosten van het koelsysteem dalen (31%), wanneer het aantal warme dagen in het jaar toeneemt (28%) en wanneer de installatie minder energie zou gebruiken (28%). 27% van de respondenten geeft aan ze nog steeds geen koelsysteem zouden aanschaffen. De belangrijkste reden die onder ‘Anders’ wordt vermeld is als de verhuurder het zou plaatsen of als het zou mogen van de woningcorporatie of de VvE (44%).



Figuur 4.12 Antwoorden op de vraag “Bij welke omstandigheden zou je wel een koelsysteem aanschaffen?”

Aan deze groep is ook gevraagd of zij wel overwegen maatregelen aan te schaffen of toe te passen om opwarming van de woning te voorkomen (Figuur 4.13). Daarbij kregen ze alleen de antwoorden te zien die ze in de eerdere vraag hierover niet hadden aangekruist (zie 4.2.2).

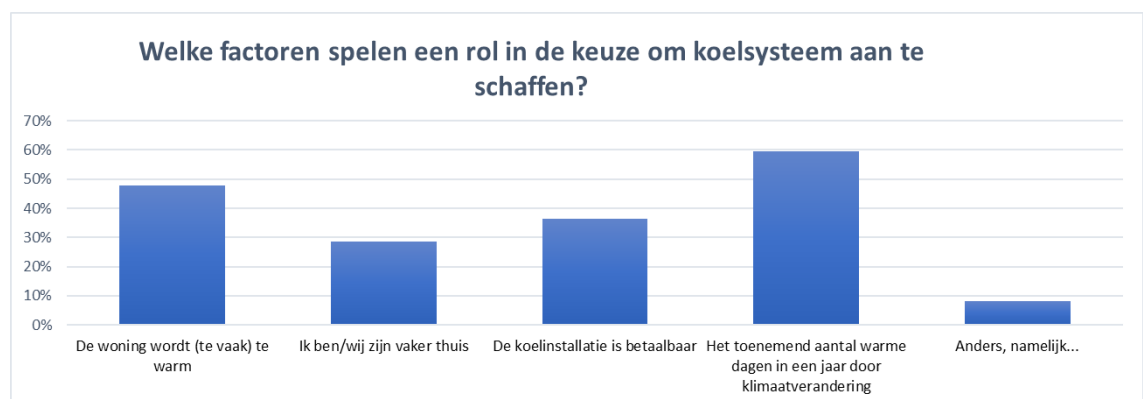
Meer dan de helft van de respondenten laat weten geen extra maatregelen te nemen. De overige respondenten denken met name aan zonwering aan de buitenzijde, automatisch (10%) of handbediend (7%), of aan een gewone losse ventilator (10%) of een toren- of Dyson ventilator (8%).



Figuur 4.13 Antwoorden op de vraag "Overweeg je wel nog extra maatregelen aan te schaffen of toe te passen om opwarming van de woning te voorkomen?"

4.3.2.2 Aanschaf koelsysteem wél in overweging (N = 220; D2B)

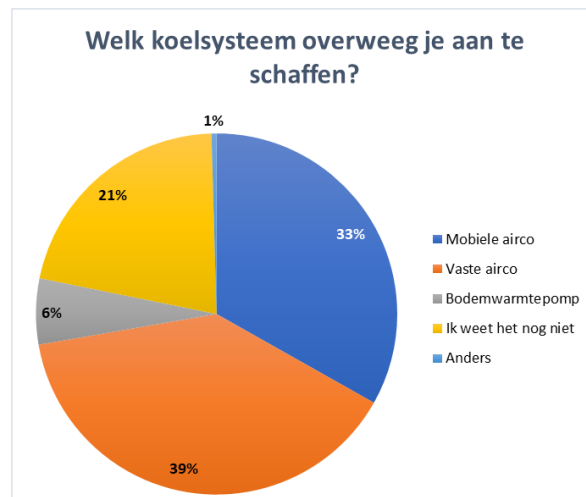
De respondenten die wél overwegen de komende jaren een koelsysteem aan te schaffen doen dat met name om het aantal warme dagen toeneemt (60%) (Figuur 4.14). Daarnaast wordt de woning te vaak te warm (48%), vinden mensen de koelinstallatie betaalbaar (36%) of/ en geven respondenten als reden op dat ze vaker thuis zijn (29%). Een andere belangrijke reden die worden gegeven is een goede nachtrust in combinatie met het inrichten van een slaapkamer op de zolder. Eén respondent geeft aan een koelsysteem te hebben gewonnen bij een prijsvraag.



Figuur 4.14 Antwoorden op de vraag "Welke factoren spelen een rol in de keuze om een koelsysteem aan te schaffen?"

4.3.2.2.1 Type koelsysteem in overweging (N = 220; D3A)

Van de respondenten die de komende jaren overwegen een koelsysteem aan te schaffen denkt 39% aan een vaste airco en 33% aan een mobiele airco (Figuur 4.15). 21% heeft nog idee welk type systeem ze zouden willen. Eén respondent wil graag een Dyson fan aanschaffen.



Figuur 4.15 Antwoorden op de vraag "Welk koelsysteem overweeg je aan te schaffen?".

4.3.2.2 Gebruik van het toekomstige koelsysteem (N = 220; D3B, D3C)

Aan de 220 respondenten die een koelsysteem willen aanschaffen werd gevraagd welke ruimtes zij daarmee willen gaan koelen. 60% respondenten wil de woonkamer gaan koelen, 82% de slaapkamer en 6% een andere kamer, met name de werk-/studeer-/hobbyruimte en soms het gehele huis.

Ook werd de respondenten gevraagd op welk moment van de dag ze de welke ruimte willen koelen. In Tabel 4.2 staat per ruimte aangegeven welk percentage respondenten, die aangaven die ruimtes te willen koelen, dit overdag, 's avonds en/of 's nachts doet.

Tabel 4.2 Percentage respondenten dat voornemens is overdag, 's avonds en/of 's nachts te koelen, per ruimte weergegeven

	N	%	Overdag (8.00-18.00)	's Avonds (18.00-0.00)	's Nachts (0.00-8.00)
Woonkamer	132	60%	81,8%	55,3%	13,6%
Slaapkamer	181	82%	24%	69,6%	49,2%
Andere kamers	14	6%	78,6%	64,3%	14,3%

4.4 Koelgedrag

4.4.1 Bediening koelsysteem (N = 333)²⁰ (B2; per koelsysteem)

Aan de respondenten werd gevraagd hoe zij het koelsysteem konden bedienen. Daarbij werd er een onderscheid gemaakt tussen vijf bedieningsvarianten:

1. Ik moet de installatie handmatig aan- of uitzetten en kan de temperatuur instellen met een thermostaat
2. Ik moet de installatie handmatig aan- of uitzetten en kan kiezen uit een aantal standen (hoger of lager)
3. Ik kan de installatie alleen handmatig aan- of uitzetten, ik kan de temperatuur of stand niet instellen
4. De installatie gaat automatisch aan en uit en ik kan de temperatuur instellen
5. De installatie gaat automatisch aan en uit, ik kan de temperatuur niet instellen.

²⁰ Om het aantal respondenten met een bodemwarmtepomp te vergroten, zijn er nog extra respondenten geworven waarbij een koelsysteem aanwezig was (N = 156).

Van de 333 respondenten die aangaven een koelsysteem te gebruiken, kunnen 282 (84,7%) deze handmatig bedienen. Hiervan kunnen vervolgens 171 (51,4%) respondenten het koelsysteem handmatig aan- of uitzetten en temperatuur instellen, 106 (31,8%) het koelsysteem handmatig aan- of uitzetten en kiezen tussen verschillende temperatuurstanden en 5 (1,5%) het koelsysteem aan- en uitzetten, maar niet de temperatuur instellen.

Bij 42 (12,6%) respondenten gaat het koelsysteem automatisch aan en uit, maar kunnen 40 van hen wel de temperatuur instellen. Nog eens 9 (2,7%) respondenten geven aan dat het bij hun anders zit, maar de uitleg die zij geven is veelal (7 respondenten) dat zij het koelsysteem middels een afstandsbediening kunnen aansturen.

Als er separaat wordt gekeken naar de drie verschillende type koelsystemen, valt op dat bij alle drie de koelsystemen de respondenten zelf invloed hadden op de temperatuurinstelling (bedieningsvarianten 1, 2 en 4), maar dat de mobiele en vaste airco veelal handmatig te bedienen waren (bedieningsvarianten 1, 2 en 3) en de bodemwarmtepomp voor het grotere deel automatisch aan en uit gaat (bedieningsvariant 4). Zie Tabel 4.3 voor een overzicht.

Tabel 4.3 Type bedieningsvarianten per koelsysteem

	1	2	3	4	5	Anders
Mobiele airco	55,1%	31,3%	2,8%	8,0%	1,1%	1,7%
Vaste airco	50,8%	34,1%		10,6%		4,5%
Bodemwarmtepomp	20,0%	25,0%		55,0%		

4.4.2 Wanneer wordt het koelsysteem aangezet (N = 282) (B3; per koelsysteem)

Er zijn verschillende redenen om het koelsysteem aan te willen zetten. Daarvan werden er een viertal voorgelegd aan de 282 respondenten die zelf het koelsysteem handmatig kunnen bedienen:

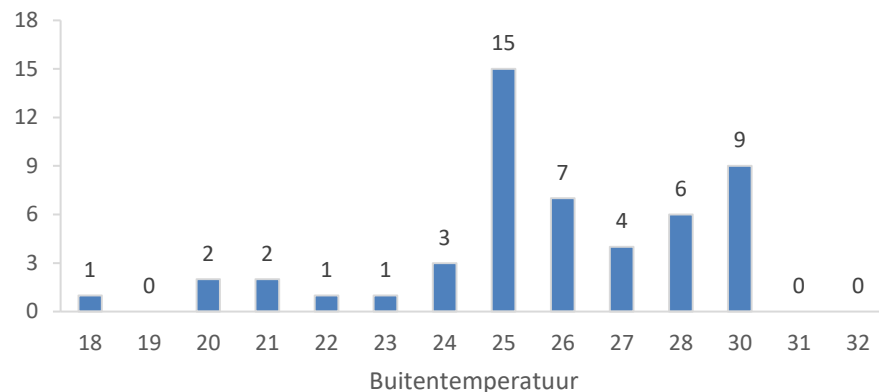
1. Wanneer de buitentemperatuur boven een bepaalde temperatuur komt
2. Wanneer de binnentemperatuur boven een bepaalde temperatuur komt
3. Als er iemand aanwezig is in de ruimte die gekoeld wordt
4. Het koelsysteem staat altijd aan.

De respondenten konden bij iedere reden aangeven of deze op hun van toepassing was.

De buitentemperatuur was voor 51 (18,1%) respondenten een reden om het koelsysteem aan te zetten en daarbij lijkt een buitentemperatuur van 25 °C voor de meerderheid een grenswaarde (Figuur 4.16).

Bij 75 (26,6%) van de respondenten was de aanwezigheid van een persoon in de ruimte een reden om het koelsysteem aan te zetten en bij 7 (2,5%) respondenten staat het koelsysteem altijd aan. Andere redenen die werden opgegeven waren er ook, namelijk: (1) wanneer het nodig voelt (6 respondenten), (2) om goed te kunnen slapen (7 respondenten) en (3) huisdieren die het te warm hebben (2 respondenten).

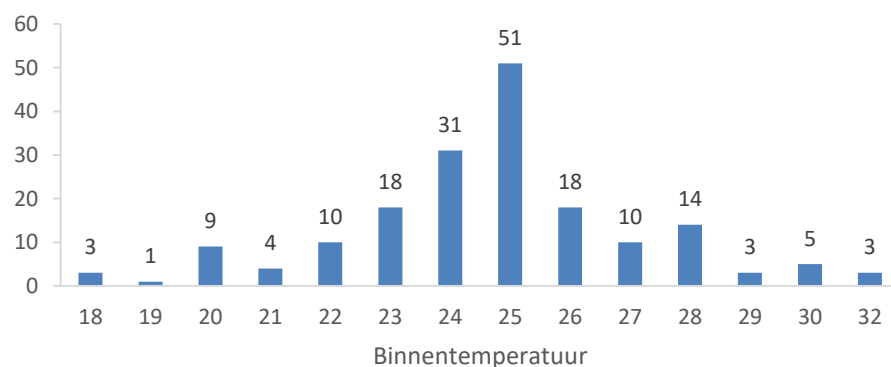
Aantal respondenten dat koelsysteem aanzet



Figuur 4.16 Aantal respondenten dat koelsysteem aanzet afhankelijk van de buitentemperatuur

Maar de hoofdzakelijkste reden om het koelsysteem aan te zetten was voor 180 (63,8%) respondenten de binnentemperatuur. En ook voor de binnentemperatuur lijkt 25 °C voor de meerderheid een grenswaarde te zijn (zie Figuur 4.17).

Aantal respondenten dat koelsysteem aanzet



Figuur 4.17 Aantal respondenten dat koelsysteem aanzet afhankelijk van de binnentemperatuur

4.4.2.1 Factoren die invloed hebben op wanneer mensen hun koelsysteem aanzetten ($N = 282$)²¹

Met behulp van de Generalized Linear Models is vastgesteld dat leeftijd een sterke invloed heeft op wanneer de respondenten hun koelsysteem aanzetten met betrekking tot de buiten- en binnentemperatuur. Echter, werden er in de analyses voor de ingestelde temperatuur zelf geen significante verschillen gevonden. In Tabel 4.4 wordt het percentage respondenten weergegeven die hun koelsysteem aanzetten afhankelijk van de buiten- dan wel binnentemperatuur en op hoeveel graden zij deze dan gemiddeld genomen instellen.

²¹ Voor deze analyse is een Generalized Linear Models gedraaid waarin de afhankelijke variabele als binary response is opgenomen en alle onafhankelijke variabelen (gezinssamenstelling, werkstatus, inkomen, woonlocatie, leeftijd, opleidingsniveau, arbeidsparticipatie, aantal inwonenden, woonsituatie, woningtype, locatie voorgevel, bouwjaar, buurtomschrijving) als factors zijn opgenomen in het model. Enkel de factoren die significant zijn met een p -waarde van onder de .05 zijn in dit rapport gerapporteerd.

Opvallend is dat voor een op de drie respondenten van 18 tot en met 29 jaar de buitentemperatuur een reden is om het koelsysteem aan te zetten (32,4%), terwijl dit slechts voor 14,5% en 17,1% van de respondenten uit een andere leeftijdsgroep het geval is. Bij de binnentemperatuur draait dit verschil om. Voor 43,2% van de respondenten van 18 tot en met 29 jaar is de binnentemperatuur een reden om het koelsysteem aan te zetten, terwijl dit voor 62,7% en 76,3% van de respondenten uit een andere leeftijdsgroep het geval is.

Tabel 4.4 De invloed van leeftijd op het aanzetten van het koelsysteem met betrekking tot de buiten- en binnentemperatuur

	Buitentemperatuur		Binnentemperatuur	
	Percentage	Graden	Percentage	Graden
18-29 jaar	32,4%	25,6 °C	43,2%	24,6 °C
30-44 jaar	16,3%	25,7 °C	62,8%	25,1 °C
45-59 jaar	14,5%	26,0 °C	62,7%	24,5 °C
60+ jaar	17,1%	26,2 °C	76,3%	24,7 °C

4.4.3 Op welk moment worden welke ruimtes gekoeld? (N = 333) (B6, B7; per koelsysteem en totaal)

Aan de 333 respondenten die een koelsysteem hebben, werd gevraagd welke ruimtes zij daarmee koelen. Door 144 (43,2%) respondenten wordt de woonkamer gekoeld, door 274 (74,2%) respondenten de hoofdslaapkamer, door 95 (28,5%) respondenten de overige slaapkamers, door 58 (17,4%) respondenten de werk-/hobbyruimte en door 27 (8,1%) respondenten andere ruimtes, zoals keuken, zolder, gehele verdieping, of het gehele huis.

Ook werd de respondenten gevraagd of ze deze ruimtes overdag tussen 8.00 en 18.00 uur koelen, 's avonds tussen 18.00-0.00 uur koelen of 's nachts tussen 0.00-8.00 uur koelen. In Tabel 4.5 staat per ruimte aangegeven, welk percentage respondenten die aangaven die ruimtes te koelen dit overdag, 's avonds en/of 's nachts doet.

Tabel 4.5 Percentage respondenten dat overdag, 's avonds en/of 's nachts koelt, per ruimte weergegeven

	Totaal	Overdag (8.00-18.00)	's Avonds (18.00-0.00)	's Nachts (0.00-8.00)
Woonkamer	43,2%	79,9%	60,4%	14,6%
Hoofdslaapkamer	74,2%	17,4%	72,9%	50,2%
Overige slaapkamers	28,5%	28,4%	74,7%	48,4%
Werk-/hobbyruimte	17,4%	82,8%	34,5%	17,2%
Andere ruimte	8,1%	70,4%	51,9%	33,3%

Als we gaan differentiëren over de drie verschillende koelsystemen, dan zien we dat respondenten de bodemwarmtepomp overdag meer gebruiken voor het koelen van de hoofdslaapkamer en de overige slaapkamers, maar dat respondenten de mobiele en vaste airco meer 's avonds meer gebruiken voor het koelen van de hoofdslaapkamer.²² Zie Tabel 4.6, Tabel 4.7 en Tabel 4.8 hieronder voor de resultaten per koelsysteem. De dikgedrukte percentages geven de significante verschillen weer tussen de koelsystemen.

²² Om de verschillen tussen de drie koelsystemen te testen is gebruik gemaakt van Generalized Linear Models. Alle gerapporteerde verschillen hebben een significantie niveau van $p < .05$.

Tabel 4.6 Aantal respondenten met een *mobiele airco* dat overdag, 's avonds of 's nachts koelt, per ruimte weergegeven

	Overdag (8.00-18.00)	's Avonds (18.00-0.00)	's Nachts (0.00-8.00)
Woonkamer (N = 58)	77,6%	62,1%	10,3%
Hoofdslaapkamer (N = 122)	9,0%	73,8%	45,9%
Overige slaapkamers (N = 38)	10,5%	78,9%	44,7%
Werk-/hobbyruimte (N = 21)	90,5%	28,6%	9,5%
Andere ruimte (N = 11)	63,6%	54,5%	36,4%

Tabel 4.7 Aantal respondenten met een *vaste airco* dat overdag, 's avonds of 's nachts koelt, per ruimte weergegeven

	Overdag (8.00-18.00)	's Avonds (18.00-0.00)	's Nachts (0.00-8.00)
Woonkamer (N = 64)	78,1%	62,5%	12,5%
Hoofdslaapkamer (N = 102)	16,7%	77,5%	54,9%
Overige slaapkamers (N = 41)	26,8%	78,0%	48,8%
Werk-/hobbyruimte (N = 22)	81,8%	40,9%	18,2%
Andere ruimte (N = 13)	69,2%	53,8%	30,8%

Tabel 4.8 Aantal respondenten met een *bodemwarmtepomp* dat overdag, 's avonds of 's nachts koelt, per ruimte weergegeven

	Overdag (8.00-18.00)	's Avonds (18.00-0.00)	's Nachts (0.00-8.00)
Woonkamer (N = 20)	90,0%	45,0%	30,0%
Hoofdslaapkamer (N = 19)	73,7%	42,1%	47,4%
Overige slaapkamers (N = 15)	73,3%	53,3%	53,3%
Werk-/hobbyruimte (N = 13)	69,2%	30,8%	23,1%
Andere ruimte (N = 2)	100,0%	50,0%	50,0%

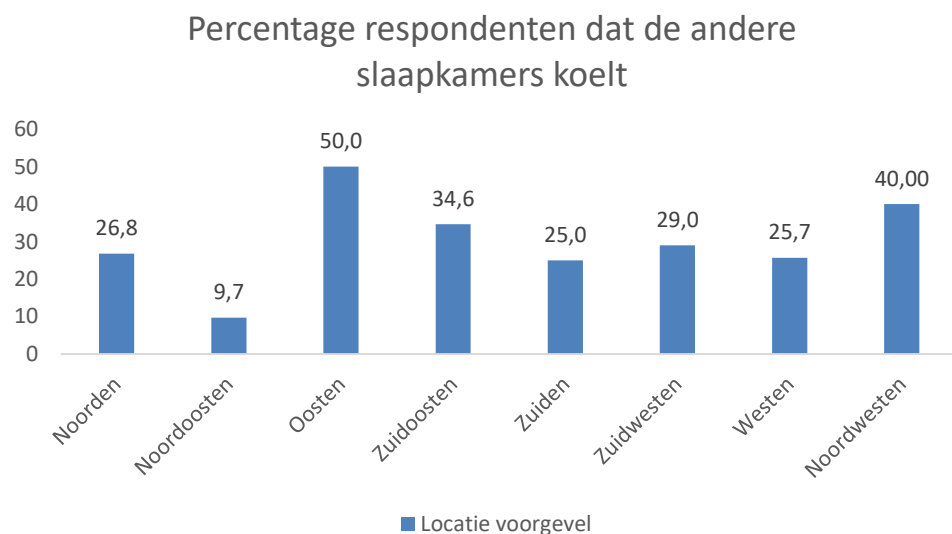
4.4.3.1 Factoren die invloed hebben op welke ruimtes er gekoeld worden (N = 333)²³

Voor de woonkamer geldt dat 76,9% van de respondenten met een inkomen van €15.000 of minder deze ruimte koelt. Dit is significant meer dan de andere respondenten. Van de respondenten met een inkomen van €15.000-€30.000 koelt 39,1% de woonkamer, van de respondenten met een inkomen van €30.000-€60.000 koelt 41,8% de woonkamer en van de respondenten met een inkomen van €60.000 of meer koelt 43,6% de woonkamer.

Ook het type woning heeft invloed op de koeling van de woonkamer. Zo koelen respondenten die in een vrijstaand huis of appartement wonen de woonkamer meer, respectievelijk 58,8% en 51,2%, dan de respondenten die wonen in een rijtjeshuis (34,7%) of twee-onder-één kap woning (41,2%),

Voor de hoofdslaapkamer geldt dat 58,3% van de respondenten die alleen wonen, dus zonder medebewoners, deze ruimte koelt. Dit is significant minder dan de respondenten die wel medebewoners hebben (78,2%).

Voor de overige slaapkamers geldt dat de locatie van de voorgevel invloed heeft op het aantal respondenten die deze ruimtes koelt (Figuur 4.18). Echter, kunnen we niet weten aan welke kant de andere slaapkamers zich in het huis bevinden.



Figuur 4.18 Percentage respondenten dat de andere slaapkamers koelt afhankelijk van de voorgevellocatie

Daarnaast koelt 18,9% van de respondenten met een laag opleidingsniveau de overige slaapkamers, 32,5% van de respondenten met een midden opleidingsniveau en 27,5% van de respondenten met een hoog opleidingsniveau. Opleidingsniveau heeft ook invloed op het aantal respondenten dat andere ruimtes koelt, namelijk 8,1% van de respondenten met een laag opleidingsniveau, 11,9% van de respondenten met een midden opleidingsniveau en 5,3% van de respondenten met een hoog opleidingsniveau.

²³ Voor deze analyse is een Generalized Linear Models gedraaid waarin de afhankelijke variabele als binary response is opgenomen en alle onafhankelijke variabelen (gezinssamenstelling, werkstatus, inkomen, woonlocatie, leeftijd, opleidingsniveau, arbeidsparticipatie, aantal inwonenden, woonsituatie, woningtype, locatie voorgevel, bouwjaar, buurtomschrijving) als factors zijn opgenomen in het model. Enkel de factoren die significant zijn met een *p*-waarde van onder de .05 zijn in dit rapport gerapporteerd.

4.4.4 Welke temperatuur wordt ingesteld ($N = 211$) (B4, B5, B8; verdeling per koelsysteem)

Van de 211 respondenten die zelf de temperatuur van hun koelsysteem in kunnen stellen, gaven 187 respondenten (88,6%) aan dit steeds op dezelfde temperatuur te doen.

De respondenten met een mobiele airco koelen op een gemiddelde temperatuur van 19,4 °C. Respondenten met een vaste airco koelen op een gemiddelde temperatuur van 20,8 °C. En respondenten met een bodemwarmtepomp koelen op een gemiddelde temperatuur van 19,5 °C. Daarbij valt op dat de respondenten met een vaste airco op minder lage temperaturen koelen dan de andere respondenten.

Overdag stellen respondenten het koelsysteem gemiddeld op 20,3 °C. 's Avonds stellen respondenten het koelsysteem gemiddeld op 20,0 °C. En 's nachts stellen respondenten het koelsysteem gemiddeld op 19,7 °C. Dit zijn geen grote verschillen, maar de koeltemperatuur daalt gedurende de dag met het minimum in de nacht.

De koeltemperatuur van de woonkamer is gemiddeld 20,5 °C. De koeltemperatuur van de hoofdslaapkamer is gemiddeld 19,5 °C. De koeltemperatuur van de overige slaapkamers is gemiddeld 19,9 °C. De koeltemperatuur van de werk-/hobbyruimte is gemiddeld 19,7 °C. De koeltemperatuur van de andere ruimtes is gemiddeld 20,6 °C. De hoofdslaapkamer wordt op de laagste temperatuur gekoeld, gevolgd door de werk-/hobbyruimte en de overige slaapkamers. De woonkamer en de andere ruimtes worden op minder lage temperaturen gekoeld. Zie Tabel 4.9, Tabel 4.10 en Tabel 4.11 voor alle specifieke bevindingen.²⁴

Deze temperatuurinstelling is lager dan verwacht. De meeste mensen geven namelijk aan dat ze binnentemperaturen vanaf 25 °C oncomfortabel vinden én dat ze het koelsysteem aanzetten bij 25 °C. In de vragenlijst hebben we niet expliciet gevraagd naar de temperatuurinstelling voor koeling, en niet verwarming. Om uit te sluiten dat de ingestelde temperatuur te maken heeft met verwarming hebben we twee controles uitgevoerd: 1) we hebben specifiek naar de temperatuurinstelling gekeken bij systemen die niet eerder dan juni zijn aangezet en waarvan kan worden aangenomen dat deze puur voor koeling zijn gebruikt; 2) we hebben systemen eruit gelaten waarvan in een andere vraag kon worden aangegeven dat ze ook voor verwarming werden gebruikt. Dit bleek echter geen verschil in temperatuur te geven met de bevindingen gepresenteerd in dit hoofdstuk.

Van de 24 respondenten (11,4%) die het koelsysteem niet op een vaste temperatuur instellen, geven 17 respondenten (70,8%) aan dat dit afhangt van de buitentemperatuur, 8 respondenten (33,3%) dat dit afhangt van de persoon die aanwezig is, 16 respondenten (66,7%) dat dit afhangt van het moment van de dag, en 9 respondenten (37,5%) dat dit afhangt van de activiteit op dat moment.

²⁴ Er zijn geen statistische verschillen gevonden voor de ingestelde koeltemperatuur tussen de zomermaanden (juni-augustus) en de overige maanden, ook niet voor de mensen die handmatig de temperatuur instellen.

Tabel 4.9 De temperatuur waarop respondenten met een *mobiele airco* overdag, 's avonds of 's nachts koelen, per ruimte weergegeven

	Overdag (8.00-18.00)	's Avonds (18.00-0.00)	's Nachts (0.00-8.00)
Woonkamer	(N = 27) 20,1 °C	(N = 23) 20,0 °C	(N = 11) 20,1 °C
Hoofdslaapkamer	(N = 21) 18,5 °C	(N = 52) 19,4 °C	(N = 38) 19,2 °C
Overige slaapkamers	(N = 7) 18,4 °C	(N = 17) 19,0 °C	(N = 12) 18,6 °C
Werk-/hobbyruimte	(N = 8) 20,3 °C	(N = 4) 19,0 °C	(N = 3) 19,3 °C
Andere ruimte	(N = 2) 21,0 °C	(N = 4) 21,3 °C	(N = 1) 22,0 °C

Tabel 4.10 De temperatuur waarop respondenten met een *vaste airco* overdag, 's avonds of 's nachts koelen, per ruimte weergegeven

	Overdag (8.00-18.00)	's Avonds (18.00-0.00)	's Nachts (0.00-8.00)
Woonkamer	(N = 33) 21,5 °C	(N = 25) 21,1 °C	(N = 10) 20,8 °C
Hoofdslaapkamer	(N = 20) 20,4 °C	(N = 45) 20,1 °C	(N = 36) 20,0 °C
Overige slaapkamers	(N = 9) 21,4 °C	(N = 18) 20,9 °C	(N = 12) 21,3 °C
Werk-/hobbyruimte	(N = 15) 21,1 °C	(N = 11) 21,3 °C	(N = 8) 20,6 °C
Andere ruimte	(N = 5) 23,0 °C	(N = 2) 21,5 °C	(N = 2) 21,5 °C

Tabel 4.11 De temperatuur waarop respondenten met een *bodemwarmtepomp* overdag, 's avonds of 's nachts koelen, per ruimte weergegeven

	Overdag (8.00-18.00)	's Avonds (18.00-0.00)	's Nachts (0.00-8.00)
Woonkamer	(N = 12) 19,8 °C	(N = 12) 19,9 °C	(N = 11) 18,8 °C
Hoofdslaapkamer	(N = 12) 19,2 °C	(N = 12) 19,1 °C	(N = 12) 18,8 °C
Overige slaapkamers	(N = 9) 19,8 °C	(N = 9) 19,7 °C	(N = 9) 19,3 °C
Werk-/hobbyruimte	(N = 9) 20,2 °C	(N = 9) 20,1 °C	(N = 9) 19,3 °C
Andere ruimte	(N = 0)	(N = 0)	(N = 0)

4.4.5 Maand van eerste gebruik koelsysteem

Aan de respondenten die een koelsysteem hebben werd gevraagd in welke maand zij deze voor het eerst gebruikten in het jaar 2021. Van de 333 respondenten gaven 41 aan het koelsysteem dit jaar nog niet te hebben gebruikt. Dit komt waarschijnlijk door de koelere zomer van 2021 (zie het tekstkader). In Tabel 4.12 is van de overige 292 deelnemers te zien in welke maand zij het koelsysteem voor het eerst

hebben gebruikt in het jaar 2021.²⁵ En daarin komt duidelijk naar voren dat vanaf de maand mei een grote toename is aan ingebruikname van het koelsysteem en de meeste mensen in de maand juni starten met het gebruik.

Geen echt zomerweer in 2021

Het KNMI²⁸ geeft aan dat de gemiddelde temperatuur van de zomer van 2021 normaal was, maar behalve juni was er geen echt warm zomerweer. Juni was een uitschieter als warmste junimaand sinds 1901. Met name de eerste helft van juni was heet, wel waren de nachten nog koel. Juli was iets koeler dan normaal, maar augustus was duidelijk koeler. Deze twee maanden kenden weinig zomerse dagen (temperaturen vanaf 25 °C) en geen tropische dagen (> 30 °C). De Bilt telde deze zomer in totaal 70 warme dagen (vanaf 20 °C), 17 zomerse dagen en 1 tropische dag. Normaal zijn dat er respectievelijk 64, 22 en 5. September was weer warmer dan normaal met 22 warme dagen (normaal 16) en zelfs drie zomerse dagen. In totaal waren er 21 dagen boven de 25 °C, bijna een kwart minder dan normaal (27).

Tabel 4.12 Per maand het aantal en percentage van respondenten die het koelsysteem voor het eerst heeft aangezet in het jaar 2021

Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep
12	1	8	13	55	107	73	21	2
4,1%	0,3%	2,7%	4,5%	18,8%	36,6%	25,0%	7,2%	0,7%

Als we deze resultaten uitsplitsen naar koelsysteem (zie Tabel 4.13, Tabel 4.14 en Tabel 4.15), wordt duidelijk zichtbaar dat de bodemwarmtepomp veelal voor het eerst wordt gebruikt in januari. De vraag is echter, of dit niet ter verwarming van het huis wordt gebruikt i.p.v. verkoeling.

Tabel 4.13 Per maand het aantal en percentage van respondenten (N = 150) die de *mobiele airco* voor het eerst heeft aangezet in het jaar 2021

Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep
1	0	2	4	25	57	49	12	0
0,7%	0,0%	1,3%	2,7%	16,7%	38,0%	32,7%	8,0%	0,0%

Tabel 4.14 Per maand het aantal en percentage van respondenten (N = 121) die de *vaste airco* voor het eerst heeft aangezet in het jaar 2021

Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep
3	1	4	6	29	49	21	6	2
2,5%	0,8%	3,3%	5,0%	24,0%	40,5%	17,4%	5,0%	1,7%

Tabel 4.15 Per maand het aantal en percentage van respondenten (N = 16) die de *bodemwarmtepomp* voor het eerst heeft aangezet in het jaar 2021

Jan	Feb	Mrt	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep
8	0	2	2	1	0	2	1	0
50%	0,0%	12,5%	12,5%	6,3%	0,0%	12,5%	6,3%	0,0%

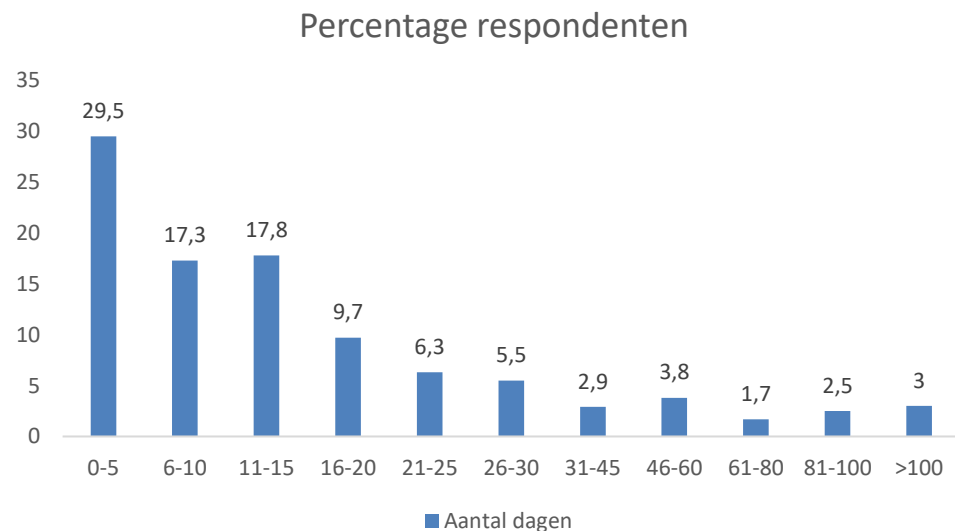
²⁵ In de analyses is nog gekeken of het niet kunnen bedienen van het koelsysteem de resultaten nog beïnvloedde, maar dit was niet het geval.

4.4.6 Gebruiksduur van het koelsysteem

Aan de respondenten die een koelsysteem hebben werd gevraagd hoeveel dagen zij schatten het koelsysteem te hebben gebruikt in de maanden juni t/m september en hoeveel uren het koelsysteem gemiddeld aanstaat op de dagen dat ze hem gebruiken.

4.4.6.1 Aantal dagen gebruik koelsysteem maanden juni t/m september

Van de 292 respondenten die het koelsysteem gebruikt hebben in 2021, gaven 16 respondenten (5,5%) aan dat het koelsysteem altijd aan staat en 39 respondenten (13,4%) wist niet hoeveel dagen het koelsysteem aan heeft gestaan in de maanden juni t/m september. De 237 (81,2%) respondenten die specifiek hebben aangegeven hoeveel dagen zij het koelsysteem hebben gebruikt in de maanden juni t/m september, deden dit gemiddeld 20,5 dagen. met een minimum van 0 dagen en een maximum van 122 dagen.²⁶ Meest aangegeven antwoord is 5 dagen (N = 32), gevolgd door 15 dagen (N = 23), 10 dagen (N = 17), 20 dagen (N = 16), 3 of 4 dagen (N = 15), 30 dagen (N = 13) en 14 of 25 dagen (N = 12). Figuur 4.19 geeft het aantal dagen dat respondenten het koelsysteem hebben gebruikt in de maanden juni t/m september geclusterd weer.



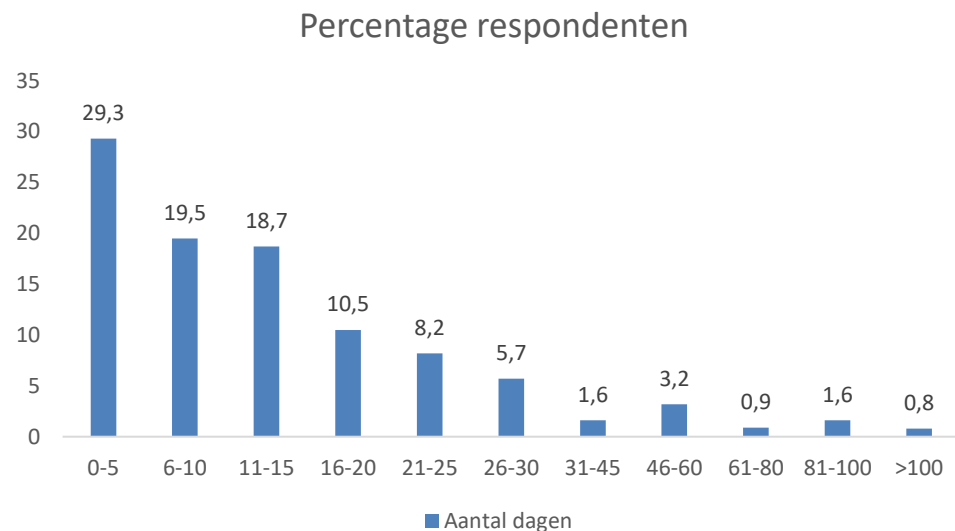
Figuur 4.19 Percentage van respondenten (N = 237) dat heeft aangegeven hoeveel dagen zij het koelsysteem hebben gebruikt in de maanden juni t/m september

Een significant verschil is er gevonden in het gemiddeld aantal dagen dat de respondenten het koelsysteem hebben gebruikt in de maanden juni t/m september tussen de respondenten met een mobiele (N = 123) en een vaste (N = 107) airco. De respondenten met een mobiele airco gebruikten deze gemiddeld 16,4 dagen en de respondenten met een vaste airco gebruikten deze gemiddeld 24,4 dagen. 50% van de respondenten met een mobiele airco heeft het systeem niet meer dan 10 dagen aan gehad in 2021, 90% niet meer dan 30 dagen. Bij een vaste airco heeft 70% de airco niet meer dan 20 dagen gebruikt.

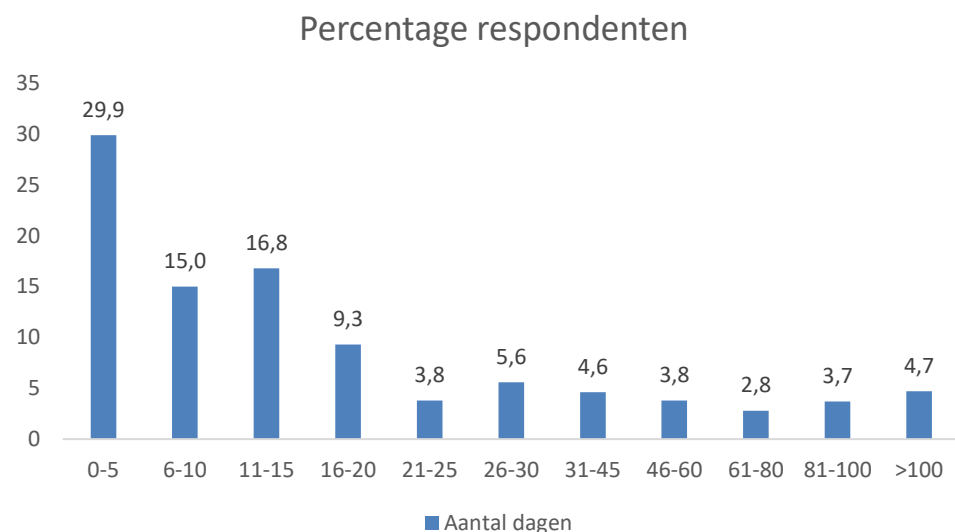
Bij respondenten met een bodemwarmtepomp gaf 75% aan dat deze altijd aanstaat, er waren hierdoor te weinig respondenten met een bodemwarmtepomp die specifiek hebben aangegeven hoeveel dagen ze het koelsysteem hebben

²⁶ Twee deelnemers hadden een aantal ingevuld dat meer dan de 122 dagen bevatte die deze vier maanden omhelzen. Daarom is de analyse gerund waarbij deze waarden zijn gezet op 122 dagen.

aangezet in de maanden juni t/m september (N = 3) om statistische verschillen bloot te leggen. In Figuur 4.20 en Figuur 4.21 worden het aantal dagen dat respondenten aangeven het koelsysteem te hebben gebruikt in de maanden juni t/m september per koelsysteem weergegeven.



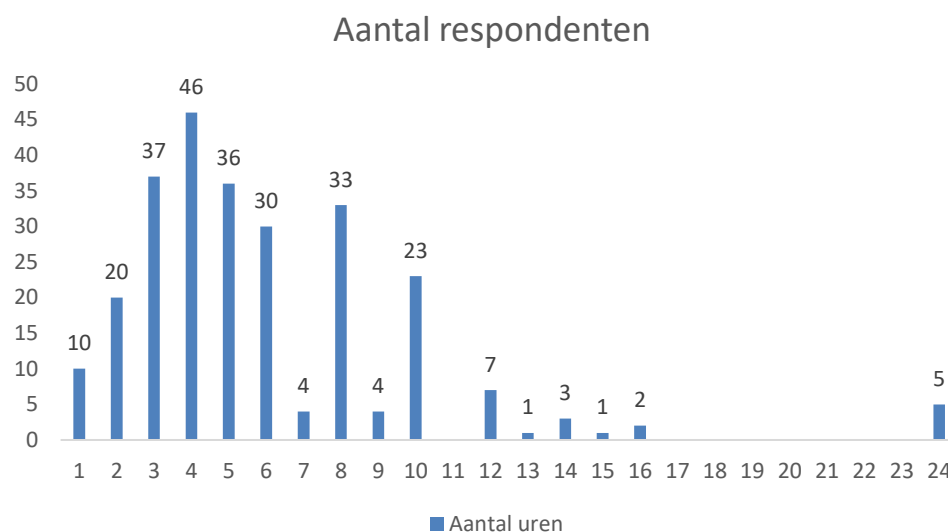
Figuur 4.20 Percentage van respondenten (N = 123) met een *mobiele airco* dat heeft aangegeven hoeveel dagen zij het koelsysteem hebben gebruikt in de maanden juni t/m september



Figuur 4.21 Percentage van respondenten (N = 107) met een *vaste airco* dat heeft aangegeven hoeveel dagen zij het koelsysteem hebben gebruikt in de maanden juni t/m september

4.4.6.2 Aantal uren gebruik koelsysteem

Van de 292 respondenten die het koelsysteem gebruikt hebben in 2021, gaven 15 respondenten (5,1%) aan dat het koelsysteem altijd aan staat en 15 respondenten (5,1%) wist niet hoeveel uren per dag het koelsysteem aan heeft gestaan. De 262 (89,7%) respondenten die specifiek hebben aangegeven hoeveel uren per dag zij het koelsysteem hebben gebruikt, deden dit gemiddeld 6,0 uur. Er zijn geen significante verschillen gevonden tussen de verschillende type koelsystemen. Figuur 4.22 geeft het aantal uren per dag dat respondenten het koelsysteem gemiddeld gebruikt hebben.



Figuur 4.22 Percentage van respondententen (N = 262) dat heeft aangegeven hoeveel uren per dag zij het koelsysteem gemiddeld hebben gebruikt

4.4.6.3 Factoren die invloed hebben op de gebruiksduur van het koelsysteem²⁷

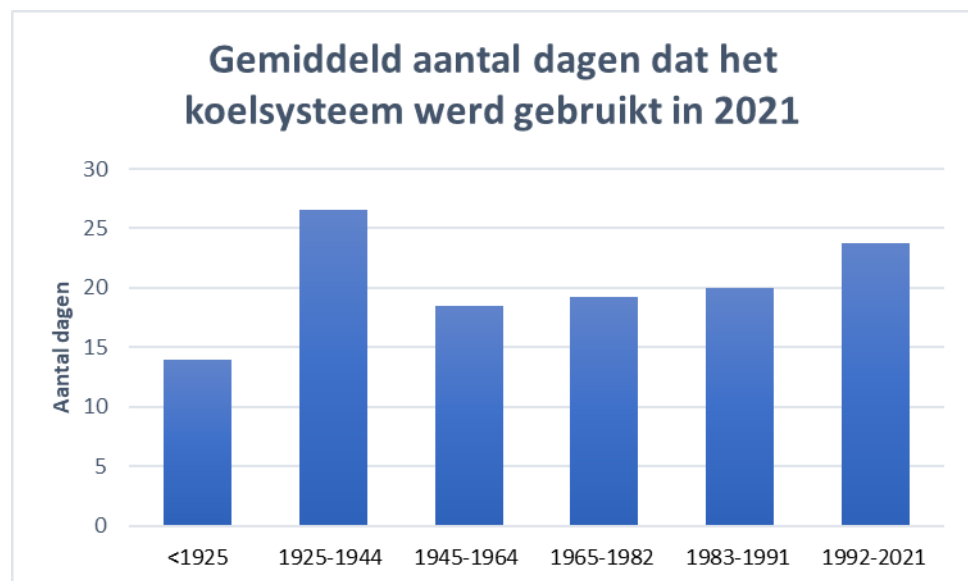
4.4.6.3.1 Aantal dagen

Het aantal dagen dat de respondententen het koelsysteem gebruiken wordt beïnvloed door de gezinssamenstelling, de woonsituatie, het bouwjaar en de omgeving. Respondenten die samenwonen met kinderen hebben het koelsysteem gemiddeld 25,6 dagen gebruikt. Respondenten die alleenstaand zijn met kinderen hebben het koelsysteem gemiddeld 20,2 dagen gebruikt. Respondenten die alleenstaand zijn zonder kinderen en respondententen die samenwonen zonder kinderen hebben het koelsysteem gemiddeld respectievelijk 18,3 en 17,0 dagen gebruikt.

Respondenten met een sociale huurwoning hebben het koelsysteem gemiddeld 21,5 dagen gebruikt. Respondenten met een koopwoning hebben het koelsysteem gemiddeld 20,7 dagen gebruikt. Respondenten met een particuliere huurwoning hebben het koelsysteem gemiddeld 16,6 dagen gebruikt.

Respondenten wonend in een huis met bouwjaar 1925-1944 hebben het koelsysteem gemiddeld het vaakst gebruikt met 26,6 dagen (Figuur 4.23). Respondenten wonend in een huis met bouwjaar 1992-2021 hebben het koelsysteem gemiddeld 23,7 dagen gebruikt. Respondenten wonend in een huis met bouwjaar 1983-1991 hebben het koelsysteem gemiddeld 20,0 dagen gebruikt. Respondenten wonend in een huis met bouwjaar 1965-1982 hebben het koelsysteem gemiddeld 19,2 dagen gebruikt. Respondenten wonend in een huis met bouwjaar 1945-1964 hebben het koelsysteem gemiddeld 18,5 dagen gebruikt. Respondenten wonend in een huis met bouwjaar van ouder dan 1925 hebben het koelsysteem gemiddeld 14,0 dagen gebruikt. Daar moet bij vermeld worden dat de klasse <1925 en 1925-1944 de minste cases bevat (beide 18).

²⁷ Voor deze analyse is een Generalized Linear Models gedraaid waarin de afhankelijke variabele als scale response is opgenomen en alle onafhankelijke variabelen (gezinssamenstelling, werkstatus, inkomen, woonlocatie, leeftijd, opleidingsniveau, arbeidsparticipatie, aantal inwonenden, woonsituatie, woningtype, locatie voorgevel, bouwjaar, buurtomschrijving) als factors zijn opgenomen in het model. Enkel de factoren die significant zijn met een *p*-waarde van onder de .05 zijn in dit rapport gerapporteerd.



Figuur 4.23 Gemiddeld aantal dagen dat het koelsysteem werd gebruikt in relatie tot de bouwjaarklasse.

Respondenten die in een omgeving met behoorlijk wat groen wonen, hebben het koelsysteem gemiddeld 23,7 dagen gebruikt. Respondenten die in een omgeving met een beetje groen wonen, hebben het koelsysteem gemiddeld 19,0 dagen gebruikt. Respondenten die in een omgeving met geen groen wonen, hebben het koelsysteem gemiddeld 10,3 dagen gebruikt. Respondenten die in een omgeving met vrijwel alleen maar groen wonen, hebben het koelsysteem gemiddeld 14,0 dagen gebruikt. Dit is tegen de verwachting in, omdat een groenere omgeving meer verkoeling geeft.

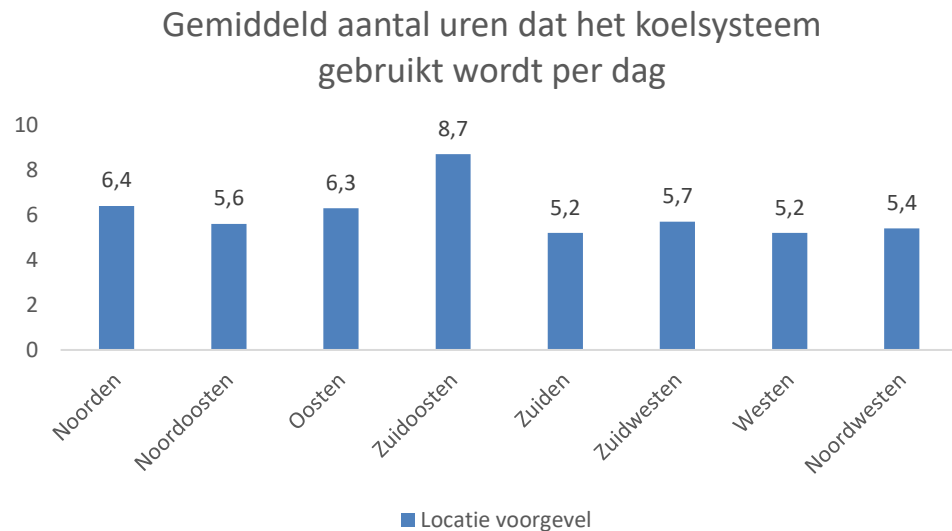
Een belangrijke kanttekening is dat bij deze vraagstelling de antwoorden erg uiteenlopen, van 0 tot 122 dagen. Dit maakt dat de gemiddeldes mogelijk grotere verschillen laten zien dan in werkelijkheid het geval is.

4.4.6.3.2 Aantal uren

Het aantal uren dat de respondenten gemiddeld het koelsysteem gebruiken wordt beïnvloed door het inkomen, het woningtype en de voorgevellocatie. Respondenten met een inkomen van minder dan €15.000 gebruiken het koelsysteem gemiddeld 6,3 uur per dag. Respondenten met een inkomen tussen €15.000-€30.000 gebruiken het koelsysteem gemiddeld 5,9 uur per dag. Respondenten met een inkomen tussen €30.000-€60.000 gebruiken het koelsysteem gemiddeld 5,6 uur per dag. Respondenten met een inkomen boven de €60.000 gebruiken het koelsysteem gemiddeld 5,4 uur per dag.

Respondenten die in een hoekwoning wonen gebruiken het koelsysteem gemiddeld 6,5 uur per dag. Respondenten die in een twee-onder-één kapwoning wonen gebruiken het koelsysteem gemiddeld 6,3 uur per dag. Respondenten die in een vrijstaande woning wonen gebruiken het koelsysteem gemiddeld 5,9 uur per dag. Respondenten die in een appartement wonen gebruiken het koelsysteem gemiddeld 5,6 uur per dag. Respondenten die in een rijtjeshuis wonen gebruiken het koelsysteem gemiddeld 5,5 uur per dag. Hieruit blijkt dat het hebben van burens mogelijk tot een mindere koelvraag leidt.

Ook de voorgevellocatie heeft effect op het aantal uur dat de respondenten het koelsysteem gebruiken (Figuur 4.24). Opvallend is hier dat met name de respondenten wiens voorgevel op het zuidoosten gericht is, het koelsysteem langduriger gebruiken.



Figuur 4.24 Gebruiksdur van het koelsysteem in relatie tot de voorgevel

4.5 Conclusies en vervolgonderzoek

De enquête is ingevuld door 1187 respondenten, representatief naar geslacht, leeftijd, opleiding en regio voor inwoners van Nederland van 18 jaar en ouder. Van de respondenten geeft 63% aan het wel eens te warm in huis te vinden. De meeste mensen vinden het vanaf een binnentemperatuur van 25 °C te warm, maar bijna de helft ook al onder de 25 °C.

18% van de respondenten gebruikt een koelsysteem om te koelen: 8,8% met een mobiele airco, 7,0% met een vaste airco, 1,1% met een bodemwarmtepomp en eenzelfde percentage geeft aan op een andere manier te koelen. Het inkomen, de woonlocatie, opleidingsniveau, bouwjaar en woonsituatie hebben een sterke invloed op het wel of niet aanwezig zijn van een koelsysteem. Van de respondenten die nog geen koelsysteem hebben, overweegt 26% de komende jaren een koelsysteem aan te schaffen. Redenen dat mensen geen koelsysteem overwegen zijn de aanschaf- en energiekosten, men vindt het niet nodig om te koelen, het is niet goed voor het milieu of het mag niet van de verhuurder of VvE.

Het merendeel van de respondenten zet het koelsysteem aan als de binnentemperatuur boven de 25 °C komt. De woonkamer wordt door bijna de helft van de respondenten gekoeld, maar respondenten uit de laagste inkomensklasse koelen de woonkamer bijna twee keer zo vaak als gemiddeld. De hoofdslaapkamer wordt gemiddeld door driekwart van respondenten gekoeld, maar alleenwonenden koelen de slaapkamer significant minder dan gemiddeld.

De meeste respondenten die de temperatuur van het koelsysteem in kunnen stellen doen dat meestal op dezelfde temperatuur; overdag gemiddeld op 20,3 °C, 's avonds op 20,0°C, en 's nachts op 19,7 °C. De respondenten met een mobiele

airco koelen op een gemiddelde temperatuur van 19,4 °C, ongeveer gelijk met een gemiddelde temperatuur van 19,5 °C voor bodemwarmtepompen. Respondenten met een vaste airco zetten gemiddeld de temperatuur wat hoger op 20,8 °C.

De meeste mensen zetten in 2021 het koelsysteem voor het eerst aan in de maand juni. Respondenten met een mobiele airco gebruikten deze in de maanden juni tot en met september gemiddeld 16,4 dagen. Er zitten wat uitschieters bij, maar 50% van de mobiele airco's stond niet meer dan 10 dagen aan in 2021 en 90% niet meer dan 30 dagen. De vaste airco werd met gemiddeld 24,4 dagen vaker gebruikt dan de mobiele airco waarbij 70% van vaste airco's niet meer dan 20 dagen werd gebruikt. Bij respondenten met een bodemwarmtepomp gaf 75% aan dat deze altijd aanstaat. Het aantal dagen dat de respondenten het koelsysteem gebruiken wordt beïnvloed door de gezinssamenstelling, de woonsituatie, het bouwjaar en de omgeving.

Tot slot wordt het koelsysteem gemiddeld 6 uur per dag gebruikt. Het aantal uren dat de respondenten gemiddeld het koelsysteem gebruiken wordt beïnvloed door het inkomen, het woningtype en de voorgevel oriëntatie. Op basis van deze antwoorden kan worden afgeleid dat een mobiele airco gemiddeld 98,4 uur heeft aan gestaan in 2021 en de vaste airco 146,4 uur. Dat is ongeveer de helft van wat in de KEV (respectievelijk 184 en 320 uur) wordt aangenomen. Dit kan komen door de relatief koele zomer.

Het KNMI²⁸ geeft aan dat de gemiddelde temperatuur van de zomer van 2021 normaal was, maar behalve juni was er geen echt warm zomerweer. Juni was een uitschieter als warmste junimaand sinds 1901. Met name de eerste helft van juni was heet, wel waren de nachten nog koel. Juli was iets koeler dan normaal, maar augustus was duidelijk koeler. Deze twee maanden kenden weinig zomerse dagen (temperaturen vanaf 25 °C) en geen tropische dagen (> 30 °C). De Bilt telde deze zomer in totaal 70 warme dagen (vanaf 20 °C), 17 zomerse dagen en 1 tropische dag. Normaal zijn dat er respectievelijk 64, 22 en 5. September was weer warmer dan normaal met 22 warme dagen (normaal 16) en zelfs drie zomerse dagen. In totaal waren er 21 dagen boven de 25 °C, bijna een kwart minder dan normaal (27).

4.5.1 Vervolgonderzoek

Hoewel de populatie van de enquête voldoende groot en representatief is, zijn de bovenstaande inzichten gebaseerd op een eenmalige peiling. Het weer van 2021 is bijvoorbeeld van invloed op de antwoorden van een aantal vragen. Ook is bij de verdeling van de populatie in meerdere subcategorieën het aantal cases soms erg klein om er conclusies over te trekken. Het is daarom aan te bevelen om deze enquête meerdere jaren te herhalen met een grotere groep respondenten.

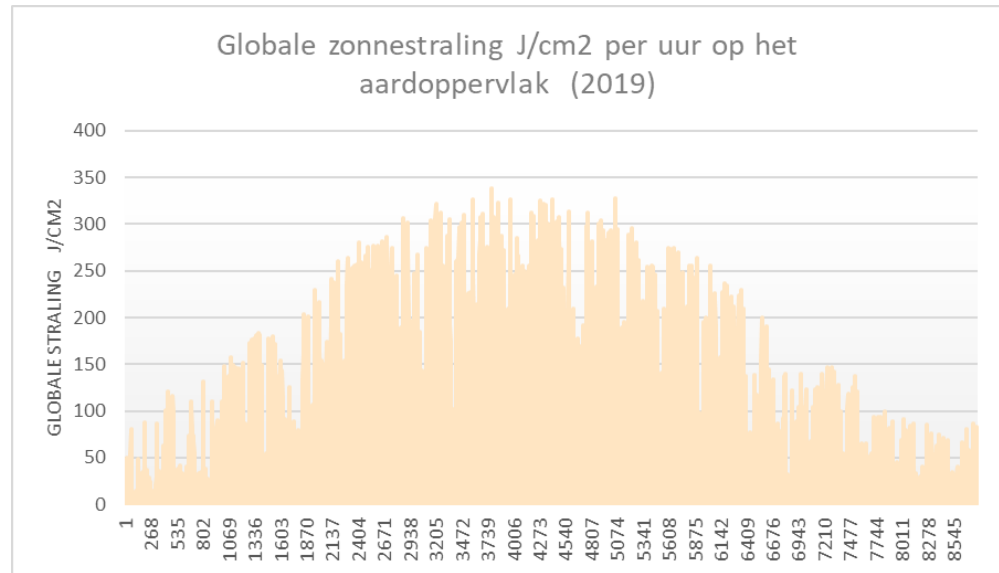
²⁸ <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/maand-en-seizoensoverzichten/2021/zomer>

Referenties

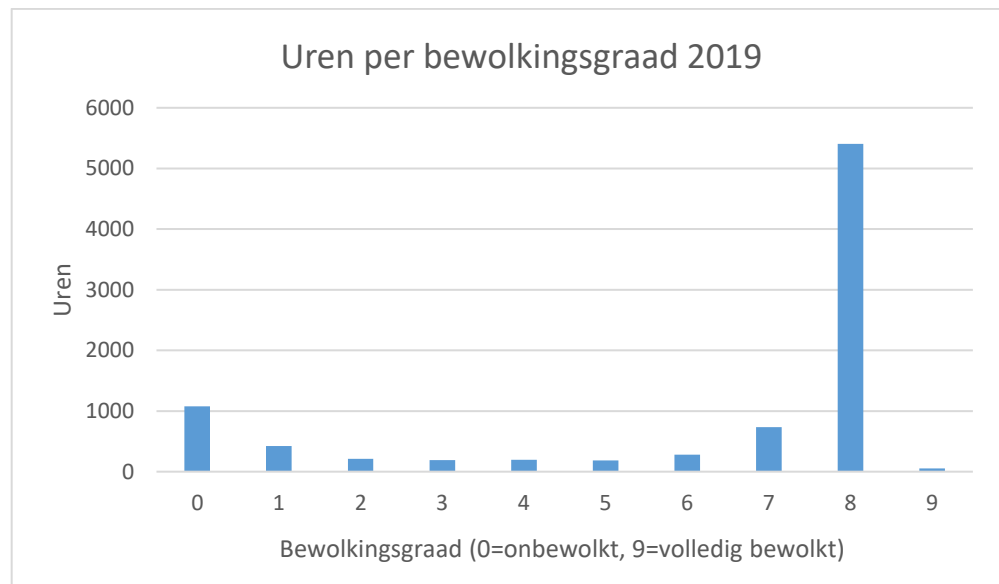
- Arent, et al. (2014). IPCC WGII AR5 Chapter 10.
- Caverzam Barbosa, E., Kluck, J., & de Groot, M. (2020). *Hitteproef in woningen: resultaten zomer 2020*. HvA.
- CBS & TNO. (2020). *Warmtemonitor 2019*.
- CBS en TNO. (2019). *Warmtemonitor 2017*. CBS. Retrieved from <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2019/23/warmtemonitor-2017>
- CBS StatLine. (2020). *Warmtepompen; aantallen, thermisch vermogen en energiestromen*. Retrieved from <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82380NED/table>
- CE-Delft. (2019). *Functioneel ontwerp Vesta 4.0*.
- Consumentenbond. (2021). *Consumentengids, juli-augustus 2021*.
- Energiesprong. (2015). *Resultaten uit monitoring over: Concepten nul-op-de-meter en 80% besparing*.
- Essent. (2020). *Extreme stijging stroomverbruik tijdens hittegolf door airco's*. Retrieved from <https://www.essent.nl/content/overessent/actueel/index.html/extreme-stijging-stroomverbruik-tijdens-hittegolf-door-aircos/#>
- HvA. (2020a). *Woning hitteproef 2019*.
- IEA. (2018). *The Future of Cooling*.
- KNMI. (2014a). *KNMI'14-klimaatscenario's - 'Scenario's samengevat' en 'Kerncijfers'*. Retrieved from <https://knmi.sitearchief.nl/?subsite=klimaatscenario's#archive>
- KNMI. (2014b). *KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*.
- KNMI. (2015). *KNMI '14 Toelichting transformatie tijdreeksen - Transformatieprogramma v3.2, 1 oktober 2015. In Handleiding voor de transformatie van tijdreeksen conform KNMI'14: toelichting getransformeerde tijdreeksen (2014)*.
- MeMo2. (2020). *THX.Insightscan - Essent. Juni 2020*.
- PBL. (2019a). *Korte modelbeschrijving SAWEC*.
- PBL. (2019b). *Korte Modelbeschrijving Elektriciteitsverbruik van Apparaten (EVA)*. Retrieved from https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-kev-rekensysteem-korte-modelbeschrijving-eva_3826.pdf
- RVO. (2019). *Monitor Energiebesparing Gebouwde Omgeving 2019*. Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.
- TKI-UE. (n.d.). *Factsheet Koudevraag in Nederland*. Retrieved from <https://www.topsectorenergie.nl/tki-urban-energy/kennisdossiers/factsheets-koudetechnieken/koudevraag-in-Nederland>
- TNO. (2020). *"Opdeling huishoudelijk elektriciteitsgebruik (van CBS) naar functie tbv RVO monitor energiebesparing GO"*.
- Vakblad Warmtepompen. (2019). *Nederlandse verkoop warmtepompen groeit bijna 30 procent*. Retrieved from https://www.vakbladwarmtepompen.nl/sector/nieuws/2019/05/nederlandse-verkoop-warmtepompen-groeit-bijna-30-procent-1014674?_ga=2.30695999.1600227608.1614008230-1008079784.1614008230

- van Kempen. (2000, april). *Marktanalyse en prognose van airconditioningsystemen; rapportage van een marktonderzoek naar causale factoren en trends*. Retrieved from http://www.vankempenconsultancy.com/html/resources/3D/3D76F492-0B9C-456B-8728-0EEFDA0DB4DD/rapport_marktonderzoek_airco.pdf
- VHK. (2008). *Basisdocument Elektrische apparatuur in Nederlandse huishoudens, i.o.v. SenterNovem*. Retrieved from <http://vhk.nl/research/reports.htm>
- W/E adviseurs. (2018). *Ontwikkeling van koudevraag van woningen; factsheets met conclusies en aanbevelingen*. i.o.v. het ministerie van EZK.
- Woononderzoek. (2018). *Woononderzoek Nederland*. Retrieved from <https://www.woononderzoek.nl/home>

A Inputdata WPG: Straling en bewolkingsgraad 2019

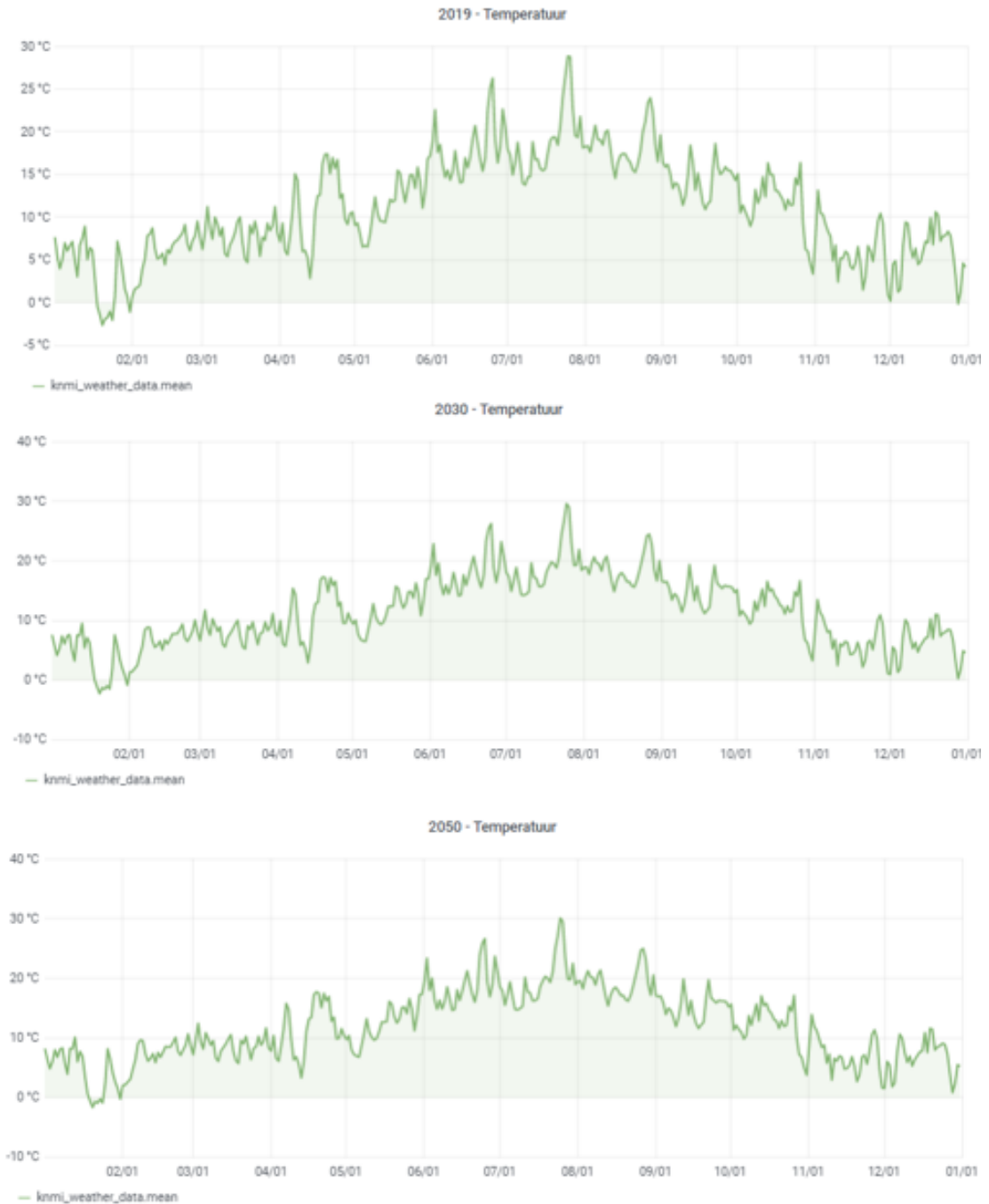


Figuur A 1 Uurprofiel van de globale straling (direct en diffuus) op het aardoppervlak in 2019



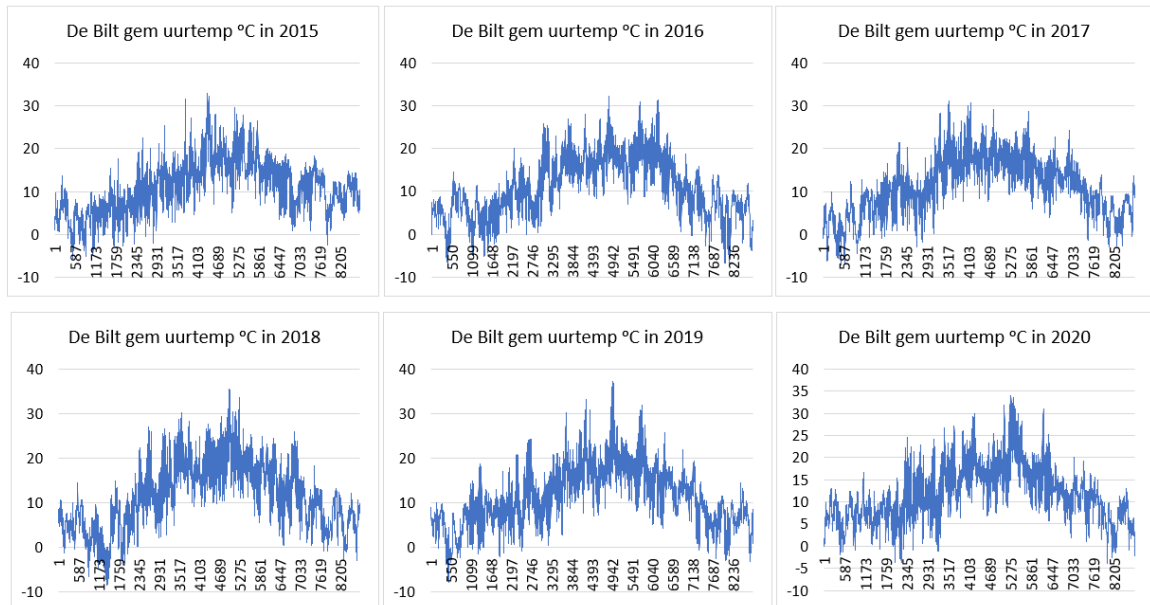
Figuur A 2 Aantal uren in 2019 per bewolkingsgraad

B Inputdata WPG: Temperatuur



Figuur B 1 Uurprofiel van de temperatuur in 2019, 2030 en 2050 (let op het verschil in schaal op de y-as)

C Uurprofiel temperatuur 2015-2020 (o.b.v. metingen KNMI)



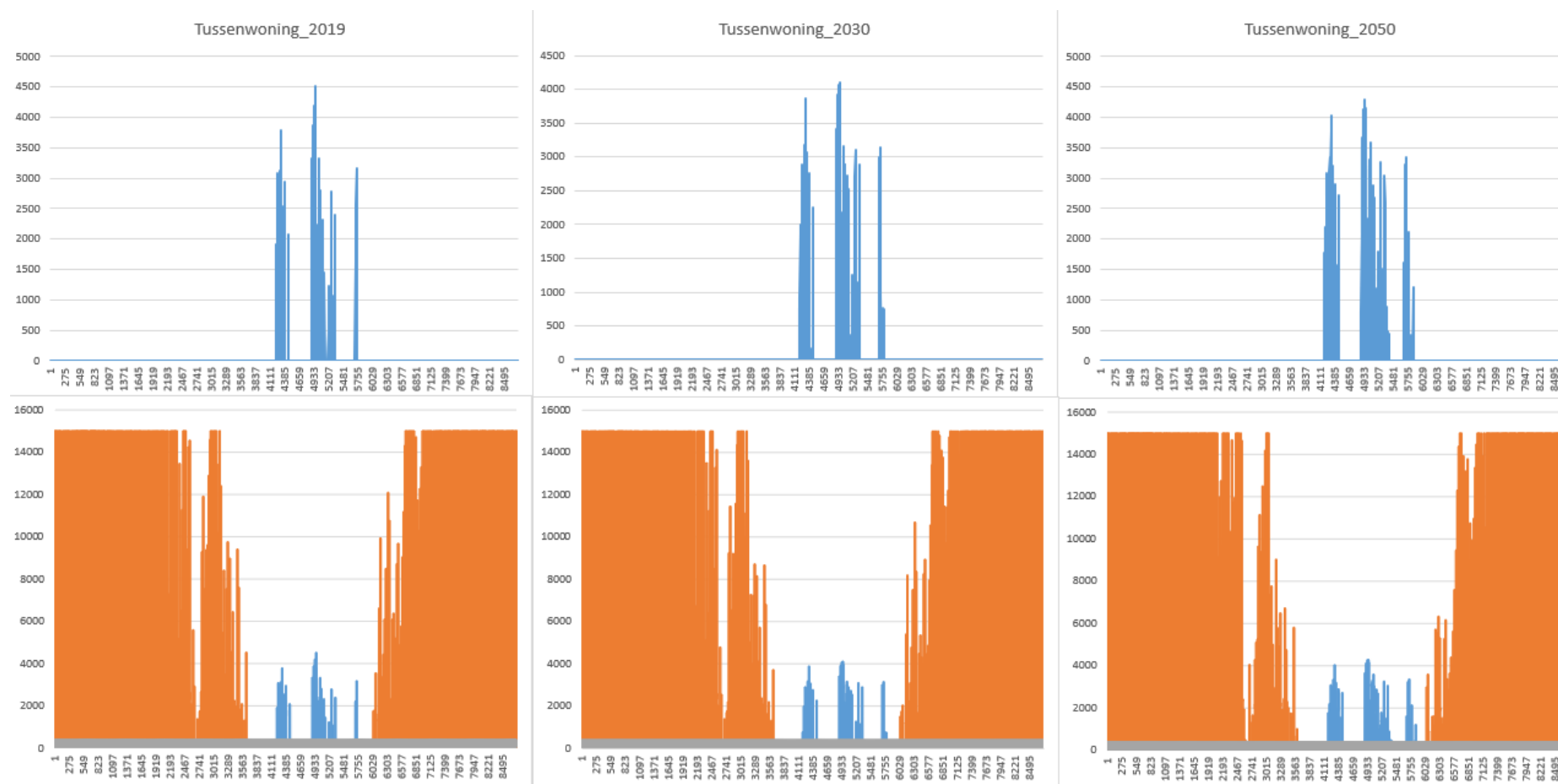
Figuur C 1 Uurtemperatuurdata meetstation de Bilt corresponderende met maandgemiddelde temperaturen zoals weergegeven in Tabel 3.3. Voor de koudeprofielen is gebruik gemaakt van het temperatuurverloop in 2019. De figuren laten zien hoe de afgelopen jaren zich tot elkaar verhouden qua temperatuurverloop.

D Gedetailleerde WPG resultaten per variant

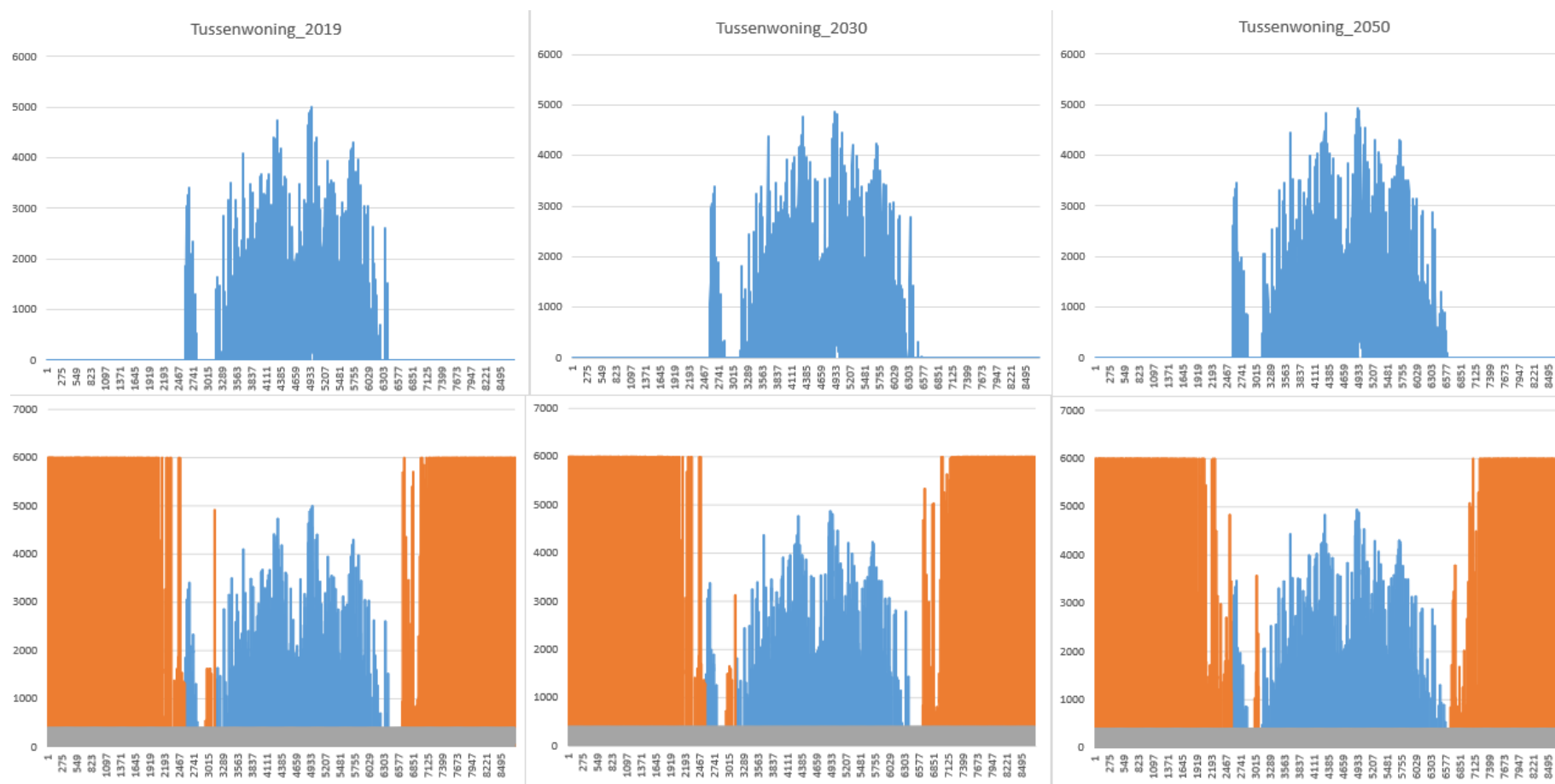
Variant 1: Tussenwoning Bouwjaarklasse na 2012 (bouwjaar 2016) Rc-waarde gebouwschil (gemiddeld): 3,7 Uw waarde glas: 1,8 Vloeroppervlak 118 m ² Begane grondoppervlak 52,3 m ² Glasoppervlak 18 m ² Vermogen verwarmingsinstallatie: 6 kW _{th} Vermogen koelinstallatie: 5 kW _{th}				
Setpoint verwarming: afhankelijk van het uur, binnen range 15-21 graden Celsius				
Setpoint koelinstallatie: 24 graden Celsius				
	Ehd	2019	2030	2050
Piekkoudevraag	W	4.766	4.557	4.631
Piekruimteverwarmingvraag	W	6.000	6.000	6.000
Piektapwatervraag	W	402	402	402
Koudevraag kWh/m ²	kWh/m ²	12,9	13,8	15,1
Koudevraag	kWh/jr	1.528	1.628	1.786
Ruimteverwarming vraag	kWh/jr	5.020	4.867	4.605
Tapwatervraag	kWh/jr	1.569	1.569	1.569
Koudevraag t.o.v. warmtevraag	als %	10%	11%	13%
Koudevraag	GJ/jr	5,5	5,9	6,4
Ruimteverwarming vraag	GJ/jr	18,1	17,5	16,6
Tapwatervraag	GJ/jr	5,6	5,6	5,6
Vollasturen (eq.) koude	Uren	306	326	357
Vollasturen (eq.) ruimteverwarming	Uren	837	811	767
Vollasturen (eq.) tapwater	Uren	261	261	261
Aantal koelnachten (eq.)	#	1,2	1,5	1,7
Aantal koeldagen (eq.)	#	36,0	37,9	40,5
Aantal koeluren 's nachts	#	28	35	41
Aantal koeluren overdag	#	865	909	971
Aantal uren met koudevraag boven 3 kW _{th}	#	104	119	130
Aantal uren met koudevraag boven 4 kW _{th}	#	20	21	22

Variant 2: Tussenwoning Bouwjaarklasse 1975-1991 (bouwjaar 1983) Rc-waarde gebouwschil (gemiddeld): 1,5 Uw waarde glas: 2,9 Vloeroppervlak 113,6 m ² Begane grondoppervlak 49,1 m ² Glasoppervlak 18,2 m ² Vermogen verwarmingsinstallatie: 15 kW _{th} Vermogen koelinstallatie: 5 kW _{th}				
Setpoint verwarming: afhankelijk van het uur, binnen range 15-21 graden Celsius				
Setpoint koelinstallatie: 24 graden Celsius				
	Ehd	2019	2030	2050
Piekkoudevraag	W	4.509	4.105	4.288
Piekruimteverwarmingvraag	W	15.000	15.000	15.000
Piektapwatervraag	W	402	402	402
Koudevraag kWh/m ²	kWh/m ²	2,5	2,9	3,8
Koudevraag	kWh/jr	278	333	435
Ruimteverwarming vraag	kWh/jr	11.203	10.896	10.355
Tapwatervraag	kWh/jr	1.569	1.569	1.569
Koudevraag t.o.v. warmtevraag	als %	0,83%	1,02%	1,40%
Koudevraag	GJ/jr	1,0	1,2	1,6
Ruimteverwarming vraag	GJ/jr	40,3	39,2	37,3
Tapwatervraag	GJ/jr	5,6	5,6	5,6
Vollasturen (eq.) koude	Uren	56	67	87
Vollasturen (eq.) ruimteverwarming	Uren	1.867	1.816	1.726
Vollasturen (eq.) tapwater	Uren	261	261	261
Aantal koelnachten (eq.)	#	0,0	0,0	0,1
Aantal koeldagen (eq.)	#	6,3	7,4	9,5
Aantal koeluren 's nachts	#	1,0	1,0	3,0
Aantal koeluren overdag	#	151	177	227
Aantal uren met koudevraag boven 3 kW _{th}	#	22	24	45
Aantal uren met koudevraag boven 4 kW _{th}	#	3	3	6

Variant 3: Tussenwoning Bouwjaarklasse na 2012 (bouwjaar 2016) Rc-waarde gebouwschil (gemiddeld): 3,7 Uw waarde glas: 1,8 Vloeroppervlak 118 m ² Begane grondoppervlak 52,3 m ² Glasoppervlak 18 m ² Vermogen verwarmingsinstallatie: 6 kWth Vermogen koelinstallatie: 5 kWth				
Setpoint verwarming: afhankelijk van het uur, binnen range 15-21 graden Celsius				
Setpoint koelinstallatie 22 graden Celsius				
	Ehd	2019	2030	2050
Piekkoudevraag	W	5.000	4.873	4.945
Piekruimteverwarmingvraag	W	6.000	6.000	6.000
Piektapwatervraag	W	402	402	402
Koudevraag kWh/m ²	kWh/m ²	20,3	21,2	23,0
Koudevraag	kWh/jr	2.394	2.509	2.714
Ruimteverwarming vraag	kWh/jr	5.067	4.916	4.659
Tapwatervraag	kWh/jr	1.569	1.569	1.569
Koude t.o.v. warmtevraag	als %	16%	17%	19%
Koudevraag	GJ/jr	8,6	9,0	9,8
Ruimteverwarming vraag	GJ/jr	18,2	17,7	16,8
Tapwatervraag	GJ/jr	5,6	5,6	5,6
Vollasturen (eq.) koude	Uren	479	502	543
Vollasturen (eq.) ruimteverwarming	Uren	844	819	777
Vollasturen (eq.) tapwater	Uren	261	261	261
Aantal koeldagen	#	3,3	3,5	4,7
Aantal koelnachten	#	52,2	53,4	56,6
Aantal koeluren 's nachts	#	80	83	112
Aantal koeluren overdag	#	1253	1282	1359
Aantal uren met koudevraag boven 3 kWth	#	168	192	208
Aantal uren met koudevraag boven 4 kWth	#	45	46	57



Figuur D 1 Resultierend uurprofiel voor Variant 2. In blauw: koudevraagprofiel; oranje: Ruimteverwarmingsvraagprofiel; grijs: warmtapwaterprofiel



Figuur D 2 Resultierend uurprofiel voor Variant 3. In blauw: koudevraagprofiel; oranje: Ruimteverwarmingsvraagprofiel; grijs: warmtapwaterprofiel