
**HITTE ALARM VOOR WONINGEN
HOE KUNNEN WE HET HOOFD KOEL HOUDEN?**

Auteurs:

Jozefien Schoofs, Joost Declercq, Fien Serras, Inne Vanderkelen, Nicole P. M. van Lipzig

Contact:

Jozefien Schoofs: jozefien.schoofs@kuleuven.be
Prof. Nicole van Lipzig: nicole.vanlipzig@kuleuven.be
Joost Declercq: jdeclercq@archipelago.be

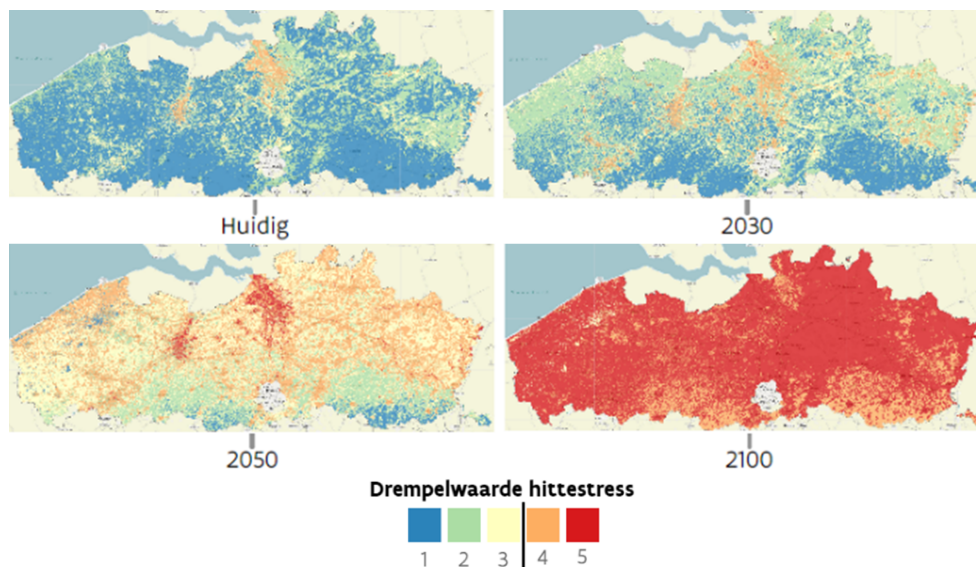
Leuven, 23 december 2025

1 Inleiding

In Europa is hitte de belangrijkste oorzaak van sterfte als gevolg van weersgerelateerde fenomenen. Hoewel hittegolven slechts 5% van alle natuurrampen uitmaken, zijn zij verantwoordelijk voor 89% van het totaal aantal doden veroorzaakt door natuurrampen [Departement Zorg, Vlaamse overheid, 2025]. Een van de meest sprekende gebeurtenissen is de hittegolf van 2003, die leidde tot een fundamentele omslag in het maatschappelijke en beleidsmatige bewustzijn rond hitte. Deze hittegolf, die grote delen van Europa trof, resulteerde in meer dan 70 000 extra sterfgevallen verspreid over zestien Europese landen [Robine et al., 2008]. In België werd een oversterfte van 6.6% geregistreerd [Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2025a].

Naar aanleiding van deze hittegolf werd in België door Sciensano de wekelijkse surveillance van de mortaliteit door alle oorzaken ingevoerd (Be-MOMO), die onder meer sterfte monitort en kwantificeert in samenhang met perioden van extreme hitte [Nganda et al., 2025]. Zo werden in de zomer van 2023 gemiddeld 274 sterfgevallen per dag geregistreerd, met een piek van in totaal 340 sterfgevallen op 13 juni 2023, tijdens de eerste waarschuwingsfase van het hitte- en ozonplan. Over de volledige waarschuwingsperiode (8 tot 21 juni 2023) kwam dit neer op een oversterfte van +5,7% ten opzichte van het verwachte aantal. De zomer van 2022 werd volgens Sciensano gekenmerkt door vier waarschuwingsfasen van het Ozon- en Hitteplan, die elk gepaard gingen met een oversterfte van 12.2 tot 14.4% in België, waarbij het grootste aandeel werd waargenomen bij personen van 85 jaar en ouder. Een studie van Barnes et al. [2025] kwantificeerde in Brussel tijdens de zomer van 2025 een oversterfte van 84 gevallen, waarvan 60% kan worden toegeschreven aan klimaatverandering.

Verscheidene studies tonen aan dat warme extremen en hittestress in België en West-Europa zullen toenemen, onder andere Lorenz et al. [2019] en Wouters et al. [2017]. België en de rest van Europa warmen daarbij dubbel zo snel op als het mondiale gemiddelde door de grotere warmtecapaciteit van land ten opzichte van water [World Meteorological Organization (WMO) and Copernicus Climate Change Service, 2023]. Bovendien nemen de frequentie en intensiteit van extreme temperaturen sneller toe dan de gemiddelde temperatuur [Lorenz et al., 2019]. Het Klimaatportaal van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) kwantificeert deze toename in hittestress aan de hand van de gevoelstemperatuur (Wet Bulb Globe Temperature, WBGT) als indicator, weergegeven in Figuur 1 [Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2025b].



Figuur 1: *Evolutie van locaties in Vlaanderen die uitstijgen boven de drempelwaarden van gevoelstemperatuur (Wet Bulb Globe Temperature, WBGT) met belangrijke gezondheidsimpact (niveau 4 en 5), overeenkomend met respectievelijk een dagminimum- en dagmaximum WBGT overschrijding van 18°C en 29,5°C onder huidig klimaat en bij een hoog-impact klimaatscenario tot 2100. Stedelijke gebieden (bv. rond Antwerpen, Brussel) vertonen al vroeg hogere waarden (2030), terwijl landelijke gebieden later volgen [Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2025b].*

Deze klimaatopwarming vertaalt zich rechtstreeks naar een verhoogd risico op oververhitting in gebouwen. Tegelijk tonen talrijke studies (v.b. Taylor et al., 2023) aan dat doordacht gebouwenontwerp een cruciale rol kan spelen in het beperken van de negatieve impacts van hitte. Ontwerpkeuzes met betrekking tot gebouworientatie, compactheid, thermische massa, isolatie, beglazing, zonwering, ventilatiestrategieën en materiaalgebruik kunnen de binnentemperaturen aanzienlijk beïnvloeden en zo het thermisch comfort verbeteren, zelfs onder warmere klimaatomstandigheden. Studies tonen aan dat oververhitting in woningen aanzienlijk kan worden verminderd door het toepassen van zonwering en natuurlijke ventilatie, bijvoorbeeld zoals uitgevoerd in het Verenigd Koninkrijk door Wright and Venskunas [2022]. Daarnaast stellen de auteurs vast dat vrijstaande woningen gemiddeld minder snel oververhitten dan rijwoningen. Bovendien bestaan er verschillende isolatiemethoden om warmte-uitwisseling te beperken, waaronder het isoleren van spouwmuuren, daken en vloeren [Haytink et al., 2025]. Ondanks deze mogelijkheden bestaat er momenteel een duidelijke nood aan meer robuuste regelgevingsnormen en richtlijnen rond oververhitting in gebouwen. Dit wordt aangehaald in verscheidene studies, waaronder Taylor et al. [2023].

Om een realistisch en robuust beeld van toekomstige klimaatomstandigheden en de implicaties voor gebouwen te verkrijgen, volstaat het niet om uitsluitend een beste schatting te beschouwen. Ook scenario's die het gunstigste en het ongunstigste verloop van de klimaatopwarming voorstellen moeten worden meegenomen. Samen geven deze scenario's een onzekerheidsrange op het toekomstig klimaat. Gebouwen dienen immers niet alleen aangepast te zijn aan het meest waarschijnlijke klimaat, maar moeten ook in staat zijn om de bevolking te beschermen tegen oververhitting onder worst case scenario's.

Voor deze analyse wordt daarom gebruikgemaakt van de EURO-CORDEX-dataset, die een geschikte basis vormt voor het bestuderen van regionale klimaateffecten in België. Dankzij de ruimtelijke resolutie van ongeveer 12,5 km kunnen belangrijke regionale verschillen binnen België worden onderscheiden, zoals tussen de kustzone, de Kempen en de Ardennen. Bovendien omvat EURO-CORDEX een brede waaier aan klimaatprojecties, met ongeveer honderd mogelijke model- en scenariocombinaties die in deze studie worden opgenomen, wat toelaat om de onzekerheid in toekomstige klimaatevoluties expliciet mee te nemen in de analyse. Deze resultaten dragen bij aan het in kaart brengen van de onzekerheidsrange voor België, waarvoor tot op heden nog geen robuuste schatting beschikbaar is voor klimaatindicatoren die relevant zijn voor de bouwsector. De totstandkoming van deze dataset vereist aanzienlijke computationele middelen. Deze klimaatprojecties zijn het resultaat van langdurige numerieke simulaties die gebaseerd zijn op complexe fysische beschrijvingen van atmosferische, land- en oceaanprocessen. Deze simulaties worden uitgevoerd door supercomputers om het werk te verrichten dat op een gewone computer honderden jaren zou duren.

Dit onderzoek, uitgevoerd in opdracht van de sectororganisatie VEROZO, de Belgische Beroepsvereniging Zonwering en Rollluiken, is een uitbreiding van het bestaande onderzoek en tracht de bewustwording te vergroten rond de impact van klimaatverandering, en in het bijzonder de toename van extreme zomerhitte op het Belgische woningbestand onder verschillende niveaus van globale opwarming. Het rapport is geïnspireerd door IGNES [2023], een gelijknamige studie voor Frankrijk. Dit rapport richt zich op de analyse van het Belgische woonbestand onder klimatologische omstandigheden die bevorderlijk zijn voor oververhitting in woningen. Om dit te verkrijgen worden zowel huidige klimaatomstandigheden als die in een 2°C en 3°C warmere wereld onderzocht. Op basis van een bestaand databestand van Belgische woningen kan vervolgens het aantal woningen dat blootgesteld wordt aan deze klimatologische omstandigheden gekwantificeerd worden.

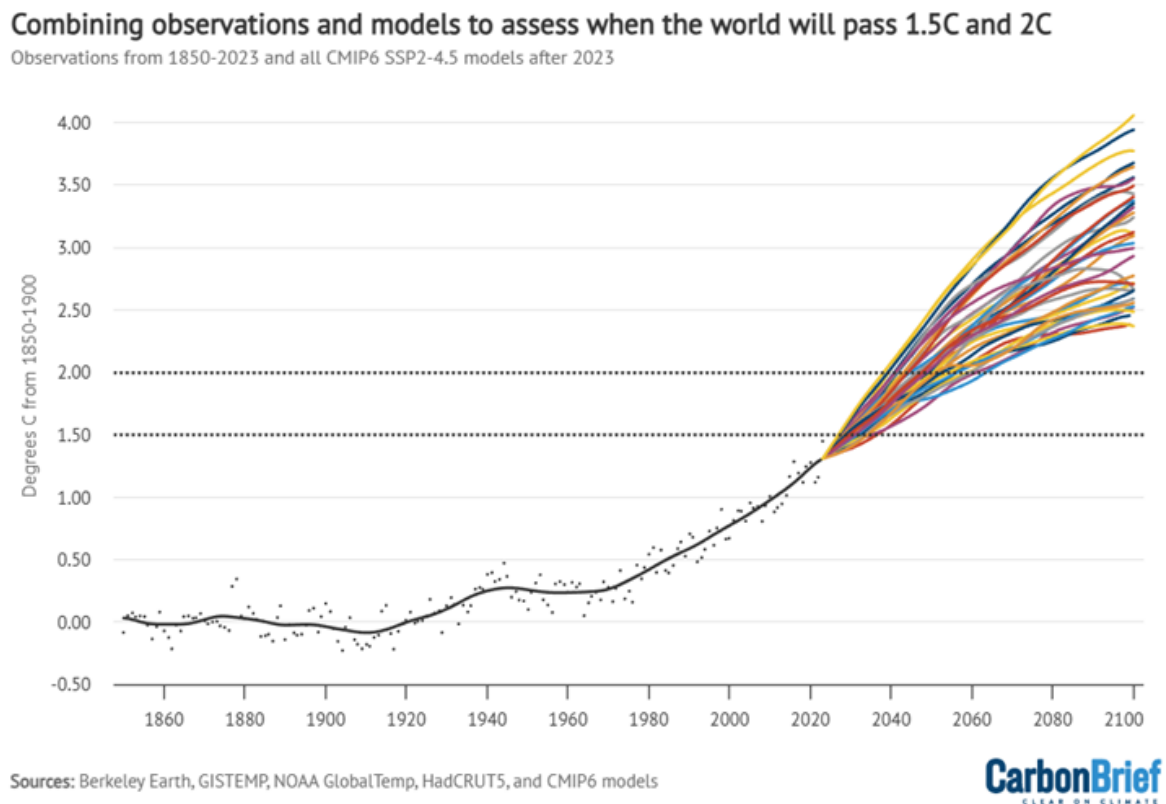
2 Data en methode

2.1 Mondiale opwarmingsniveau en timing

De gemiddelde mondiale temperatuur op aarde heeft sinds de industrialisatie een sterke opwarming doorgemaakt, met name vanaf de jaren 70 en 80 van de vorige eeuw (Figuur 1). Er bestaat echter heel wat variatie van jaar tot jaar, omdat verschillende natuurlijke factoren een rol spelen, zoals vulkanisme en El Niño- en La Niña-gebeurtenissen. Individuele jaren kunnen dus een vertekend beeld geven van de lange-

termijntrend, omdat een enkel uitzonderlijk warm jaar niet representatief is voor het gemiddelde. Daarom werkt men vaak met gemiddelden over langere periodes van 10, 20 of 30 jaar (multidecadaal gemiddelde). Het mondiaal opwarmingsniveau (global warming level) is gedefinieerd als een multidecadaal gemiddelde, typisch over 20 jaar, ten opzichte van de pre-industriële periode 1850–1900.

Op dit moment bevinden we ons op een mondiaal opwarmingsniveau van 1,30 tot 1,37°C, waarbij ook prognoses voor de komende tien jaar zijn meegenomen [Forster et al., 2024]. De beste schatting van het meest nabije historische mondiaal opwarmingsniveau bedraagt 1,19°C, gebaseerd op data over de periode 2014 tot 2023 [Forster et al., 2024]. Dit wordt afgerond tot een mondiaal opwarmingsniveau van 1,2°C, dat in deze studie wordt gebruikt om de recente historische periode aan te duiden. Deze historische situatie wordt vergeleken met toekomstige opwarmingsniveaus van 2°C en 3°C. De voordelen van het werken met mondiale opwarmingsniveaus worden beschreven in Appendix A.



Figuur 2: Mondiale opwarming ten opzichte van de periode 1850-1900, met jaarlijkse wereldwijde gemiddelde oppervlaktetemperaturen van het samengestelde gemiddelde (zwarte stippen) langs de 30-jarige LOWESS-fit (zwarte lijn), gecombineerd met 37 CMIP6-modellen die zijn gladgestreken met dezelfde 30-jarige LOWESS-fit. Modellen en waarnemingen zijn op elkaar afgestemd met de gladgestreken gemiddelde waarden voor 2023. Een LOWESS-fit is een methode om een “gladde lijn” te trekken door een reeks gegevenspunten, zodat je de onderliggende trend beter kunt zien. Zie Cleveland [1979] voor een beschrijving. Grafiek door Carbon Brief. Carbon Brief [2023].

Een formulering in termen van mondiale opwarmingsniveaus alleen volstaat echter niet. Beleidsmakers hebben ook behoefte aan inzicht in het tijdstip waarop deze niveaus worden bereikt, om de benodigde snelheid van aanpassing te kunnen inschatten. Deze timing is onzeker, zowel door onzekerheid over het toekomstige emissiepad als door onzekerheden in de respons van het klimaatsysteem op deze forcering. Daarom richten we ons hier op het bepalen van het vroegste moment waarop een bepaald mondiaal opwarmingsniveau kan worden bereikt. Beramingen voor de vroegste datum waarop het mondiaal opwarmingsniveau van 2°C kan worden bereikt blijkt 2039 te zijn. Onder scenario's met sterke klimaatmaatregelen wordt deze 2°C opwarming niet gehaald, zodat we kunnen concluderen dat een 2°C opwarming mogelijk is vanaf 2039.

Voor een mondiaal opwarmingsniveau van 3°C wordt deze datum ten vroegste geschat op 2063 (Figuur 2). Een uitleg kan gevonden worden in Appendix B.

2.2 EURO-CORDEX klimaatmodellen

Globale klimaatmodellen (GCMs) worden gebruikt om het globale klimaat te simuleren. Deze modellen bieden echter slechts informatie op een resolutie van ca. 100km bij 100km. Omdat deze resolutie te grof is om voor België gedetailleerde klimaatinformatie te leveren, worden regionale klimaatmodellen (RCMs) gebruikt. Voor Europees domein zijn zulke RCMs beschikbaar met een resolutie van ca. 12.5km bij 12.5km, geproduceerd in het kader van EURO-CORDEX, een gecoördineerd downscaling-initiatief [Jacob et al., 2014]. Deze RCMs zijn gebaseerd op de 5e generatie van globale klimaatmodellen, namelijk de Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) modellen. Tabel 9 in Appendix C geeft een volledig overzicht van alle modellen die in het onderzoek zijn opgenomen. De gebruikte data zijn bias-gecorrigeerd volgens de standaardprocedure van ISMIP3 [Lange, 2019]. De biascorrectie werd uitgevoerd op basis van de vroege historische periode (1976–2005). Deze methode wordt momenteel als één van de beste methodes beschouwd voor stakeholdergerichte studies en wordt veelvuldig toegepast in de meeste studies die met EURO-CORDEX werken. Deze bias-gecorrigeerde data werd aangeleverd door Sylvain Marchi (KMI), waarvoor een validatie paper onderweg is.

Op basis van deze dataset werden drie scenario's opgesteld per opwarmingsniveau, met name het best case, het mediane, en het worst case scenario. Deze komen respectievelijk overeen met het 10de, 50e en 90e percentiel van de waarden, berekend over alle modellen en pixelgewijs bepaald. Een scenario kan dus waarden bevatten afkomstig van verschillende modellen

2.3 Klimaatindicatoren

Om de klimatologische omstandigheden te illustreren die kunnen leiden tot ongemak in relatie met oververhitting van blootgestelde gebouwen en mensen, worden vijf klimaatindicatoren gebaseerd op buitenluchttemperaturen bestudeerd, gebaseerd op een gelijkaardige Franse studie [IGNES, 2023]. Dit zijn de volgende:

Indicator 1: Jaarlijks aantal dagen met een overschrijding van de maximum temperatuur van 25°C

De eerste indicator in deze studie evalueert het aantal dagen per jaar waarop de maximale buitentemperatuur hoger is dan 25°C, berekend voor elke individuele pixel afzonderlijk. Deze hete dagen zijn niet noodzakelijk opeenvolgend. Deze drempelwaarde wordt gebruikt voor het monitoren van de Belgische mortaliteit door Sciensano [Nganda et al., 2025].

Indicator 2: Jaarlijks aantal dagen met een overschrijding van de maximum temperatuur van 30°C

Idem aan indicator 1, maar met een drempelwaarde van 30°C. De extreme aard van deze indicator leidt tot relatief lage waarden, waardoor de evolutie ervan vooral bij optimistische scenario's minder bepalend is. Net zoals de drempel van 25°C, wordt ook deze waarde gebruikt voor het monitoren van de Belgische mortaliteit door Sciensano [Nganda et al., 2025].

Indicator 3: Jaarlijks aantal hittegolf dagen

De derde indicator telt het aantal dagen die deel uitmaken van een hittegolf. Deze wordt hier gedefinieerd volgens de definitie van het KMI [Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI), 2025]. Een hittegolf bevat minimum 5 opeenvolgende dagen waarbij de maximumtemperatuur minstens 25°C bereikt, waarvan minstens 3 dagen warmer dan 30°C. Door de nationale hittegolf definitie te gebruiken behouden we relevantie binnen het Belgisch onderzoeksgebied.

Indicator 4: Jaarlijks aantal dagen met een overschrijding van de minimum temperatuur van 18°C

Wanneer de buitentemperatuur 's nachts niet onder de 18°C komt, betreft het een warme nacht. Hierbij wordt gekeken naar de dagelijkse minimumtemperatuur. Deze indicator is nauw verbonden met gezondheidsproblemen. Te hoge nachttemperaturen verstoren de slaap en de recuperatie van de warme dag [Departement Zorg, Vlaamse overheid, 2024]. Deze drempelwaarde wordt eveneens gebruikt voor het monitoren van Belgische mortaliteit door Sciensano [Nganda et al., 2025].

Indicator 5: Jaarlijks aantal dagen met een overschrijding van het voortschrijdend daggemiddelde van 18°C

De voortschrijdend daggemiddelde temperatuur (T_{vdg}) wordt voorgesteld door Europese commissie omtrent het Europees comfortmodel [European Commission, 2025a] en gebruikt in het Belgische GRO [Het Facilitair Bedrijf et al., 2025]. Deze indicator wordt berekend door het gemiddelde te nemen van de huidige dag en de voorgaande zeven dagen, waarbij er meer belang wordt gegeven aan de laatste dagen (Vgl. 1). Hierbij staat T_{gem-i} voor de dagelijks gemiddelde buitenluchttemperatuur voor de i^{de} dag. Bijvoorbeeld, T_{gem-1} is de dagelijkse gemiddelde buitenluchttemperatuur van de vorige dag en T_{gem-2} die van twee dagen geleden. Warme dagen worden hier gedefinieerd als dagen waarop de voortschrijdend daggemiddelde temperatuur hoger is dan 18°C, een drempelwaarde die onder meer wordt gebruikt in Senel and Kruit [2023].

$$T_{vdg} = (T_{gem-1} + 0.8 T_{gem-2} + 0.6 T_{gem-3} + 0.5 T_{gem-4} + 0.4 T_{gem-5} + 0.3 T_{gem-6} + 0.2 T_{gem-7}) / 3.8 \quad (1)$$

3 Statbel inventaris residentiële gebouwen

Om het woonpark van België te karakteriseren, maakt deze studie gebruik van de Statbel-dataset op gemeenteniveau [Statbel (Algemene Directie Statistiek - Statistics Belgium), 2025]. Tabel 1 voorziet een overzicht van het totaal aantal woningen opgenomen in deze studie, bestaande uit huizen en appartementen, en het aantal appartementsgebouwen waarin deze appartementen zich bevinden. De gegevens zijn afkomstig van de Algemene Administratie van de Patrimoniumdocumentatie van de FOD Financiën. Het aantal woningen wordt in deze studie als constant beschouwd in de tijd, gefixeerd op het woonbestand van 2025.

Woontypes	Aantal beschouwde woningen
Huizen	3 615 271
Appartementen	1 703 438
Appartementsgebouwen	252 582
Gemeenten	563

Tabel 1: *Aantal beschouwde woningen in het Statbel op 1 januari 2025 [Statbel (Algemene Directie Statistiek - Statistics Belgium), 2025]. Met name het aantal huizen en appartementen, en het aantal appartementsgebouwen waarin deze appartementen zich bevinden.*

Het combineren van dit woningbestand met klimaatgegevens maken een analyse mogelijk van de segmenten van woningvoorraad die te maken zullen krijgen met aankomende klimaatveranderingen. De keuze van 5 klimaatindicatoren is echter niet voldoende om de blootstelling van woningen te karakteriseren. Hiervoor dient een drempelwaarde gebruikt te worden om het aantal woningen te kwantificeren in een gebied waar het aantal dagen blootstelling aan de indicator deze waarde overschrijdt (Tabel 2). De keuze van elke waarde wordt verder toegelicht in de resultatensectie van de indicator.

Indicator	Drempelwaarde
Tmax > 25°C (dagen per jaar)	40
Tmax > 30°C (dagen per jaar)	10
Hittegolf (dagen per jaar)	10
Tmin > 18°C (dagen per jaar)	10
Tvdg > 18°C (dagen per jaar)	60

Tabel 2: *Drempelwaarde per indicator die wordt gebruikt om het aantal woningen te kwantificeren in gebieden waar het aantal dagen blootstelling deze waarde overschrijdt.*

4 Blootstelling van residentiële gebouwen aan hitte

Het combineren van klimaatgegevens van de EURO-CORDEX dataset voor de vijf indicatoren met de woningbestand van StatBel, maakt het mogelijk om het aantal en het aandeel van blootgestelde woningen per gemeente te verkrijgen voor elk mondiaal opwarmingsscenario. Al deze resultaten, inclusief de evolutie van de indicatoren over de opwarmingsscenario's, worden in dit deel gepresenteerd in de vorm van kaarten en overzichtstabellen.

4.1 Indicator 1: Aantal dagen met maximum dagtemperatuur groter dan 25°C

Figuur 3 toont de ruimtelijke verdeling van hete dagen (Tmax > 25°C) in België voor mondiale opwarmingsniveaus +1,2°C, +2°C, en +3°C. Het binnenland ervaart een hoger aantal hete dagen ten opzichte van kustgebieden. Ook de heuvelachtige gebieden in het zuiden (Ardennen) ervaren minder hete dagen ten opzichte van de vlakke gebieden in het noorden. In de recente periode worden in het noorden van Limburg al plaatsen blootgesteld aan meer dan **40 dagen**.

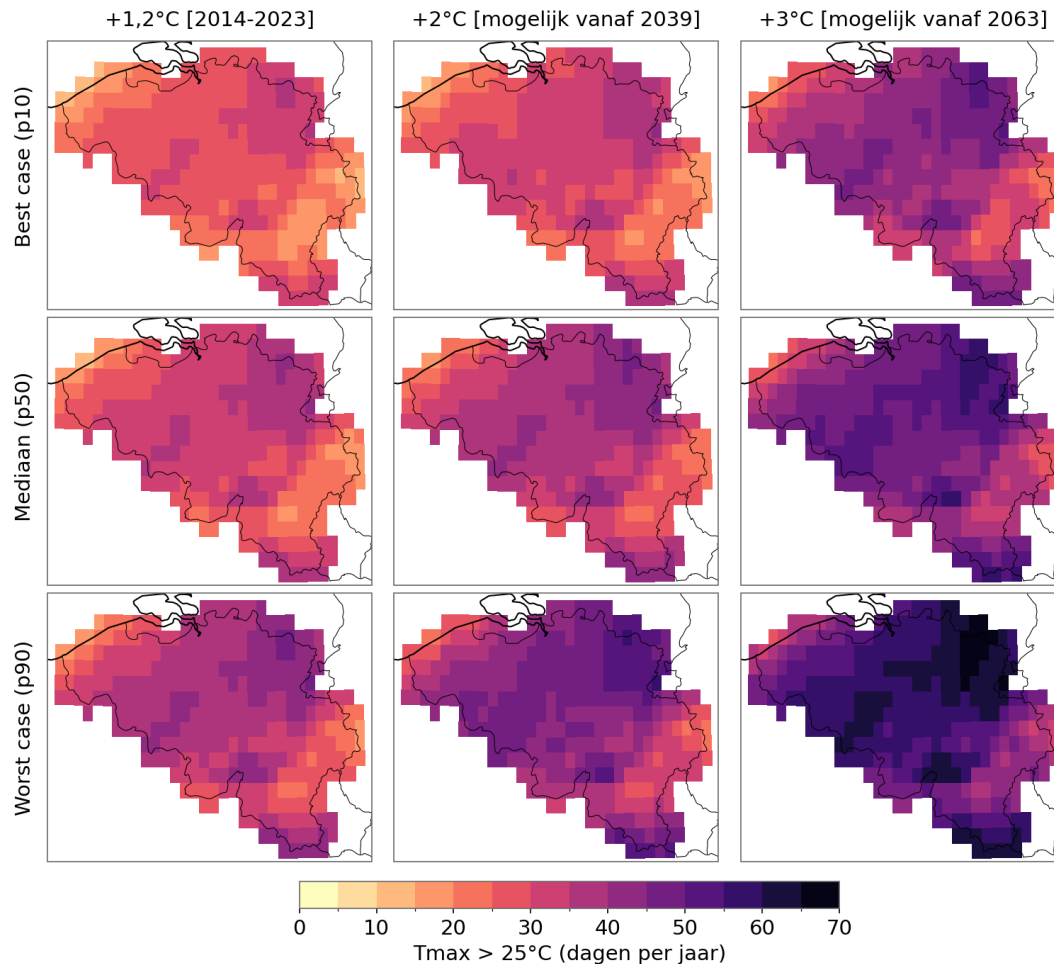
Over de verschillende opwarmingsniveaus heen is in het hele land een duidelijke toename van het aantal hete dagen zichtbaar. De meest uitgesproken veranderingen treden op in regio's die in de +1,2°C warmere wereld reeds hogere aantallen hete dagen kenden. In deze gebieden worden bij een opwarming van +3°C zelfs gemiddeld tot 60 hete dagen per jaar bereikt, wat overeenkomt met twee volledige maanden per jaar. In de studie van IGNES [2023] wordt aangetoond dat dit aantal dagen onder de huidige klimatologische omstandigheden reeds wordt bereikt in grote delen van Zuid-Frankrijk.

De KU Leuven heeft simulaties uitgevoerd op 2,8 km met een stedelijke parametrisatie in het CCLM6 model aangedreven door toekomstige GCM data. Een analyses van deze modeldata toont een gelijkaardig maar fijner gedetailleerd patroon (Appendix F). In deze hogere resolutie komt de Maasvallei duidelijker naar voren als een warmere strook ten opzichte van de omliggende gebieden. Ook de stedelijke zones Brussel, Mechelen en Antwerpen vertonen een meer uitgesproken opwarmingssignaal. Deze details ontbreken in het EURO-CORDEX ensemble en onderstreept daarmee de toegevoegde waarde van de CORDEX.be II-simulaties voor gedetailleerde klimaatanalyses.

Om de evolutie van de blootstelling op hete dagen (>25°C) te kwantificeren, werd besloten om rekening te houden met het aantal woningen dat wordt blootgesteld aan ten minste 40 hete dagen per jaar. Deze drempelwaarde maakt het mogelijk om de blootstelling in gebieden van sterke verandering te identificeren. Deze resultaten worden weergegeven in Tabel 3. In appendix D worden deze herhaald voor het best case en het worst case scenario in Tabel 11. Deze scenario's komen overeen met respectievelijk het 10de en 90e percentiel van de waarden, berekend over alle modellen per gemeente (zie Methoden 2.2).

In de +1,2°C warmere wereld wordt deze drempelwaarde van 40 dagen slechts in één gemeente overschreden. Bij een opwarming tot +2°C neemt het aantal gemeenten waarin deze drempel wordt overschreden snel toe, tot 22% van alle huizen in België, waarbij Limburg volledig deze drempel overschrijdt. In een +3°C warmere wereld wordt deze drempelwaarde vrijwel overal in België overschreden, met uitzondering van de kustgemeenten en de Oostkantons.

Jaarlijks aantal dagen met een overschrijding van de maximum temperatuur van 25°C



Figuur 3: Aantal dagen waarop de maximum buitenluchttemperatuur (T_{max}) 25°C overschrijdt, weergegeven voor drie mondiale opwarmingsniveaus. Elke kolom geeft een opwarmingsniveau weer: +1,2°C als proxy voor de recente historische periode [Forster et al., 2024], en twee toekomstprojecties +2°C en +3°C. Voor de toekomst is aangegeven wanneer dit opwarmingsniveau ten vroegste bereikt kan worden (zie sectie 2.1 voor meer uitleg). De onzekerheid van de klimaatprojecties wordt per pixel weergegeven door de rijen. Dat is, het best case scenario op de eerste rij, het mediaan scenario in de middelste rij, en het worst case scenario in de onderste rij. Deze scenario's komen overeen met respectievelijk het 10de, 50e, en 90e percentiel van de waarden, berekend over alle modellen per pixel (zie Methoden 2.2).

Aantal wooneenheden met minstens 40 dagen met $T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$						
	+1,2°C [2014-2023]		+2°C [vanaf 2039]		+3°C [vanaf 2063]	
Huizen	11 102	0%	796 740	22%	3 382 591	94%
Appartementen	4 158	0%	278 838	16%	1 505 221	88%
Gemeenten	1	0%	114	20%	510	90%

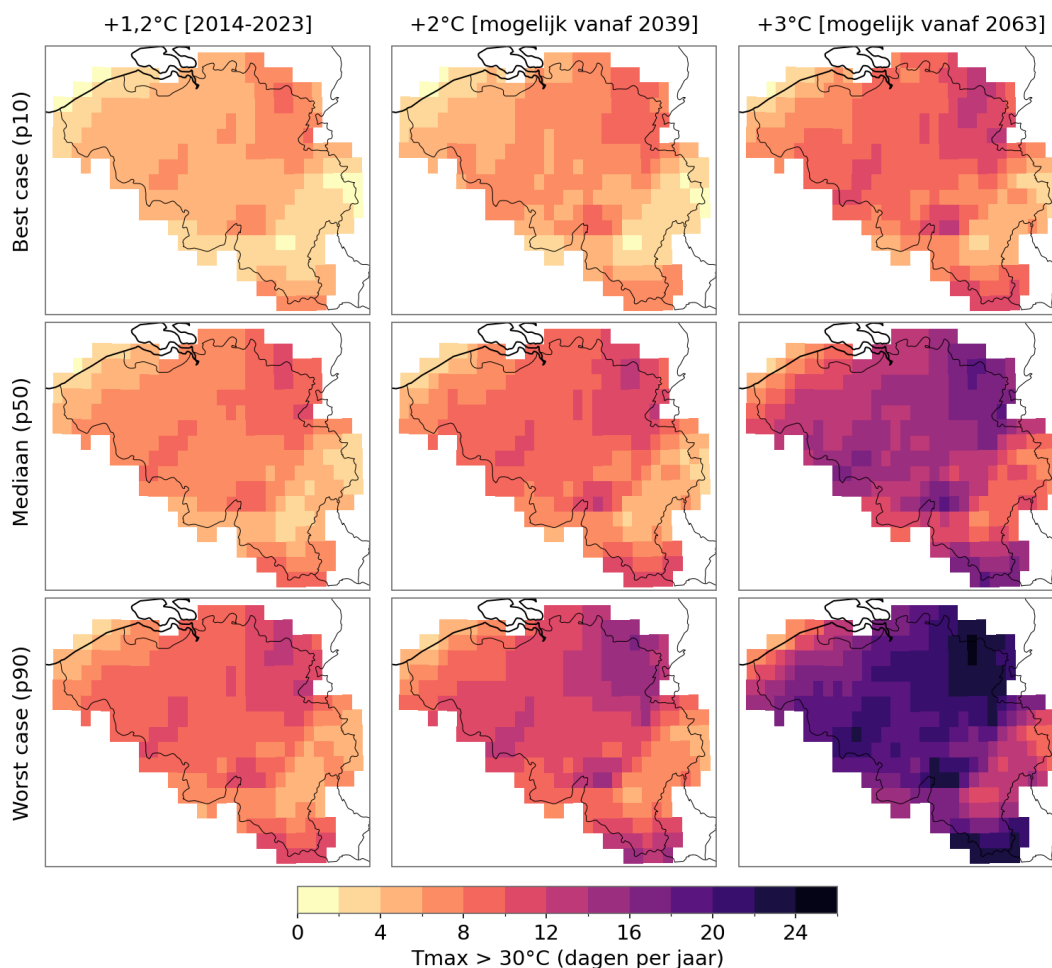
Tabel 3: Het aantal woningen dat wordt blootgesteld aan minimaal 40 dagen met een dagelijkse maximumtemperatuur van 25°C, berekend voor het mediane scenario per mondiaal opwarmingsniveau (+1,2°C, +2°C, en +3°C). De woningen zijn opgesplitst naar woontype. Het weergegeven percentage betreft het aandeel ten opzichte van het totale woningaanbod van dat type in België.

4.2 Indicator 2: Aantal dagen met maximum buitenluchttemperatuur groter dan 30°C

De ruimtelijke verdeling van extreem hete dagen ($T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$) in België voor mondiale opwarmingsniveaus $+1,2^{\circ}\text{C}$, $+2^{\circ}\text{C}$, en $+3^{\circ}\text{C}$ wordt getoond in Figuur 4. Ook hier ervaart het binnenland een hoger aantal extreem hete dagen ten opzichte van kustgebieden, net als waargenomen bij de hete dagen. Ook de heuvelachtige gebieden in het zuiden (Ardennen) ervaren minder extreem hete dagen ten opzichte van de vlakke gebieden in het noorden.

De analyse met de 2,8 km-resolutiegegevens van het CCLM6 model (Appendix F) vertoont dezelfde verfijning en toename in detail als eerder waargenomen bij Indicator 1.

Jaarlijks aantal dagen met een overschrijding van de maximum temperatuur van 30°C



Figuur 4: Hetzelfde als voor Figuur 3, maar nu voor het aantal dagen waarop de maximum buitenluchttemperatuur (T_{max}) 30°C overschrijdt.

Het aantal extreem hete dagen per jaar bereikt in het geval van een $+3^{\circ}\text{C}$ mondiaal opwarmingsniveau en het worst case scenario maximaal 24 dagen. Om de evolutie van de blootstelling van woningen te kwantificeren, wordt daarom een **drempelwaarde van 10 dagen per jaar** gehanteerd. Tabel 4 geeft deze resultaten weer. In appendix D worden deze herhaald voor best case scenario (10de percentiel) en het worst case scenario (90e percentiel) in Tabel 12.

Al bij een opwarming van $+1,2^{\circ}\text{C}$ worden enkele gemeenten blootgesteld aan dit aantal extreem hete da-

gen, met name in het noorden van Limburg. Naarmate de opwarming vordert, neemt de oppervlakte in Limburg toe en worden ook andere binnenlandse gemeenten in België getroffen. In een +3°C warmere wereld overschrijdt maar liefst 94% van de huizen en 89% van de appartementen deze drempelwaarde. Opnieuw de kustgemeenten en Oostkantons worden nog gespaard van deze extreem hete dagen. Onder dergelijke buitentemperaturomstandigheden kan een onvoldoende aangepaste behuizing leiden tot ongezonde leefomstandigheden, in het bijzonder voor de meest kwetsbare bevolkingsgroepen.

Aantal wooneenheden met minstens 10 dagen met Tmax > 30°C						
	+1,2°C [2014-2023]		+2°C [vanaf 2039]		+3°C [vanaf 2063]	
Huizen	87 165	2%	621 881	17%	3 393 837	94%
Appartementen	23 634	1%	202 508	12%	1 507 157	89%
Gemeenten	10	2%	90	16%	517	92%

Tabel 4: *Hetzelfde als voor Tabel 3, maar nu voor het aantal woningen dat wordt blootgesteld aan minimaal 10 dagen waarop de maximum buitenluchttemperatuur (Tmax) 30°C overschrijdt voor het mediane scenario.*

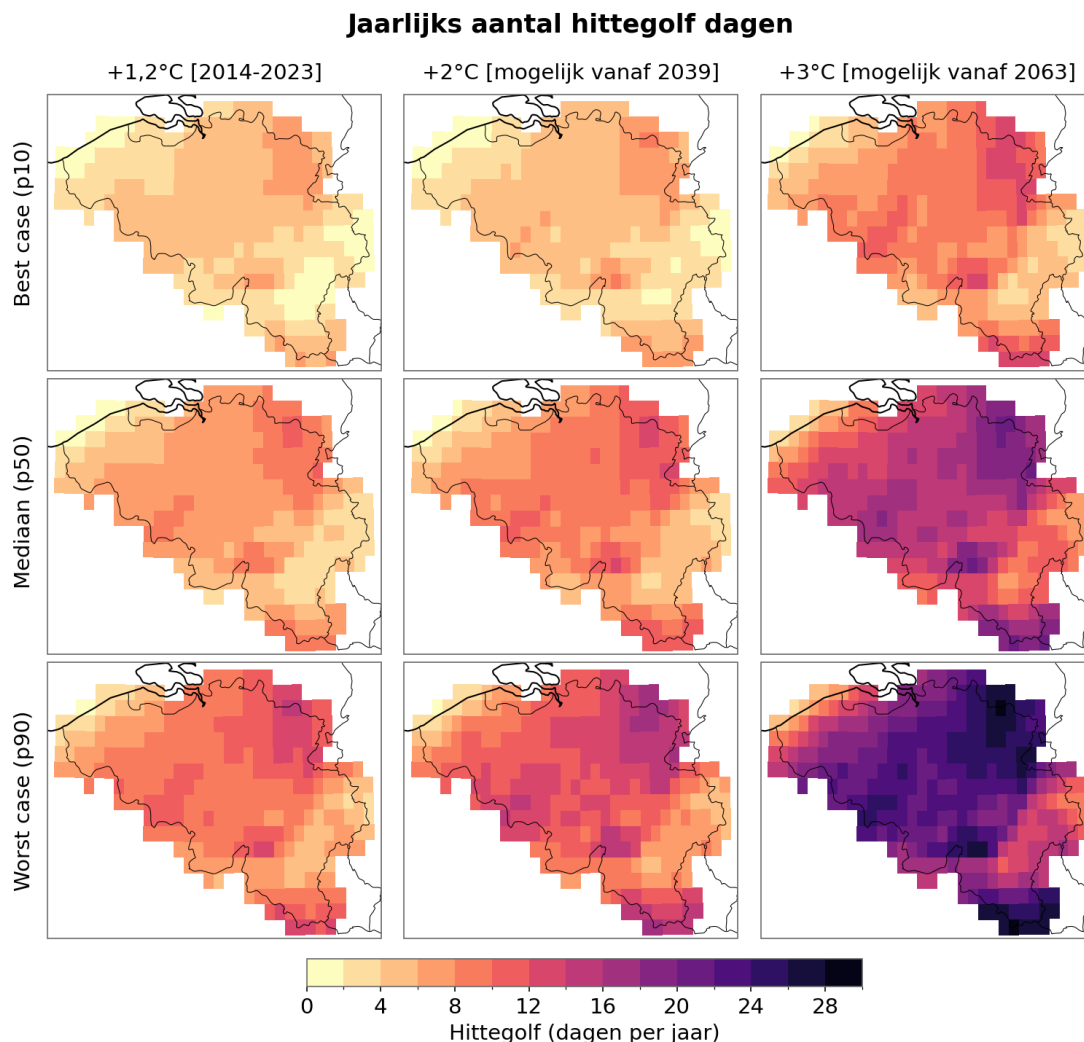
4.3 Indicator 3: Aantal hittegolf dagen

De evolutie van het jaarlijks aantal hittegolf dagen vormt een uitbreiding op de analyse van (extreem) hete dagen, aangezien een hittegolf wordt gedefinieerd als een aaneengesloten reeks van dergelijke dagen (Fig. 5 en Tabel 5). Het grootste aantal hittegolf dagen vinden we opnieuw in het noorden van Limburg en breidt zich, met de toenemende mondiale opwarming, geleidelijk uit naar andere delen van het land, beginnend bij het binnenland.

Wanneer de drempelwaarde wordt gezet op **10 hittegolf dagen per jaar**, worden in het huidige klimaat al enkele gemeenten getroffen. Dit komt overeen met condities die in het huidige klimaat worden waargenomen in het binnenland van Frankrijk [IGNES, 2023]. Naarmate het mondiale opwarmingsniveau stijgt, neemt het aantal getroffen gemeenten verder toe, gaande van 1% van de gemeenten bij 1.2°C naar 14% bij 2°C tot bijna alle gemeenten (92%) bij 3°C. Bij dit laatste opwarmingsniveau worden de kustgemeenten en de Oostkantons nog (net) niet blootgesteld aan deze condities.

Aantal wooneenheden met minstens 10 hittegolfdagen						
	+1,2°C [2014-2023]		+2°C [vanaf 2039]		+3°C [vanaf 2063]	
Huizen	44 631	1%	544 845	15%	3 384 104	94%
Appartementen	13 102	1%	158 479	9%	1 503 611	88%
Gemeenten	6	1%	80	14%	517	92%

Tabel 5: *Hetzelfde als voor Tabel 3, maar nu voor het aantal woningen dat wordt blootgesteld aan minimaal 10 hittegolfdagen voor het mediane scenario.*

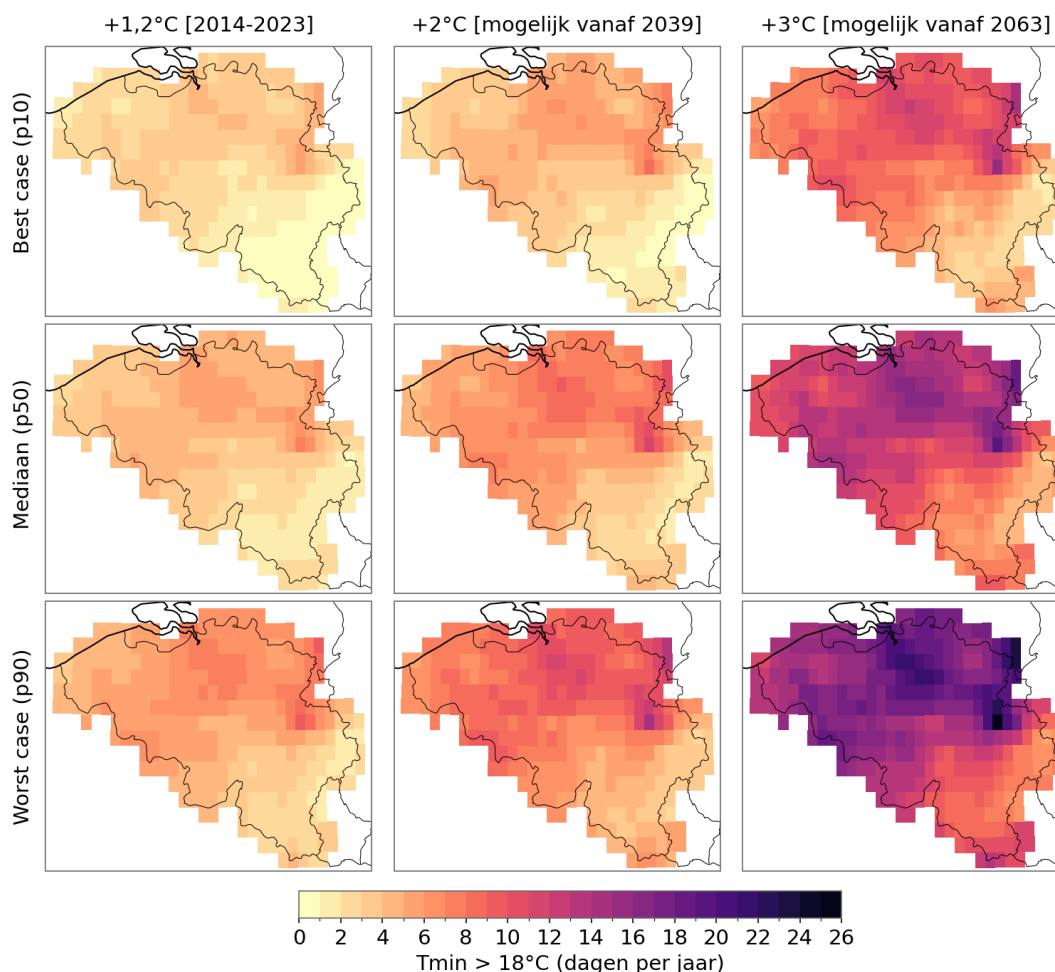


Figuur 5: *Hetzelfde als voor Figuur 3, maar nu voor het aantal hittegolf dagen. Hittegolven worden gedefinieerd als minimum vijf opeenvolgende dagen waarbij 25°C wordt overschreden, waarvan minstens drie dagen boven 30°C liggen.*

4.4 Indicator 4: Aantal dagen met minimum buitenluchttemperatuur groter dan 18°C

Momenteel doen warme nachten ($T_{min} > 18^{\circ}\text{C}$) zich voornamelijk voor in de regio's Noord-Vlaams-Brabant, West-Antwerpen en Oost- en Zuid-Limburg (Fig. 6 en Tabel 6). Naarmate het mondiale opwarmingsniveau stijgt, breidt het aantal warme nachten zich vooral uit in Vlaanderen, terwijl de toename in het zuiden van België minder sterk is. Wat betreft warme nachten blijken de kustgemeenten gevoeliger dan de Ardennen. Deze bereiken daardoor eerder de drempelwaarde van **10 warme nachten per jaar**.

Jaarlijks aantal dagen met een overschrijding van de minimum temperatuur van 18°C



Figuur 6: Hetzelfde als voor Figuur 3, maar nu voor het aantal dagen waarop de minimum buitentemperatuur over 24 uur (T_{min}) 18°C overschrijdt.

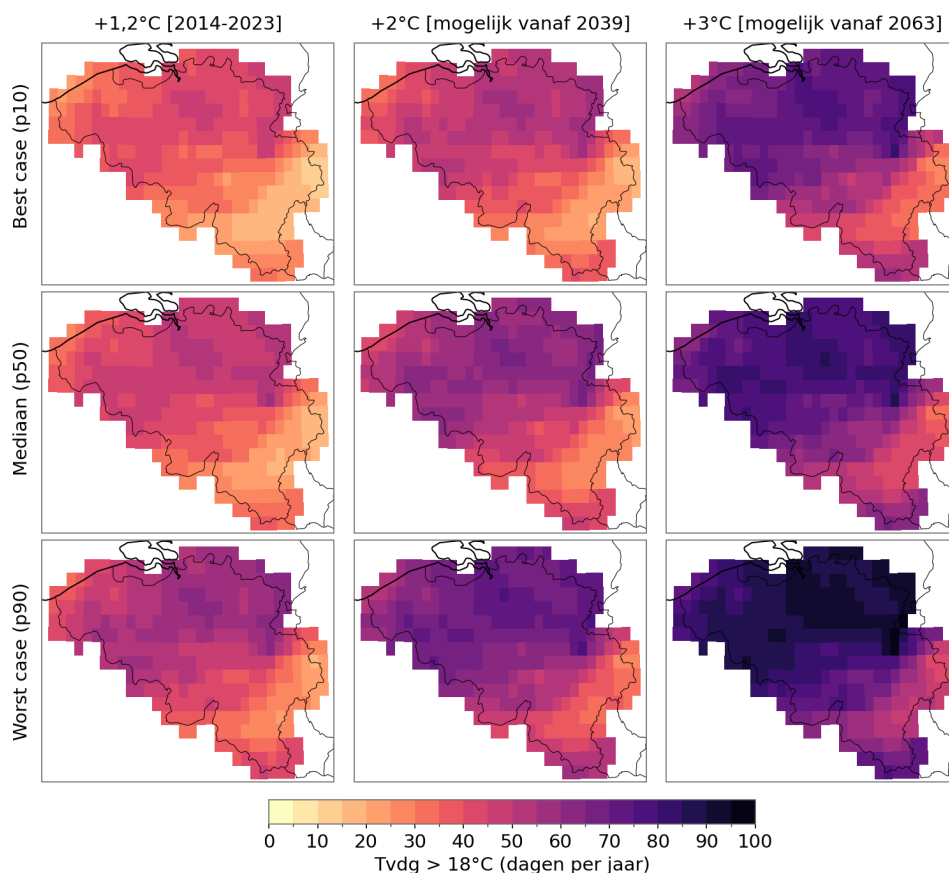
Aantal wooneenheden met minstens 10 dagen met $T_{min} > 18^{\circ}\text{C}$					
	+1,2°C [2014-2023]		+2°C [vanaf 2039]		+3°C [vanaf 2063]
Huizen	0	0%	46 227	1%	3 316 631 92%
Appartementen	0	0%	10 806	1%	1 603 481 92%
Gemeenten	0	0%	6	1%	464 82%

Tabel 6: Hetzelfde als voor Tabel 3, maar nu voor het aantal woningen dat wordt blootgesteld aan minimaal 10 dagen waarop de minimum buitenluchttemperatuur over 24 uur (T_{min}) 18°C overschrijdt voor het mediane scenario.

4.5 Indicator 5: Aantal dagen met voortschrijdend gemiddelde buitenlucht-dagtemperatuur groter dan 18°C

Vlaanderen kent momenteel het hoogste aantal dagen met een voortschrijdend daggemiddelde boven 18°C. Naarmate het mondiale opwarmingsniveau stijgt, neemt het aantal dagen dat aan deze condities wordt blootgesteld toe over heel België (Fig. 7 en Tabel 7). Wanneer de drempelwaarde wordt gezet op **60 dagen per jaar**, worden bij +2°C reeds de helft van de woningen en appartementen getroffen. Bij +3°C loopt dit op tot maar liefst 94% van de huizen en 98% van de appartementen hieraan blootgesteld, wat overeenkomt

Jaarlijks aantal dagen met een overschrijding van het voortschrijdend daggemiddelde van 18°C



Figuur 7: Hetzelfde als voor Figuur 3, maar nu voor het aantal dagen waarop het voortschrijdend daggemiddelde (T_{vdg}) 18°C overschrijdt. T_{vdg} wordt berekend over de afgelopen zeven dagen inclusief de huidige dag, waarbij de laatste dagen zwaarder meewegen volgens de formule: $T_{vdg} = (T_{gem-1} + 0.8 \cdot T_{gem-2} + 0.6 \cdot T_{gem-3} + 0.5 \cdot T_{gem-4} + 0.4 \cdot T_{gem-5} + 0.3 \cdot T_{gem-6} + 0.2 \cdot T_{gem-7}) / 3.8$, waarbij T_{gem} het daggemiddelde is. Indicator die door GRO [Het Facilitair Bedrijf et al., 2025] wordt gebruikt.

met minimaal twee maanden boven 18°C én meer dan 3 miljoen huizen en ruim 1,5 miljoen appartementen.

Aantal wooneenheden met minstens 60 dagen met Tvdg > 18°C						
	+1,2°C [2014-2023]		+2°C [vanaf 2039]		+3°C [vanaf 2063]	
Huizen	0	0%	1 551 122	43%	3 395 978	94%
Appartementen	0	0%	987 413	58%	1 664 917	98%
Gemeenten	0	0%	209	37%	485	86%

Tabel 7: Hetzelfde als voor Tabel 3, maar nu voor het aantal woningen dat wordt blootgesteld aan minimaal 60 dagen waarop het voortschrijdende gemiddelde buitenlucht-dagtemperatuur (T_{vdg}) 18°C overschrijdt voor het mediane scenario. T_{vdg} wordt berekend over de afgelopen zeven dagen inclusief de huidige dag, waarbij de laatste dagen zwaarder meewegen volgens de formule: $T_{vdg} = (T_{gem-1} + 0.8 \cdot T_{gem-2} + 0.6 \cdot T_{gem-3} + 0.5 \cdot T_{gem-4} + 0.4 \cdot T_{gem-5} + 0.3 \cdot T_{gem-6} + 0.2 \cdot T_{gem-7}) / 3.8$, waarbij T_{gem} het daggemiddelde is. Indicator die door GRO [Het Facilitair Bedrijf et al., 2025] wordt gebruikt.

5 Discussie

5.1 Klimaatgegevens

Een belangrijk voordeel van het gebruik van de EURO-CORDEX-dataset in deze studie is de relatief hoge ruimtelijke resolutie in vergelijking met globale klimaatmodellen, in combinatie met een grote ensemble-omvang van meer dan honderd model- en scenariocombinaties. Deze combinatie laat toe om regionale verschillen binnen België te analyseren en tegelijkertijd de onzekerheid in toekomstige klimaatevoluties expliciet mee te nemen.

Echter, de resolutie van de modellen (12,5 km) blijft te grof om lokale effecten zoals het stedelijk hitte-eiland expliciet te modelleren. Hierdoor kan de hittestress in sterk verstedelijkte gebieden worden onderschat. Een belangrijke volgende stap bestaat erin om gebruik te maken van regionale klimaatprojecties met een hogere resolutie, zoals die ontwikkeld worden binnen het CORDEX.BE II-project (2,8 km) [RMI et al., 2025]. Dit project is de opvolger van CORDEX.BE I [Termonia et al., 2018] en is de basis voor de nieuwe Belgische klimaatscenario's. We verwachten dat deze data in de loop van 2026 beschikbaar komen. De huidige analyse met een verbeterde representatie van stedelijke klimaateffecten kan dan herhaald worden.

Een bijkomende bron van onzekerheid in deze studie heeft betrekking op de toegepaste biascorrectie. Conform gangbare methodes in de literatuur werd de biascorrectie uitgevoerd op een historische referentieperiode. In deze studie werd dit uitgevoerd op de periode van 1976 tot 2005. Echter, dit is al een lange tijd geleden, aangezien het centrale jaar hiervan al 35 jaar in het verleden ligt en het mondiale opwarmingsniveau tijdens deze periode veel lager was dan vandaag, namelijk 0,57 °C [Carbon Brief, 2023]. Het is logischer om de toekomst te vergelijken met een meer recente historische periode, namelijk 2014 tot 2023. Aangezien de biascorrectie is uitgevoerd voor de periode 1976 tot 2005, bouwen de modellen over de periode van 25 jaar tot aan de meer recente historische periode (2014-2023) enkele lichte afwijkingen op. Wanneer de biascorrectie wordt uitgevoerd voor deze meer recente periode, dan verbetert de vergelijking van de toekomst ten opzichte van deze historische periode. Het wordt daarom aanbevolen om de tijdshorizon van de biascorrectie te verschuiven.

In dit rapport werd de IPCC definitie voor globale opwarmingsniveaus gehanteerd. In deze definitie werd niet gecorrigeerd voor de verschillen in de historische timing waarmee individuele klimaatmodellen deze opwarmingsniveaus bereiken. Daarom kan het opwarmingsniveau van 1,2°C, 2°C en 3°C onrealistisch vroeg of onrealistisch laat vallen. Het blijkt dat deze timing er soms wel 12 jaar naast zit voor de historische periode. Dit brengt een extra onzekerheid met zich mee die gereduceerd kan worden door te corrigeren voor de timing van het mondiale opwarmingsniveau.

Om naar het effect hiervan te kijken, werden in deze studies verschillende subsecties van de 112 modellen getest die een betere overeenkomst hadden met de timing van het mondiale opwarmingsniveau in de historische periode. De resultaten bleken echter vrij gelijkaardig voor deze subsets van modellen. Daarom hebben we hier geopteerd om het volledige modelensemble te gebruiken, wat de robuustheid van de conclusies ten goede komt.

In de toekomst adviseren we wel om te corrigeren voor de timing van het globale opwarmingsniveau, zoals ook door de Carbon Brief [2023] werd gedaan en zoals we ook plannen binnen het CORDEX.BE II-project. De latere periode en de biascorrectie van het mondiale opwarmingsniveau zullen lichte verbeteringen brengen, maar zoals de eerder aangehaalde gevoeligheidsstudie al aantoonde, blijven de grote lijnen van dit rapport behouden.

Daarnaast dient te worden opgemerkt dat deze realisaties van EURO-CORDEX gebaseerd zijn op de vijfde generatie globale klimaatmodellen (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5). In recentere generaties regionale klimaatmodellen zijn belangrijke verbeteringen doorgevoerd, zoals een explicietere representatie van tijdsafhankelijke aerosolen. In de toekomst kan deze studie hervat worden met de nieuwe EURO-CORDEX data aangedreven met CMIP6 en met CORDEX-BE modellen wanneer deze data beschikbaar komen, in de loop van 2026.

Tot slot sluit dit onderzoek inhoudelijk aan bij eerder werk, zoals het MIRA klimaatrapport in opdracht

van de Vlaamse Milieumaatschappij [Brouwers et al., 2015], waarin de impact van hittestress werd gekwantificeerd op basis van het aantal burgers dat hierdoor wordt beïnvloed. De huidige studie vormt een uitbreiding op het Klimaatportaal van de VMM [Vlaamse Milieumaatschappij (VMM), 2025b], met een focus op gebouwen en het in kaart brengen van onzekerheden, weliswaar met grovere resolutie. Echter, gezien de gebouwd data toch enkel beschikbaar zijn op het niveau van gemeentes, sluit de resolutie hiervan (12,5 bij 12,5 km) wel goed aan bij de resolutie van de gebouwd data. De toegevoegde waarde van de hogere resolutie-simulaties op 2,8 km van CORDEX.be II zal dus nog beter tot zijn recht komen als gebouwd data ook op een hogere resolutie beschikbaar gemaakt zouden worden. Dit vormt dan ook de laatste aanbeveling van onze studie.

5.2 Indicatoren voor klimaatverandering relateren aan hun impact op het zomercomfort van woningen, afhankelijk van de gebouwkenmerken

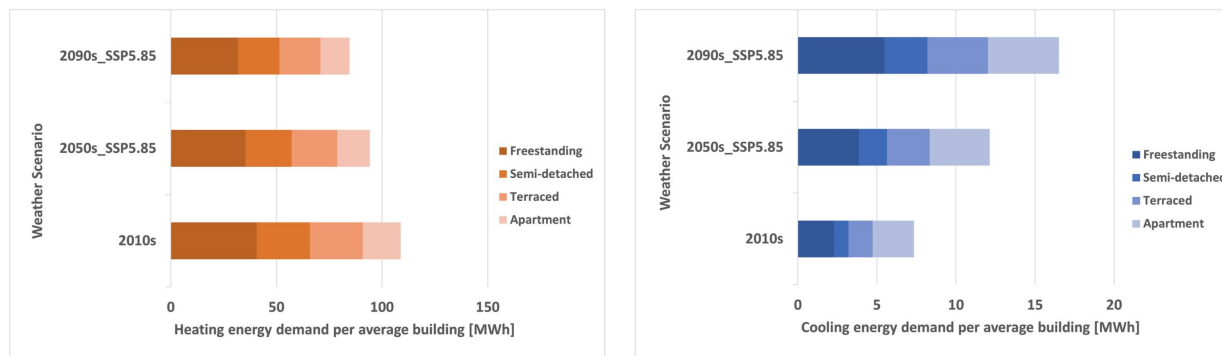
Voorgaande indicatoren geven aan dat de hittebelasting op het woningbestand in de toekomst significant zal toenemen. In het bijzonder de indicator: het *voortschrijdend daggemiddelde (Tvdg)* is rechtstreeks te correleren met de manier waarop in de praktijk de koellast van gebouwen wordt geëvalueerd. Het voortschrijdend daggemiddelde is de basis van het adaptief comfort model [European Committee for Standardization, 2019] en is in die zin een indicatie voor de aanvaardbare binnentemperaturen bij een bepaald buitenklimaat.

In de literatuur zijn geen studies geïdentificeerd die meer in detail aangeven welk type gebouwen, met welke gebouwkenmerken, meer kwetsbaar zullen zijn voor oververhitting onder toekomstige weersomstandigheden. Er zijn enkele studies die een stap in die richting doen. Ramon et al. [2020] hebben op basis van berekening van de *Cooling Degree Days (CDD)* de wijziging van koellast voor gebouwen in kaart gebracht. Hiervoor is uitgegaan van het RCP8,5 scenario voor de periode 2070-2098, op basis van het EURO-CORDEX model. Daaruit blijkt dat, onder huidig klimaat (Recent Past) het aantal CDD in nagenoeg heel Vlaanderen onder 200 CDD blijft. Onder het Future scenario (2070-2098) wordt geraamd te stijgen tot gemiddeld 421 CDD (+138%).

Van den Brande et al. [2022] hebben nagegaan in welke mate veranderend klimaat een impact heeft op de resultaten van een EPB-score volgens de Vlaamse EPB-methode. Daarbij vertrekken ze van de vaststelling dat de huidige EPB-methodiek uitgaat van weerdata van de periode 1958 tot en met 1975 en daardoor gebaseerd is op voorbijgestreefde aannames. Eveneens wordt aangehaald dat de EPB-methodiek niet ontworpen en niet geschikt is om gedetailleerd zomercomfort in gebouwen te evalueren, aangezien de methodiek gebaseerd is op een maandelijkse quasi-steady-state berekeningsmethodiek. De studie waarschuwt voor het feit dat de huidige methodiek de impact op de energievraag van de thermische renovatie of het streven naar passief/energie neutraal standaarden overschat, aangezien ze geen rekening houdt met het wijzigend klimaat en zodoende de focus nagenoeg volledig op de warmtevraag ligt. In Vlaanderen zal, naar verwachting, onder het wijzigend klimaat, de focus van de energievraag van gebouwen verschuiven van enkel warmtevraag, naar ook een koelvraag, zeker indien het architecturaal ontwerp onvoldoende passieve maatregelen heeft geïncorporeerd. Het nastreven van de huidige EPB-eisen kan daardoor paradoxaal leiden tot een hogere energievraag, aangezien beduidend meer gebouwen gevoelig zullen worden voor oververhitting. De studie refereert hier expliciet naar compacte gebouwen en gebouwen met een zeer hoge isolatiegraad.

Elnagar et al. [2023] hebben een methodiek uitgewerkt om onder toekomstige weerdata een schatting op te maken van de warmte- en koelenergievraag van het Belgische gebouwenbestand in 2050 en 2100, op basis van het MAR-klimaatmodel en dit voor verschillende klimaatveranderingsscenario's. Dit gebouwenbestand is opgesplitst in een aantal basistypologieën, met een statistische representatie van hun aandeel in het volledige gebouwenbestand (Figuur 8).

Morales et al. [2025] bespreken in hun meta-studie uitvoerig de uitdagingen om een studie op buildingstock-niveau op te zetten, die alle effecten van de klimaatverandering op het gebouwenbestand adequaat in kaart brengt. Heel wat drempels zijn nog te overwinnen, in het bijzonder om de diverse aspecten en effecten van het Urban Heat Island (UHI) effect adequaat op te nemen in de modellen. Deze studie stelt dat, vooraleer



Figuur 8: *Indicatie van de verwachte gemiddelde afname van de warmtevraag en gemiddelde toename van de koelvraag van woningen in België, per typologie onder een SSP5.85 klimaatscenario en dit voor 2010, 2050 en 2090. Elnagar et al. [2023].*

we een holistische en gedetailleerd inzicht kunnen hebben over de impact van het toekomstig klimaat op het gebouwenbestand, er nog een reeks methodologische verfijningen nodig zijn.

Bij gebrek aan een gedetailleerde kwantitatieve studie kan op basis van de vastgestelde veranderende weerparameters en de meest impactvolle ingrepen, zoals besproken onder sectie 5.3, een kwalitatieve oplijsting gemaakt worden van de belangrijkste impact van het veranderend klimaat, gelieerd aan enkele basis bouwkenmerken.

Impact: Meer extreme zomertemperaturen

Gevoelige bouwtypologieën:

- goed geïsoleerde, luchtdichte woningen zullen meer warmte-accumuleren. Zeker indien ze niet voorzien zijn van adequate zonwering en ventilatieve koeling.
- woningen met gebrekkige luchtdichtheid en lage isolatiegraad zullen 's nachts eenvoudiger warmte verliezen, maar zullen overdag sneller opwarmen door infiltratie van warme lucht en door hittedoorslag door daken en gevels.
- woningen met een beperkte thermische massa, en typisch zolderruimtes, zullen gevoeliger zijn aan hittepieken, aangezien temperatuurschommelingen maar zeer beperkt gedempt worden.
- woningen met hoge thermische massa zullen de temperatuurspieken overdag dempen, maar leiden tot hogere nachttemperaturen door de faseverschuiving. Om dit te mitigeren kan nachtelijke ventilatieve koeling toegepast worden (zie 2.1).

Impact: Langere en meer intensieve hittegolven

Gevoelige bouwtypologieën:

- woningen met beperkt volume, beperkte thermische massa, grote blootstelling aan zonnestraling en beperkte mogelijkheid tot natuurlijke ventilatie, zoals bovenste appartementen bij gebouwen met slecht geïsoleerde daken, enkelzijdige appartementen met hoge beglazingsratio zullen gevoelig zijn aan langdurige hittegolven.
- woningen met mogelijkheid tot intensieve natuurlijke ventilatieve koeling, thermische massa en bestudeerde zonwering zullen meer resiliënt zijn tegen hittegolven (zie 2.1).

Impact: Hogere nachttemperaturen

Gevoelige bouwtypologieën:

- woningen met hoge thermische massa, maar met geen/beperkte mogelijkheid tot natuurlijke ventilatieve koeling zullen door de faseverschuiving 's nachts hogere binnentemperaturen hebben.

- woningen in de nabijheid van zone met hoge graad aan luchtpollutie of hoge geluidsbelasting zullen beperkt worden in de mogelijkheid om de ramen te openen en dus zeer beperkt ventilatief kunnen koelen.
- woningen met enkel mechanische ventilatie en geen mogelijkheid tot openen van ramen/gevelopeningen. Mechanische ventilatie kan onvoldoende luchtwissels creëren om het binnenklimaat 's nachts voldoende te laten afkoelen.

Impact: Zonnebelasting

Hoewel de evolutie van de zonnestraling één van de moeilijkste parameters is om in te schatten, zullen overvloedige zonnewinsten onder toekomstig klimaat meer en meer problematisch zijn. Opgemerkt dient te worden dat in de zomer de zonneload op de oost- en westgevels groter is dan de zonneload op de zuidgevel. Alle oriëntaties van gevels tussen noordoost en noordwest, over zuid, zijn dus gevoelig voor oververhitting.

Gevoelige gebouwtypologieën:

- woningen met grote, onbeschaduwde raamvlakken.
- (geautomatiseerde) zonwering is te verkiezen boven zonwerende beglazing, aangezien deze laatste ten koste gaat van daglichttoetreding, daglichtkwaliteit (gezondheidsaspecten) en passieve zonnewinsten tijdens de winter verhindert.)

Impact: Stedelijke hitte-eiland effect

Morales et al. [2025] wijzen terecht op de complexiteit van het fenomeen van het hitte-eiland effect en op het feit dat een stedelijke hitte-eiland niet uniform is. Lokale parameters zoals windspoeling van de straten, mate van verharding, reflectie van materialen, mate van blootstelling aan zonnestraling op steenachtige materialen (verharding, gevels, ...), aanwezigheid van groen (beschaduwing, evaporatieve koeling, ...), ... hebben alle een grote invloed op het microklimaat, die groter kan zijn dan het eigenlijk hitte-eiland effect.

Gevoelige gebouwtypologieën:

- binnenstedelijke woningen met grote blootstelling aan zonnestraling, in een minerale omgeving en in zones met beperkte doorspoeling van wind zullen het zwaarst belast worden.

5.3 Meest impactvolle passieve strategieën om het zomercomfort onder toekomstige klimaatomstandigheden te beheersen

Aan de hand van een literatuurstudie zijn de meest impactvolle strategieën, van toepassing op Belgische woningen, in kaart gebracht. De Guidance Documents bij de recente Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) Recast 2024/1275 vermelden expliciet dat passieve koelingsstrategieën moeten worden toegepast en voorrang dienen te krijgen op actieve koelsystemen [European Commission, 2025b]. Deze beleidskeuze wordt ondersteund door de wetenschappelijke literatuur. De belangrijkste argumenten voor deze keuze zijn betaalbaarheid, robuustheid, het vermijden van piekbelastingen op het elektriciteitsnet, het beperken van toenemende operationele en embodied carbon, en het voorkomen van bijkomende opwarming van de buitenomgeving door restwarmte die door actieve koelsystemen wordt uitgestoten [EU Directorate-General for Energy, 2025, Jin et al., 2020, Levinson et al., 2023, Morales et al., 2025, Tremeac et al., 2012].

Wetenschappelijke studies die de invloed van gebouwkenmerken correleren aan de robuustheid tegen oververhitting onder toekomstige klimaatcondities in België zijn momenteel nog beperkt. Dit hangt deels samen met het feit dat toekomstige weerdata pas recent beschikbaar zijn en dus slechts sinds kort kunnen worden ingezet voor dynamische thermische gebouwsimulaties. Deze simulaties maken het mogelijk om aan de hand van scenario-analyses de meest impactvolle gebouwkenmerken te identificeren. Bovendien focussen slechts een beperkt aantal studies expliciet op residentiële gebouwen.

Op internationaal niveau liep van 2018 t.e.m. 2023 het IEA EBS Annex 80: Resilient Cooling of Buildings

onderzoeksproject [Institute of Building Research & Innovation et al., 2024], waaraan meerdere Belgische onderzoeksinstituten deelnamen. In het kader van dit onderzoeksproject zijn bestanden met toekomstige weerdata opgesteld, op basis van de EURO-CORDEX klimaatmodellen [Machard et al., 2024, Ramon et al., 2020]. Binnen enkele van de onderzoekstrajecten in het kader van Annex 80 werd de relatie gelegd tussen risico op oververhitting en gebouwkenmerken. Sengupta [2024] onderzocht binnen dit project de thermische resiliëntie van residentiële en niet-residentiële gebouwen in België onder toekomstige hittegolf scenario's.

Daarnaast werden in het kader van het VLAIO ICON onderzoeksproject ReCOVer++: Improving Resilience of buildings to overheating (2023-2024) [KU Leuven, 2024] verschillende gebouwtypologieën geanalyseerd op hun resiliëntie tegen oververhitting in een Belgische context. In het kader van dit project hebben Declercq et al. een 'lesson learnt' opgesteld met identificatie van de belangrijkste gebouwkenmerken voor een kantoorgebouw [Declercq and Holvoet, 2025]. [Sengupta et al., 2023] voerden een vergelijkbare analyse uit voor een appartementsgebouw. Eerder had [Machard et al., 2021] reeds een inventarisatie uitgevoerd voor de Franse context. Aan het einde van het Annex 80-project werden boven Policy Recommendations geformuleerd [Levinson et al., 2023]. Binnen Annex 80 werd eveneens de REHVA Guideline – Resilient Cooling of Building opgesteld [Sengupta et al., 2024], waarin ook de impact van verschillende gebouwkenmerken op het zomercomfort wordt besproken.

Daarnaast zijn nog enkele relevante Belgische studies verschenen. Ramon and Allacker [2023] analyseerden via parametrische studies de impact van verschillende gebouwkenmerken op zowel de embodied als de operationele milieu-impact van gebouwen onder toekomstige klimaatcondities. Morales et al. [2025] brachten via een meta-literatuurstudie de uitdagingen in kaart om oververhittingsrisico's op stedelijk bouwvlakniveau te kunnen evalueren.

In Nederland werd in de voorbereiding van de herziening van de energieprestatie voor gebouwen regelgeving de studie Ontwikkeling van koudevraag voor woningen [W/E adviseurs, 2018] opgesteld. Deze heeft geleid tot de invoering van de Temperatuuroverschrijding juli (TOjuli) indicator in de Nederlandse regelgeving, die het oververhittingsrisico kwantificeert. Binnen dit rapport worden onder meer studies aangehaald die de effecten van klimaatverandering op een bestaande rijwoning in Nederland en een appartement in Zweden hebben onderzocht.

Gezamenlijk identificeren deze studies de volgende ontwerp- en bouwkundige maatregelen als de meest impactvolle om het risico op oververhitting onder een toekomstig klimaat op passieve wijze te reduceren. Deze maatregelen situeren zich zowel op site- als op gebouwniveau.

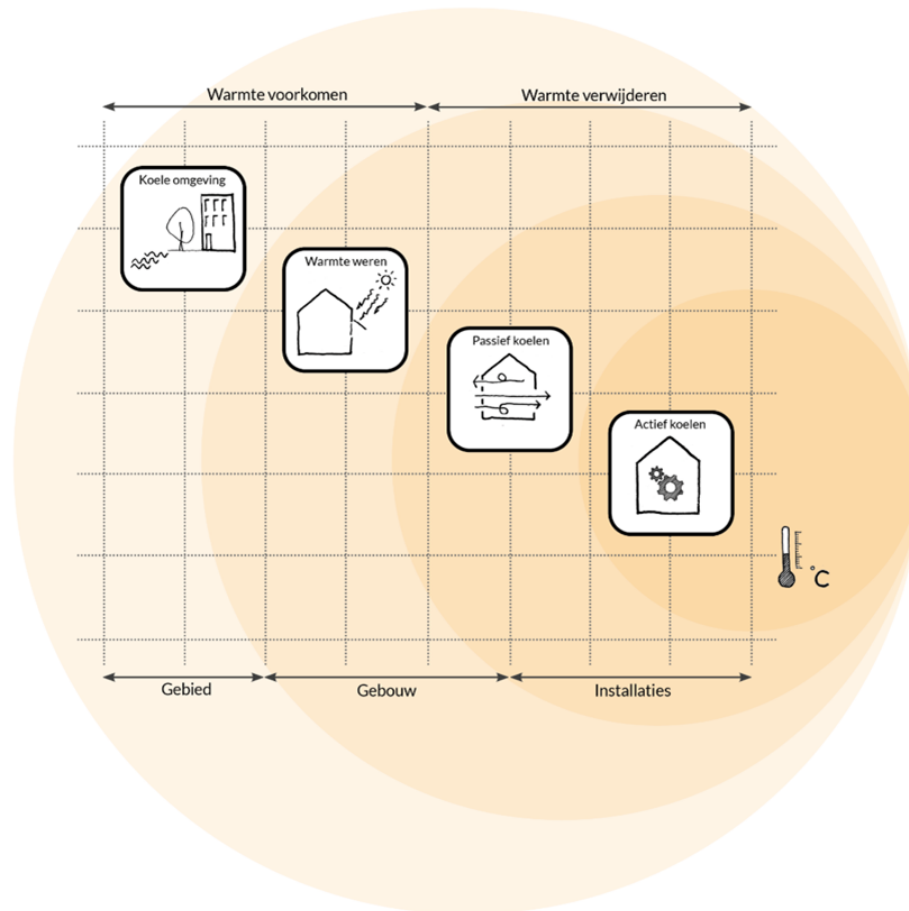
De ladder voor koeling

Om de juiste prioriteiten met betrekking tot koelstrategieën duidelijk te kaderen heeft het Nederlandse Overleg Standaarden Klimaatadaptatie 'De Ladder voor Koeling' opgesteld [Overleg Standaarden Klimaatadaptatie, 2020] (Figuur 9). In onderstaande zullen we deze categorieën gebruiken om de relevante studies te kaderen.

A. Koele omgeving

De directe omgeving heeft een belangrijke impact op de hittelast op de gebouwen. Dit betreft zowel lokale elementen zoals water en groen, die door evapotranspiratie koeling geven, als bomen die een belangrijke schaduwwerking genereren. Ook de buurt heeft een grote impact. Veel bebouwing en verharding kunnen leiden tot het creëren van een stedelijke hitte-eiland effect. De vorm, oriëntatie en breedte/hoogte verhouding van straten hebben een belangrijke invloed op de windspoeling en de schaduwwerking. Een klimaatrobuuste omgeving begint dus bij het stedenbouwkundig plan. Het Klimaatportaal van de Vlaamse Milieu Maatschappij biedt hier waardevolle handvaten en tools [Vlaamse Milieu Maatschappij (VMM), 2025b].

Morales et al. [2025] duidt op het belang van het microklimaat rond het gebouw en de grote impact ervan op het binnenklimaat. In het kader van de impact van het stedelijke hitte-eiland effect haalt de studie aan dat deze niet mag verwaarloosd worden, maar ook deze moeilijker te modelleren is dan algemeen wordt aangenomen. Dit omdat het UHI niet homogeen is binnen de stedelijke omgeving en door heel veel lokale



Figuur 9: *Ladder voor Koeling. Overleg Standaarden Klimaatadaptatie [2020]*

factoren wordt beïnvloed, zoals mogelijkheden tot windspoeling van straten, reflectie en absorptie van naburige verhardingen en gebouwen, ... De impact van deze laatste genoemde factoren kan groter zijn, zowel in de positieve als negatieve kant, dan het eigenlijke hitte-eiland effect. Daarom legt Morales et al. [2025] in dubbele focus: enerzijds dienen werkbare methodes ontwikkeld te worden waardoor deze invloeden kunnen meegenomen worden in simulaties van binnenklimaat, anderzijds dient er bij het ontwerp van stedelijke omgevingen prioritair aandacht besteed te worden aan het actief ontwerpen van deze parameters, gezien hun grote impact op het lokale microklimaat en dus op het binnencomfort.

B. Warmte weren: het beperken van de ongewenste warmtelasten in de binnenomgeving en voor de gebruikers

Het architecturaal ontwerp en bouwtechnische voorzieningen kunnen helpen om intrede van hitte te voorkomen of toch belangrijk te limiteren. Hierbij dient in het Belgisch klimaat gezocht te worden naar oplossingen die toelaten om in de winter voldoende passieve zonnewinsten binnen te laten, maar in de zomer, en ook, in de context van de klimaatsverandering, ook meer en meer in het tussenseizoen deze zonnewinsten te blokkeren.

Studies Machard et al. [2021], Ramon and Allacker [2023], W/E adviseurs [2018] wijzen op de impact van de hoofd-oriëntatie van het gebouw, waarbij de lange gevels georiënteerd op noord en zuid leiden tot een lager risico op oververhitting en lagere energiekost om het binnencomfort te realiseren. Tijdens de zomermaanden is de zonnelast op de zuidgevel namelijk lager dan die op de oost- en westgevels, omwille van de stand van de zon. Daarnaast is de zoninstraling gemakkelijker te blokkeren op een zuidgevel door

het voorzien van een luifel boven de raampartijen.

Daarnaast identificeren meerdere studies Declercq and Holvoet [2025], Machard et al. [2021], Morales et al. [2025], Ramon and Allacker [2023], Sengupta et al. [2023], Sengupta [2024] de beglazingsratio van de gevels, in combinatie met de g-waarde van de beglazing als een belangrijke invloedsfactor. Een evenwicht dient gezocht te worden tussen passieve zonnwinsten in de winter, daglichttoetreding en vermijden van oververhitting in de zomer. Het kiezen van een goede beglazingsratio, afgestemd op de oriëntatie van de gevel en de blootstelling aan de zon is de goedkoopste en meest effectieve maatregel om oververhittingsrisico's onder huidig en toekomstig klimaat significant te reduceren. De inzet van zonwerend glas kan enigszins helpen om het oververhittingsrisico te beheersen, maar kan een negatieve impact hebben op de daglichttoetreding en op de kleurechtheid van het daglicht [Het Facilitair Bedrijf et al., 2025]. Alle geraadpleegde studies Declercq and Holvoet [2025], Egerlid et al. [2025], Elnagar et al. [2024], Levinson et al. [2023], Machard et al. [2021], Morales et al. [2025], Ramon and Allacker [2023], Sengupta et al. [2023], Sengupta [2024], Van Hooff et al. [2016], W/E adviseurs [2018] vermelden vaste en dynamische zonweringen als één van de meest impactvolle strategieën om het zomercomfort onder controle te houden. Het grootste deel (40-80%) van de opwarming door de zon van een ruimte komt via de ramen [Levinson et al., 2023]. Deze maatregel is dan ook prioritair en een noodzakelijke voorwaarde om de andere strategieën voldoende impact te laten hebben. In een aantal landen zijn hiervoor al wettelijke verplichtingen. Levinson et al. [2023] verwijst naar de Zwitserse regelgeving waarbij de zonwering functie is van de beglazingsratio. Op zuidgerichte gevels dient de g(tot)-waarde (zonwering + glas) $\leq 0,15$ te bedragen bij een WWR (Window-To-Wall Ratio) tot maximum 45%. Daarboven dient de g-waarde stapsgewijs af te nemen tot 0,08 voor een WWR 100% (24). Zonwering kan meerdere vormen aannemen, zoals vaste bouwkundige elementen zoals overstekken, luifels, vaste verticale of horizontale lamellen, ... Ook omgevingselementen zoals naburige gebouwen, bomen, ... kunnen bijdragen aan de zonweringsstrategie. Dynamische zonweringen zijn beschikbaar onder veel vormen en bieden de mogelijkheid om de mate aan zontoetreding dynamisch te regelen in functie van het seizoen en het oververhittingsrisico. Dynamische zonweringen bestaan onder de vorm van mobiele lamellen, doekzonwering in en uit het vlak van het raam. Dynamische zonwering is te verkiezen boven zonwerend glas.

C. Passief koelen: verwijderen of tijdelijk stockeren van ongewenste warmte binnen het gebouw

Studies Declercq and Holvoet [2025], Machard et al. [2021], Morales et al. [2025], Sengupta et al. [2023], W/E adviseurs [2018] identificeren een hoge thermische massa als een belangrijke parameter om op een passieve manier het zomercomfort onder controle te krijgen. De impact van deze maatregel wordt nog versterkt door, en ideaal gecombineerd met, ventilatieve koelstrategieën (zie verder). De thermische massa, die meestal bestaat uit zware elementen uit de gebouwstructuur, werkt als een soort 'thermische spons' die tijdelijk overtollige warmte opslaat en ze terug loslaat, wanneer het mogelijk is. Dit ontladen gebeurt meestal door het spoelen van het gebouw met koelere nachtlucht onder de vorm van natuurlijke ventilatieve nachtkoeling. Cruciaal is dat de thermische massa effectief beschikbaar is, wat betekent dat zij niet mag worden ingekapseld. Indien thermische massa niet wordt gecombineerd met ventilatieve koeling, dan is de impact eerder gering, zoals vastgesteld in Ramon and Allacker [2023].

Natuurlijke ventilatieve (nacht)koeling wordt doorheen heel Europa geïdentificeerd als een maatregel die een grote bijdrage heeft tot het reduceren van het risico op oververhitting, zowel onder huidig als toekomstige klimaatcondities Amaripadath et al. [2023], Declercq and Holvoet [2025], Egerlid et al. [2025], Elnagar et al. [2022], Machard et al. [2021], Morales et al. [2025], Sengupta et al. [2023], Sengupta [2024], SIA [2014], Van Hooff et al. [2016], W/E adviseurs [2018]. Zoals bovenstaand aangegeven werkt deze strategie pas optimaal als deze wordt gecombineerd met thermische massa. Ook dienen de luchtdebieten voldoende groot te zijn om voldoende warmte te kunnen afvoeren. Een typisch minimum aantal luchtwissels bedraagt 3 à 5 luchtwissels per uur voor residentiële gebouwen en 5 à 7 luchtwissels voor niet-residentiële gebouwen. Deze debieten zijn energetisch moeilijk efficiënt te realiseren via mechanische ventilatie [Morales et al., 2025]. Natuurlijke ventilatie is hier de aangewezen strategie. DIN 4108-2 DIN [2013] geeft aan dit binnen een residentiële context een matige nachtventilatie van 2 luchtwissels per uur kan gerealiseerd worden door het voorzien van opengaande ramen of andere geveldelen. Intensieve nachtventilatie (5 luchtwissels per

uur) kan binnen een residentiële context gerealiseerd worden door opengaande ramen in tegenovergestelde gevels. GRO versie 2025 criterium CRD3 Koelte [Het Facilitair Bedrijf et al., 2025] geeft als indicatie dat er bij eenzijdige ventilatie de effectieve gevelopening minimum 5% van de vloeroppervlakte dient te bedragen. Bij tweezijde ventilatie of toepassing van het schoorsteeneffect, bvb door een trappenhuis, 3% van de vloeroppervlakte volstaat.

D. Verhogen van het persoonlijk comfort met andere maatregelen dan ruimtekoeling

Naast deze gebouweigenschappen kunnen luchtsnelheid en relatieve luchtvochtigheid het thermisch comfort beïnvloeden. De impact van luchtsnelheid is significant. Zo kan het verhogen van de luchtsnelheid van 0,1m/s naar 0,7m/s de gevoelstemperatuur met 4 à 5°C verlagen. Dit kan bijvoorbeeld gerealiseerd worden met plafondventilatoren. Deze vormen één van de meest kostenefficiënte en low-carbon strategieën om het zomercomfort significant te verbeteren [Raftery et al., 2023]. Relatieve luchtvochtigheid heeft onder een luchttemperatuur van 26°C slechts een zeer beperkte invloed op het thermisch comfort. Een kleine verhoging van de luchtsnelheid met 0,3 à 0,5m/s kan ruimschoots deze effecten compenseren [Tartarini et al., 2020]. Het verlagen van de luchtvochtigheid om het zomercomfort te verbeteren is noch in het huidige, noch in het toekomstige Belgische klimaat een prioritaire maatregel. Voorrang dient gegeven te worden aan voorgaande maatregelen.

Maatregelenpakketten

Bovenstaande maatregelen versterken elkaar en zijn zelden individueel onvoldoende om goed zomercomfort te geven. Daarom worden deze bij voorkeur gecombineerd toegepast. In deze context kunnen er indicatief enkele maatregelenpakketten voor residentiële gebouwen opgesteld worden, met een oplopende impact op de controle van het zomercomfort onder toekomstige klimaatomstandigheden.

Pakket A – Future-proof ondergrens

- Buitenzonwering
- Geoptimaliseerd beglazingspercentage en -oriëntatie
- Beperkte natuurlijke ventilatieve koeling door het voorzien van opengaande ramen/geveldelen (minimum 2 luchtwissels per uur)

Pakket B – Goed passief hitteproof ontwerp

- Dynamische buitenzonwering
- Geoptimaliseerd beglazingspercentage en -oriëntatie
- Doordachte natuurlijke ventilatieve koeling door het mogelijk maken van dwarsventilatie en/of gebruik te maken van thermische trek (schouweffect) (minimum 5 luchtwissels per uur)
- Zwaar gebouw met beschikbare thermische massa

Pakket C – Klimaat-resiliënt, zeer grote onafhankelijkheid van mechanische koeling

- Dynamische buitenzonwering.
- Geoptimaliseerd beglazingspercentage en -oriëntatie.
- Intensieve natuurlijke ventilatieve koeling, eventueel ondersteund door schouweffect (meer dan 7 luchtwissels per uur).
- Zwaar gebouw met beschikbare thermische massa.
- Mogelijkheid door lokaal verhoogde luchtsnelheden, bv. door middel van plafondventilatoren.

Uit bovenstaande blijkt dat het ontwerp van een gebouw, resiliënt tegen oververhitting, vroeg in het ontwerpproces begint, aangezien heel wat bouwkundige aspecten al vroeg in het ontwerpproces worden vastgelegd.

Toegepast op enkele typisch Belgische woningtypologieën zou dit kunnen betekenen (Tabel 8):

	Warmte weren door	Passief koelen door	Persoonlijk comfort door
Rijwoningen	• Buitenzonwering, minimaal op de achtergevel en dakramen in leefruimtes (indien zuid/west) • Beschaduwing via uitstekende balkons, verticale screens, zonnetenten, rolluiken, ... • Beperkte beglazing ofwel beheerste beglazingspercentage van de zolderverdieping en te voorzien van zonwering	• Inzet van het trappenhuis als thermische schouw (schouweffect) • Opendaande (dak)ramen op het hoogste niveau • Inbraakveilige opengaan- gaande gevel- delen op de laagste niveaus • Blootgestelde thermische massa	• Plafondventilatoren in de slaapkamers
Koppelwoningen	• Buitenzonwering, minimaal op de zuid- en westgevel en dakramen in leefruimtes • Beperking van de beglazing van de zolderverdieping • Beschaduwing van de zuid- en westgevels vanuit de omgevingsaanleg (bomen, ...)	• Inzetten op intensieve dwarsventilatie doorheen de woning • Eventueel introductie van (lokaal) dubbelhoge ruimtes ifv schouweffect • Inbraakveilige opengaan- gaande gevel- delen op de laagste niveaus • Blootgestelde thermische massa	• Plafondventilatoren in de slaapkamers
Vrijstaande woningen	• Aangepaste buitenzonwering op alle blootgestelde gevels en dakramen in leefruimtes • Beheersing van het beglazingspercentage. Te beperken tot gemiddelde beglazingsratio 40% (window-to-wall ratio). • Beschaduwing van de zuid- en westgevels vanuit de omgevingsaanleg (bomen, ...)	• Inzetten op intensieve dwarsventilatie doorheen de woning • Eventueel introductie van (lokaal) dubbelhoge ruimtes en/of dakkoepels ifv schouweffect • Inbraakveilige opengaan- gaande gevel- delen op de laagste niveaus • Blootgestelde thermische massa	• Plafondventilatoren in de slaapkamers
Appartementen (pré 2000) (zware constructie, beschikbare thermische massa, beperkte beglazingsratio)	• Aangepaste buitenzonwering op alle blootgestelde gevels	• Inzetten op (eenzijdige) natuurlijke ventilatie of dwarsventilatie indien mogelijk • Blootgestelde thermische massa	• Plafondventilatoren in de slaapkamers
Appartementen (post 2000) (beperkte thermische massa, hoge isolatiegraad, hoge beglazingsratio)	• Aangepaste dynamische buitenzonwering op alle blootgestelde gevels, bij voorkeur geautomatiseerd	• Inzetten op (eenzijdige) natuurlijke ventilatie of dwarsventilatie indien mogelijk	• Plafondventilatoren in de slaapkamers en leefruimtes

Tabel 8: Maatregelen per woningtype: warmte weren, passief koelen en persoonlijk comfort.

Aanvullende bemerkingen

In aanvulling op bovenstaande passieve maatregelen vestigt Morales et al. [2025] de aandacht op het te hanteren comfortmodel om de impact van klimaatopwarming op het thermische comfort te evalueren. Aangezien het menselijk lichaam zich in belangrijke mate kan aanpassen aan wijzigende temperaturen, zeker indien deze aanpassing geleidelijk gebeurt, is het adaptief comfortmodel, zoals beschreven in NBN EN 16798-1, het te verkiezen klimaatmodel. Dit model wordt ook gebruikt in de Nederlandse, Franse (RE 2020) en Duitse regelgeving (DIN 4108-2). Hieromtrent is uitvoerige literatuur aanwezig. Dit valt echter buiten de scope van dit onderzoek. Daarnaast wijst Overleg Standaarden Klimaatadaptatie [2020] op het belang van de rol van gebruiker. Er dient goed rekening gehouden worden met de behoeften van de gebruiker. Deze dient over voldoende controle te beschikken over de systemen. Langs de andere zijde dienen de systemen ‘fool-proof’ te zijn en transparant naar gebruik en impact op het comfort. Voorlichting en opleiding zijn belangrijk. Alleen dan zullen de voorzieningen afdoende gebruikt worden. Hier ligt een grote uitdaging voor de ontwerper en de uitvoerder.

6 Conclusie

De analyse van de blootstellingsgegevens die verkregen zijn door middel van het combineren van EURO-CORDEX klimaatdata en Statbel huisvestingsdata toont de toename van het aantal dagen met hitte, gedefinieerd via vijf verschillende indicatoren. Het aantal dagen met hitte is het grootste in het noorden van Limburg zowel nu als in de toekomst. Echter, zelfs de regio's die momenteel zeer zelden onderhevig aan hitte, zoals de kustgemeenten en de Ardennen, zullen steeds meer hieraan worden blootgesteld. Houd er echter rekening mee dat de regionale verschillen in een klein land als België veel kleiner zijn dan in Frankrijk of Duitsland, of in landen met uitgestrekte berggebieden zoals Zwitserland.

Deze studie toont aan dat hitteoverlast in woningen niet geleidelijk, maar steeds sneller toeneemt naarmate de aarde opwarmt. Elke graad extra mondiale opwarming treft een disproportioneel groter aantal wooneenheden dan de vorige, wat leidt tot een drastische toename van het aantal woningen dat langdurig aan hoge temperaturen blootstaat. Momenteel is er nauwelijks sprake van blootstelling van wooneenheden aan maximum buitenluchttemperaturen hoger dan 25°C gedurende meer dan 40 dagen per jaar. Als we echter naar een 2°C warmere wereld gaan, dan stijgt dit aantal naar pakweg 1/5 van de wooneenheden. Bij 3°C is dit zelfs 9 van de 10 woningen. Bovendien verwachten we in een 3°C warmere wereld dat meer dan 9 van de 10 wooneenheden blootgesteld zijn aan minstens 10 dagen per jaar met een maximum buitenluchttemperatuur van maar liefst 30°C, en aan minstens 10 nachten per jaar waarbij de minimum buitenluchttemperatuur hoger is dan 18°C.

Wanneer het voortschrijdend gemiddelde van de buitenlucht-dagtemperatuur de grens van 18°C overschrijdt, vindt er een verschuiving plaats van het stookseizoen naar het koelseizoen. In een 1,2°C warmere wereld wordt de drempelwaarde van 18°C in België gemiddeld 39 dagen overschreden, waarbij voor nagenoeg geen enkele wooneenheid de aangenomen grens van meer dan 60 dagen wordt overschreden. Bij een opwarming van 2°C stijgt dit echter naar ongeveer de helft van alle wooneenheden. In een scenario van 3°C opwarming wordt de drempelwaarde zelfs bij 19 op de 20 wooneenheden overschreden. Dat is een enorme verschuiving die zeer relevant is voor het comfort in gebouwen. Het aantal woningen dat onderhevig is aan periodes met langdurige hoge buitentemperaturen neemt dus snel toe bij hogere opwarmingsniveaus.

De klimaatverandering zal de hittebelasting en het risico op oververhitting van woningen in Vlaanderen sterk doen toenemen, met een duidelijke verschuiving van een dominante warmtevraag naar een groeiende koelvraag. Bestaande evaluatiemethodes, zoals de huidige EPB-methodiek, blijken onvoldoende geschikt om het toekomstige zomercomfort correct te beoordelen en leiden tot een onderschatting van oververhittingsrisico's. Vooral goed geïsoleerde en compacte woningen zonder doeltreffende zonwering of ventilatieve koeling, evenals woningen met beperkte thermische massa of ventilatiemogelijkheden, zijn kwetsbaar. Tegelijk tonen studies aan dat gebouwkenmerken zoals thermische massa, natuurlijke ventilatie en door-dachte zonwering cruciaal zijn om de impact van hittegolven en hogere nachttemperaturen te beperken. Ten slotte versterkt het stedelijk hitte-eiland effect deze problematiek verder, waardoor een geïntegreerde aanpak op zowel gebouw- als stedelijk niveau noodzakelijk wordt. In steden kan de combinatie van dit

hitte-eiland samen met een wijdverbreid gebruik van airconditioners leiden tot een verhoging van de buitenluchttemperatuur met enkele graden in het geval van een hittegolf, afhankelijk van de intensiteit van de klimatologische gebeurtenis. Passieve maatregelen aan woningen kunnen oververhitting voorkomen zonder de omgeving extra op te warmen.

Bovendien kan men stellen dat de effectieve hittebelasting een resultante is van bovenstaande parameters en dus niet eenduidig te bepalen is. Dit betekent dat maatwerk en zorgvuldig ontwerp nodig is, zowel op stedenbouwkundig, als op gebouwniveau. Gezien de urgentie van de klimaatsverandering en de lange levensduur van het gebouwpatrimonium dienen de nodige maatregelen reeds nu bij nieuwbouw en verbouwprojecten geïmplementeerd te worden. Meerdere studies geven ook aan dat de bouwkundige maatregelen die onder huidig klimaat het zomercomfort reeds verbeteren, onder toekomstig klimaat cruciaal zullen zijn om het comfort onder controle te houden zonder te vervallen in een excessieve koellast. Hieruit kan afgeleid worden dat inzetten op bouwkundige maatregelen om het toekomstig zomercomfort te verbeteren ook reeds onder huidig klimaat zinvol zijn en onder toekomstig klimaat nog meer zullen renderen.

7 Literatuur

Referenties

- Din 4108-2:2013-02, wärmeschutz und energie-einsparung in gebäuden – teil 2: Mindestanforderungen an den wärmeschutz, 2013. URL <https://www.beuth.de/de/-/-/167922321>.
- Sia 180 – wärmeschutz, feuchteschutz und raumklima in gebäuden, 2014.
- D. Amaripadath, R. Paolini, D. J. Sailor, and S. Attia. Comparative assessment of night ventilation performance in a nearly zero-energy office building during heat waves in brussels. *Journal of Building Engineering*, 78:107611, Nov. 2023.
- C. Barnes, G. Konstantinoudis, P. Masselot, M. Mistry, A. Gasparrini, A. M. Vicedo-Cabrera, E. Theokritoff, B. Clarke, and F. Otto. Summer heat deaths in 854 european cities more than tripled due to climate change. Technical report, Grantham Institute and London School of Hygiene & Tropical Medicine, Sept. 2025. URL <https://hdl.handle.net/10044/1/123873>.
- J. Brouwers, B. Peeters, M. Van Steertegem, N. van Lipzig, H. Wouters, J. Beullens, M. Demuzere, P. Willems, K. De Ridder, B. Maiheu, R. De Troch, P. Termonia, T. Vansteenkiste, M. Craininx, W. Maetens, W. Defloor, and K. Cauwenberghs. MIRA Climate Report 2015, about observed and future climate changes in Flanders and Belgium. Technical report, Flanders Environment Agency in collaboration with KU Leuven, VITO and RMI, Aalst, Belgium, Oct. 2015. URL <https://en.vmm.be/publications/mira-climate-report>.
- Carbon Brief. Analysis: What the new ipcc report says about when world may pass 1.5°C and 2°C. Web article, Aug. 2020. URL <https://www.carbonbrief.org/analysis-what-the-new-ipcc-report-says-about-when-world-may-pass-1-5c-and-2c/>. Accessed: 2025-12-11.
- Carbon Brief. Analysis: What record global heat means for breaching the 1.5°C warming limit. Web article, Aug. 2023. URL <https://www.carbonbrief.org/analysis-what-record-global-heat-means-for-breaching-the-1-5c-warming-limit/>. Accessed: 2025-12-11.
- W. S. Cleveland. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *Journal of the American Statistical Association*, 74(368):829–836, 1979. doi: 10.1080/01621459.1979.10481038.
- Climate Action Tracker. The cat thermometer. Web tool, Nov. 2025. URL <https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/>. Accessed: 2025-12-11.
- J. Declercq and M. Holvoet. How to design a resilient building? lessons learnt from an architectural view. In *Ventilation, IEQ and health in sustainable buildings – Proceedings of 44th AIVC Conference, 10th TightVent Conference*, page 6, Dublin, 2025.
- Departement Zorg, Vlaamse overheid. Rapport gezondheidsimpact hitte 2024. PDF report, 2024. Geraadpleegd op 10 december 2025; Report available via the Hitte-impacttool on the Departement Zorg website (health impact of heat in Flanders, Belgium).
- Departement Zorg, Vlaamse overheid. Hitte en sterfte. Webpagina, 2025. URL <https://www.departementzorg.be/nl/hitte-en-sterfte>. Accessed: 2025-12-11; Information on heat waves as a leading cause of mortality in Europe and overmortality analysis in Belgium.
- H. Egerlid, X. Wang, L. Thuvander, and D. Maiullari. Carbon efficiency of passive cooling measures in future climate scenarios: Renovating multi-family residential buildings in a swedish context. *Energy and Buildings*, 334:115502, May 2025.
- E. Elnagar, A. Zeoli, and V. Lemort. Performance evaluation of passive cooling in a multi-zone apartment building based on natural ventilation. In *Proceedings of CLIMA 2022: 14th REHVA HVAC World Congress*, Rotterdam, 2022.

- E. Elnagar, S. Gendebien, E. Georges, U. Berardi, S. Doutreloup, and V. Lemort. Framework to assess climate change impact on heating and cooling energy demands in building stock: A case study of Belgium in 2050 and 2100. *Energy and Buildings*, 298:113547, November 2023. doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113547.
- E. Elnagar, A. Arteconi, P. Heiselberg, and V. Lemort. Integration of resilient cooling technologies in building stock: Impact on thermal comfort, final energy consumption, and ghg emissions. *Building and Environment*, 261:111666, Aug. 2024.
- EU Directorate-General for Energy. Rebuilding communities in times of heat: Refreshing our cities to combat inequality. EU Covenant of Mayors, 2025. URL <https://eu-mayors.ec.europa.eu/en/news/rebuilding-communities-times-heat-refreshing-our-cities-combat-inequality>.
- European Commission. Technical building systems, indoor environmental quality and inspections (articles 13, 23 and 24) – annex 10. Commission notice, European Commission, Directorate-General for Energy, Brussels, June 2025a. Annex 10 to the Communication approving the draft Commission Notice ...; C(2025) 4132 final.
- European Commission. Annex to the commission notice providing guidance on new or substantially modified provisions of the recast energy performance of building directive (eu) 2024/1275. sec. 3.4, 2025b. 2024/1275, pp. 22–36.
- European Committee for Standardization. Energy performance of buildings – ventilation for buildings – part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics – module m1-6, 2019. EN 16798-1.
- P. M. Forster, C. Smith, T. Walsh, W. F. Lamb, R. Lamboll, B. Hall, M. Hauser, A. Ribes, D. Rosen, N. P. Gillett, M. D. Palmer, J. Rogelj, K. von Schuckmann, B. Trewin, M. Allen, R. Andrew, R. A. Betts, A. Borger, T. Boyer, J. A. Broersma, C. Buontempo, S. Burgess, C. Cagnazzo, L. Cheng, P. Friedlingstein, A. Gettelman, J. Gütschow, M. Ishii, S. Jenkins, X. Lan, C. Morice, J. Mühle, C. Kadow, J. Kennedy, R. E. Killick, P. B. Krummel, J. C. Minx, G. Myhre, V. Naik, G. P. Peters, A. Pirani, J. Pongratz, C.-F. Schleussner, S. I. Seneviratne, S. Szopa, P. Thorne, M. V. M. Kovilakam, E. Majamäki, J.-P. Jalkanen, M. van Marle, R. M. Hoesly, R. Rohde, D. Schumacher, G. van der Werf, R. Vose, K. Zickfeld, X. Zhang, V. Masson-Delmotte, and P. Zhai. Indicators of global climate change 2023: annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence. *Earth System Science Data*, 16(6):2625–2658, 2024. doi: 10.5194/essd-16-2625-2024. URL <https://essd.copernicus.org/articles/16/2625/2024/>.
- Z. Hausfather. An assessment of current policy scenarios over the 21st century and the reduced plausibility of high-emissions pathways. *Dialogues on Climate Change*, 2(1):26–32, 2025. doi: 10.1177/29768659241304854.
- T. G. Haytink, J. Kaspers, and H. J. J. Valk. Klimaatadaptatie en verduurzamingspakketten gebouwde omgeving. Rapportage TSE6240004, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), TKI Urban Energy, en Nieman Raadgevende Ingenieurs BV, Utrecht, Nederland, Feb. 2025. Opdrachtgever: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) en TKI Urban Energy; Referentie: 20241014 / 33754; Status: Definitief.
- Het Facilitair Bedrijf, Service public de Wallonie, and Leefmilieu Brussel. Gro versie 2025, 2025.
- IGNES. État des lieux de l’exposition du parc résidentiel français aux fortes chaleurs à horizon 2030 et 2050. PDF report, May 2023. URL <https://ignes.fr/storage/2023/07/Etat-des-lieux-de-lexposition-du-parc-residentiel-francais-aux-fortes-chaleurs-a-horizon-2030-et-2050.pdf>.
- Institute of Building Research & Innovation, P. Holzer, P. Stern, and P. Czarnecki. International energy agency – resilient cooling of buildings – project summary report (annex 80), 2024. URL <https://www.building-research.at/kggb4933/>.

- D. Jacob, J. Petersen, B. Eggert, A. Alias, O. Bücher, S. Fürst, H.-J. Künster, D. Löttlag, A. Rahman, S. Vautard, et al. Euro-cordex: New high-resolution climate change projections for european impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2):563–578, 2014. doi: 10.1007/s10113-013-0499-2.
- L. Jin, S. Schubert, M. Hefny Salim, and C. Schneider. Impact of air conditioning systems on the outdoor thermal environment during summer in berlin, germany. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13):4645, June 2020.
- Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI). Speciale weerverschijnselen: Wat zijn de voorwaarden voor een hittegolf? Webpagina, Meteo.be, 2025. URL <https://www.meteo.be/nl/info/veelgestelde-vragen/speciale-weerverschijnselen/wat-zijn-de-voorwaarden-voor-een-hittegolf>. geraadpleegd op 10 november 2025.
- KU Leuven. Recover++: Improving resilience of buildings to overheating, 2024. URL <https://iiw.kuleuven.be/onderzoek/building-physics-and-sustainable-design/research/research-projects-map/recoverplus>.
- S. Lange. Trend-preserving bias adjustment and statistical downscaling with isimip3basd (v1.0). *Geoscientific Model Development*, 12(7):3055–3070, 2019. doi: 10.5194/gmd-12-3055-2019. URL <https://gmd.copernicus.org/articles/12/3055/2019/>.
- R. Levinson, E. Arens, E. Bozonnet, V. Corrado, H. Gilbert, P. Holzer, et al. Policy recommendations from ieA EBC Annex 80: Resilient cooling of buildings. Report, Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), 2023. URL <https://escholarship.org/uc/item/6bp2w7t2>.
- R. Lorenz, Z. Stalhandske, and E. M. Fischer. Detection of a climate change signal in extreme heat, heat stress, and cold in europe from observations. *Geophysical Research Letters*, 46(14):8363–8374, 2019. doi: <https://doi.org/10.1029/2019GL082062>. URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2019GL082062>.
- A. Machard, C. Inard, J. M. Alessandrini, C. Pelé, and J. Ribéron. Adapting french buildings to future climate: Passive design optimisation. In *Proceedings of Building Simulation Conference 2021*, Bruges, 2021. IBPSA. URL https://publications.ibpsa.org/conference/paper/?id=bs2021_30718.
- A. Machard, A. Salvati, M. P. Tootkaboni, A. Gaur, J. Zou, L. L. Wang, et al. Typical and extreme weather datasets for studying the resilience of buildings to climate change and heatwaves. *Scientific Data*, 11(1):531, May 2024.
- R. D. Morales, A. Audenaert, and S. Verbeke. Thermal comfort and indoor overheating risks of urban building stock - a review of modelling methods and future climate challenges. *Building and Environment*, 269:112363, 2025. ISSN 0360-1323. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112363>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132324012058>.
- S. Nganda, N. Bustos Sierra, T. Braeye, and C. Vernemmen. Surveillance van de mortaliteit door alle oorzaken in België, Vlaanderen, Wallonië en Brussel tijdens de zomer van 2024. be-momo: the belgian mortality monitoring en be-momo in woonzorgcentra. Rapport D/2025.14.440/8, Sciensano, Brussel, België, 2025. URL <https://epistat.sciensano.be/momo/>.
- Overleg Standaarden Klimaatadaptatie. Intentieverklaring ‘klimaatverandering en koeling gebouwen’. Klimaat Adaptatie Nederland, 2020. URL <https://klimaatadaptatienederland.nl/actueel/actueel/nieuws/2020/intentieverklaring-koeling-gebouwen/>.
- P. Raftery, T. Cheung, D. Douglass-Jaimes, M. André, J. Li, M. Kent, et al. Fans for cooling people guidebook, 2023. URL <https://cbe-berkeley.gitbook.io/fans-guidebook/>.
- D. Ramon and K. Allacker. Optimizing building solutions in a changing climate: parameter-based analysis of embodied and operational environmental impacts. *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*, 3(4):045010, Dec. 2023.

- D. Ramon, K. Allacker, F. De Troyer, H. Wouters, and N. Van Lipzig. Future heating and cooling degree days for belgium under a high-end climate change scenario. *Energy and Buildings*, 216:109935, June 2020. doi: 10.1016/j.enbuild.2020.109935.
- RMI, UGent, KU Leuven, and ULiège. CORDEX.be II. <https://cordex.meteo.be/>, 2025. Geraadpleegd op 10 november 2025.
- J.-M. Robine, S. L. K. Cheung, S. Le Roy, H. Van Oyen, C. Griffiths, J.-P. Michel, and F. R. Herrmann. Death toll exceeded 70,000 in europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies*, 331(2): 171–178, 2008. ISSN 1631-0691. doi: <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2007.12.001>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631069107003770>. Dossier : Nouveautés en cancérogenèse / New developments in carcinogenesis.
- Royal Meteorological Institute of Belgium. Gridded observational data covering belgium (rmi_dataset_griddedobs), 2025. URL https://publish.geo.be/geonetwork/f0ow2say/api/records/RMI_DATASET_GRIDDEDOBS. Daily gridded climate data (5km x 5km) for various meteorological variables, updated since 1961, CC BY 4.0 license.
- S. Senel and K. Kruit. Kansen voor warmte- en koudenetten. Rapport 23.220429.067, CE Delft, Delft, Nederland, May 2023. URL https://ce.nl/wp-content/uploads/2023/05/CE_Delft_220429_Kansen-voor-warmte-koudenetten_def-1.pdf. Opdrachtgever: Deltares; Uw kenmerk: 11205153-002.
- A. Sengupta. *Improving thermal resilience to overheating against heatwaves in residential and small non-residential buildings*. PhD thesis, KU Leuven, Faculty of Engineering Science, 2024.
- A. Sengupta, J. Kerckaert, M. Steeman, and H. Breesch. Which design parameters impact the resilience to overheating in a typical apartment building? In *Ventilation, IEQ and health in sustainable buildings – Proceedings of 43rd AIVC Conference, 11th TightVent Conference, 9th venticool Conference*, 2023.
- A. Sengupta, A. Gaur, A. Krelling, A. Machard, D. Qi, E. Elnagar, et al. International energy agency ebc annex 80 – resilient cooling of buildings – resilient cooling design guideline. REHVA – Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations, 2024.
- F. Serras, K. Vandelanotte, R. Borgers, B. V. Schaeybroeck, P. Termonia, M. Demuzere, and N. P. M. van Lipzig. Optimizing climate model selection in regional studies using an adaptive weather type based framework: a case study for extreme heat in Belgium. *Climate Dynamics*, 62(10):9927–9949, October 2024. ISSN 1432-0894. doi: 10.1007/s00382-024-07432-7. URL <https://doi.org/10.1007/s00382-024-07432-7>.
- Statbel (Algemene Directie Statistiek - Statistics Belgium). Kadastrale statistiek van het gebouwenpark, België en gewesten. Statbel open data / be.STAT, 2025. URL <https://bestat.statbel.fgov.be/>. Geraadpleegd op 2 december 2025.
- F. Tartarini, S. Schiavon, T. Cheung, and T. Hoyt. Cbe thermal comfort tool: Online tool for thermal comfort calculations and visualizations. *SoftwareX*, 12:100563, July 2020.
- J. Taylor, R. McLeod, G. Petrou, C. Hopfe, A. Mavrogianni, R. Castaño-Rosa, S. Pelsmakers, and K. Lomas. Ten questions concerning residential overheating in central and northern europe. *Building and Environment*, 234:110154, 2023. ISSN 0360-1323. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110154>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132323001816>.
- P. Termonia, B. Van Schaeybroeck, L. De Cruz, R. De Troch, S. Caluwaerts, O. Giot, R. Hamdi, S. Vanitsem, F. Duchêne, P. Willems, H. Tabari, E. Van Uytven, P. Hosseinzadehtalaei, N. Van Lipzig, H. Wouters, S. Vanden Broucke, J.-P. van Ypersele, P. Marbaix, C. Villanueva-Birriel, X. Fettweis, C. Wyard, C. Scholzen, S. Doutreloup, K. De Ridder, A. Gobin, D. Lauwaet, T. Stavrakou, M. Bauwens, J.-F. Müller, P. Luyten, S. Ponsar, D. Van den Eynde, and E. Pottiaux. The cordex.be initiative as a foundation for climate services in belgium. *Climate Services*, 11:49–61, 2018. ISSN 2405-8807. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2018.05.001>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405880717300195>.

- B. Tremeac, P. Bousquet, C. De Munck, G. Pigeon, V. Masson, C. Marchadier, et al. Influence of air conditioning management on heat island in paris air street temperatures. *Applied Energy*, 95:102–110, July 2012.
- K. Van den Brande, G. Van Moeseke, N. Heijmans, W. Bracke, M. Delghust, and A. Janssens. The impact of climate updates on the energy performance assessment in a legislative framework. *SSRN Electronic Journal*, 2022. doi: 10.2139/ssrn.4245584. URL <https://ssrn.com/abstract=4245584>.
- T. Van Hooff, B. Blocken, H. J. P. Timmermans, and J. L. M. Hensen. Analysis of the predicted effect of passive climate adaptation measures on energy demand for cooling and heating in a residential building. *Energy*, 94:811–820, Jan. 2016.
- Vlaamse Milieumaatschappij (VMM). Hitteslachtoffers. Webpagina, Klimaatportaal, 2025a. URL <https://vmm.vlaanderen.be/feiten-cijfers/klimaat/klimaatthemas/hittestress/indicator-hitteslachtoffers>. Toestand, grafieken en evolutie doorheen de jaren; Accessed: 2025-12-11.
- Vlaamse Milieumaatschappij (VMM). Klimaatportaal: feiten, cijfers en tools voor klimaatadaptatie. Webpage, 2025b. URL <https://vmm.vlaanderen.be/feiten-cijfers/klimaat/klimaatportaal>. Geraadpleegd op 10 december 2025.
- W/E adviseurs. Ontwikkeling van koudevraag voor woningen, May 2018.
- World Meteorological Organization (WMO) and Copernicus Climate Change Service. State of the climate in europe 2022, 2023. URL <https://public.wmo.int/publication-series/state-of-climate-europe-2022>. Accessed: 2025-12-11.
- H. Wouters, K. De Ridder, L. Poelmans, P. Willems, J. Brouwers, P. Hosseinzadehtalaei, H. Tabari, S. Vanden Broucke, N. P. M. van Lipzig, and M. Demuzere. Heat stress increase under climate change twice as large in cities as in rural areas: A study for a densely populated midlatitude maritime region. *Geophysical Research Letters*, 44(17):8997–9007, 2017. doi: <https://doi.org/10.1002/2017GL074889>. URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2017GL074889>.
- A. Wright and E. Venskunas. Effects of future climate change and adaptation measures on summer comfort of modern homes across the regions of the uk. *Energies*, 15(2), 2022. ISSN 1996-1073. doi: 10.3390/en15020512. URL <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/2/512>.

A Voordelen van werken met mondiale opwarmingsniveaus

Vroeger werd klimaatverandering meestal beschreven als de verandering van bijvoorbeeld het midden of het einde van de eeuw ten opzichte van het recente verleden. Recente inzichten hebben echter geleid tot een heroriëntatie, waarbij mondiaal opwarmingsniveaus worden gebruikt om klimaatverandering en de bijbehorende impact te duiden. Hiervoor zijn verschillende redenen:

Ten eerste kan er een directe link worden gelegd met beleidsdoelstellingen, zoals de Overeenkomst van Parijs, waarin werd afgesproken om de opwarming duidelijk onder de 2°C te houden ten opzichte van pre-industriële condities. Dit maakt het eenvoudiger om klimaatdoelstellingen te vertalen naar het brede publiek.

Ten tweede is het mondiaal opwarmingsniveau veel directer gekoppeld aan lokale impacten, zoals hitte in België, dan een vaste tijdsperiode. Wanneer tijdsvensters worden gebruikt, bijvoorbeeld het einde van deze eeuw, zijn de resultaten sterk afhankelijk van het gekozen emissiescenario, dat wil zeggen hoeveel broeikasgassen er tussen nu en de beschouwde tijdshorizon worden uitgestoten. Bij de aanpak met mondiaal opwarmingsniveaus is dit veel minder het geval. Onder verschillende emissiescenario's kan hetzelfde mondiaal opwarmingsniveau, bijvoorbeeld 2°C , worden bereikt, zij het op verschillende momenten: bijvoorbeeld rond 2040 of rond 2060.

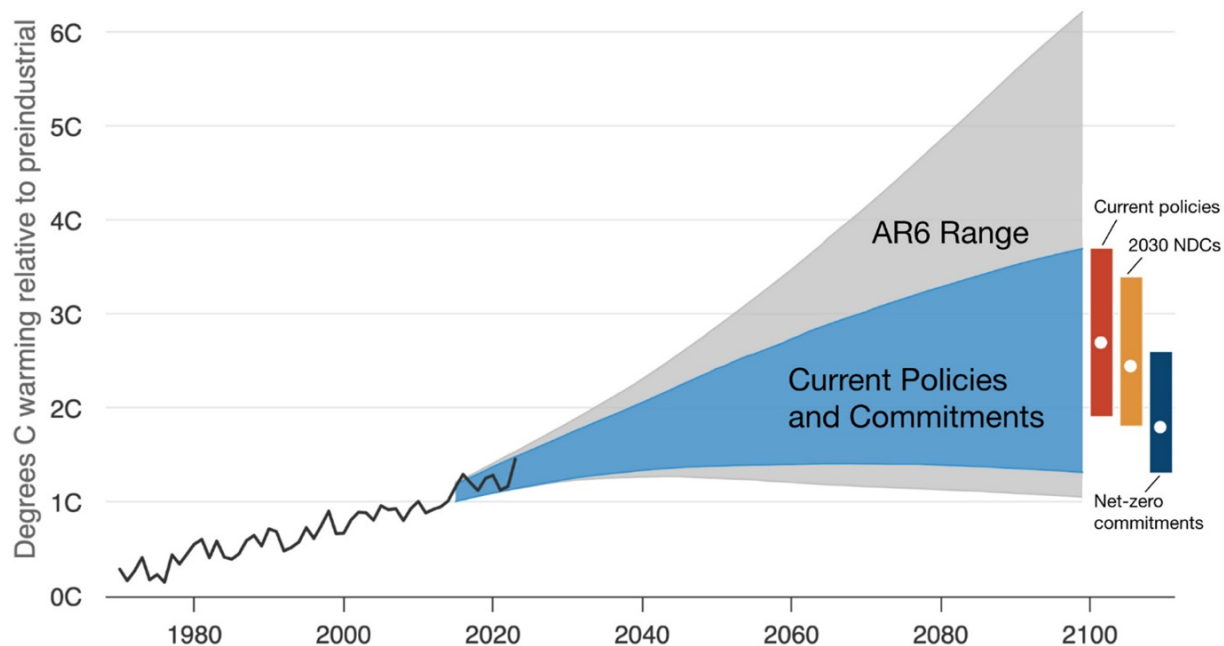
Een laatste voordeel is eerder methodologisch, namelijk dat we klimaatmodellen op een betere manier kunnen bundelen. Zo kunnen we bijvoorbeeld de impact in België uit modellen die uitgaan van hoge-emissiescenario's, en die dus vroeg het mondiaal opwarmingsniveau van 2°C bereiken, combineren met modellen die dit niveau pas later bereiken binnen een gunstiger emissiescenario waarin minder wordt uitgestoten.

B Timing van mondiale opwarmingsniveaus

Deze appendix geeft een nadere toelichting op de bepaling van het vroegste tijdstip waarop mondiale opwarmingsniveaus van 2°C en 3°C kunnen worden bereikt, respectievelijk geschat op 2039 en 2063. Om dit te doen, bekijken we eerst wat verschillende studies zeggen over het mondiaal opwarmingsniveau tegen het einde van deze eeuw. Wanneer we alle IPCC-modellen samen nemen, zien we een zeer grote spreiding aan mogelijke mondiaal opwarmingsniveaus tegen het einde van de eeuw, gaande van ongeveer 1°C tot iets meer dan 6°C (Figuur 10; Hausfather, 2025). Echter de hoogste waardes worden als onrealistisch beschouwd omdat deze scenario's gebaseerd zijn op onrealistisch hoge emissie scenario's. Als we kijken naar schattingen van de opwarming onder het huidige mondiale klimaatbeleid, dan wordt deze onzekerheidsmarge aanzienlijk kleiner en wordt het mondiaal opwarmingsniveau geschat op 1,5 tot $3,3^{\circ}\text{C}$ (Figuur 11; Climate Action Tracker, 2025). Het paper van Hausfather [2025] rapporteert gelijkaardige niveaus met een een net iets bredere marge (Figuur 10).

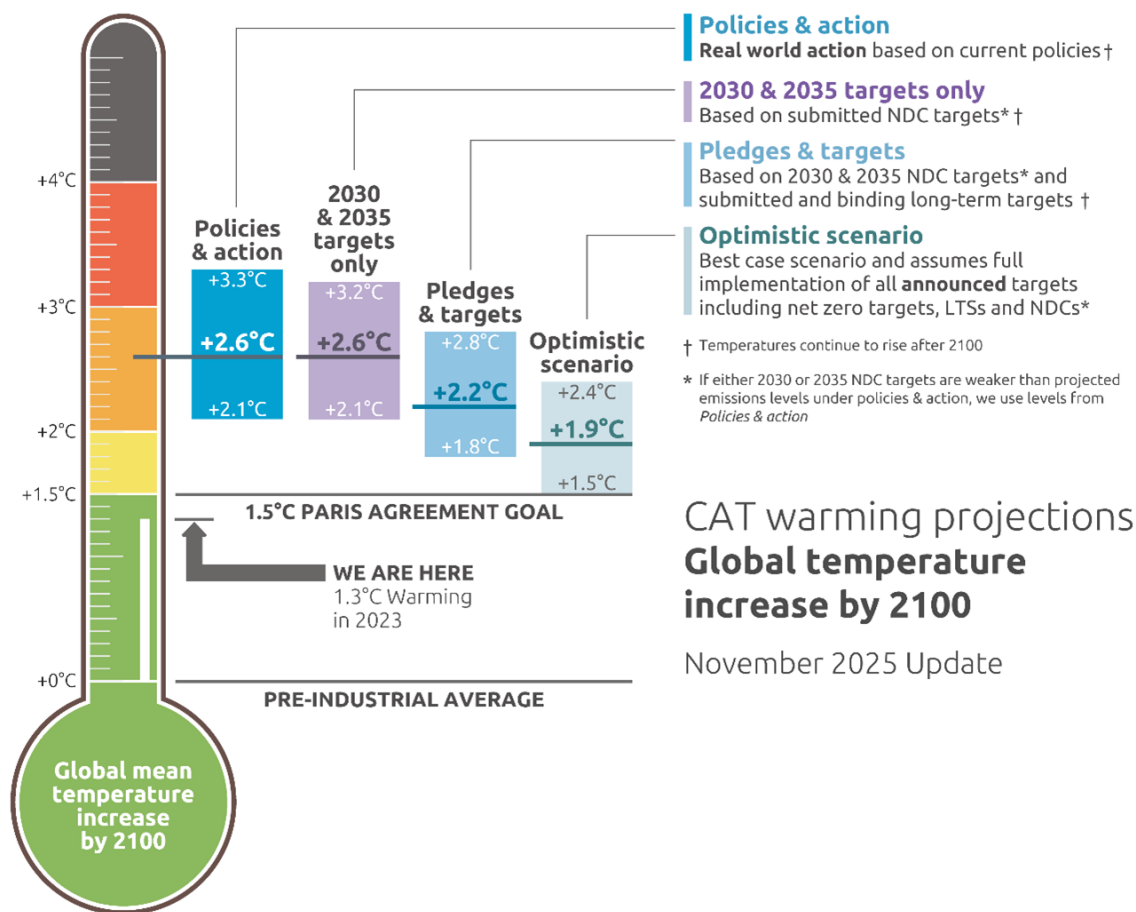
Voor bovenstaande schattingen worden verschillende zogenaamde SSP-scenario's gebruikt. Het blijkt dat de schattingen op basis van huidig beleid ongeveer samenvallen met het 'middle-of-the-road' SSP2-4.5-scenario. We nemen daarom alle modellen uit het SSP2-4.5-scenario en bekijken de vroegste timing in deze modellen als de vroegste datum waarop het mondiaal opwarmingsniveau van 2°C kan worden bereikt (Figuur 1). Deze blijkt in 2039 te liggen. Voor een mondiaal opwarmingsniveau van 3°C wordt deze vroegste datum gevonden in 2063. Dit komt goed overeen met de een andere schatting van de Carbon Brief [2020] (Figuur 12). Het komt ook overeen met de Figuur 10 [Hausfather, 2025], gebaseerd op het huidige beleid en de huidige beloftes.

Deze tijdshorizonten gaan ervan uit dat het huidige beleid in zekere zin een bovengrens vormt voor de toekomstige klimaatverandering, en dat de situatie mogelijk nog kan verbeteren. Er zijn echter ook onderzoekers, die stellen dat zelfs onder huidig klimaatbeleid, door terugkoppelingen in de koolstofcyclus, een hogere stralingsforcering kan optreden dan die welke wordt aangenomen in het SSP2-4.5-scenario. Bovendien kunnen we nooit helemaal zeker zijn dat het alleen maar beter kan worden dan het huidige beleid. Wel is het zo dat we de timing gebaseerd hebben op het model binnen de SSP3-4.5 familie die als vroegste



Figuur 10: Volledige bereik van beoordeelde opwarmingsprojecties in het AR6 Zesde Assessment Report van het IPCC (grijze zone). Het bereik dat wordt gedefinieerd door schattingen van de uitkomsten van huidig beleid en beloften, als onderdeel van AR6 (blauwe zone). De waargenomen jaarlijkse mondiale gemiddelde oppervlaktetemperaturen van WMO 2023 zijn via de zwarte lijn weergegeven. (Figuur 2 uit Hausfather, 2025).

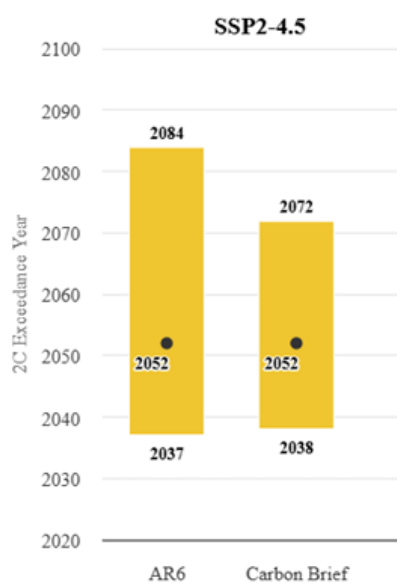
het mondiaal opwarmingsniveau bereikt en geen modellen hebben weggelaten. Dus, hoewel de niveaus strikt genomen eerder kunnen worden bereikt dan hierboven aangegeven, wordt de kans hierop als zeer klein ingeschat.



Figuur 11: Verwachte wereldwijde opwarming tegen 2100 onder vier scenario's: huidig beleid, huidige beloften, voorwaardelijke doelstellingen en langetermijndoelen. De mediane schatting wordt weergegeven als een lijn, en het waarschijnlijke bereik van mogelijke uitkomsten wordt aangeduid met het ingekleurd vak. *Climate Action Tracker [2025]*.

Projections of likely exceedance times for 2C

For the IPCC AR6 and Carbon Brief estimates.



Figuur 12: Bereik van mogelijke jaren waarin de 2°C wordt overschreden volgens het AR6, het zesde Assessment Report van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) en de analyse van Carbon Brief. De stippen geven de centrale schattingen weer (meest waarschijnlijke jaar), terwijl de balken het zeer waarschijnlijke bereik (5–95%) tonen. De 20-jarige gemiddelde periodes in de AR6 zijn omgerekend naar verwachte overschrijdingsjaren door het midden van het bereik te nemen. Grafiek door Carbon Brief. Carbon Brief [2020].

C EURO-CORDEX modellen

Tabel 9: *Overzicht van de EURO-CORDEX modellen die gebruikt worden in dit rapport.*

GCM	Run	Instituut id	RCM naam	versie	RCP
CNRM-CM5	r1i1p1	CLMcom	CCLM4-8-17	v1	4.5, 8.5
		CLMcom-ETH	COSMO-crCLIM	v1	8.5
		CNRM	ALADIN53	v1	2.6, 4.5, 8.5
		CNRM	ALADIN63	v2	2.6, 4.5, 8.5
		DMI	HIRHAM5	v1, v2	8.5
		GERICS	REMO2015	v2	2.6, 8.5
		ICTP	RegCM4-6	v2	8.5
		IPSL	WRF381P	v2	8.5
		KNMI	RACMO22E	v2	2.6, 4.5, 8.5
		MOHC	HadREM3-GA7-05	v2	8.5
		RMIB-UGent	ALARO-0	v1	2.6, 4.5, 8.5
		SMHI	RCA4	v1	4.5, 8.5
EC-EARTH	r12i1p1	CLMcom	CCLM4-8-17	v1	2.6, 4.5, 8.5
		CLMcom-ETH	COSMO-crCLIM-v1-1	v1	8.5
		DMI	HIRHAM5	v1, v2	8.5
		ICTP	RegCM4-6	v1	8.5
		IPSL	WRF381P	v1	8.5
		KNMI	RACMO22E	v1	2.6, 4.5, 8.5
		MOHC	HadREM3-GA7-05	v1	2.6, 8.5
		SMHI	RCA4	v1	2.6, 4.5, 8.5
	r1i1p1	CLMcom-ETH	COSMO-crCLIM-v1-1	v1	8.5
		DMI	HIRHAM5	v1, v2	8.5
		KNMI	RACMO22E	v1	4.5, 8.5
		SMHI	RCA4	v1	8.5
	r3i1p1	CLMcom-ETH	COSMO-crCLIM-v1-1	v1	8.5
		DMI	HIRHAM5	v1, v2	8.5
		KNMI	RACMO22E	v1	8.5
		SMHI	RCA4	v1	8.5
IPSL-CM5A-LR	r1i1p1	GERICS	REMO2015	v1	2.6
IPSL-CM5A-MR	r1i1p1	DMI	HIRHAM5	v1	8.5
		GERICS	REMO2015	v1	2.6
		IPSL-INERIS	WRF331F	v1	4.5, 8.5
		IPSL	WRF381P	v1	4.5, 8.5
		KNMI	RACMO22E	v1	8.5
		SMHI	RCA4	v1	4.5, 8.5
HadGEM2-ES		CLMcom	CCLM4-8-17	v1	4.5, 8.5
		CLMcom-ETH	COSMO-crCLIM-v1-1	v1	8.5
		CNRM	ALADIN63	v1	8.5
		DMI	HIRHAM5	v1	8.5
		DMI	HIRHAM5	v2	2.6, 4.5, 8.5
		ICTP	RegCM4-6	v1	2.6, 8.5
		IPSL	WRF381P	v1	8.5
		KNMI	RACMO22E	v1	2.6, 4.5, 8.5
		MOHC	HadREM3-GA7-05	v1	2.6, 8.5
		SMHI	RCA4	v1	2.6, 4.5, 8.5
MPI-ESM-LR	CLMcom	CCLM4-8-17	v1	4.5, 8.5	
		CLMcom-ETH	COSMO-crCLIM-v1-1	v1	8.5

Vervolg op volgende pagina

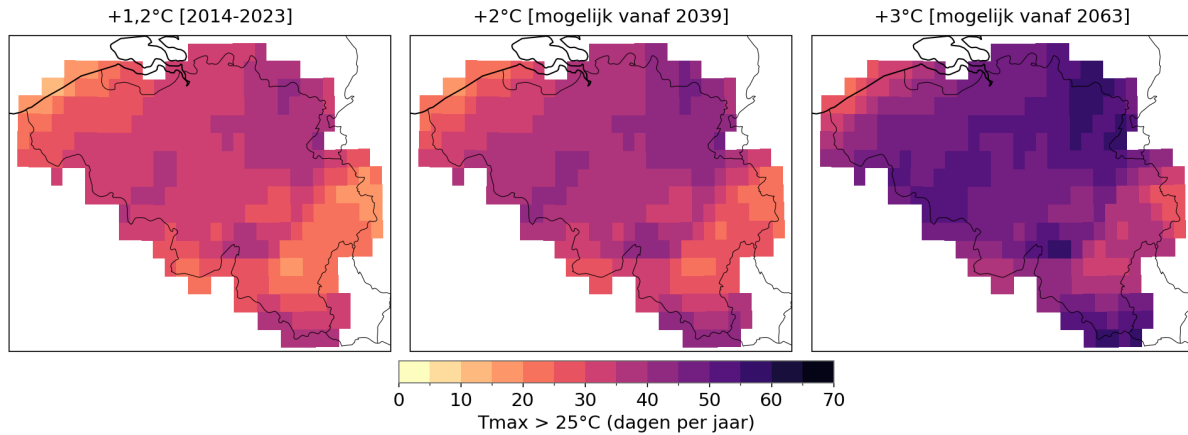
GCM	Run	Instituut id	RCM naam	versie	RCP
		CNRM	ALADIN63	v1	8.5
		DMI	HIRHAM5	v1	8.5
		ICTP	RegCM4-6	v1	2.6, 8.5
		IPSL	WRF381P	v1	8.5
		KNMI	RACMO22E	v1	2.6, 8.5
		MOHC	HadREM3-GA7-05	v1	8.5
		MPI-CSC	REMO2009	v1	2.6, 4.5, 8.5
		SMHI	RCA4	v1	2.6, 4.5, 8.5
		CLMcom-ETH	COSMO-crCLIM-v1-1	v1	8.5
		MPI-CSC	REMO2009	v1	2.6, 4.5, 8.5
		SMHI	RCA4	v1	8.5
		CLMcom-ETH	COSMO-crCLIM-v1-1	v1	8.5
		GERICS	REMO2015	v1	8.5
		SMHI	RCA4	v1	8.5
NorESM1-M	r1i1p1	CLMcom-ETH	COSMO-crCLIM-v1-1	v1	8.5
		CNRM	ALADIN63	v1	8.5
		DMI	HIRHAM5	v2, v3	4.5, 8.5
		GERICS	REMO2015	v1	2.6, 4.5, 8.5
		IPSL	WRF381P	v1	8.5
		KNMI	RACMO22E	v1	2.6, 8.5
		MOHC	HadREM3-GA7-05	v1	8.5
		SMHI	RCA4	v1	2.6, 4.5, 8.5

D Blootstelling van residentiële gebouwen

Aantal appartementsgebouwen blootgesteld aan hitte drempelwaarden						
	+1,2°C [2014-2023]		+2°C [vanaf 2039]		+3°C [vanaf 2063]	
40 dagen met Tmax > 25°C	725	0%	45 292	18%	230 348	91%
10 dagen met Tmax > 30°C	4 760	2%	34 686	14%	230 868	91%
10 hittegolfdagen	2 576	1%	28 191	11%	230 375	91%
10 dagen met Tmin > 18°C	0	0%	2 298	1%	237 685	94%
60 dagen met Tvdg > 18°C	0	0%	144 489	57%	243 847	97%

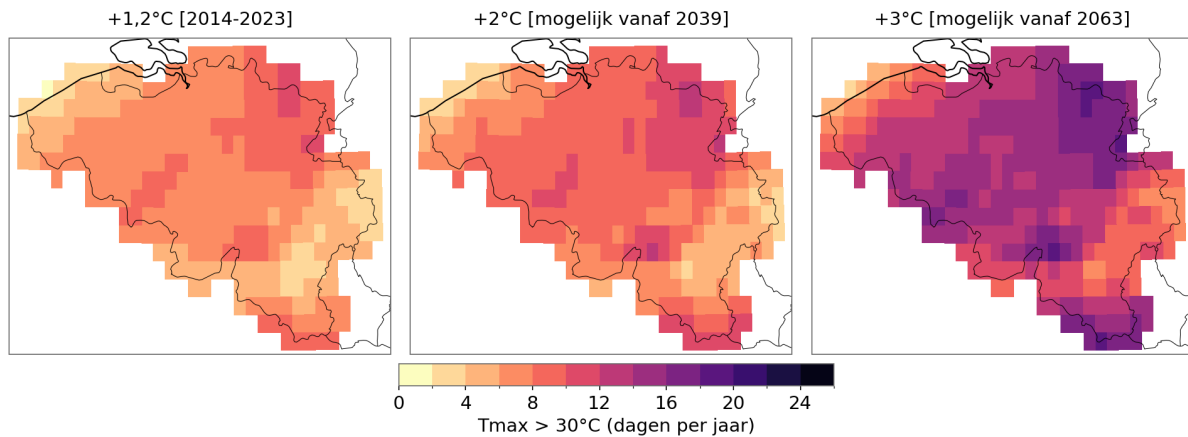
Tabel 10: *Het aantal appartementsgebouwen dat wordt blootgesteld aan een minimaal aantal hittedagen, per indicator. Dit werd berekend voor het mediane scenario per mondiaal opwarmingsniveau (+1,2°C, +2°C, en +3°C). Het weergegeven percentage betreft het aandeel ten opzichte van het totale appartementsgebouw aanbod in België.*

Jaarlijks aantal dagen met een overschrijding van de maximum temperatuur van 25°C

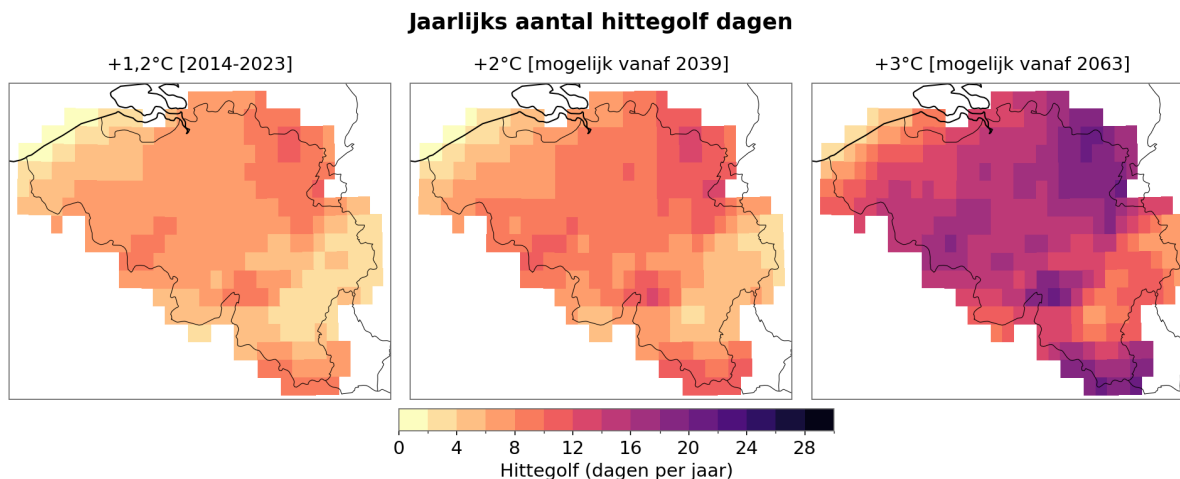


Figuur 13: Aantal dagen waarop de maximum buitenluchttemperatuur (T_{max}) 25°C overschrijdt, weergegeven voor drie mondiale opwarmingsniveaus volgens het mediaan scenario (50e percentiel). Elke kolom geeft een opwarmingsniveau weer: +1,2°C als proxy voor de recente historische periode [Forster et al., 2024], en twee toekomstprojecties +2°C en +3°C. Voor de toekomst is aangegeven wanneer dit opwarmingsniveau ten vroegste bereikt kan worden (zie sectie 2.1 voor meer uitleg).

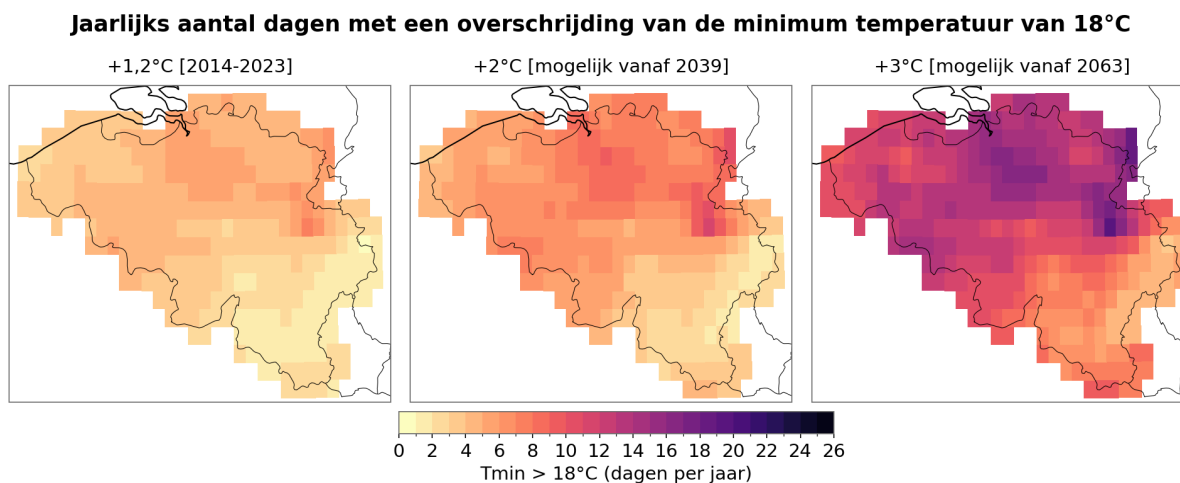
Jaarlijks aantal dagen met een overschrijding van de maximum temperatuur van 30°C



Figuur 14: Hetzelfde als voor Figuur 13, maar nu voor het aantal dagen waarop de maximum buitenluchttemperatuur (T_{max}) 30°C overschrijdt.



Figuur 15: Hetzelfde als voor Figuur 13, maar nu voor het aantal hittegolf dagen. Hitegolven worden gedefinieerd als minimum vijf opeenvolgende dagen waarbij 25°C wordt overschreden, waarvan minstens drie dagen boven 30°C liggen.

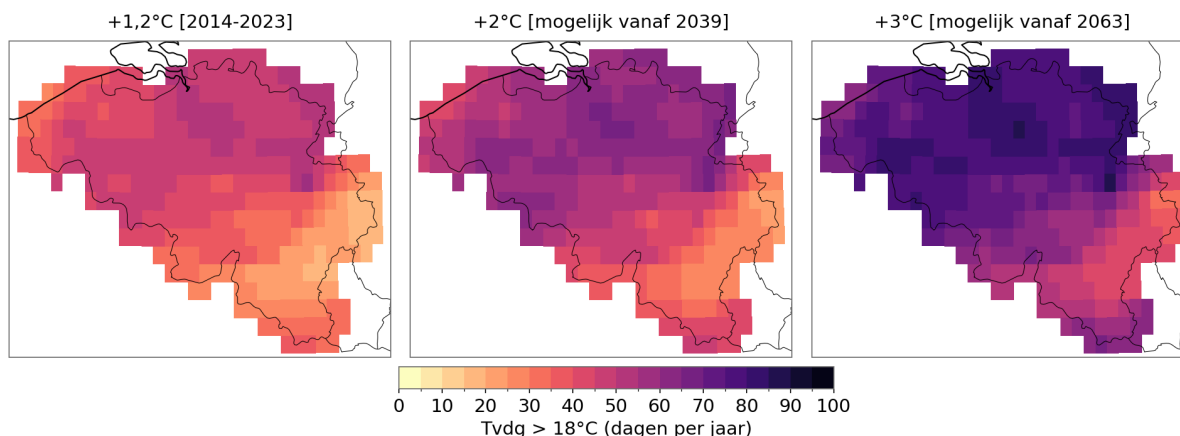


Figuur 16: Hetzelfde als voor Figuur 3, maar nu voor het aantal dagen waarop de minimum buitenluchttemperatuur (Tmin) 18°C overschrijdt.

Aantal wooneenheden met minstens 40 dagen met Tmax > 25°C							
		+1,2°C [2014-2023]		+2°C [vanaf 2039]		+3°C [vanaf 2063]	
		Aantal	%	Aantal	%	Aantal	%
Best case (p10)	Huizen	0	0%	0	0%	2 723 228	75%
	Appartementsgebouwen	0	0%	0	0%	201 146	80%
	Appartementen	0	0%	0	0%	1 323 611	77%
	Gemeenten	0	0%	0	0%	393	70%
Worst case (p90)	Huizen	703 648	20%	3 177 035	88%	3 551 741	%
	Appartementsgebouwen	36 860	15%	222 606	88%	218 211	97%
	Appartementen	218 211	13%	1 465 372	86%	1 619 372	95%
	Gemeenten	108	19%	463	82%	550	98%

Tabel 11: Het aantal woningen dat wordt blootgesteld aan minimaal 40 dagen met een dagelijkse maximumtemperatuur van 25°C, berekend voor het best case (p10) en worst case (p90) scenario per mondiaal opwarmingsniveau (+1,2°C, +2°C, en +3°C). De woningen zijn opgesplitst naar woontype. Het weergegeven percentage betreft het aandeel ten opzichte van het totale woningaanbod van dat type in België..

Jaarlijks aantal dagen met een overschrijding van het voortschrijdend daggemiddelde van 18°C



Figuur 17: Hetzelfde als voor Figuur 13, maar nu voor het aantal dagen waarop het voortschrijdend daggemiddelde (T_{vdg}) 18°C overschrijdt. T_{vdg} wordt berekend over de afgelopen zeven dagen inclusief de huidige dag, waarbij de laatste dagen zwaarder meewegen volgens de formule: $T_{vdg} = (T_{gem-1} + 0.8 \cdot T_{gem-2} + 0.6 \cdot T_{gem-3} + 0.5 \cdot T_{gem-4} + 0.4 \cdot T_{gem-5} + 0.3 \cdot T_{gem-6} + 0.2 \cdot T_{gem-7}) / 3.8$, waarbij T_{gem} het daggemiddelde is. Indicator die door GRO [Het Facilitair Bedrijf et al., 2025] wordt gebruikt.

Aantal wooneenheden met minstens 10 dagen met $T_{max} > 30^\circ\text{C}$							
		+1,2°C [2014-2023]		+2°C [vanaf 2039]		+3°C [vanaf 2063]	
Best case (p10)	Huizen	0	0%	0	0%	664 056	18%
	Appartementsgebouwen	0	0%	0	0%	36 222	14%
	Appartementen	0	0%	0	0%	210 640	12%
	Gemeenten	0	0%	0	0%	97	17%
Worst case (p90)	Huizen	711 954	20%	2 953 469	82%	3 567 580	99%
	Appartementsgebouwen	40 630	16%	210 385	83%	245 376	97%
	Appartementen	253 141	15%	1 372 260	81%	1 623 828	95%
	Gemeenten	103	18%	444	79%	555	99%

Tabel 12: Hetzelfde als voor Tabel 11, maar nu voor het aantal woningen dat wordt blootgesteld aan minimaal 10 dagen waarop de maximum buitenluchttemperatuur (T_{max}) 30°C overschrijdt.

Aantal wooneenheden met minstens 10 hittegolfdagen							
		+1,2°C [2014-2023]		+2°C [vanaf 2039]		+3°C [vanaf 2063]	
Best case (p10)	Huizen	0	0%	0	0%	664 056	18%
	Appartementsgebouwen	0	0%	0	0%	36 222	14%
	Appartementen	0	0%	0	0%	210 640	12
	Gemeenten	0	0%	0	0%	97	16%
Worst case (p90)	Huizen	1 010 866	28%	3 043 559	84%	3 552 951	98%
	Appartementsgebouwen	57 164	23%	213 263	84%	240 505	95%
	Appartementen	349 151	21%	1 388 521	82%	1 569 515	92%
	Gemeenten	151	27%	459	82%	553	98%

Tabel 13: Hetzelfde als voor Tabel 11, maar nu voor het aantal woningen dat wordt blootgesteld aan minimaal 10 hittegolfdagen.

Aantal wooneenheden met minstens 10 dagen met $T_{min} > 18^{\circ}\text{C}$						
		+1,2°C [2014-2023]		+2°C [vanaf 2039]		+3°C [vanaf 2063]
Best case (p10)	Huizen	0	0%	0	0%	1 234 725 34,1%
	Appartementsgebouwen	0	0%	0	0%	118 840 47%
	Appartementen	0	0%	0	0%	798 898 46%
	Gemeenten	0	0%	0	0%	162 28%
Worst case (p90)	Huizen	0	0%		%	%
	Appartementsgebouwen	0	0%	765 716 21%		3 485 927 96%
	Appartementen	0	0%	70 495 28%		247 542 98%
	Gemeenten	0	0%	93 17%		514 91%

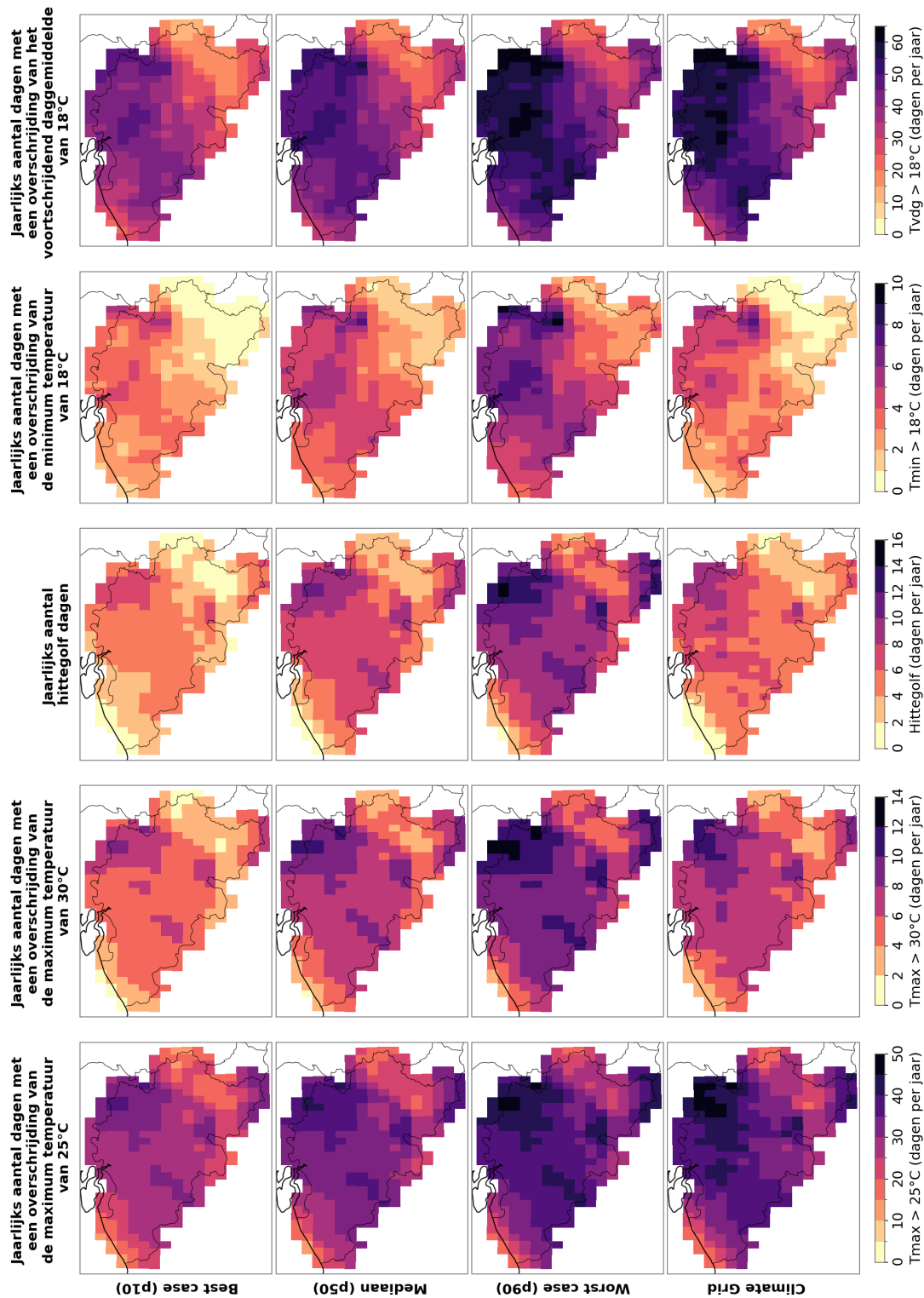
Tabel 14: *Hetzelfde als voor Tabel 11, maar nu voor het aantal woningen dat wordt blootgesteld aan minimaal 10 dagen waarop de minimum buitenluchttemperatuur (T_{min}) 18°C overschrijdt.*

Aantal wooneenheden met minstens 60 dagen met $T_{vdg} > 18^{\circ}\text{C}$						
		+1,2°C [2014-2023]		+2°C [vanaf 2039]		+3°C [vanaf 2063]
Best case (p10)	Huizen	0	0%	0	0%	3 226 470 89%
	Appartementsgebouwen	0	0%	0	0%	233 687 93%
	Appartementen	0	0%	0	0%	1 585 101 93%
	Gemeenten	0	0%	0	0%	441 78%
Worst case (p90)	Huizen	177 753	5%	3 173 180 88%		3 517 015 97%
	Appartementsgebouwen	10 229	4%	228 071 90%		248 457 98%
	Appartementen	55 505	3%	1 528 167 90%		1 648 457 99%
	Gemeenten	25	5%	429 76%		524 93%

Tabel 15: *Hetzelfde als voor Tabel 11, maar nu voor het aantal woningen dat wordt blootgesteld aan minimaal 60 dagen waarop het voortschrijdend daggemiddelde (T_{vdg}) 18°C overschrijdt. T_{vdg} wordt berekend over de afgelopen zeven dagen inclusief de huidige dag, waarbij de laatste dagen zwaarder meewegen volgens de formule: $T_{vdg} = (T_{gem-1} + 0.8 \cdot T_{gem-2} + 0.6 \cdot T_{gem-3} + 0.5 \cdot T_{gem-4} + 0.4 \cdot T_{gem-5} + 0.3 \cdot T_{gem-6} + 0.2 \cdot T_{gem-7})/3.8$, waarbij T_{gem} het daggemiddelde is. Indicator die door GRO [Het Facilitair Bedrijf et al., 2025] wordt gebruikt.*

E Model evaluatie

Voor de model evaluatie werden observaties geconstrueerd op basis van het climate grid [Royal Meteorological Institute of Belgium, 2025] voor de periode 2014–2023, dat overeenkomt met een globaal opwarmingsniveau van $+1,2^{\circ}\text{C}$ en in deze studie wordt gebruikt als proxy voor de recente historische periode [Forster et al., 2024]. Deze waarnemingen werden vergeleken met de bias gecorrigeerde EURO-CORDEX-projecties. Voor alle beschouwde hitte-indicatoren liggen de observaties systematisch tussen het best case (10de percentiel) en worst case scenario (90e percentiel) van de modelensemble. Hoewel de overeenkomst tussen modellen en observaties niet in alle regio's of voor alle indicatoren perfect is, ligt de focus van deze studie niet op absolute waarden, maar op de relatieve verschillen tussen globale opwarmingsniveaus en scenario's, die robuust blijken over het volledige ensemble.



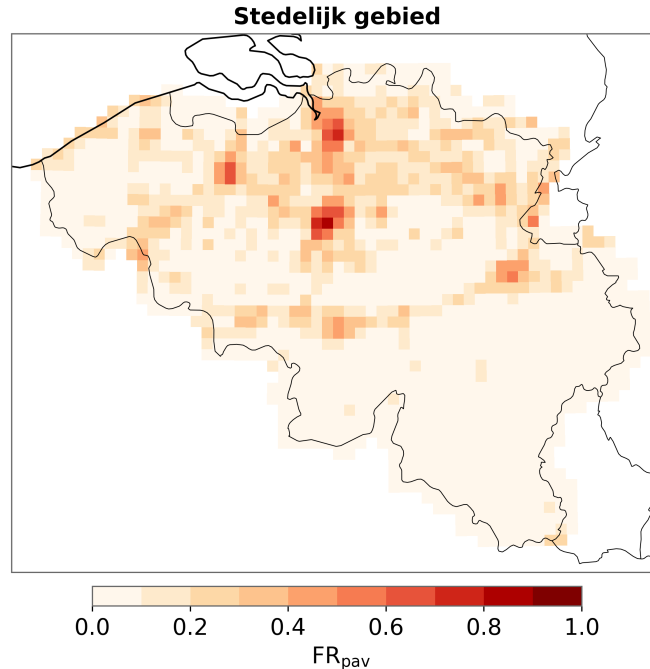
Figuur 18: Evaluatie van de EURO-CORDEX-modellen, gebaseerd op een vergelijking met het climate grid, aan de hand van het jaarlijks aantal dagen dat voldoet aan de verschillende hitte indicatoren. Elke kolom stelt één hitte indicator voor. De onzekerheid in de klimaatprojecties wordt per pixel weergegeven door de rijen: het best case scenario (10de percentiel) in de bovenste rij, het mediane scenario (50e percentiel) in de middelste rij en het worst case scenario (90e percentiel) in de derde rij. De vierde rij toont de climate grid data voor de periode 2014–2023, overeenkomend met een globaal opwarmingsniveau van +1,2°C, dat in deze studie wordt gebruikt als proxy voor de recente historische periode [Forster et al., 2024].

F Klimaatscenario's op de kilometerschaal voor België

Binnen het kader van het CORDEX.be II project (de opvolger van CORDEX.be II; Termonia et al., 2018) worden momenteel modelsimulaties uitgevoerd op de kilometerschaal die gebruikt zullen worden voor Belgische nationale klimaatscenario's. De KU Leuven heeft simulaties uitgevoerd op 2,8 km met een stedelijke parametrisatie in het CCLM6 model aangedreven door toekomstige GCM data (officiële naam is CCLM6-0-1-URB-ESG EC-Earth3-Veg). De GCM realisatie met een sterke toename van hittestress werd geselecteerd om gedetailleerde data voor een worst case scenario, relevant voor impact studies, te genereren [Serras et al., 2024]. Deze appendix geeft een voorproefje van de hittestress evolutie in deze nieuwe model simulaties.

Net als de EURO-CORDEX data werd ook voor deze analyse bias-gecorrigeerde data gebruikt. De biascorrectie werd uitgevoerd op basis van de relatie tussen het CCLM6 model en de Climate Grid-dataset, die gebaseerd is op observaties, met een resolutie van 5km. Hierbij werden het 89e en 97e percentiel gebruikt van de periode 1985–2014, overeenkomend met respectievelijk de 40ste en 10de warmste dag van het jaar. Deze percentielen werden gekozen in overeenstemming met de drempelwaarden voor het aantal dagen boven 25°C en 30°C (zie secties 4.1 en 4.2).

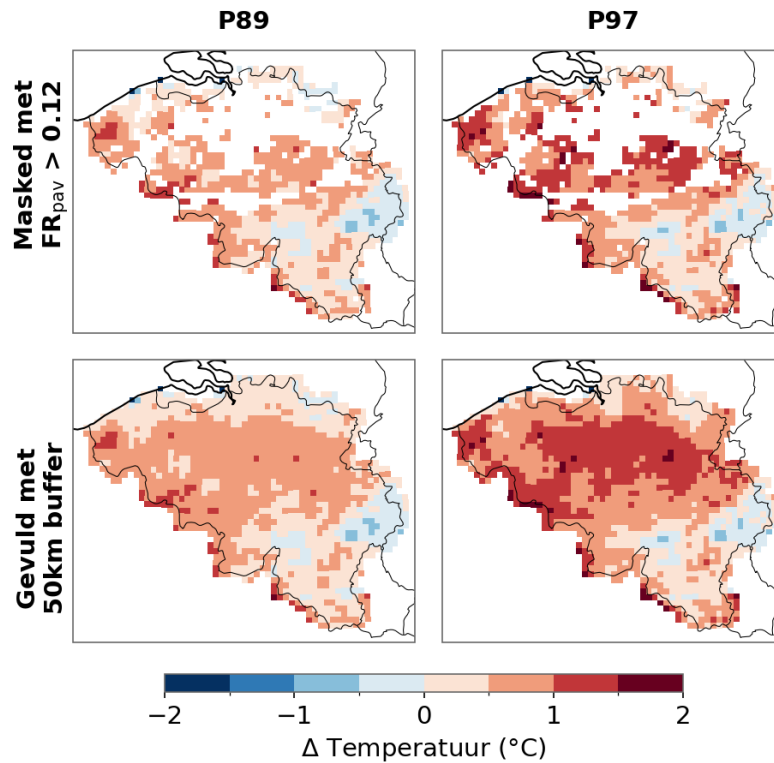
Omdat Climate Grid geen stedelijke effecten modelleert, kunnen stedelijke pixels niet op een betrouwbare manier worden meegenomen in de afleiding van de biasrelatie. Om deze gebieden te identificeren werd de fractie verharde oppervlakte (FR_{pav}) gebruikt als indicator voor stedelijkheid (Fig. 19). Pixels met een FR_{pav} -waarde groter dan 0,12 werden als stedelijk geschouwd en uitgesloten bij de eerste stap van de biascorrectie, die bestond uit het bepalen van het temperatuurverschil tussen beide datasets voor het betreffende percentiel (Fig. 20). Nadat deze relatie was vastgesteld, werden de stedelijke pixels opnieuw ingevuld op basis van omliggende niet-stedelijke pixels binnen een venster van 50×50 km. Hierdoor ontstaat er een bias correctie kaart over heel België zonder het stedelijk effect in de modelsimulatie te verliezen.



Figuur 19: Verdeling van stedelijk gebied over België. FR_{pav} is de fractie verharde oppervlakte op de resolutie van het klimaatmodel (2,8km). Waarden > 0.12 worden als stedelijk beschouwd.

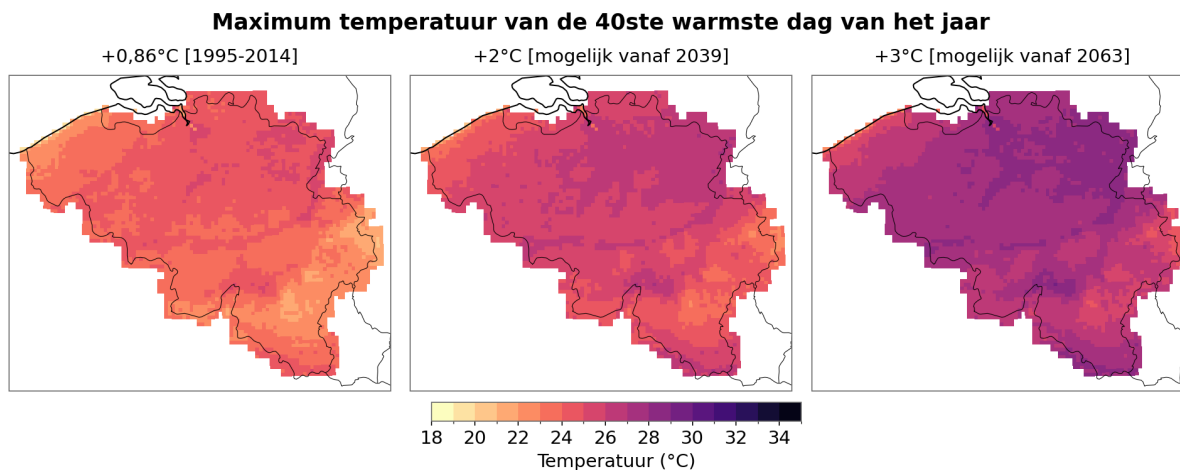
De ruimtelijke verschillen in de temperatuur van de dagelijkse maximum buitenluchttemperatuur van de

Bias correctie voor 89e en 97e percentiel van de dagelijkse maximum temperatuur



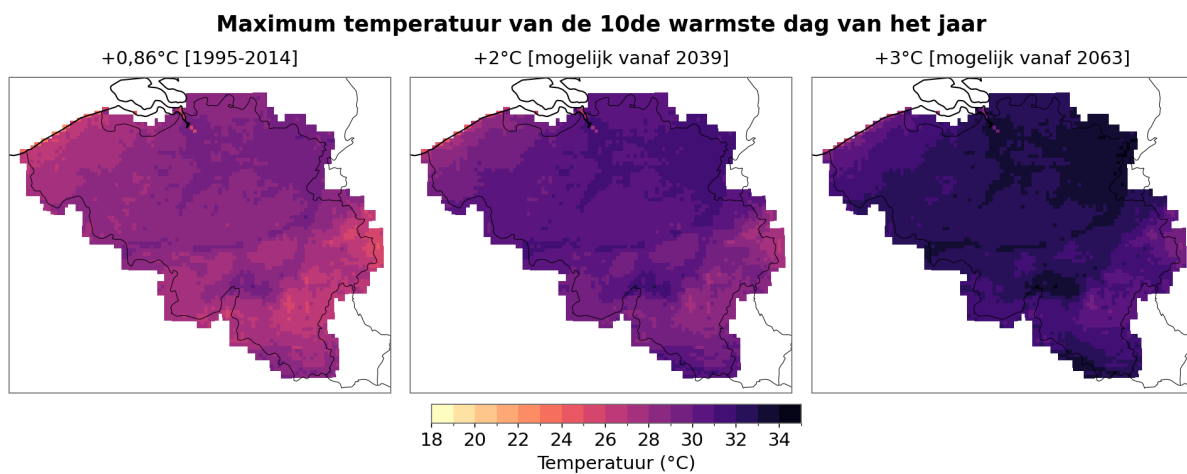
Figuur 20: Bias correctie van de relatie tussen het CCLM6 model en Climate Grid voor het 89e percentiel (links) en het 87e percentiel (rechts), overeenkomend met respectievelijk de 40ste en 10de warmste dag van het jaar, gemiddeld over de periode 1985–2014. FR_{pav} is de fractie verharde oppervlakte op de modelresolutie van 2,8km. Waarden > 0.12 worden als stedelijk beschouwd. Deze stedelijke pixels worden uitgesloten bij de biascorrectie en nadien opgevuld op basis van omliggende pixels binnen een 50×50 km grid.

40ste warmste dag wordt weergegeven op Figuur 21. Het binnenland ervaart hogere temperaturen op deze 40ste warmste dag van het jaar ten opzichte van kustgebieden. Ook de heuvelachtige gebieden in het zuiden (Ardennen) ervaren lagere maximum buitenluchttemperaturen ten opzichte van de vlakke gebieden in het noorden. Bovendien springen de grote steden uit ten opzichte van hun omliggende gebieden, zoals Brussel en Antwerpen. Ook de Maasvallei komt hierin naar voren. Over de verschillende opwarmingsniveaus heen is in het hele land een duidelijke toename van deze temperatuur.



Figuur 21: De maximum buitenluchttemperatuur (T_{max}) van de 40ste warmste dag van het jaar, overeenkomend met het 89e percentiel, gemiddeld over 20 jaar, weergegeven voor drie mondiale opwarmingsniveaus. Elke kolom geeft een opwarmingsniveau weer: $+0,86^{\circ}\text{C}$ voor de historische referentieperiode, en twee toekomstprojecties $+2^{\circ}\text{C}$ en $+3^{\circ}\text{C}$. Voor de toekomst is het vroegst mogelijke moment aangegeven wanneer dit opwarmingsniveau bereikt kan worden (zie sectie 2.1 voor meer uitleg).

De ruimtelijke verdeling van de temperatuur van de dagelijkse maximum buitenluchttemperatuur voor de 10de warmste dag van het jaar wordt weergegeven op Figuur 22. Ook hier ervaart het binnenland hogere temperaturen op deze 10de warmste dag van het jaar ten opzichte van kustgebieden, net als waargenomen bij de 40ste warmste dag. Ook de heuvelachtige gebieden in het zuiden (Ardennen) ervaren een minder warme maximum buitenlucht temperatuur ten opzichte van de vlakke gebieden in het noorden. Alsook springen de grootste steden uit ten opzichte van hun omliggende gebieden, zoals Brussel en Antwerpen. Naarmate de globale opwarming verder stijgt nemen deze temperaturen sterkt toe.



Figuur 22: De maximum buitenluchttemperatuur (T_{max}) van de 10de warmste dag van het jaar, overeenkomend met het 97e percentiel, gemiddeld over 30 jaar, weergegeven voor drie mondiale opwarmingsniveaus. Elke kolom geeft een opwarmingsniveau weer: +0,86°C voor de historische referentieperiode, en twee toekomstprojecties +2°C en +3°C. Voor de toekomst is het vroegst mogelijke moment aangegeven wanneer dit opwarmingsniveau bereikt kan worden (zie sectie 2.1 voor meer uitleg).