



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

De impact van klimaatscenario's op de warmte- en koudevraag voor de gebouwde omgeving

L. van Voorst en H. van den Brink

De Bilt, 2024 | Technisch rapport; TR 24-04

De impact van klimaatscenario's op de warmte- en koudevraag voor de gebouwde omgeving

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van RVO.nl voor de Topsector Energie op verzoek van TKI Urban Energy

Leon van Voorst en Henk van den Brink

versie 1, Juli 2024

1 Introductie

In de gebouwmodel-sector wordt het binnenklimaat berekend dat - naast de eigenschappen van het gebouw - afhankelijk is van het buitenklimaat ('het weer'). Voor een realistische simulatie van het binnenklimaat is dus een realistisch buitenklimaat nodig. Hiervoor wordt vaak een tijdreeks gebruikt die bestaat uit uurlijkse waarden van de benodigde meteorologische variabelen: temperatuur, straling, wind, vochtigheid en luchtdruk. Momenteel wordt hiervoor meestal het NEN5060-klimaatjaar gebruikt. Dit klimaatjaar is echter geconstrueerd met historische gegevens. Daarmee zijn alle analyses en berekeningen gebaseerd op het weer en klimaat van het verleden. Omdat het klimaat verandert is de huidige norm niet geschikt voor het maken van beleid voor de toekomst.

In de sector bestaat daarom behoefte aan reeksen met uurlijkse meteorologische gegevens die aan drie belangrijke voorwaarden voldoen: 1) Het zijn reeksen die de uur-op-uur en de dag-op-dag veranderingen in het weer realistisch en consistent beschrijven. 2) De reeksen omvatten elk één volledig jaar, zodat enerzijds alle seizoenen zijn meegenomen, maar anderzijds de rekentijd beperkt blijft. 3) De meest extreme situatie in een reeks beschrijft een vantevoren gedefiniëerd criterium dat hoort bij het gerepresenteerde klimaat.

Ligtenberg (2023) beschrijft het vooronderzoek dat is uitgevoerd om de randvoorwaarden van voornamelijk het bovengenoemde 3e punt zo scherp mogelijk vast te stellen. Dit is gedaan door interviews met professionele gebruikers en door middel van een workshop.

In dit rapport wordt beschreven hoe de klimaatjaren zijn afgeleid, waarin deze verschillen van het NEN5060-klimaatjaar, voor welke klimaatscenario's er klimaatjaren beschikbaar zijn, en waar deze te downloaden zijn.

Daarmee zijn klimaatjaren beschikbaar gekomen voor verschillende toekomstscenario's, speciaal afgestemd op de wensen van de bouwsector, zodat ook naar toekomstig binnenklimaat gekeken kan worden. Dit zal bijdragen aan een verbeterd inzicht bij nieuwbouw en renovatie en geeft duidelijkere randvoorwaarden voor de energietransitie.

Leeswijzer

In dit rapport wordt eerst een korte introductie op de KNMI'23 klimaatscenario's gegeven, waaruit de toekomstige klimaatjaren worden afgeleid (hoofdstuk 2). Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 uitgewerkt hoe de klimaatjaren geconstrueerd worden, inclusief de definitie van de koudevraag, de warmtevraag en het gemiddelde jaar. Tevens worden deze klimaatjaren voor De Bilt getoond (voor het huidige klimaat). De ruimtelijke variaties ten opzichte van De Bilt

worden besproken in hoofdstuk 4. Een vergelijking met de huidige NEN5060 norm vindt plaats in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 wordt worden belangrijkste conclusies van het in dit voorliggende rapport beschreven en bediscussieerd.

In de appendices A-C worden aanvullende figuren gepresenteerd, terwijl Appendix D informatie verschaft voor het downloaden van de klimaatjaren.

2 KNMI'23 klimaatscenario's

In 2023 heeft het KNMI de KNMI'23 klimaatscenario's gepresenteerd, zie Van Dorland et al. (2023). Hierin is gebruik gemaakt van het regionale klimaatmodel RACMO (Van Meijgaard, 2008), waarmee het klimaatsignaal vanuit de mondiale klimaatmodellen vertaald is naar het weer boven West Europa. Dit model rekent voor elke tijdstap en elk roosterpunt een groot aantal meteorologische variabelen in onderlinge samenhang uit. De roosterpuntsafstand van RACMO is 12x12 km. Voor heel Nederland betreft dit dus ongeveer 300 roosterpunten.

In totaal zijn er 15 klimaatscenario's gemaakt. Deze zijn afhankelijk van 3 grootheden: de globale opwarming (aangeduid met L (laag), M (matig) en H (hoog)), het regionale effect (aangeduid met n (nat) of d (droog)), en het zichtjaar (2050, 2100 of 2150). Het 2100Hn scenario geeft dus aan hoe het klimaat rond 2100 (van 2086-2115) verandert bij een hoge globale temperatuurstijging (die voor H in 2100 4°C bedraagt) voor de vernattende variant¹. Elk klimaatscenario bestaat uit een combinatie van een zogenaamde controle-run (die de periode 1991-2020 omvat) en een toekomstige run die het klimaat representeert dat hoort bij een van de klimaatscenario's. Zowel de controle reeks als de toekomstige reeks representeert het weer over een 30-jarige tijdvak dat gecentreerd is rondom het zichtjaar. Omdat het weer varieert (zelfs gemiddeld over 30 jaar), is de 30-jarige periode acht keer afgeleid, zodat er in totaal 240 jaar beschikbaar is rondom het zichtjaar.

Voor de variabelen waarvoor gegridde observaties (alleen boven land) beschikbaar zijn, zijn de RACMO gegevens van de controle-run zodanig aangepast dat deze klimatologisch overeenkomen met de waargenomen klimatologie over 1991-2020. Deze aanpassingen zijn ook toegepast op de toekomstige klimaatreeks, zodanig dat deze biascorrectie geen effect heeft op het klimaat-signaal. Zie Van Dorland et al. (2023) voor meer details.

De 15 controle runs zijn (na biascorrectie) klimatologisch identiek. Hiervan is er één gekozen als referentie voor het huidige klimaat².

Bepaalde onzekerheden in het klimaatsysteem, zoals de zogenaamde 'tipping points' (zie bijvoorbeeld Rahmstorf, 2024), zijn in dit onderzoek niet meegenomen.

3 Methodologie

Om een zo goed mogelijk beeld te kunnen krijgen van de toekomstige energievraag wordt - zoals in het vooronderzoek (Ligtenberg, 2023) is aangegeven (zie Figuur 1 voor een beknopt overzicht) - onderscheid gemaakt tussen de warmtevraag en de koudevraag in de toekomst.

Daarom wordt voor ieder scenario en ieder zichtjaar van de KNMI'23 klimaatscenario's naast een gemiddeld jaar zowel een representatief jaar met een warme zomer als een representatief jaar met een koude winter gepubliceerd.

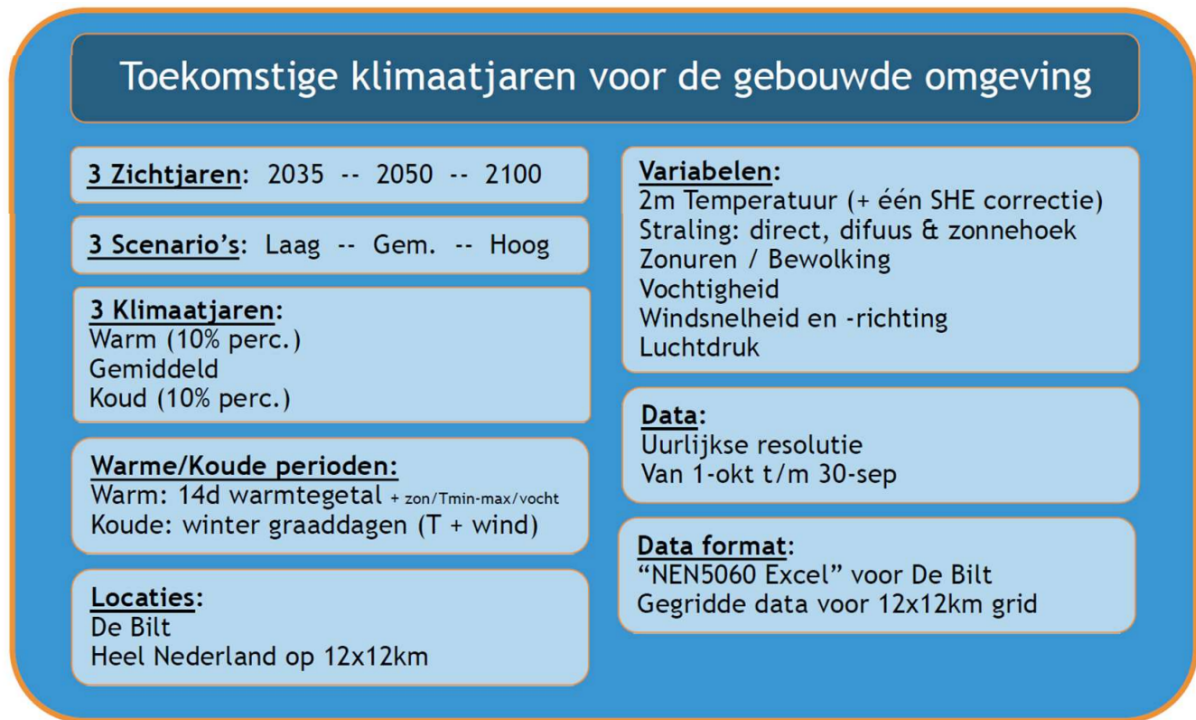
De klimaatjaren worden gekozen uit een set van 240 jaar per scenario en zichtjaar (zie hoofdstuk 2). Dit gebeurt voor het roosterpunt van RACMO dat het dichtst bij De Bilt ligt³. De methodiek wordt per type klimaatjaar omschreven in paragraaf 3.1 tm 3.3. Gezien de ruimtelijke klimatologische verschillen binnen Nederland wordt in hoofdstuk 4 geanalyseerd of de ruimtelijke spreiding van het gekozen jaar ook ruimtelijk representatief is.

Verder kunnen steden een groot effect hebben op lokale temperaturen (Theeuwes, Steeneveld, Ronda & Holtslag, 2017). Dit stadseffect heeft invloed op de toekomstige energievraag.

¹ Voor zichtjaar 2033 is, vanwege het kleine verschil, geen onderscheid gemaakt tussen een vernattende en verdrogende variant.

² Als referentie is het controleklimaat dat hoort bij klimaatscenario 2050Md gekozen (voor de onderbouwing van deze keuze, zie Van den Brink, 2023).

³ Er is voor De Bilt gekozen in lijn met de eerder gepubliceerde NEN5060 normen.



Figuur 1: Beknopte databeschrijving van de toekomstige klimaatjaren voor de gebouwde omgeving (overgenomen uit Ligtenberg (2023)).

Daarom wordt binnenkort⁴ voor elk klimaatjaar een extra reeks geleverd waarin stadseffecten meegenomen worden volgens de parameterisatie van Theeuwes et al. (2017).

Als de klimaatjaren zouden lopen van 1 Januari tm 31 December wordt het winterhalfjaar opgesplitst, wat ongunstig is voor de bepaling van de warmtevraag. Daarom worden alle klimaatjaren gedefiniëerd van 1 Oktober tm 30 September⁵.

Eventuele schrikeldagen in de gekozen klimaatjaren zijn verwijderd zodat elk klimaatjaar 365 dagen telt.

3.1 Koudevraag

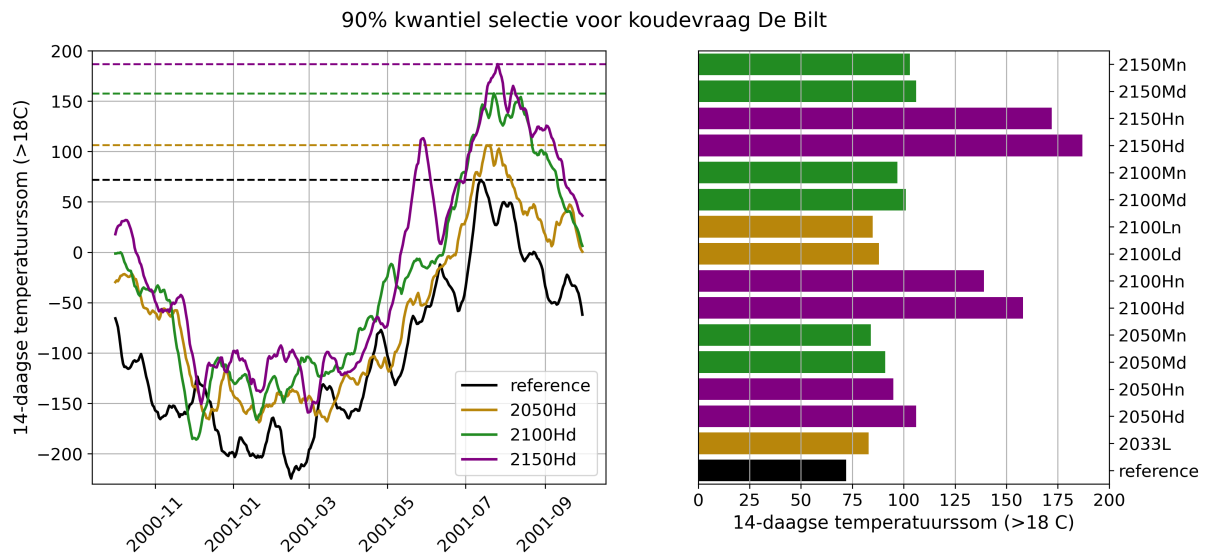
In het vooronderzoek (Ligtenberg, 2023) is onderzocht welke criteria het beste gebruikt kunnen worden om klimaatjaren te bepalen. Hieruit volgde dat een 14-daagse som de daggemiddelde temperatuur een goede indicator is voor de koudevraag: als het gedurende 14 dagen bovengemiddeld warm is, is deze warmte diep in bijna alle gebouwen doorgedrongen:

$$T_{koudevraag} = \sum_{n=1}^{14} \max[T(n) - 18^{\circ}C] \quad (1)$$

Om een redelijk uitzonderlijk jaar te vormen kijken we naar het 90% percentiel van de maximale 14-daagse sommen per jaar. Anders gezegd: we bepalen die 14-daagse temperatuur die

⁴ Zodra deze reeksen beschikbaar zijn zal ook dit rapport geupdate worden. Check <https://www.knmi.nl/knmi-bibliotheek/publicaties/technisch-rapport> voor de update.

⁵ De 240 jaar die een klimaatscenario representeren zijn door het KNMI zo geselecteerd dat ze gezamenlijk voldoen aan de opgelegde randvoorwaarden (zie Van Dorland et al., 2023, voor details). Vergelijking laat zien dat selectie van de 1 Oktober - 30 September periodes geen ander klimaatsignaal oplevert dan de oorspronkelijke 1 Januari - 31 December periodes.



Figuur 2: Links: 4-tal voorbeelden van het tijdsverloop van de 14-daagse temperatuursom boven de 18°C die een maximale waarde heeft die gemiddeld eens-in-de-10-jaar voorkomt. De zwarte lijn geeft die van het 1991-2020 referentieklimaat weer, de andere lijnen laten de eens-in-de-10-jaar maxima zien voor het Hd klimaat in respectievelijk 2050, 2100 en 2150. Rechts: overzicht van de eens-per-10-jaar 14-daagse temperatuursommen voor het referentieklimaat en alle scenario's.

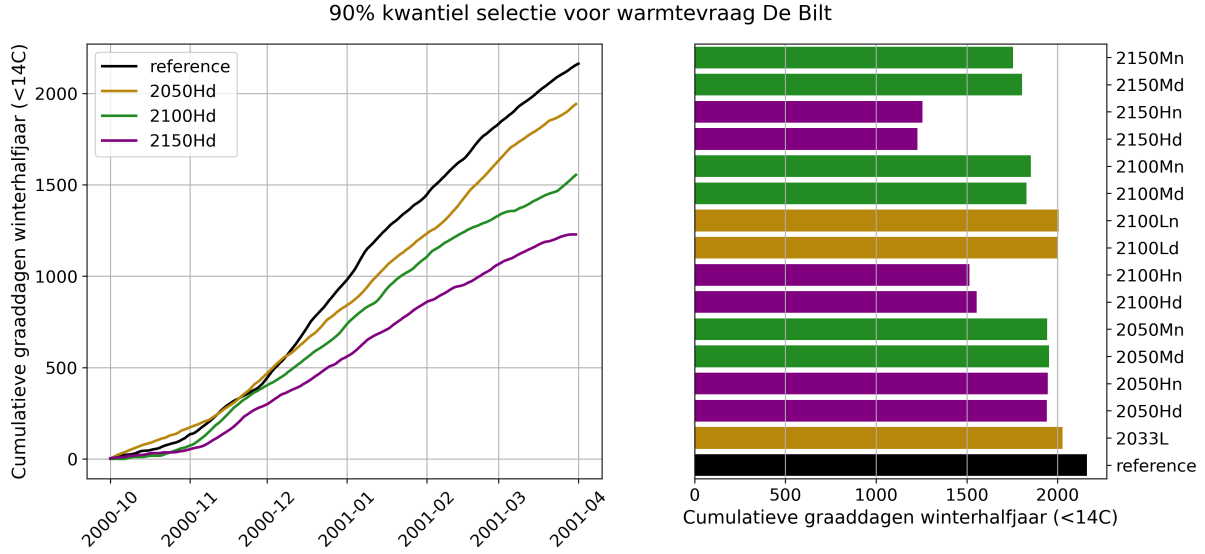
gemiddeld eens-in-de-10-jaar voorkomt. Figuur 2 (links) laat een 4-tal voorbeelden zien van het tijdsverloop van de 14-daagse temperatuursom boven de 18°C die een maximale waarde heeft die gemiddeld eens-in-de-10-jaar voorkomt. De zwarte lijn geeft die van het 1991-2020 referentieklimaat weer, de andere lijnen leiden tot de eens-in-de-10-jaar maxima voor het Hd klimaat in respectievelijk 2050, 2100 en 2150.

Het referentieklimaat laat een eens-in-de-10-jaar maximum van 72 zien (aangegeven met de zwarte stippellijn), dat begin Juli plaatsvindt. Dit betekent dat in het referentieklimaat eens in de 10 jaar de 14-daagse som van de temperaturen boven de 18°C een waarde van 72 bereikt. Anders gezegd: eens in de 10 jaar is de 14-daagse gemiddelde temperatuur in het referentieklimaat $18 + 72/14 = 23.1^\circ\text{C}$. In het 2100Hd scenario (groene lijn) neemt deze indicator toe tot 155, ofwel een 14-daagse gemiddelde temperatuur van 29°C . Naast een forse verhoging van de indicator (duidelijk meer dan de globale temperatuurstijging van 4°C in 2100) laat de groene lijn in Figuur 2 ook zien dat de piek breder is: de eens-in-de-10-jaar waarde van 72 die in het referentieklimaat net wordt aangetipt, wordt in 2100Hd gedurende een aaneengesloten periode van zo'n 70 dagen overschreden (van 1 Juli tot 10 September).

Het rechter deel van Figuur 2 geeft voor alle scenario's de eens-per-10-jaar waarde. Zoals te verwachten valt wordt de 14-daagse temperatuursom extremer voor alle toekomstige scenario's, en is de mate van toename afhankelijk van het scenario: de koudevraag neemt toe van L via M naar H, neemt (binnen een scenario) toe met het zichtjaar, en is (binnen een scenario) hoger voor de droge variant dan voor de natte variant.

3.2 Warmtevraag

Om de klimaatjaren voor de warmtevraag het beste te kunnen bepalen is in het vooronderzoek (Ligtenberg, 2023) gesteld dat de effectieve temperatuur over de winterperiode beschouwd moet worden. Deze effectieve temperatuur T_{eff} is afhankelijk van de daggemiddelde temperatuur en



Figuur 3: Links: ontwikkeling van de cumulatieve graaddagen over het winterhalfjaar in De Bilt die op 31 Maart tot de eens-per-10-jaar waarden leiden voor het referentieklimaat (zwart) en het Hd klimaat in 2050, 2100 en 2150. Rechts: overzicht van de eens-per-10-jaar waarden voor het referentieklimaat en alle scenario's.

de wind volgens:

$$T_{eff} = T_{gem} - \frac{2}{3}u_{gem} \quad (2)$$

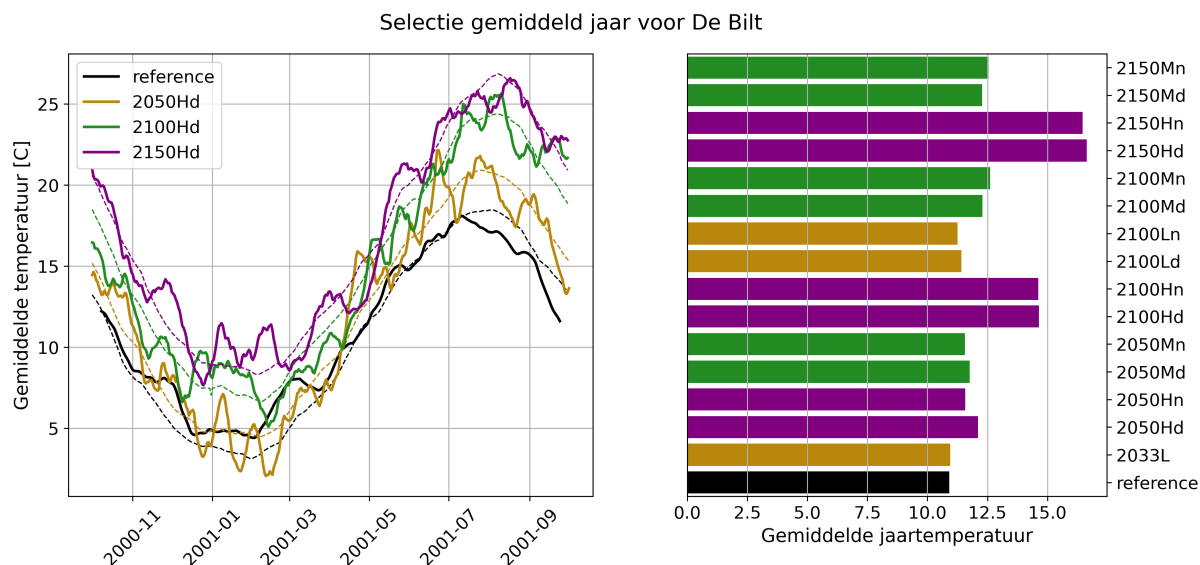
met T_{gem} de daggemiddelde temperatuur in $^{\circ}\text{C}$ en u_{gem} de daggemiddelde windsnelheid in m/s (zie *Uitvoeringsregeling Gaswet*, z. j.). In lijn met de conventionele methode voor de bepaling van de aardgasvraag (*Uitvoeringsregeling Gaswet*, z. j.) wordt voor de bepaling van de klimaatjaren ook gekeken naar graaddagen. Dit is gedefinieerd als de som van $(14 - T_{eff})$ over een bepaalde periode, waarbij de dagen met een temperatuur boven 14°C niet meetellen:

$$N_{gr} = \sum_{n=1}^N \max[0, 14^{\circ}\text{C} - T_{eff}(n)] \quad (3)$$

met N_{gr} het aantal graaddagen, N het aantal dagen in de beschouwde periode en T_{eff} de daggemiddelde effectieve temperatuur in $^{\circ}\text{C}$. De periode waarover de graaddagen worden bepaald in deze studie is het winterhalfjaar (1 Oktober - 31 Maart). Om een redelijk uitzonderlijk jaar te vormen is gekeken naar het 90%-percentiel van de graaddagen. Anders gezegd: we bepalen dat jaar met het aantal graaddagen dat gemiddeld eens in de 10 jaar wordt overschreden.

Figuur 3 (links) toont het tijdsverloop van graaddagen voor de geselecteerde klimaatjaren in De Bilt voor het referentieklimaat (zwart) en de Hd scenario's. In het referentieklimaat wordt eens in de 10 jaar een waarde van 2120 bereikt voor het aantal graaddagen. In het 2100Hd is het aantal graaddagen 1550, ofwel een afname van 30%.

Het rechterdeel van Figuur 3 toont de graaddagen die eens in de 10 jaar bereikt worden voor het referentieklimaat en voor alle scenario's. Alle scenario's geven een afname van het aantal graaddagen. In 2050 is nog geen onderscheid te maken tussen de M en H scenario's; in 2100 en 2150 laten de H scenario's een fors grotere afname zien dan de M (en L) scenario's. De droge en natte variant laten onderling geen (significant) verschil zien in het aantal graaddagen.



Figuur 4: Links: klimatologieën (onderbroken lijnen) en gemiddelde klimaatjaren (doorgetrokken lijnen) voor de referentie periode (1991-2020, zwart) en de Hd scenario's in 2050, 2100 en 2150. Rechts: gemiddelde jaartemperaturen voor het referentieklimaat en alle scenario's.

3.3 Gemiddeld jaar

Naast de vraag voor koude en warmte is een indicatie van een gemiddeld toekomstig jaar ook belangrijk. Hierbij wordt niet een eens-per-10-jaar-situatie geselecteerd, maar wordt het jaar gekozen dat het dichtst bij de klimatologie ligt. Figuur 4 (links) laat de klimatologie zien (gedefinieerd als het gemiddelde van alle 240 jaar, onderbroken lijnen), en de jaren die het dichtst bij deze klimatologie liggen. Het verschil is bepaald als:

$$\Delta = \sqrt{\sum_{n=1}^N w_n (\langle T_n \rangle_{>14} - \langle \tilde{T}_n \rangle_{>14})^2} \quad (4)$$

waarbij T_n de gemiddelde temperatuur op dag n is, \tilde{T}_n de klimatologische waarde op dag n , en $\langle \cdot \rangle_{>14}$ het 14-daagse (gecentreerde) lopend gemiddelde aangeeft. w_n is een gewichtsfactor die 2 is in de zomer- en wintermaanden, en 1 in de lente en herfst. Hiermee wordt grotere belang van de zomer en winter ten opzichte van de lente en herfst in de klimaatjaren meegenomen. In deze analyse wordt alleen gekeken naar de daggemiddelde temperatuur, en niet naar de minimale- en maximale dagtemperaturen, aangezien deze zo sterk gecorreleerd zijn met het daggemiddelde dat toevoeging geen effect heeft op de bepaling van het gemiddelde klimaatjaar.

Figuur 4 (links) laat zien dat zelfs het best passende klimaatjaar periodes laat zien waar de temperaturen voor langere tijd één of meerdere graden van de klimatologie afwijkt. Het rechter paneel geeft voor de referentie en alle scenario's de jaargemiddelde temperatuur. Alle scenario's laten opwarming zien, waarbij de toename voornamelijk afhangt van het zichtjaar en de keuze van het L, M of H scenario. De droge en natte variant laten onderling geen (significant) verschil zien.

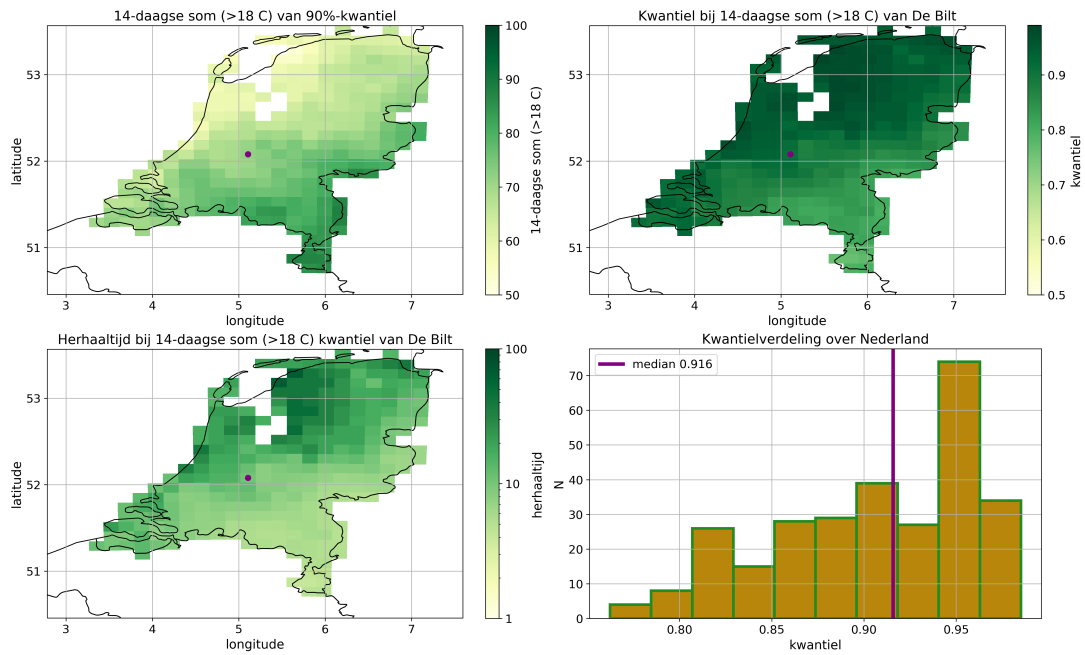
4 Ruimtelijke variaties

Hierboven zijn de getallen afgeleid voor De Bilt. De vraag is in hoeverre De Bilt representatief is voor heel Nederland. Ter illustratie gebruiken we het criterium voor de koudevraag (het 90%-percentiel van de 14-daagse som van temperaturen boven 18°C) voor het huidige klimaat. Figuur 5 laat linksboven de ruimtelijke spreiding van het criterium voor de koudevraag zien voor het huidige klimaat. Zoals Figuur 2 laat zien is de waarde voor De Bilt (aangegeven met de stip) gelijk aan 72. Landelijk varieert de waarde tussen de 52 en 88. Blijkbaar is er landelijk een spreiding die varieert tussen -28% en +14%. De kwantielen die behoren bij de waarde van 72 variëren tussen 0.78 en 0.975 (rechtsboven), wat correspondeert met herhaaltijden die variëren van 5 tot 40 jaar (linksonder). De kwantielen die behoren bij de waarde van 72 zijn rechtsonder getoond als histogram. De mediaan (0.92) ligt dicht bij de waarde van 72 voor De Bilt, maar de spreiding is dermate groot (namelijk herhaaltijden die 2 keer zo klein tot 4 keer zo groot zijn dan de beoogde 10 jaar) dat een klimaatjaar voor de koudevraag op basis van één roosterpunt/locatie (bijvoorbeeld De Bilt) tot grote afwijkingen elders in Nederland kan leiden. Bij generatie van klimaatjaren voor Nederland is het derhalve belangrijk om deze ruimtelijke variatie mee te nemen door voor ieder roosterpunt een tijdreeks te genereren.

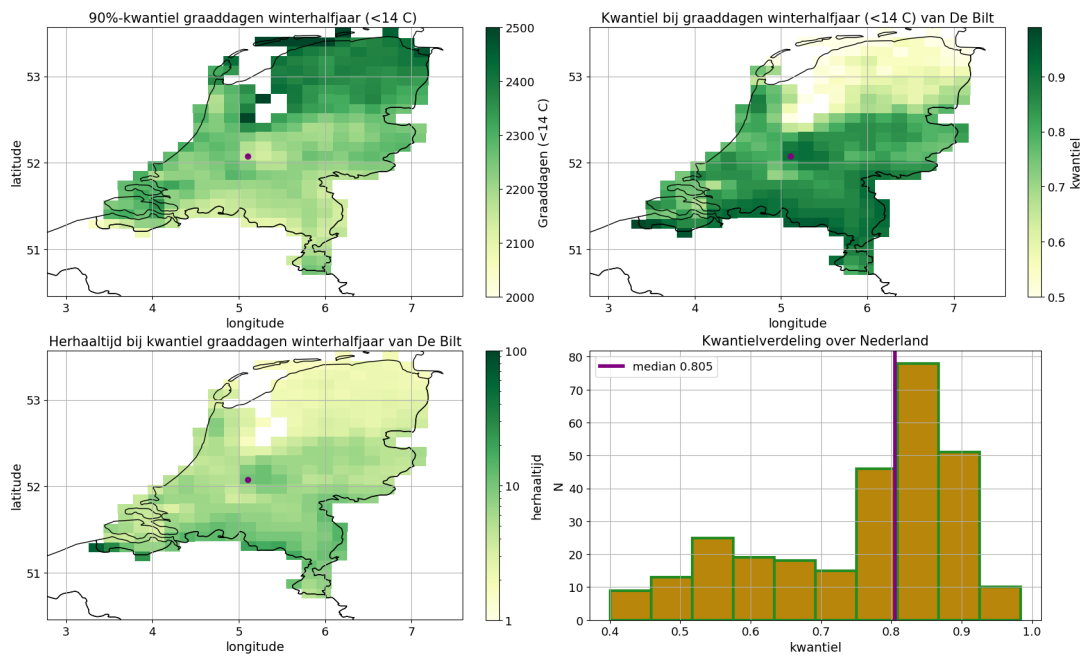
Er zijn verschillende opties mogelijk om deze tijdreeksen te genereren:

1. Eén optie is om het ruimtelijke patroon dat hoort bij het klimaatjaar in De Bilt toe te passen op alle roosterpunten. Het *voordeel* is dat elk roosterpunt hetzelfde klimaatjaar heeft, en de temporele en ruimtelijke consistentie dus behouden blijven. Het *nadeel* is echter dat het klimaatjaar voor andere locaties dan De Bilt niet noodzakelijkerwijs voldoet aan het opgelegde criterium (bijvoorbeeld het 90%-kwantiel voor de koude- en warmtevraag).
2. Een andere optie om voor elk roosterpunt de analyse die in Figuren 2 tm 4 is getoond te herhalen. Het *voordeel* is dat elk roosterpunt dan een klimaatjaar geeft dat precies het 90%-percentiel bevat. Het *nadeel* is dan echter dat voor verschillende roosterpunten er verschillende klimaatjaren gekozen worden met wel een vergelijkbare waarde voor het criterium maar een ander verloop door het jaar heen. De ruimtelijke en temporele consistentie is daarmee verdwenen. Gebieden die maar een paar kilometer uit elkaar liggen kunnen met deze methode een totaal ander verloop van het klimaatjaar hebben.
3. Een derde optie is om het klimaatjaar voor de referentie te 'transformeren' naar het toekomstige klimaat via tijdreeksformatie (zie bijvoorbeeld Van den Brink & de Valk, 2023; Van Dorland et al., 2023). *Voordeel* hiervan is dat de temporele eigenschappen van het referentie-klimaatjaar rechtstreeks overgenomen worden in het toekomstige klimaat, dus dat één-op-één-vergelijking mogelijk is, en het maskerende effect van klimaatvariabiliteit hiermee genivelleerd wordt. *Nadelen* zijn dat tijdreeksformatie het ruimtelijke probleem niet oplost, en ook dat verandering in bijvoorbeeld de duur van droge/warme periodes niet meegenomen wordt.

Figuur 6 (links) laat de kwantielen zien op basis van de referentieperiode voor de koudevraag. In De Bilt (stip) is deze waarde dus per definitie gelijk aan 0.90, met een bijbehorende herhaaltijd van 10 jaar. De kwantielen en de herhaaltijden (rechts) variëren wel enigszins over het land maar wel zo weinig dat dit de keuze rechtvaardigt om het klimaatjaar op de gegevens van De Bilt af te leiden. Ook voor de warmtevraag (Figuur 7) en het gemiddelde jaar (Figuur 8) zijn de verschillen acceptabel. **Er is daarom gekozen voor de eerste optie: om het klimaatjaar van De Bilt toe te passen op alle roosterpunten, omdat hiermee de temporele en ruimtelijke consistentie bewaard blijft, en de afwijkingen in criteria volgens Figuren 6-8 acceptabel zijn.**

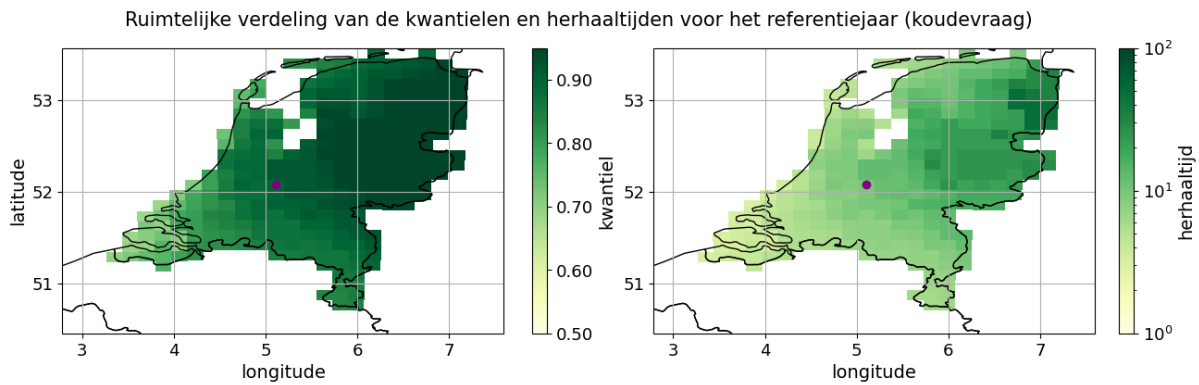


koudevraag

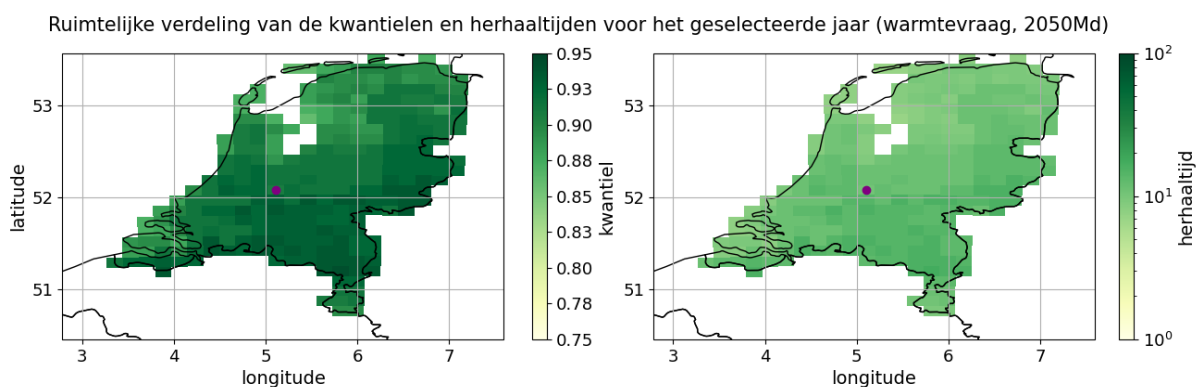


warmtevraag

Figuur 5: Linksboven: ruimtelijke verdeling van de waarde die hoort bij het 90%-kwantiel voor de referentie van de koudevraag (boven) en de warmtevraag (onder). Rechtsboven: het kwantiel dat hoort bij de waarde die geldt voor De Bilt (72 voor de koudevraag, zie Figuur 2, en 2120 voor de warmtevraag, zie Figuur 3). De stip geeft de locatie van De Bilt aan. Linksonder: herhaaltijd die correspondeert bij de getoonde kwantielen. Rechtsonder: histogram van de getoonde kwantielwaarden.



Figuur 6: Ruimtelijke verdeling van de kwantielen (links) en de bijbehorende herhaaltijden (rechts) voor de koudevraag op basis van de referentie.



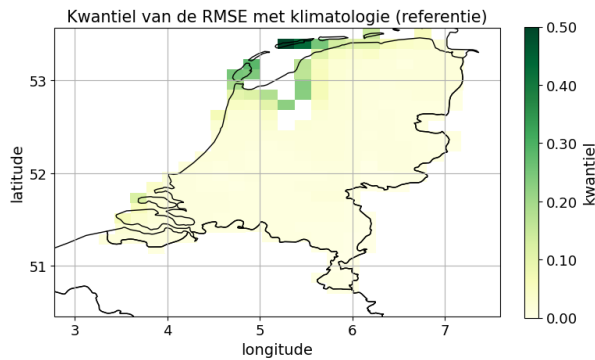
Figuur 7: Ruimtelijke verdeling van de kwantielen (links) en de bijbehorende herhaaltijden (rechts) voor de warmtevraag op basis van de referentie.

Wel dient - als er naar verschillen tussen klimaatscenario's gekeken wordt - beseft te worden dat de ruimtelijke spreiding over Nederland het klimaatsignaal kan verstoren. Dit is het geval als de referentie een herhaaltijd heeft die kleiner is dan 10 jaar, en het scenario een herhaaltijd die groter is dan 10 jaar (of vice versa). Geadviseerd wordt daarom om, naast het ruimtelijke punt, ook altijd de analyse voor het roosterpunt De Bilt uit te voeren, om zodoende een gevoel te krijgen in hoeverre de ruimtelijke onzekerheid van invloed is.

De ruimtelijke plaatjes voor andere klimaatjaren en scenario's zijn te vinden in Appendices A tot C. Afwijkingen van het gezochte percentiel zijn het grootst voor de koudevraag, daarna voor de warmtevraag, en het kleinst voor het gemiddelde jaar. Dit is het gevolg van de middelingstijd: hoe langer de tijd is waarover gemiddeld wordt, hoe kleiner het 'weer' doorwerkt ten opzichte van het 'klimaat'. Bij de koudevraag is de middelingstijd 14 dagen, bij de warmtevraag een half jaar, en bij het gemiddelde jaar een heel jaar.

5 Vergelijking klimaatjaar NEN5060 met KNMI reeksen

Figuur 9 laat het verloop door het jaar heen zien (van 1 Oktober tm 30 September) van de klimaatjaren voor de *koudevraag* voor zowel de huidige NEN5060 norm (paarse lijn) als voor de KNMI controle reeksen. De bruine lijn is het gemiddelde van alle 15 controle klimaten, de lichtbruine shading is de 95% onzekerheidsband, de groene lijn is de referentie. We merken het



Figuur 8: Ruimtelijke verdeling van de RMSE percentielen voor het gemiddelde klimaatjaar op basis van de referentie.

volgende op:

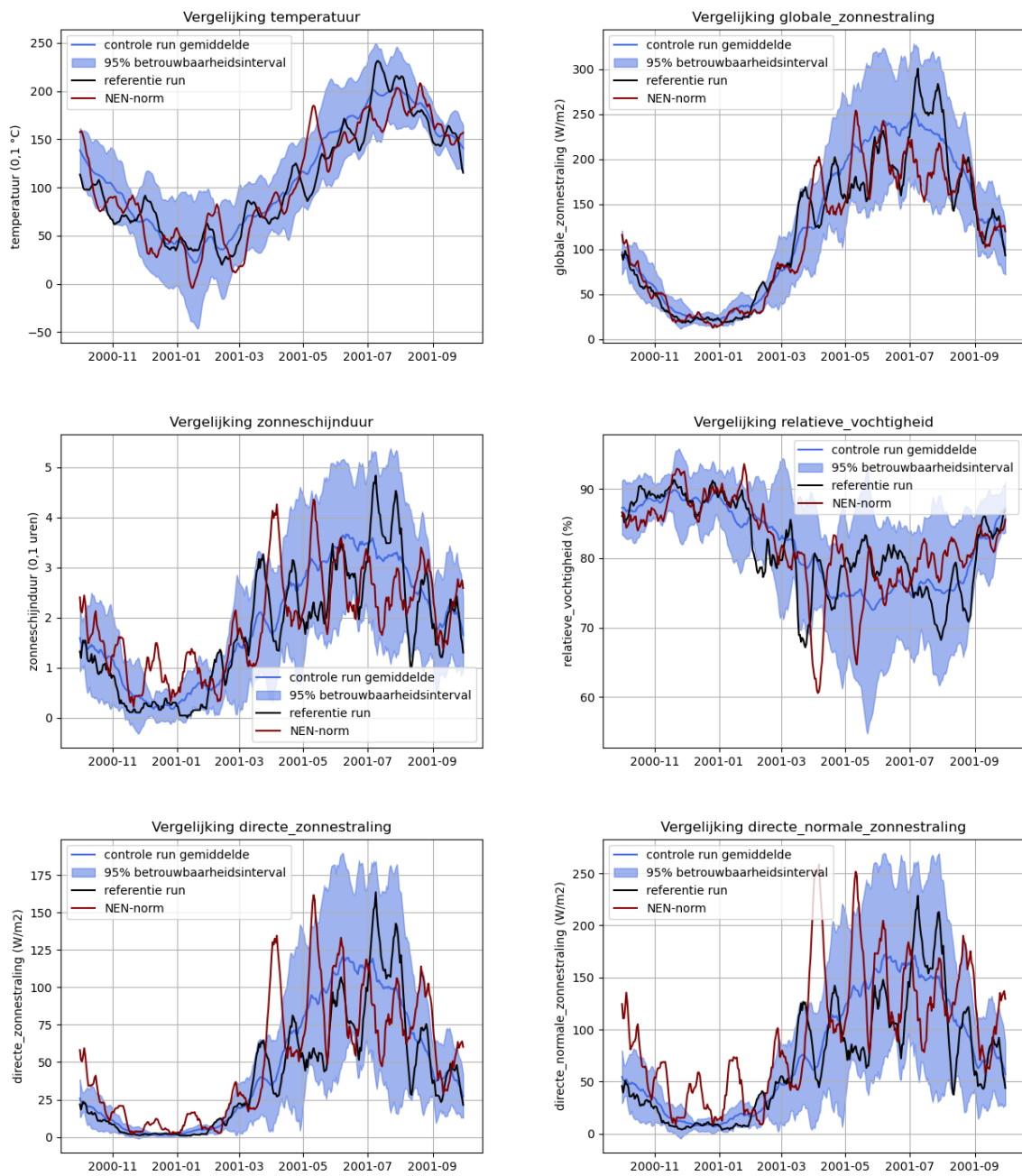
- De NEN5060 norm ligt voor temperatuur (bij de hoge zomertemperaturen) *onder* de referentie (en ook onder het gemiddelde van de controle klimaten). Het is daarom te verwachten dat de KNMI data tot hogere opwarming in woningen leidt dan de huidige NEN5060 norm.
- Voor globale straling en zonneshijnduur zien we hetzelfde als bij temperatuur: ook hier ligt de KNMI referentielijn in de zomer hoger dan de paarse NEN lijn, maar is de bruine lijn veel meer sinus-vormig. Ook de stralingscomponent en zonneshijnduur zullen in de KNMI dataset dus vermoedelijk tot meer opwarming leiden dan de NEN5060 reeks.

De vergelijking voor de *warmtevraag* is te zien in Figuur 10. Hier valt het volgende op:

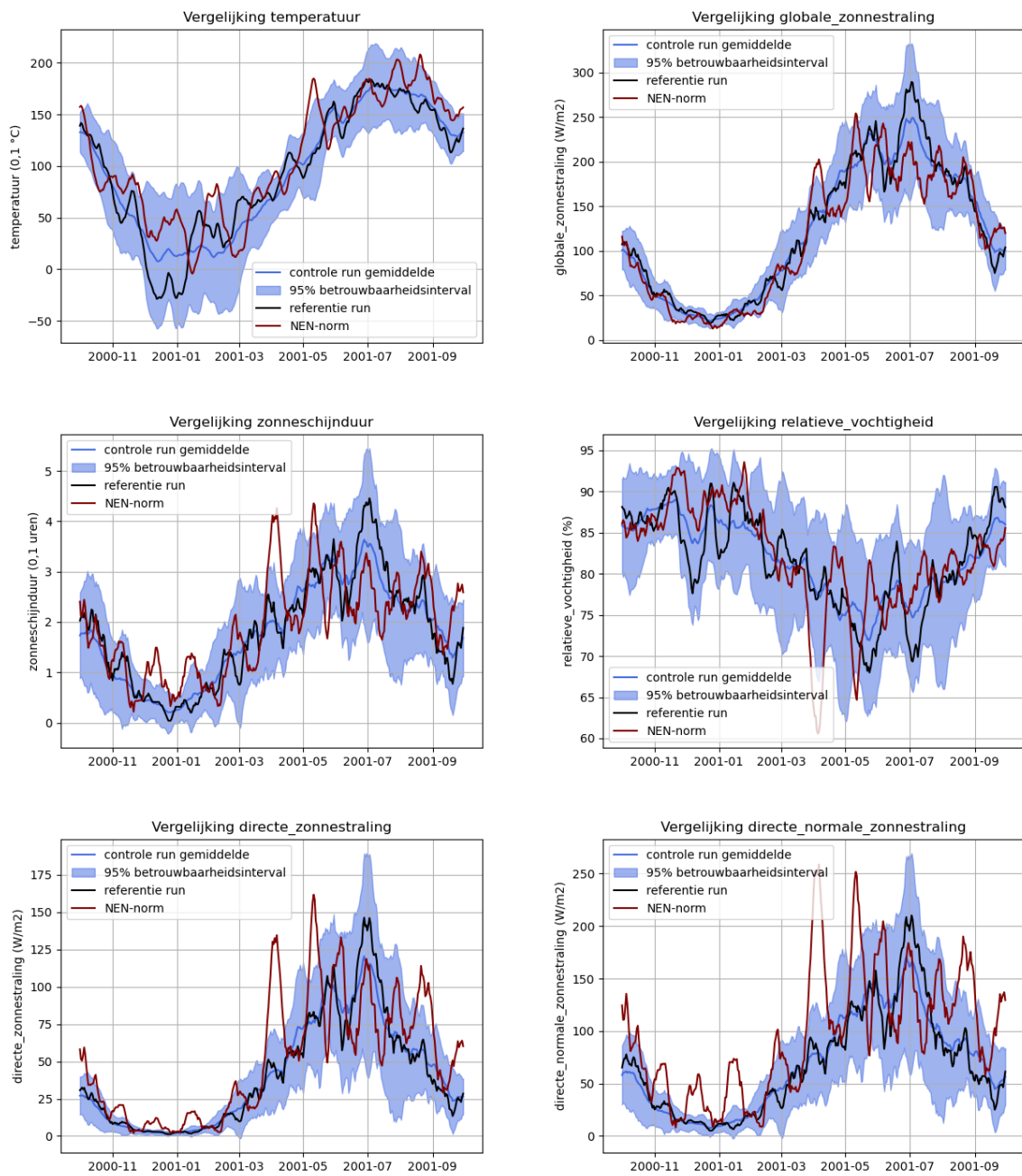
- De NEN5060 norm ligt voor temperatuur (bij de laagste wintertemperaturen) *boven* de nieuwe KNMI referentie. Het is daarom te verwachten dat de KNMI data tot een hogere warmtevraag leidt dan de huidige NEN5060 norm.
- De NEN norm laat in de wintermaanden veel meer fluctuaties zien in de directe zonnestraling dan de referentie. Onduidelijk is waar dit door komt.

Figuur 11 laat de vergelijking zien voor het *gemiddelde* jaar. Hier valt het volgende op:

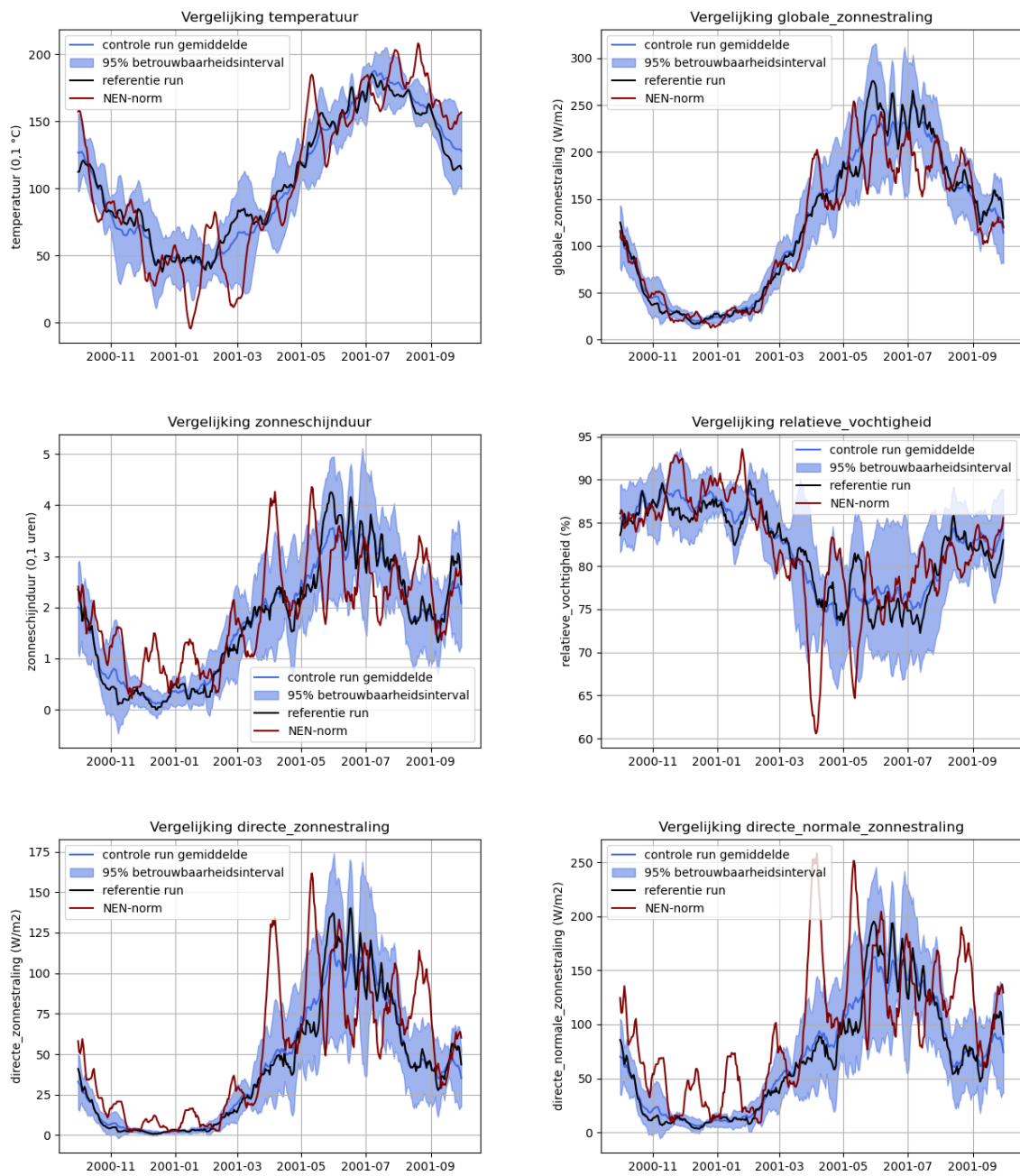
- De NEN5060 norm varieert meer door het jaar heen dan de nieuwe KNMI referentie. Dit is een gevolg van de de nieuwe definitie van een gemiddeld jaar, waarbij de fluctuaties geminimaliseerd zijn. Doordat het NEN jaar een samenvoeging van historische fragmenten is kan deze niet gebruikt worden om het gemiddelde jaar te representeren. Daarom geeft de nieuwe KNMI reeks voor het gemiddelde jaar betere en meer betrouwbare resultaten dan de NEN reeks.



Figuur 9: Klimaatjaar voor de *koudevraag* voor temperatuur, globale straling, zonneshijnduur, relatieve vochtigheid, directe straling en directe normale straling volgens de NEN5060 norm (paars) en het gemiddelde van alle 15 controle RACMO klimaten (bruine lijn). De groene lijn geeft het gekozen klimaatjaar aan voor de referentie periode. De shading geeft de 95% onzekerheidsband aan die volgt uit de 15 controle klimaten.



Figuur 10: Klimaatjaar voor de *warmtevraag* voor temperatuur, globale straling, zonneschijnduur, relatieve vochtigheid, directe straling en directe normale straling volgens de NEN5060 norm (paars) en het gemiddelde van alle 15 controle RACMO klimaten (bruine lijn). De groene lijn geeft het gekozen klimaatjaar aan voor de referentie periode. De shading geeft de 95% onzekerheidsband aan die volgt uit de 15 controle klimaten.



Figuur 11: Klimaatjaar voor de het *gemiddelde jaar* voor temperatuur, globale straling, zonneshijnduur, relatieve vochtigheid, directe straling en directe normale straling volgens de NEN5060 norm (paars) en het gemiddelde van alle 15 controle RACMO klimaten (bruine lijn). De groene lijn geeft het gekozen klimaatjaar aan voor de referentie periode. De shading geeft de 95% onzekerheidsband aan die volgt uit de 15 controle klimaten.

6 Conclusies en Discussie

6.1 Conclusies

- Er zijn representatieve jaren afgeleid voor zowel het huidige als verschillende toekomstige klimaten met specifieke focus op de koudevraag (koeling tijdens aanhoudende hitte in de zomer), de warmtevraag (verwarming tijdens het winterhalfjaar) en een gemiddeld jaar (jaargemiddelde energievraag). De reeksen zijn gebaseerd op de gegevens van het roosterpunt van het klimaatmodel RACMO dat het dichtst bij De Bilt ligt, en leveren dezelfde meteorologische elementen als het NEN5060 klimaatjaar.
- De reeksen voor de koudevraag en de warmtevraag representeren situaties die gemiddeld eens in de 10 jaar voorkomen. De mate waarin de reeksen voor de toekomst verschillen van de referentie hangt af van het zichtjaar, de keuze voor het L, M, of H scenario. De natte varianten verschillen alleen van de droge varianten voor de koudevraag, voor de warmtevraag en het gemiddelde jaar zijn de natte en de droge variant niet onderscheidbaar.
- Naast de reeksen voor De Bilt zijn ook reeksen beschikbaar voor alle RACMO roosterpunten binnen Nederland. Deze bevatten dezelfde jaren als de reeks van De Bilt. Dat kan er toe leiden dat de opgelegde normen voor de koude-, warmte- en gemiddelde vraag hier enigszins anders uitpakken.
- Hoewel De Bilt redelijk representatief is voor het gemiddelde van Nederland zijn er aanzienlijke lokale verschillen die van dezelfde orde kunnen zijn als het klimaatsignaal.
- Alle doorgerkende klimaatscenario's laten een toename zien van de koudevraag, een afname van de warmtevraag, en een toename van de gemiddelde jaartemperatuur. De grootte van de verandering hangt af van de tijdshorizon en het betreffende klimaatscenario.

6.2 Discussie

6.2.1 Ruimtelijke spreiding

Het onderzoek van de ruimtelijke spreiding van de temperatuurscriteria voor verschillende RACMO roosterpunten over Nederland laat zien dat er niet-verwaarloosbare klimatologische verschillen zijn over Nederland, die momenteel niet worden meegenomen in den NEN5060 normering. Zo varieert het criterium voor de koudevraag voor de referentie tussen 52 en 82: een verschil van -28% tot +14% ten opzichte van de waarde van 72 voor De Bilt. Een eerste stap om de ruimtelijke spreiding mee te nemen is gezet door de klimaatjaren voor De Bilt ook te leveren voor alle andere roosterpunten binnen Nederland. Dit kan echter tot enigszins andere uitkomsten van de gestelde criteria leiden. Hoewel dit rapport laat zien dat deze verschillen over het algemeen niet heel groot zijn, dient - als er naar *verschillen* tussen klimaatscenario's gekeken wordt - beseft te worden dat de ruimtelijke spreiding over Nederland het signaal kan verstoren. Geadviseerd wordt daarom om, naast het ruimtelijke punt, ook altijd de analyse voor het roosterpunt De Bilt uit te voeren, om zodoende een gevoel te krijgen in hoeverre de ruimtelijke onzekerheid van invloed is.

6.2.2 Concept van klimaatjaren

Het concept van 'klimaatjaren' probeert het weer-element en het klimaat-element te verbinden: het weer-element door de aanwezigheid van realistisch dag-op-dag variaties, en het klimaat-element door een klimatologische voorwaarde aan het jaar op te leggen.

Dit rapport laat echter zien dat er een aantal beperkingen aan dit concept kleven:

- het klimaatjaar is heel gevoelig voor de exacte voorwaarde die opgelegd wordt. Dit speelt voornamelijk voor de koudevraag. Zo zal een 14-daags maximum in de temperatuur tot een ander jaar leiden dan een 5-daags maximum⁶.
- het verloop van het klimaatjaar buiten de periode waarvoor de klimatologische randvoorwaarde geldt kan alsnog invloed hebben op de uitkomsten voor de gebouwde omgeving. Een warme periode net voor of na het maximum kan aanzienlijk bijdragen aan de opwarming (of het niet-afkoelen) van een gebouw, ook al wordt dit niet meegenomen in het criterium.
- naast temperatuur zijn ook andere variabelen (bijvoorbeeld straling) van invloed op de opwarming. Deze zijn (nog) niet meegenomen in het criterium. Maar hoe meer criteria er worden opgelegd, hoe moeilijker het is om een klimaatjaar te vinden dat aan alle voorwaarden voldoet (zelfs in een 240-jarige dataset)
- de ruimtelijke variaties over Nederland zijn aanzienlijk. Er zullen concessies gedaan moeten worden aan het afleiden van klimaatjaren voor andere locaties in Nederland: *of* qua ruimtelijke en temporele consistentie ten opzichte van De Bilt, *of* qua reproductie van de opgelegde criteria.
- de afgeleide jaren voor de koude- (en nog meer voor de warmte-vraag) laten zien dat De Bilt niet het optimale punt in Nederland om het landelijk gemiddelde te representeren. Mogelijk zijn andere locaties beter geschikt.
- het is daarom goed om het concept van klimaatjaren te heroverwegen. Een andere (rekenintensieve) aanpak zou kunnen zijn om een groot aantal (RACMO) jaren door te rekenen, en criteria op te leggen aan de *impact*, en daarvandaan terug te zoeken naar meteorologische omstandigheden die tot de opgelegde impact leiden.
- alle bovenstaande aspecten kunnen er toe leiden dat het eens-in-de-10-jaar temperatuurcriterium niet leidt tot een eens-in-de-10-jaar opwarmingscriterium.

6.2.3 Vergelijking met NEN5060 norm

De nieuwe KNMI referenties zijn vergeleken met de NEN5060 norm. De andere constructie van de nieuwe referenties ten opzichte van de NEN5060 norm bemoeilijkt deze vergelijking. Zo zijn de nieuwe tijdreeksen volledige jaren, terwijl de NEN5060 norm bestaat uit verschillende historische tijdssegmenten. De NEN5060 moet daarmee aan te veel voorwaarden voldoen: een goede weergave van de koudevraag, van de warmtevraag en van het gemiddelde jaar. Gecombineerd met de relatief korte periode van waarnemingen waaruit gekozen kon worden ligt het voor de hand dat de huidige NEN norm hier niet in slaagt. Daar komt bij dat het criterium van de koudevraag in de nieuwe KNMI referentie anders is vastgesteld dan destijds in de NEN norm: een 95% 5-daags temperatuursextreem in de NEN5060 norm tegenover een 90% 14-daagse extreem in de voorliggende klimaatjaren.

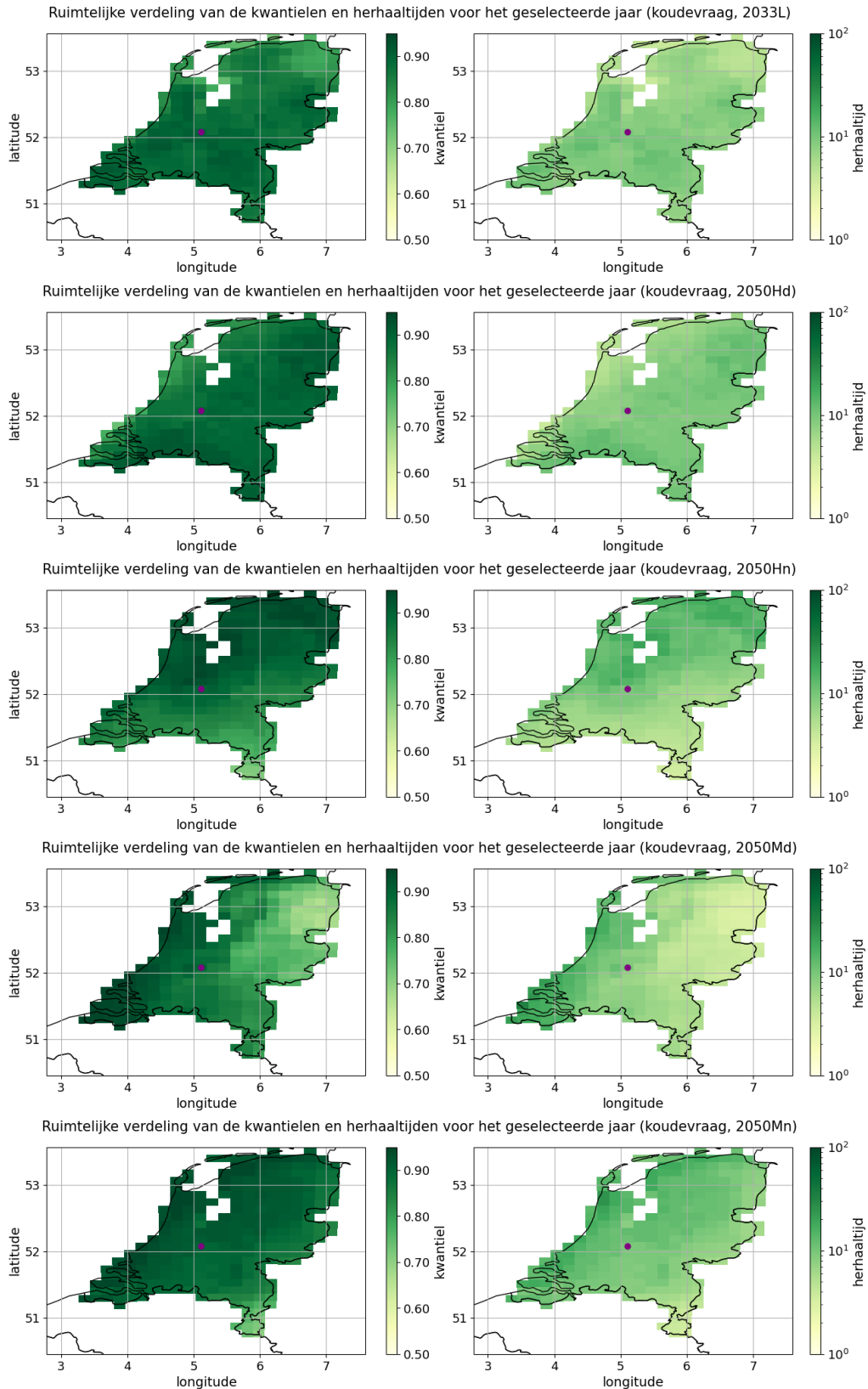
Geadviseerd wordt daarom om een nieuwe NEN5060 norm af te leiden die de voorziet in de huidige tekortkomingen.

⁶ De huidige NEN5060 norm is gebaseerd op een 5-daags maximum.

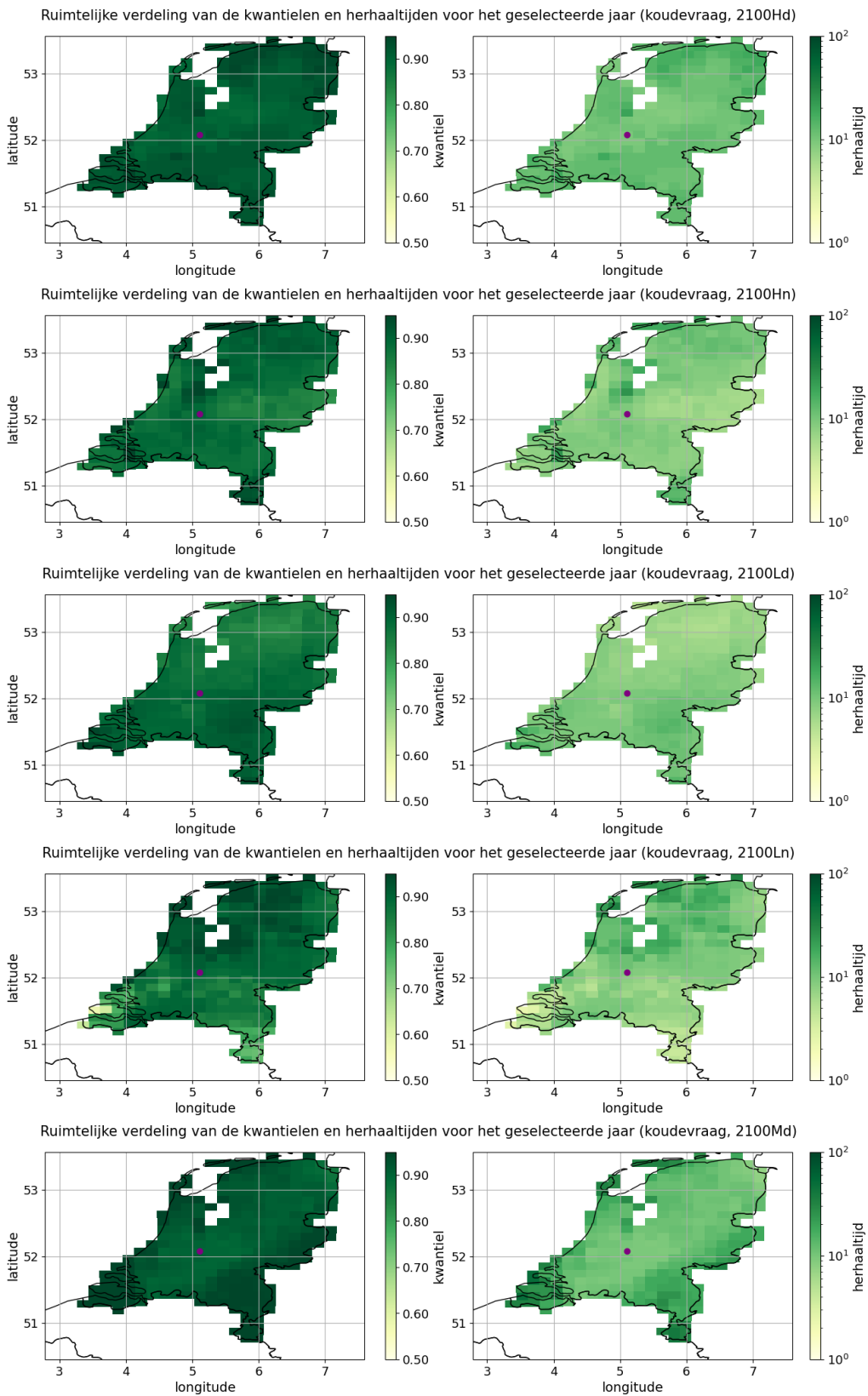
Referenties

- Ligtenberg, S. (2023). *Vooronderzoek impact van klimaatscenario's op de warmte- en koudevraag voor de gebouwde omgeving* (Rapport). Weather Impact. Verkregen van https://topsectorenergie.nl/documents/978/Rapport_klimaatjaren_gebouwde_omgeving.pdf
- Rahmstorf, S. (2024). Is the atlantic overturning circulation approaching a tipping point? *Oceanography*. doi: <https://doi.org/10.5670/oceanog.2024.501>
- Theeuwes, N. E., Steeneveld, G.-J., Ronda, R. J. & Holtslag, A. A. M. (2017). A diagnostic equation for the daily maximum urban heat island effect for cities in north-western europe. *International Journal of Climatology*, 37(1), 443-454. Verkregen van <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/joc.4717> doi: <https://doi.org/10.1002/joc.4717>
- Uitvoeringsregeling gaswet*. (z. j.). <https://wetten.overheid.nl/BWBR0015468/2019-01-01>. (bezocht: 2024-05-02)
- Van den Brink, H. (2023). *Bepaling van de optimale referentie en de optimale subsets voor de knmi'23 klimaatscenario's* (Rapport nr. TR-414). KNMI. Verkregen van <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/publicatie/bepaling-van-de-optimale-referentie-en-de-optimale-subsets-voor-de-knmi-23-klimaatscenario-s>
- Van den Brink, H. & de Valk, C. (2023). *Guidance on the use of meteorological time series constructed to match the knmi'23 climate scenarios* (Rapport nr. TR-408). KNMI. Verkregen van <https://cdn.knmi.nl/knmi/pdf/bibliotheek/knmipubTR/TR408.pdf>
- Van Dorland, R., Beersma, J., Bessembinder, J., Bloemendaal, N., van den Brink, H., Blanes, M. B., ... van der Wiel, K. (2023). *KNMI National Climate Scenarios 2023 for the Netherlands* (wetenschappelijk rapport nr. 2023-03). KNMI.
- Van Meijgaard, E. (2008). *The KNMI regional atmospheric climate model RACMO, version 2.1* (technisch rapport nr. TR-302). KNMI. Verkregen van <https://cdn.knmi.nl/knmi/pdf/bibliotheek/knmipubTR/TR302.pdf>

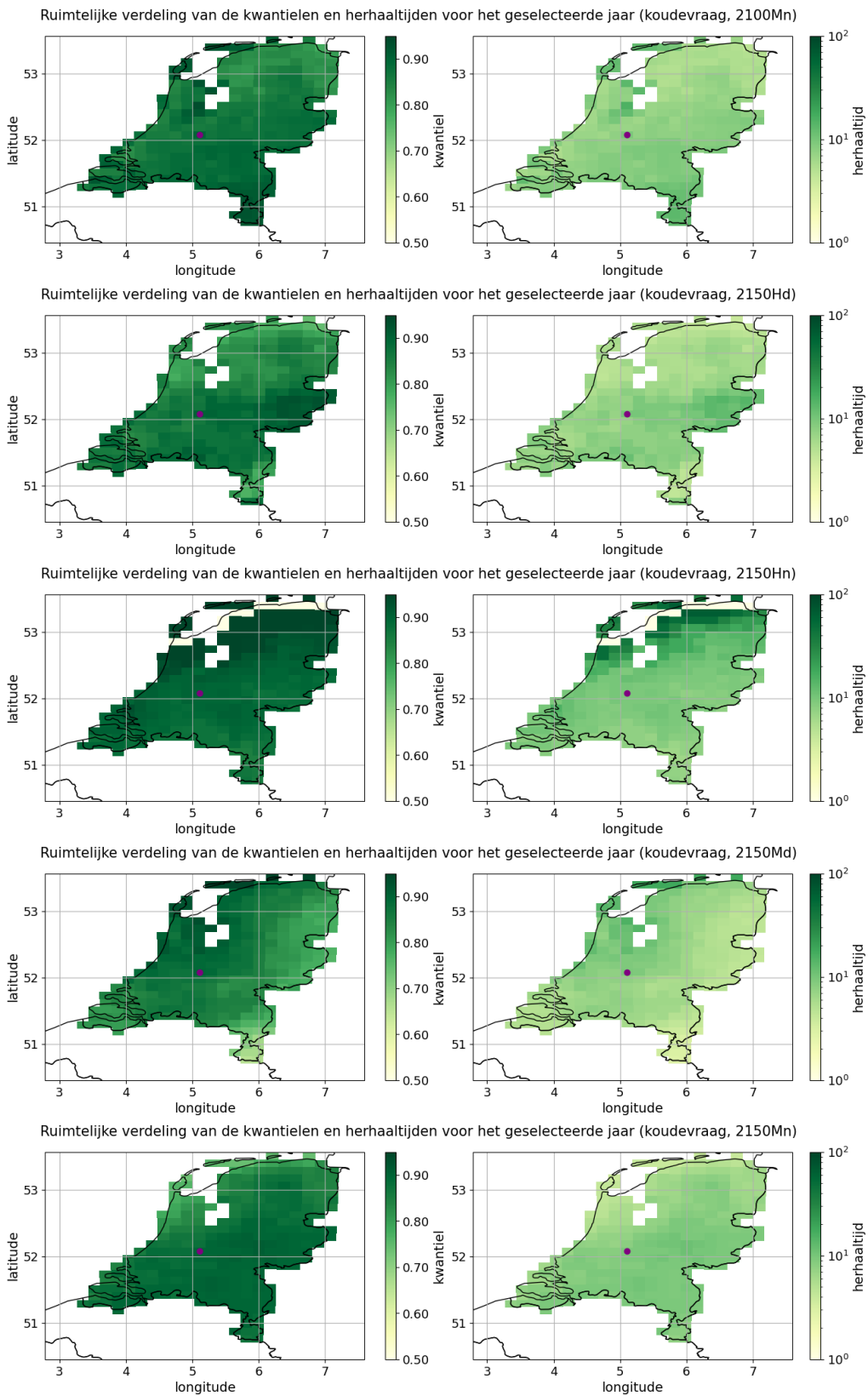
A Ruimtelijke verdeling van de kwantielen voor de koudevraag



Figuur A.1: Ruimtelijke verdeling van de kwantielen voor de *koudevraag* (links) en de bijbehorende herhaaltijden (rechts) voor de 15 klimaatscenario's. De stip geeft de locatie van De Bilt aan.

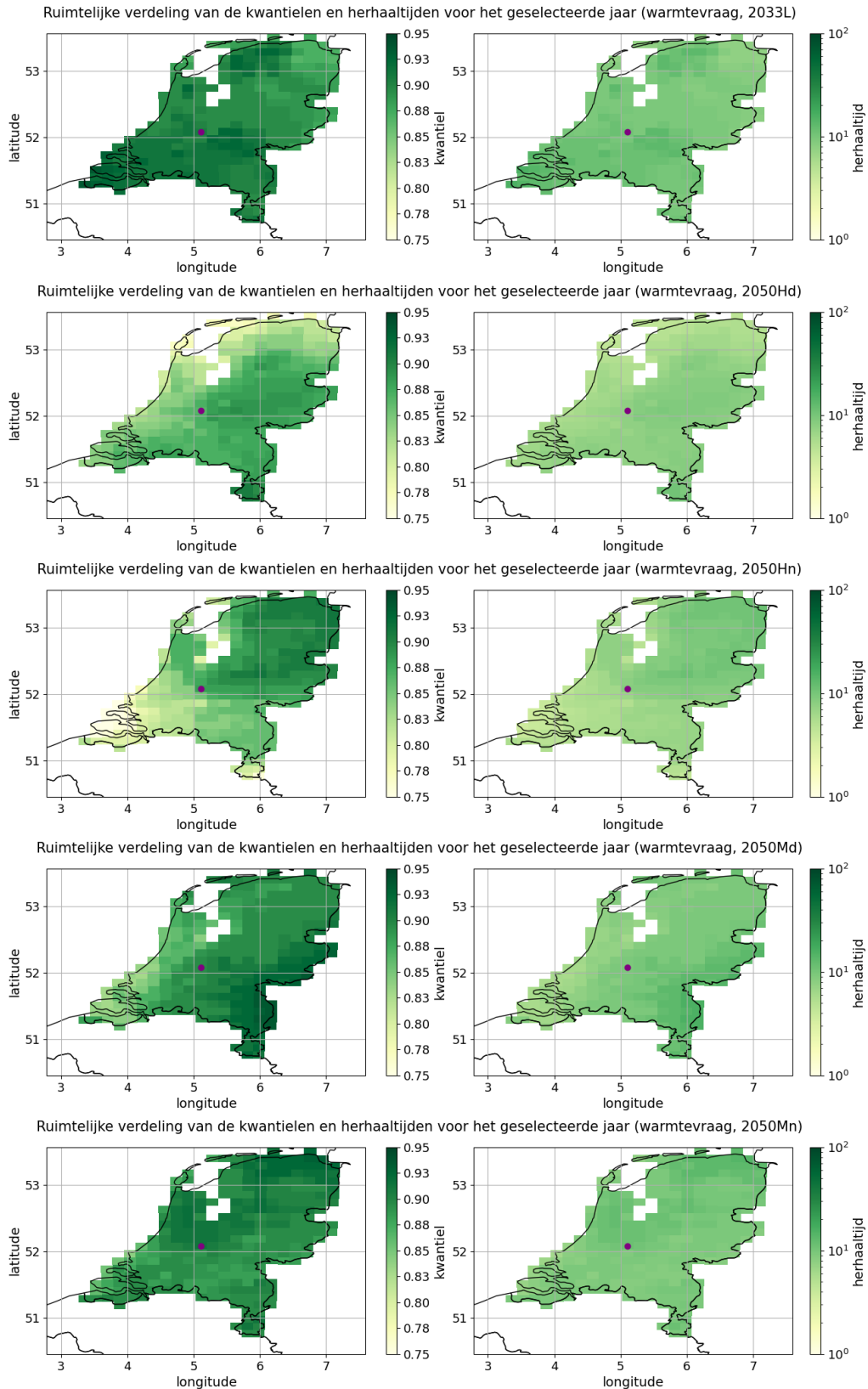


Figuur A.1: (vervolg)

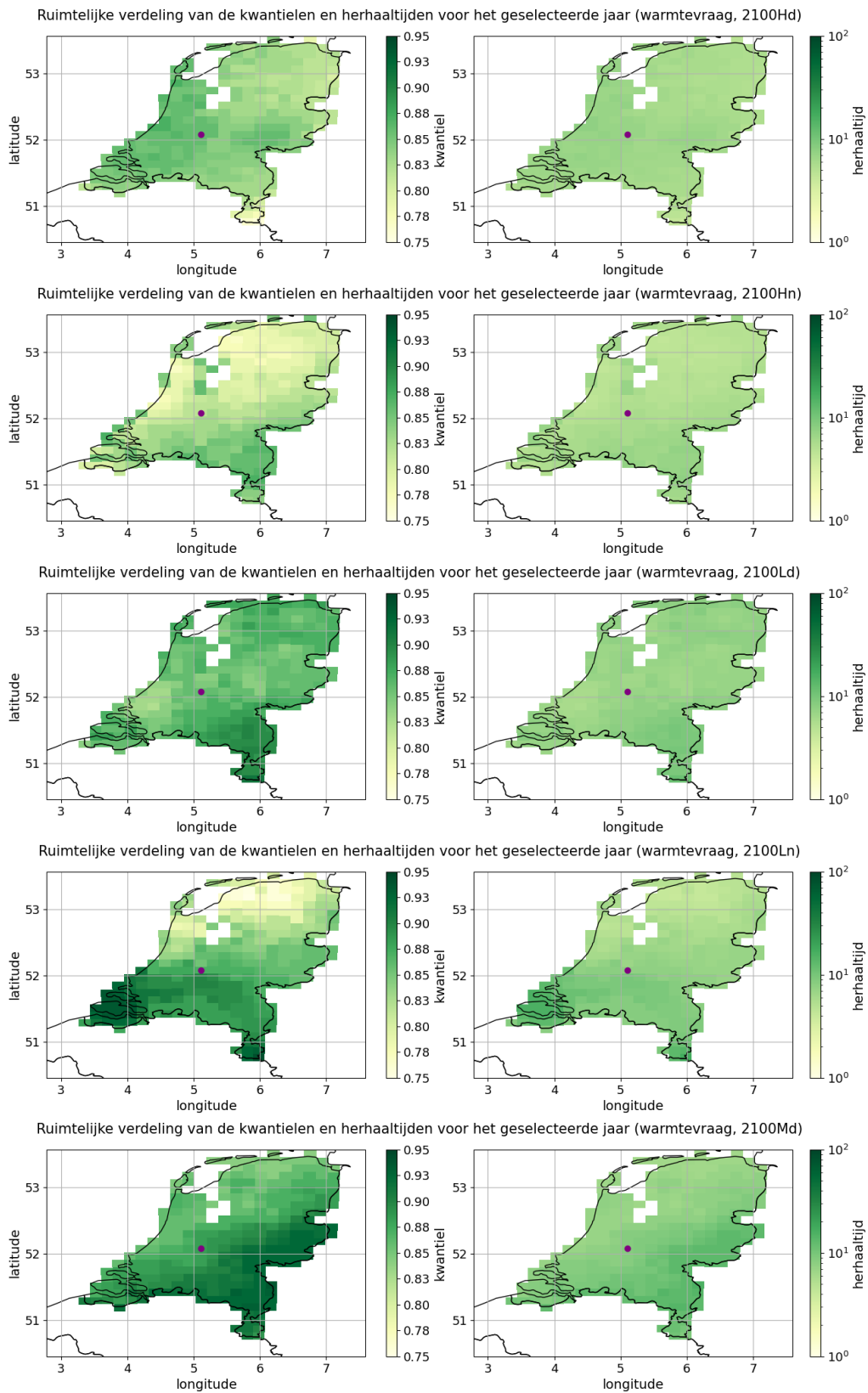


Figuur A.1: (vervolg)

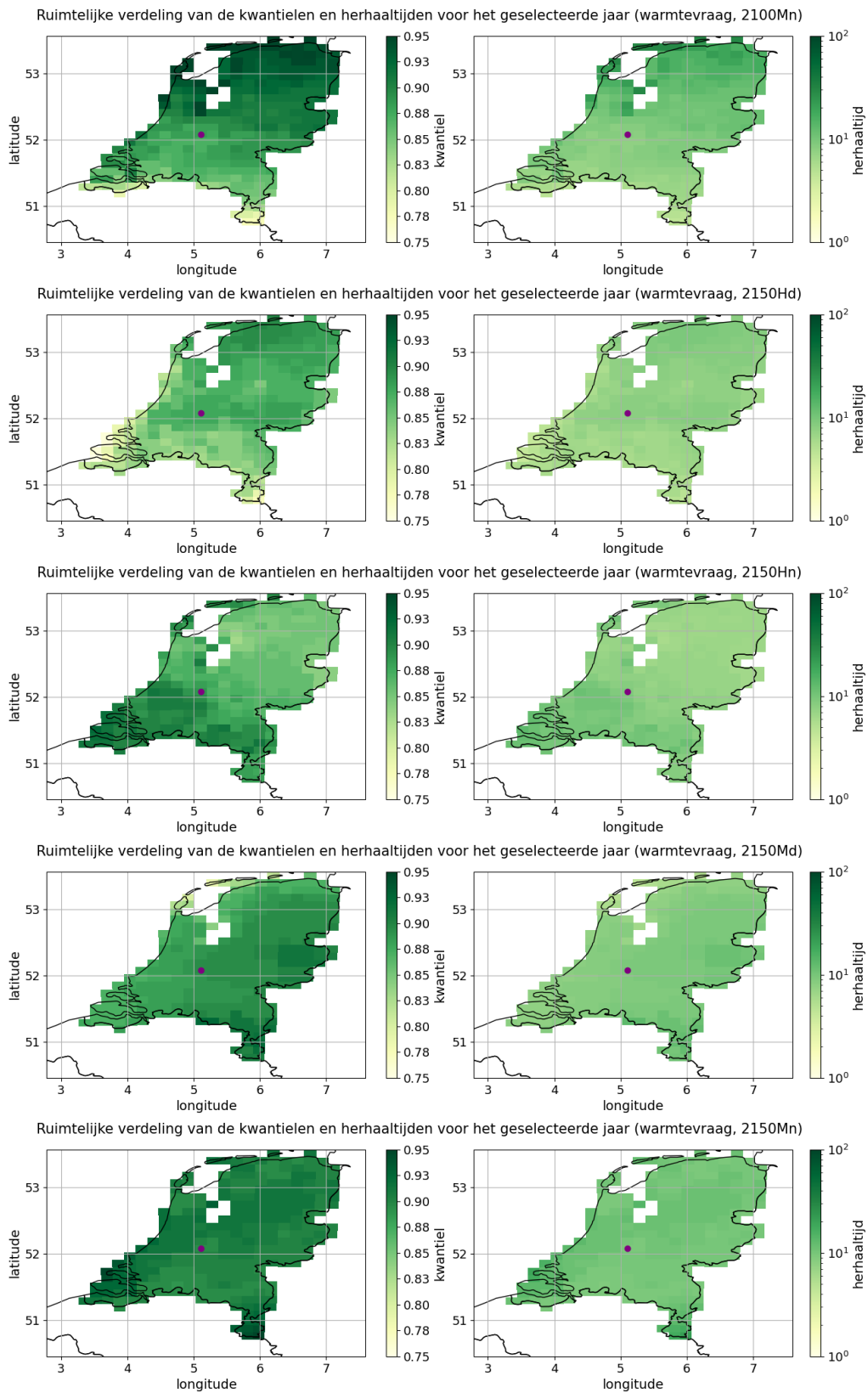
B Ruimtelijke verdeling van de kwantielen voor de warmtevraag



Figuur B.1: Ruimtelijke verdeling van de kwantielen voor de *warmtevraag* (links) en de bijbehorende herhaaltijden (rechts) voor het de 15 klimaatscenario's. De stip geeft de locatie van De Bilt aan.

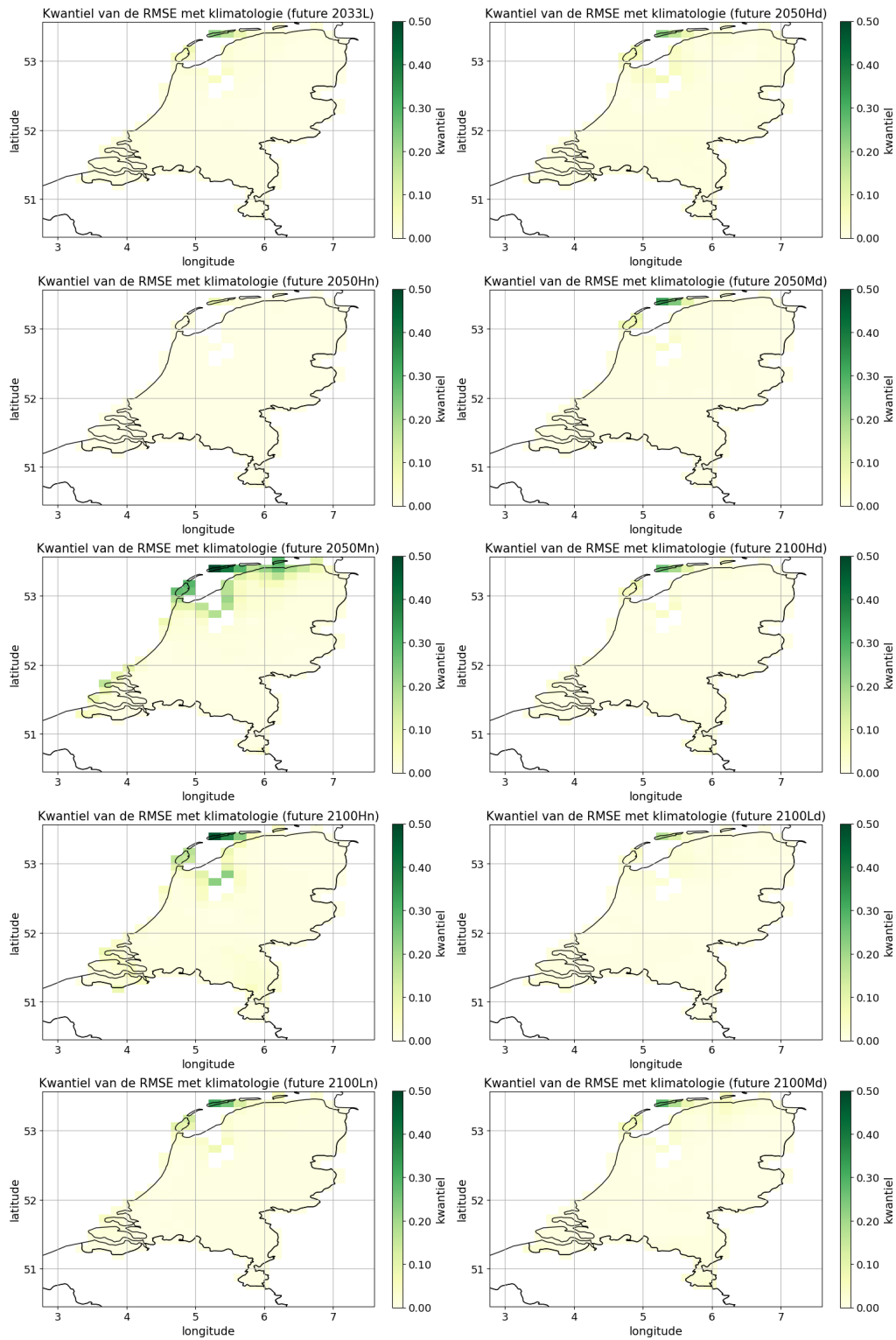


Figuur B.1: (vervolg)

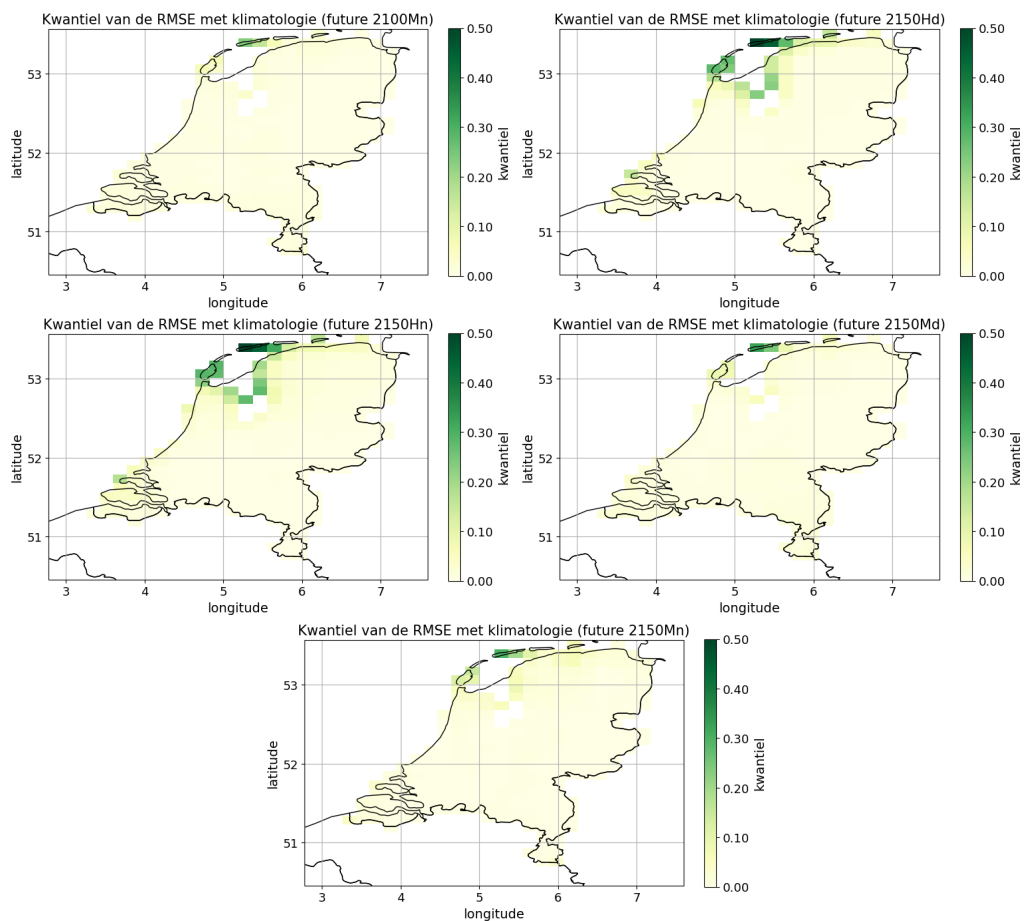


Figuur B.1: Vervolg

C Ruimtelijke verdeling van de kwantielen voor de gemiddelde vraag



Figuur C.1: Ruimtelijke verdeling van het percentiel van de *RMSE* voor de *gemiddelde vraag* voor het de 15 klimaatscenario's. De stip geeft de locatie van De Bilt aan.



Figuur C.1: (vervolg)

D Productomschrijving

De klimaatjaren zijn te downloaden via <https://dataplatform.knmi.nl/dataset/tki-built-environment-climate-years-1-0>. De volgende 289 bestanden zijn hier te vinden:

- csv files voor 5 locaties verspreid over Nederland (Alkmaar, Assen, De Bilt, Roermond, Zierikzee):
 - koudevraag (5x16=80 bestanden):
 - * klimaatjaar_koudevraag_Alkmaar_referentie_v1.csv
 - * klimaatjaar_koudevraag_Assen_referentie_v1.csv
 - * ...
 - * klimaatjaar_koudevraag_Assen_2033L_future_v1.csv
 - * ...
 - * klimaatjaar_koudevraag_Zierikzee_2150Hn_future_v1.csv
 - warmtevraag (5x16=80 bestanden):
 - * klimaatjaar_warmtevraag_Alkmaar_referentie_v1.csv
 - * ...
 - gemiddeld (5x16=80 bestanden):
 - * klimaatjaar_gemiddeld_Alkmaar_referentie_v1.csv
 - * ...
- netcdf bestanden voor alle roosterpunten:
 - koudevraag (16 bestanden):
 - * koudevraag_Referentie.nc
 - * koudevraag_2033L_future.nc
 - * ...
 - warmtevraag (16 bestanden):
 - * warmtevraag_Referentie.nc
 - * ...
 - gemiddelde (16 bestanden):
 - * gemiddeld_Referentie.nc
 - * ...
- jupyter notebook voor conversie van netcdf naar csv:
 - nc_to_csv.ipynb

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Postbus 201 | 3730 AE De Bilt
T 030 220 69 11 | www.knmi.nl